

Producción de frutales en cambio climático

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

CANTIDAD DE PALABRAS 99708

HORA DE ENTREGA

11-ABR-2025 10:58A. M.

NÚMERO DE
IDENTIFICACIÓN DEL
TRABAJO

115647947

1

2

Producción de frutales en cambio climático

3

4

5

Pablo Alberto Torres Lima

6

Juan Guillermo Cruz Castillo

7

Luis Ángel Barrera Guzmán

8

María Elena Galindo Tovar

9

Humberto Mata Alejandro

10

Héctor Tecumshé Mojica Zárate

11

Joaquín Murguía González

12

13

(coordinadores)

14

15

16

17

18

24 de marzo, 2025

19

Contenido	Páginas
Capítulo 1. Introducción Pablo Alberto Torres Lima y Juan Guillermo Cruz Castillo	5
Capítulo 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, Héctor Tecumshé Mojica Zárate y Joaquín Murguía González	18
Capítulo 3. Implicaciones del cambio climático en la producción frutícola Helber Enrique Balaguera-López, Stanislav Magnitskiy, Joaquín Guillermo Ramírez Gil y Gerhard Fischer	53
Capítulo 4. Variabilidad climática en la fruticultura tropical: consideraciones para Colombia Laura A. Valbuena-Gaona, María Isabel Munera-López, Gerhard Fischer, Stanislav Magnitskiy, Helber Enrique Balaguera-López y Joaquín Guillermo Ramírez-Gil	89
Capítulo 5. Producción de frutales y cambio climático en México Jorge Andrés Agustín	125
Capítulo 6. Fruticultura agroecológica innovada por agricultores en Cuba	160

Luis L. Vázquez	
Capítulo 7. Influencia de la variabilidad climática y el incremento de plagas y enfermedades en frutales Humberto Mata Alejandro y María Del Refugio Castañeda Chávez	187
Capítulo 8. Dinámica espacial entre <i>Coffea arabica</i> Linneo y <i>Coffea canephora</i> Pierre ex A. Froehn-er bajo el cambio climático Ismael Quiroz Guerrero y Juan Guillermo Cruz-Castillo	214
Capítulo 9. Hongos micorrízicos arbusculares y salud del suelo bajo el sistema milpa intercalada con árboles frutales en la mitigación del cambio climático 7 Tania Romero-Figueiras, Pablo Andrés-Meza, Joaquín Murguía-González, Alejandro Espinosa-Calderón, Julio González-Cárdenas, Otto Leyva-Ovalle, Ricardo Serna-Lagunes, Julio Díaz-José, Miguel Cebada-Merino, María Galindo-Tovar, Mauro Sierra-Macías y Margarita Tadeo-Robledo	233
Capítulo 10. Diagnóstico de los efectos del cambio climático en la naranja en el norte de Veracruz Gustavo Almaguer Vargas, Juan Guillermo Cruz Castillo, Viviana Carvajal Salazar y Alma Ayala Garay	267
Capítulo 11. El complejo vitivinícola de la Pampa, Argentina. Actores, desafíos y escenarios prospectivos a 2030	284

Roberto Carlos Mariano, Rocío Luján González, Santiago Agustín Pérez y Santiago Ferro Moreno	
Capítulo 12. Un futuro ecológico y socialmente responsable para el aguacate mexicano Gisela Valdés Padilla, Mayra Karina Solís López y María de Lourdes Flores López	327
Capítulo 13. Prospectiva socioeconómica y ambiental de plantaciones y agroindustrias de cítricos en México Luis Alberto Olvera Vargas y Noé Aguilar-Rivera	361
Capítulo 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 S. y María Luz Hernández-Navarro	384
Sobre los autores	428

21

Capítulo 1. Introducción

22

Pablo Alberto Torres Lima y Juan Guillermo Cruz Castillo

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

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, las cuales comprenden cambios de largo plazo en el medio ambiente y 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 diferentes presiones ambientales (i.e. déficit de agua) y económicas (i.e. 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 biodiversidad, la erosión hídrica superficial y 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, en la medida que ocurre el aumento de 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

43 asociados al cambio climático se relacionan con el diseño de estrategias y acciones,
44 así como la movilización de recursos a fin de proteger a las poblaciones vulnerables
45 de la inseguridad alimentaria y el hambre. Asimismo, se vinculan a los procesos de
46 construcción y fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas agroalimentarios, la
47 sustentabilidad de los recursos naturales y la construcción de rutas hacia el logro
48 del desarrollo de las sociedades regionales y locales a largo plazo.

49 Como parte de las evaluaciones de los riesgos del cambio climático a diferentes
50 escalas, desde lo global hasta lo local, que aparecen en un número cada vez
51 mayor de publicaciones, se estiman y proyectan diversos procesos de
52 transformación y cambios en los indicadores de riesgo climático para
53 determinados sectores de la economía (i.e., agricultura) o elementos del mundo
54 natural. Casi por completo, el mayor número de estudios e investigaciones
55 acerca del cambio climático está en consonancia con la necesidad creada por
56 el Acuerdo de París (AP) cuyo objetivo es restringir el aumento de la
57 temperatura global a "muy por debajo de 2 °C" y "proseguir los esfuerzos" para
58 limitar este calentamiento a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales
59 (UNFCCC, 2015 en Jacob and Guillén, 2024). En este sentido, el Grupo
60 Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha
61 destacado la necesidad de desarrollar mayor investigación alineada con el AP
62 y los riesgos relacionados en su Informe Especial sobre los 1,5 °C de
63 calentamiento global (IPCC, 2018).

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

72 Entre los organismos vivos, las especies de plantas perennes son las más
73 expuestas a los efectos del cambio climático, por ejemplo, al aumento de la
74 temperatura media anual, fenómenos meteorológicos extremos, o sequías. Los
75 cultivos frutícolas pueden experimentar distintos fenómenos extremos en el
76 mismo año, como inundaciones en algunos periodos y sequía en los meses de
77 verano, temperaturas extremadamente bajas en invierno y excesivamente altas
78 en verano, etc. En particular, se estima que el cambio climático afecta a una
79 serie de funciones fisiológicas de las especies de árboles frutales y de frutos
80 secos de zonas templadas, como su fenología, la liberación del letargo de las
81 yemas y la vernalización, la polinización y el cuajado de los frutos, el crecimiento
82 y la calidad de los frutos, así como la brotación de las yemas y el inicio del
83 crecimiento (Roussos, 2024). Los cambios que influyen directamente en la
84 madurez y el desarrollo de los cultivos frutales pasan por el estrés térmico que
85 durante las fases de floración y cuajado puede tener efectos perjudiciales sobre

86 la producción de fruta (Karagatiya *et al.*, 2023), mientras que la fluctuación en
87 las temperatura y la irregularidad del régimen de lluvias puede perturbar la
88 polinización y aumentar el riesgo de plagas y enfermedades (Miller *et al.*, 2024);
89 mientras que los niveles elevados de dióxido de carbono también pueden
90 afectar a las características cualitativas de la fruta (Ameen, 2023).

91 Para la agricultura, con especial énfasis en la fruticultura en América Latina, la
92 adaptación al cambio climático puede referirse en términos de conductas y
93 estrategias productivas, de manejo de recursos, tecnológicas, económicas y
94 ¹ sociales de respuesta, mientras que la capacidad adaptativa se relaciona con
95 las descripciones y evaluaciones de los sistemas dinámicos e institucionales
96 que entran en juego frente a dilemas de los sistemas agroproductivos ante
97 diferentes tipos de cambio, sobre todo en términos de la producción y comercio
98 de frutas (FAO, 2024). En cualquiera de los casos, lo que hace innovador la
99 definición de adaptación y el diseño de estrategias, ¹ por un lado, consiste
100 en la idea de incorporar el riesgo futuro y los escenarios del cambio climático
101 en los procesos productivos agrícolas y, ¹ por el otro, que mediante una agenda
102 de investigación científica, tecnológica y social será posible atender de manera
103 integral las interacciones entre clima, vulnerabilidad, resiliencia, capacidades y
104 sistemas institucionales en la agricultura. En este sentido, ¹ en virtud de que
105 los impactos del cambio climático reducen las posibilidades de desarrollo e
106 incrementan a la vez los riesgos para los sectores productivos más vulnerables
107 (i.e., agricultura) así como los grupos sociales (productores agrícolas y

108 mujeres), se ha considerado a la adaptación y a la promoción de resiliencia de
109 sistemas de cultivos frutícolas como una prioridad creciente por la comunidad
110 internacional, las agencias de desarrollo, los gobiernos, los centros de
111 investigación, las universidades y las propias comunidades rurales vulnerables.
112 Sobre todo, mediante la generación y aplicación de diversas estrategias, como
113 la adopción de prácticas de manejo agronómicas mejoradas, la implantación de
114 sistemas de riego eficientes y la utilización de técnicas de agricultura de
115 precisión, y la selección y cultivo de variedades resistentes al clima (Karagatiya
116 et al., 2023).

117 Para la identificación de temáticas relevantes, la relación de los términos *fruticultura*
118 *y cambio climático* se encuentran de manera relativamente importante en diversos
119 motores de búsqueda y base de datos. Se observa que, a pesar de la creciente
120 producción de literatura relacionada al cambio climático, aun falta mayor
121 direccionalidad en los estudios, realizados en países por autores del sur global
122 (Chandio *et al.*, 2024; Deori *et al.*, 2024; Karagatiya *et al.*, 2023; Manzoor *et al.*,
123 2024; Yadav *et al.*, 2023). Se estima que muchas de las principales contribuciones
124 y contribuyentes a la generación de investigación académica sobre el tema de
125 *fruticultura y cambio climático*, pueden recaer en Latinoamérica (Osorio-Marín et al.,
126 2024). Sobre todo porque muchas de las tendencias recientes de investigación y
127 estudios en Agronomía ocurren en esta área geográfica, las cuales son dinámicas
128 y exploran diversas áreas de conocimiento y programas de formación de recursos
129 humanos en torno a la fruticultura. Sin embargo, aun existen diversos retos

130 prioritarios para los países de Latinoamérica con respecto a contribuir con la
131 producción de conocimiento y lograr avances en el desarrollo y aplicación de
132 nuevos sistemas de manejo de cultivos para reducir el efecto del cambio climático.
133 A partir de las temáticas diversas sobre el objeto de estudio de la relación entre
134 fruticultura y cambio climático, tales como mejoramiento genético de frutales, el uso
135 de nuevos insumos para la producción y manejo postcosecha, la reconversión de
136 cultivos, y estrategias de agricultura climáticamente inteligente, para este libro y los
137 capítulos que lo integran existen algunos temas críticos a tratar. Se estimó
138 pertinente la presentación de marcos conceptuales y metodológicos, así como de
139 estudios de caso y prospectiva asociados a la fruticultura que exploran perspectivas
140 y soluciones con algunos ejemplos agroecológicos como parte del futuro posible de
141 los sistemas de producción frutícola en América Latina. Lo anterior, consistió como
142 marco de intersección o hilo conductor (conceptual, metodológico y analítico) que
143 guió la conexión entre los capítulos que integran este libro. El libro y sus capítulos,
144 a partir de la contribución de diversos especialistas de diferentes áreas de
145 conocimiento, asociadas al concepto integrador de *fruticultura y cambio climático*,
146 incluye por lo tanto un enriquecedor intercambio de experiencias analíticas,
147 metodológicas y estudios de caso. Así, se propone un marco novedoso que
148 aproveche los enfoques cuantitativos y cualitativos originales y de vanguardia para
149 integrar y divulgar estudios, investigaciones y colaboraciones estructuradas en
150 torno a las temáticas y problemáticas recientes de la fruticultura. Sirva pues este
151 libro, como reflejo de esta intencionalidad y propósito, como una plataforma común

152 de aprendizaje y colaboración, para recuperar algunas experiencias de
153 investigadores en el diseño de herramientas conceptuales de entendimiento y
154 guías metodológicas y prácticas que satisfagan las necesidades de
155 conocimiento e iniciativas sobre el tema de fruticultura y cambio climático, con
156 algunos ejemplos para América Latina.

157 A lo largo del libro, y a fin de situar el contexto, en el capítulo 2 Torres y Cruz
158 exponen diversos ámbitos de investigación en producción de frutales ante el cambio
159 climático, sobre todo los relacionados procesos agroambientales regionales de
160 adaptación y mitigación frente al cambio climático. Asimismo, presentan
161 consideraciones de la adaptación al cambio climático basada en los servicios
162 ecosistémicos y en la comunidad. El Capítulo 3 tiene como propósito evidenciar
163 los principales factores e implicaciones apreciados del cambio climático en la
164 producción frutícola, tanto en la temperatura, radiación solar, CO₂, precipitación, y
165 anegamiento e inundación. Valbuena-Gaona et al. abordan en el capítulo 4 el
166 problema de la variabilidad climática en la fruticultura tropical para el caso de
167 Colombia. En particular, a partir de identificar el área sembrada, producción y
168 rendimiento de las principales frutas con potencial de exportación en Colombia, se
169 analiza el potencial efecto de los fenómenos ENOS (La Niña y El Niño) sobre la
170 fruticultura y sus estrategias de mitigación y adaptación.

171 El Capítulo 5 nos remite a la importancia de la producción de frutales y el cambio
172 climático en México. Particularmente, se abordan tanto los sistemas frutícolas
173 tradicionales como los convencionales o sistemas modernos, ello con la intención

174 de ofrecer consideraciones hacia la sustentabilidad de la producción frutícola. En el
175 Capítulo 6, Vázquez aborda la fruticultura agroecológica innovada por agricultores
176 en Cuba desde la perspectiva de la transición agroecológica, los diseños
177 agroecológicos de sistemas frutícolas múltiples generados por la innovación de
178 agricultores y cierra con consideraciones respecto a las multifunciones ecológicas
179 de sistemas frutícolas múltiples. El Capítulo 7 presenta consideraciones, basadas
180 en algunos casos de relevancia, respecto a la influencia de la variabilidad climática
181 y el incremento de plagas y enfermedades en la fruticultura tropical. Mientras que el
182 Capítulo 8 reporta una investigación experimental acerca de la Dinámica espacial
183 entre *Coffea arabica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehn-er bajo el
184 cambio climático.

185 En el Capítulo 9 Romero-Figueiras *et al.* presentan otra investigación experimental
186 con relación a la relación entre los hongos micorrízicos arbusculares y la salud del
187 suelo bajo el sistema milpa intercalada con árboles frutales en la mitigación del
188 cambio climático. En el Capítulo 10 se reporta una investigación diagnóstica-
189 descriptiva acerca de los efectos del cambio climático en la naranja en el norte de
190 Veracruz, con énfasis la relación del cambio climático con la incidencia de plagas y
191 enfermedades. El Capítulo 11 aborda, mediante el reporte de una investigación
192 descriptiva cualitativa de campo, el análisis prospectivo estratégico del complejo
193 vitivinícola de la provincia de La Pampa, Argentina, particularmente los actores,
194 desafíos y escenarios prospectivos a conforme a los objetivos de desarrollo
195 sustentable 2030. Valdés et al. presentan en el capítulo 12 consideraciones

196 respecto a un futuro ecológico y socialmente responsable para el aguacate
197 mexicano. A partir de una revisión de la producción del aguacate en Iberoamérica y
198 su manejo técnico en los principales países productores, se incluyen notas de
199 prospectiva y la generación de escenarios, entre ellos el escenario ideal del
200 aguacate mexicano. En el Capítulo 13, Olvera y Aguilar-Rivera plantean una
201 prospectiva socioeconómica y ambiental de plantaciones y agroindustrias de cítricos
202 en México, sobre todo al destacar el manejo de residuos como alternativa
203 sustentable. Finalmente, el Capítulo 14 presenta las áreas con potencial productivo
204 ante el cambio climático para el caso del aguacate en Puebla, México. En particular,
205 mediante la aplicación de la metodología para la zonificación de cultivos, usando la
206 evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica, se incluye la
207 distribución espacial de las áreas óptimas para el establecimiento de plantaciones.
208 Los capítulos proporcionan en conjunto una evaluación armonizada de los cambios
209 previstos en la exposición de sistemas agroalimentarios a los peligros relacionados
210 con el cambio climático, así como las implicaciones en los sistemas de producción
211 frutícolas de los riesgos climáticos. Las anotaciones, resultados, análisis y
212 argumentos presentados en este libro confirman la necesidad de aplicar medidas
213 agroproductivas climáticas acordes con el riesgo generalizado y creciente de
214 cambio climático. Sobre todo proporcionan una confirmación de la rápida escalada
215 de los riesgos del cambio climático que aumentan con cada incremento adicional
216 del calentamiento global. Aunque el libro reporta experiencias particulares con
217 relación a las prácticas investigativas y lugares de estudio de los autores, se puede

218 inferir con claridad que otras regiones de América Latina, o del mundo experimenten
219 problemas similares. Por tal motivo, es fundamental hacer mayor hincapié tanto en
220 las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático a fin de evitar mayores
221 riesgos tanto para los sistemas de producción frutícola como para los sistemas
222 agroalimentarios.

223 En este contexto, esta obra forma parte de una ruta de trabajo que, con fin de
224 enmarcar contribuciones contemporáneas multidisciplinarias respecto a la
225 fruticultura, se ha plasmado en libros que anteriormente hemos coordinado con
226 autores Latinoamericanos y que se han publicado por la Universidad Autónoma
227 Metropolitana, Unidad Xochimilco, y la Universidad Autónoma Chapingo, tales
228 como: (2008) *Enfoques tecnológicos en la fruticultura*; (2002) *Frutales para México*.
229 *Contribuciones del Caribe y Sudamérica*; y (2002) *El guanábano. Agronomía y usos*
230 *de frutales tropicales*. El presente libro, incluye a 43 autores investigadores
231 provenientes de trece instituciones, cuyo origen son cinco países, tales como
232 Argentina, Colombia, Cuba, España y México, a quienes se agradece su interés
233 temático por participar en esta obra colectiva. Se agradece el apoyo financiero de
234 la Universidad Autónoma Metropolitana para la elaboración, edición e impresión de
235 la presente obra.

236 **Referencias**

237 Ameen, M., Mahmood, A., Ahmad, M., Javaid, M., Nadeem, M., Asif, M. Balal, R.
238 and Khan, B. (2023). Impacts of climate change on fruit physiology and

239 quality. In: Hasanuzzaman, M. (eds) *Climate-Resilient Agriculture*, Vol 1.
240 Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_5

241 Chandio, A., Gokmenoglu, K., Joyo, M. and Yuansheng Jiang, Y.
242 (2024). Modeling the climate change impacts on major fruits
243 production: Recent evidence from Pakistan. *Scientia*
244 *Horticulturae*, 324, 112618,
245 doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112618.

246 Deori, M., Manasa, S., Kakade P., Saikanth, D., Ranganna, G., Deshmukh, R.,
247 Homeshvari, X. and Prasad, L. (2024). Impact of Climate Change on Fruit
248 Yield and Quality in Modern Horticultural Practices. *International Journal of*
249 *Plant & Soil Science*, 36 (1):177-187.

250 FAO. (2024). *Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las*
251 *frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de*
252 *aguacate*. FAO. Roma. doi.org/10.4060/cc9309es

253 IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of
254 global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global
255 greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global
256 response to the threat of climate change, sustainable development, and
257 efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press, Cambridge.

258 Jacob, D. and Guillén, T. (2024). Editorial Introduction to the Topical Collection:
259 Accrual of Climate Change Risk in Six Vulnerable Countries. *Climatic*
260 *Change*, 177, 45, doi.org/10.1007/s10584-024-03691-9.

261 Karagatiya, F., Shivani, P., Parasana, J., Vasava, H., Chaudhari, T. Kanzaria, D.
262 and Paramar, V. (2023). Adapting fruit crops to climate change: Strengthening
263 resilience and implementing adaptation measures in fruit crops. *The Pharma*
264 *Innovation Journal*, 12(7): 3159-3164.

265 Miller, S., Testen, A., Jacobs, J. and Lewis, M. (2024). Mitigating emerging and
266 reemerging diseases of fruit and vegetable crops in a changing climate.
267 *Phytopathology*, 114(5):917-929.

268 Muhammad Aamir Manzoor, M., Xu, Y., Iv, Z., Xu, J., Shah, I., Sabir, I., Wang, Y.,
269 Sun, W., Liu, X., Wang, L., Liu, R., Jiu, S. and Zhang, C. (2024). Horticulture
270 crop under pressure: Unraveling the impact of climate change on nutrition and
271 fruit cracking. *Journal of Environmental Management*, 357,120759,
272 doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120759.

273 Osorio-Marín, J., Fernandez, E., Vieli, L, Ribera, A., Luedeling, E. and Cobo, N.
274 (2024). Climate change impacts on temperate fruit and nut production: a
275 systematic review. *Front. Plant Sci.* 15:1352169. doi:
276 10.3389/fpls.2024.1352169

277 Roussos, P.A. (2024). Climate change challenges in temperate and sub-tropical fruit
278 tree cultivation. *Encyclopedia*, 4, 558–582.
279 doi.org/10.3390/encyclopedia4010036

280 Shubham Yadav, S., Korat, J., Yadav, S., Mondal, K., Kumar, A., Homeshvari, X.,
281 and Kumar, S. (2023). Impacts of Climate Change on Fruit Crops: A
282 Comprehensive Review of Physiological, Phenological, and Pest-Related

283 Responses. *International Journal of Environment and Climate Change*,
284 13(11):363-371.

285 UNFCCC ⁹⁴ (2015). *Paris Agreement*.

286 [https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agree](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf)
287 [ment_english_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf).

288

289 **Capítulo 2. Ámbitos de investigación en producción de frutales ante el**
290 **cambio climático¹**

291 Pablo Alberto Torres Lima, Juan Guillermo Cruz-Castillo, Luis Ángel Barrera
292 Guzmán, María Elena Galindo Tovar, Humberto Mata Alejandro, Joaquín Murguía
293 González y Héctor Tecumshé Mojica Zárate

294 **Resumen**

295 En diferentes regiones del mundo, particularmente en el sur global, los estudios e
296 investigaciones acerca de los sistemas de producción agrícola y frutícolas han
297 **1** abordado la vulnerabilidad y los riesgos del cambio climático como retos y
298 oportunidades para desarrollar medidas de adaptación, que protejan los recursos
299 naturales y los servicios ecosistémicos sobre los cuales depende. Sin embargo,
300 para la mayoría de las condiciones regionales, el nivel de conocimiento aún
301 permanece limitado respecto de la exposición local a los riesgos de la variabilidad
302 del clima, la distribución espacial y geográfica de la vulnerabilidad, así como los
303 factores productivos y socioeconómicos involucrados. En este capítulo se analiza
304 cómo en los procesos agroambientales regionales existe la necesidad de
305 convergencia entre la evaluación de riesgos climáticos locales, la vulnerabilidad de
306 sistemas frutícolas, las capacidades de adaptación y mitigación, criterios basados
307 en los servicios ecosistémicos y el rol de las comunidades locales para estos

¹ Este capítulo recupera notas conceptuales del autor principal, publicadas en Torres et al., 2009.

308 procesos de adaptación, lo anterior bajo diferentes ámbitos de investigación del
309 cambio climático.

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

311 **Introducción**

312 En la literatura mundial sigue siendo relevante la publicación de diversos
313 reportes que describen y desarrollan diferentes escenarios sobre los impactos
314 del cambio climático en ¹ ecosistemas, grupos sociales e instituciones, al mismo
315 tiempo que detallan la evaluación de las opciones actuales y futuras de
316 procesos de contención, amortiguamiento, mitigación y adaptación. Uno de los
317 ámbitos geográficos con mayor estudio de la afectación por el cambio climático son
318 los sistemas agroproductivos o agrícolas, particularmente frutales (Sarkar *et*
319 *al.*, 2021). Estos incluyen diversos ¹ tipos de agricultura existentes dentro del
320 marco de procesos agroambientales o ecosistémicos que dan lugar al manejo
321 de recursos naturales, a la biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos
322 para llevar a cabo la producción de alimentos y productos de origen vegetal a
323 fin de proveer de ingresos y empleos, así como de cierto bienestar y calidad de
324 vida, especialmente a poblaciones rurales.

325 Los efectos diferenciales del clima sobre la sociedad revelan diversos grados
326 de vulnerabilidad regional ⁷⁴ en los sistemas agroproductivos a partir de considerar
327 la compleja interacción de los factores ambientales, sociales, económicos y
328 políticos involucrados en cada región o área geográfica (Hillel y Rosenzweig,
329 2012). En este sentido y para ¹ la evaluación integral de la vulnerabilidad de los

330 procesos agroambientales que incluyen a los sistemas productivos agrícolas,
331 se tiene que recurrir a diferentes escalas temporales y espaciales, así como a
332 diversos niveles de comprensión teórica y metodológica, debido a que el propio
333 concepto de vulnerabilidad refiere al conjunto de los sistemas de interacción
334 humano-ambientales. De esta forma, la vulnerabilidad agroambiental al cambio
335 climático, al ser entendida como una función de la variación de factores y
336 variables biofísicas y socioeconómicas en las actividades agrícolas -en este caso
337 frutícolas- debe contener la posibilidad de definirse conceptualmente y
338 registrarse bajo una tipología espacialmente determinada. ¹ El énfasis e
339 importancia actual de la agricultura frente al cambio climático se sustenta en
340 que la primera se vincula a la cantidad y calidad de los recursos naturales y a
341 las variaciones en la temperatura, precipitación, vientos y a la disponibilidad de
342 agua para el crecimiento y reproducción de cultivos frutícolas.

343 Diversos estudios sugieren que no solo la productividad, sino también la calidad
344 de los frutos se verá perjudicada por la variabilidad del clima de cultivo de un
345 año a otro, al mismo tiempo que la pérdida de diversidad vegetal y los
346 problemas de idoneidad de la zona acarrearían más dificultades (Bhattacharjee
347 *et al.*, 2022). Por ejemplo, se reporta la posibilidad de que el cambio climático
348 afecta al crecimiento y desarrollo de muchos cultivos frutales en los trópicos y
349 subtrópicos (Rajan *et al.*, 2020; Choudhury *et al.*, 2017) y en frutales de clima
350 templado (Kuden, 2020; Sharma, 2021). Ante tales retos para la producción

351 frutícola mundial es preciso llevar a cabo la evaluación científica y estratégica
352 de tales efectos, así como las estrategias de adaptación y mitigación.

353 El sistema alimentario, ¹⁷ a escala mundial, contribuye entre 21 y 37% del total de
354 las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG, siglas en inglés),
355 incluyendo el cambio de uso del suelo (Van Hoof, 2023). Las emisiones de
356 contaminantes por parte de la agricultura en países en desarrollo aumentaron
357 32% entre 1990 y 2005, y se espera que pueda continuar con esta tendencia
358 para satisfacer las demandas de productos alimentarios por una población en
359 aumento. Más aún si se considera que del potencial global total para mitigar
360 las emisiones agrícolas de GHG, 74% radica en estos mismos países (Kok *et*
361 *al.*, 2010). Al mismo tiempo y de manera complementaria a los procesos de
362 adaptación, por ejemplo, en términos del desarrollo de prácticas agrícolas
363 amigables al medio ambiente ¹ se debe considerar que los agroecosistemas
364 tienen un potencial significativo de mitigación del cambio climático,
365 principalmente mediante el secuestro de carbono por el suelo, el cual
366 corresponde a 89% del total de su capacidad de mitigación (Bellarby *et al.*,
367 2008).

368 En América Latina, el problema de la seguridad alimentaria no está
369 directamente asociado a la disponibilidad de alimentos, dado que la región
370 produce alimentos suficientes para abastecer a su población y aún para
371 exportar al mercado mundial de alimentos gracias a su amplia base de recursos
372 naturales (tierra, bosques, agua y biodiversidad), humanos y de conocimiento.

373 Sin embargo, existe un impedimento importante en cada país latinoamericano
374 para adecuar el nexo agricultura-alimentación a las tendencias cambiantes de
375 los sistemas agroalimentarios regionales que contribuyan con resultados reales
376 a lo largo de los procesos nacionales de producción de alimentos (Torres-Lima
377 *et al.*, 2022). Lo anterior se refiere a que la región de América Latina y el Caribe
378 (ALC) abarca zonas con una pronunciada variabilidad climática interanual, y
379 que esta variabilidad y los cambios climáticos previstos a largo plazo están
380 ejerciendo una presión significativa sobre la producción agrícola (Baethgen y
381 Goddard, 2012). En particular, se estima que la fluctuación interanual de esta
382 variabilidad climática afecta hasta en un 80% la respuesta de los cultivos frutícolas
383 en términos de calidad y cantidad de producción (Rodríguez, 2022).

384 Cabe señalar que ⁴¹ la tendencia al calentamiento continuó en 2021 en América
385 Latina y el Caribe. La tasa media de aumento de las temperaturas fue de
386 aproximadamente 0.2°C por decenio entre 1991 y 2021, frente a 0.1°C por
387 decenio entre 1961 y 1990 (WMO, 2021). Asimismo, ⁴¹ el nivel del mar siguió
388 subiendo en la región en 2021 a un ritmo más rápido que en el resto del mundo,
389 sobre todo en la costa atlántica de América del Sur, al sur del ecuador y en las
390 zonas subtropicales del Atlántico Norte y el Golfo de México. ¹ Sin duda, el
391 fenómeno cíclico denominado Oscilación del Sur El Niño es la variabilidad
392 climática en América Latina con mayor impacto socioeconómico para la
393 agricultura, más aún si se considera que esta actividad representa alrededor
394 de 10% del producto interno bruto de la región (Magrin *et al.*, 2007).

395 En México ¹ se estima que el promedio anual de temperatura proyectada para
396 2060 se incrementará de 1.1 a 3°C y los alcances de los valores medios de
397 precipitación variarán de -3 a 15%, conforme al modelo GCM (McSweeney *et*
398 *al.*, 2008). En el periodo de 2015 a 2039 se proyecta, en general, una disminución
399 en la precipitación de entre 10 y 20% (INECC-SEMARNAT, 2018). Asimismo,
400 ¹ durante las dos últimas décadas, alrededor de 80% de las pérdidas totales
401 económicas debidas a desastres relacionados con el clima ocurrieron en el
402 sector agrícola (McSweeney *et al.*, 2008).
403 ¹ Se estima que algunos de los efectos directos del cambio climático en la
404 agricultura de México podrían presentarse de manera diferenciada en algunas
405 regiones (Ramírez *et al.*, 2022), ¹ de acuerdo con sus condiciones particulares:
406 a) cambios en el desarrollo y productividad de los cultivos por afectaciones
407 en los ciclos fenológicos; b) incremento en el periodo libre de heladas de las
408 zonas agrícolas, lo que se traduciría en un mayor periodo útil para el
409 desarrollo de algunos cultivos y aumento en el número de ciclos agrícolas por
410 año; c) reducción en la superficie cultivable y en los rendimientos generados en
411 zonas de temporal debido al aumento en la duración e intensidad de la sequía;
412 d) afectaciones en los distritos de riego del noroeste del país en cuanto a
413 disponibilidad de agua; y e) reducción en la precipitación y aumento en la
414 temperatura que limitará la producción en el ciclo primavera-verano en los
415 distritos de riego localizados en las zonas áridas y semiáridas de México
416 (McSweeney *et al.*, 2008; INECC-SEMARNAT, 2018).

417 Debido a la variada topografía en México que impone diferencias climáticas
418 entre las diversas regiones del país, ¹ a la alta heterogeneidad de este país en
419 términos de ecosistemas, distribución de la población y de culturas, ¹ se estima
420 que existirá un decremento en la superficie arable y en los rendimientos de las
421 cosechas de cultivos debido al cambio climático, lo cual implica retos para aliviar
422 la pobreza y asegurar la alimentación y bienestar de las poblaciones locales y las
423 regionales. Por ejemplo, los cambios en los rendimientos variarán en una
424 reducción aproximada de 30% para México (Lobelland y Ortiz-Monasterio,
425 2010); ³² se estima que una reducción de 10% en la productividad de los cultivos
426 promoverá 2% adicional de la población que emigra a los Estados Unidos. Lo
427 anterior significa que como resultado de la declinación en la producción agrícola
428 para el 2080 el cambio climático inducirá por sí solo la migración entre 1.4 a
429 6.7 millones de mexicanos, lo que representa de 2 a 10% de la actual
430 población en el rango de edad de 15 a 65 años (Feng *et al.*, 2010).
431 Además de que ¹ es relevante ampliar el número de estudios e investigaciones
432 que evalúen, mediante modelos, los escenarios de cambios y transiciones
433 potenciales climáticos sobre los procesos agroambientales y el rendimiento
434 de cultivos en localidades y marcos regionales específicos (Castillo-Martínez
435 *et al.*, 2022), se requiere profundizar en la contextualización de los procesos
436 agroambientales regionales frente al cambio climático y hacer énfasis en la
437 importancia de los sistemas productivos agrícolas, con ejemplos de la fruticultura,
438 en los procesos de adaptación y mitigación, cuestiones a las que se orienta este

439 capítulo. Esto se da bajo la consideración de los enfoques de servicios
440 ecosistémicos y basados en la comunidad.

441 **1 Procesos agroambientales regionales frente al cambio climático**

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

449 En este sentido, **1** los impactos de los cambios bioclimáticos presentan dos tipos
450 de retos para las naciones en desarrollo: 1) se refiere a que la naturaleza y
451 duración de este tipo de eventos climatológicos ejercerá mayor presión sobre
452 los territorios y las poblaciones ya de por sí vulnerables (i.e. falta de acceso a
453 agua potable, hambrunas y pobreza); y 2) se define **1** que las políticas sobre
454 el desarrollo y crecimiento económico tendrán que incluir en su agenda la
455 vulnerabilidad específica regional asociada a la sensibilidad de espacios y
456 poblaciones particulares a tales impactos, en este caso de sistemas
457 agroproductivos frutícolas.

458 **1** Sin embargo, debido la existente incertidumbre para predecir las variables
459 bioclimáticas (i.e. los valores de temperatura y precipitación asociados a
460 condiciones extremas ambientales o ecológicas), así como la distribución e

461 impacto de los cambios en las condiciones biofísicas promedio regionales, es
462 preciso que la investigación se fortalezca para orientar acerca de los vínculos
463 entre los impactos del cambio climático, los servicios ecosistémicos, la
464 vulnerabilidad socioterritorial, las condiciones de producción agroproductivas y
465 las estrategias de mejoramiento del bienestar humano y de adaptación y
466 mitigación local y regional.

467 Como ejemplo, se refiere que el cambio climático tiene un gran impacto en los
468 cultivos frutales perennes, amenazando así la disponibilidad de alimentos. De
469 hecho, los factores climáticos afectan a varios aspectos de las plantas como los
470 estados fenológicos, los procesos fisiológicos, la frecuencia de enfermedades
471 y plagas, el rendimiento y la composición cualitativa de los tejidos vegetales y
472 los productos derivados. De tal forma, a fin de mitigar los efectos de la
473 variabilidad de los parámetros climáticos las plantas implementan varias
474 estrategias de defensa cambiando las tendencias fenológicas, alterando la
475 fisiología, aumentando la captura de carbono y la síntesis de metabolitos
476 (Medda *et al.*, 2022). Como parte de este enfoque integral para comprender el
477 impacto del cambio climático es también preciso facilitar el desempeño de los
478 procesos económicos, en este caso agroproductivos frutícolas a partir de la
479 ¹ competitividad que supone diferentes procesos de generación de capacidades,
480 que a su vez dependen no solo de factores macroeconómicos, sino también de
481 las condiciones ambientales que ofrece el propio territorio.

1
482 En el desarrollo de la competitividad de territorios para el logro de la
483 sustentabilidad deseada, como parte del contexto de economías
484 agroambientalmente sanas, se debe investigar de manera interdisciplinaria lo
485 siguiente: la adopción de prácticas eficientes de uso de energía; la reducción
486 regional de tasas de emisión de carbono; el mejoramiento del uso del suelo
487 ampliando las posibilidades de incrementar la captura de carbono; la necesidad
488 de proteger los servicios ecosistémicos; y promover la eficiencia del uso de
489 los recursos naturales. Así, se ha reconocido a la planeación del territorio y
490 el ordenamiento ecológico como medios de adaptación, mitigación y reducción
491 de los riesgos impuestos por el cambio climático en los modos de vida de la
492 gente, los recursos naturales, los servicios ambientales y las actividades
493 productivas y económicas, todo ello a través de la reducción de la
494 vulnerabilidad con una adecuada conservación de los ecosistemas y una buena
495 gestión de las cuencas hidrográficas (Sukhdev *et al.*, 2014). 1 Dentro de este
496 contexto, tanto los espacios rurales como los urbanos, y por supuesto las tareas
497 de diseño ambiental de sistemas territoriales enfrentan retos ante los cambios
498 bioclimáticos por sus fuertes implicaciones para la seguridad alimentaria y el
499 bienestar del ser humano y sus sociedades regionales.

500 Las evaluaciones regionales ilustran que la vulnerabilidad y los costos
501 económicos a los impactos adversos de la variación y cambios climáticos tiene
502 múltiples causas. 1 El estado y la dinámica de estos procesos son diferentes en
503 cada territorio y generan condiciones de vulnerabilidad que difieren del carácter

504 y grado entre regiones y dentro de la economía y las sociedades (Estrada *et al.*,
505 2022). Por ejemplo, ¹ en virtud de la alta complejidad de los sistemas
506 agroproductivos frutícolas y de sus implicaciones para la evaluación regional
507 de las características de vulnerabilidad de las poblaciones, lugares y
508 actividades agrícolas, el examen de esta vulnerabilidad implica considerarla
509 como: a) la sensibilidad y la exposición de un sistema a presiones, estreses o
510 disturbios (internos y externos); b) el estado del sistema respecto de cierto
511 umbral de daño; y c) la habilidad del sistema para adaptarse a las condiciones
512 cambiantes (Luers, 2005).

513 Lo ideal sería encuadrar este examen bajo el marco de una evaluación del riesgo
514 climático, el cual tendría que considerar la ampliación del uso de la ciencia y la
515 tecnología existentes para permitir un mejor uso de los datos geoespaciales y
516 tratamiento de las incertidumbres, entre otros rasgos (Arribas *et al.*, 2022). En este
517 sentido, ¹ la vulnerabilidad de los sistemas agroproductivos frutícolas requiere
518 identificar el umbral o punto de referencia por arriba o por debajo del que dicho
519 sistema es dañado, tal como es el nivel de degradación de un ecosistema o el
520 promedio del nivel de ingreso relativo a la línea de pobreza. La vulnerabilidad
521 es una cualidad dinámica que puede ser alterada gradual o repentinamente por
522 cambios en las condiciones sociales o biofísicas. ⁵⁵ De esta forma, la evaluación
523 de la actual vulnerabilidad de un sistema agroproductivo frutícola puede incluir
524 la evaluación de lo siguiente: las condiciones socioeconómicas; el riesgo
525 climático actual; las percepciones locales acerca del riesgo climático y sus

526 impactos; el perfil de los modos de vida en lugares específicos; y los marcos
527 institucionales.

528 En la medida en que ¹ la adaptación a estas condiciones cambiantes (i.e.
529 infraestructura y/o equipamiento rural, disponibilidad de agua, contaminación
530 atmosférica, grado de sequía, inundaciones, susceptibilidad a heladas, entre
531 otros) puede modificar la vulnerabilidad del propio sistema agrícola, la propia
532 capacidad adaptativa se refiere al potencial para adaptarse o reducir la
533 vulnerabilidad del sistema. Por lo tanto, la propia capacidad adaptativa es el
534 conjunto de acciones y estrategias de contención, mitigación, adaptativas y
535 de amortiguamiento que contribuyen a la vulnerabilidad mínima potencial. Por
536 ejemplo, se reporta que el potencial inherente de los frutales, aparte de los
537 desafíos medioambientales, consiste en mantener una cadena de producción
538 viable que implica diversas estrategias de gestión de las plantas, incluidas las
539 actividades de fitomejoramiento que explotan las propias variaciones.

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

547 ayuda para el desarrollo de cultivos frutales climáticamente inteligentes (Sarkar
548 *et al.*, 2021).

549 **Adaptación y mitigación al cambio climático**

550 ¹ A escala mundial se estima que el impacto potencial del cambio climático podrá
551 reducir los rendimientos ¹ de maíz en África y América Latina y que para el año
552 2050 la reducción será de 10%, lo cual equivale a 2 billones de US dólares por
553 año (Jones y Thornton, 2003). ¹ En virtud de que este último dato agregado no
554 refleja la amplia variabilidad regional y de los sistemas de cultivo involucrados,
555 es preciso evaluar el tipo de impacto ambiental por sitio específico y por sistema
556 de producción (Liu, *et al.*, 2004). ¹ Así, es preciso desarrollar herramientas
557 metodológicas para probar la respuesta de los sistemas agropecuarios
558 frutícolas (a escala de sitios específicos) a factores ambientales (i.e. aumento
559 en la temperatura y cambio en los regímenes hidrológicos) y al manejo de
560 insumos (i.e. fertilización nitrogenada y biofertilización) como parte de la
561 elaboración de modelos funcionales de cambio a nivel regional.

562 De igual forma se ha identificado que es indispensable estudiar las medidas de
563 adaptación locales y regionales que tienen potencial para reducir las pérdidas
564 relacionadas con el clima en la agricultura, por ejemplo, el manejo del riesgo en
565 la producción agrícola desde un punto de vista socioeconómico, el cual
566 representa una prioridad en la investigación sobre la capacidad adaptativa de
567 los sistemas humanos y productivos que promueven la integración del cambio
568 climático con las políticas de desarrollo (Magrin *et al.*, 2007). ¹ De igual forma se

569 refiere que es necesario incluir en la agenda de investigación los efectos de estas
570 variaciones en función de las medidas agronómicas aplicadas por los
571 productores intrarregionalmente para contender con dichos cambios, tanto en
572 el manejo de los recursos del suelo y agua como de los cultivos e insumos
573 (Thomas *et al.*, 2007).

574 ¹ Así, las prácticas productivas (económicas, tecnológicas y sociales) deberán
575 ser evaluadas como medidas de contención, mitigación y adaptación ante los
576 riesgos y variaciones climáticas con objeto de reducir la vulnerabilidad y ampliar
577 la resiliencia de la agricultura, y consecuentemente incrementar los
578 rendimientos (Haim *et al.*, 2008). ¹ Finalmente, es claro que las elecciones que
579 hace el productor respecto al tipo de agricultura a seguir, las estrategias
580 tecnológicas que desarrolla, así como las decisiones económicas y de manejo
581 de los recursos naturales que ejecuta revelan que todas ellas son dependientes
582 del clima y del medio ambiente (Seo *et al.*, 2008).

583 ¹ Particularmente, bajo el marco del proyecto “*Mitigation of Climate Change in*
584 *Agriculture*” (MICCA), el cual inició a principios de 2010, la Organización para
585 la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) viene apoyando
586 los esfuerzos para mitigar en la agricultura el cambio climático en países en
587 desarrollo, en la medida que se orienten las prácticas agrícolas hacia un
588 enfoque de reducción de emisión de GHG y de captura de carbono en la
589 biomasa y suelos, al mismo tiempo que se crea resiliencia y aumenta la
590 productividad de los sistemas agrícolas. Las principales premisas de este

591 proyecto consisten en promover que la adaptación y mitigación deben ser
592 consideradas desde la perspectiva de la toma de decisiones de los propios
593 agricultores, a los cuales se les permita obtener un beneficio complementario
594 al tocante incremento de la productividad agrícola en compatibilidad con la
595 elección de la tecnología apropiada para las condiciones del clima y las
596 circunstancias locales (i.e. en la producción de cultivos, el uso de fertilizante
597 inorgánico puede ser optimizado o por fertilizantes orgánicos con objeto de
598 reducir contaminantes y aumentar el contenido de materia orgánica en el
599 suelo por cada zona agroecológica).

600 Las opciones que se buscan en la mitigación mediante la agricultura necesitan
601 beneficiar la adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria y el
602 desarrollo rural en orden de promover la sustentabilidad a largo plazo. De los
603 proyectos hasta el año 2010 evaluados por la FAO (2014), 74% se dirigieron a
604 la incorporación de ¹prácticas agrícolas, tales como agricultura de conservación,
605 producción de composta, agricultura orgánica, agroforestería, manejo de
606 recursos naturales, reforestación, conservación de bosques y bioenergía.

607 Los principales beneficios incluyeron el pago por servicios ambientales,
608 conservación de cuencas y biodiversidad e incremento en la productividad.

609 Otros beneficios correspondieron a actividades de educación ambiental,
610 conciencia del valor de los servicios ecosistémicos, percepción de
611 financiamiento y de los bonos de carbono para mejorar el clima, así como la
612 planeación y manejo de sistemas de crédito de carbono por los gobiernos

613 centrales (Seeberg-Elverfeldt y Tapio-Biström, 2010).

614 Respecto a ¹ la agricultura y sus co-beneficios ecológicos para el desarrollo
615 sustentable, esta ha sido incorporada como parte del debate y discurso de
616 políticas climáticas a nivel internacional. La FAO ha alertado a los países que
617 negocian la UNFCCC de que se puede perder una oportunidad crucial ¹ si no se
618 vincula el gran potencial de la agricultura (valorada como un servicio
619 ecosistémico terrestre) en la mitigación del cambio climático con el incremento de
620 la producción de alimentos, la seguridad alimentaria, la resiliencia y los
621 procesos de adaptación. Estos aspectos de política e investigación han sido
622 considerados bajo el contexto del Grupo Consultor para la Investigación sobre
623 Agricultura Internacional (CGIAR).

624 En suma, se refiere que ¹ los principios del potencial que tiene la agricultura para
625 la mitigación y adaptación se relacionan con lo siguiente: 1) incluye cierto
626 rango de reducción de emisiones terrestres, almacenaje y opciones de captura
627 como parte de las políticas e inversiones institucionales para el cambio
628 climático; 2) forma parte de los instrumentos de políticas e inversión basados
629 en el mercado que regulan, promueven y controlan mediante incentivos
630 económicos la reducción de emisión de contaminantes (“*Cap-and-trade*
631 *systems*” o “*Emissions trading*”); 3) vincula la mitigación terrestre con la
632 adaptación, desarrollo rural y estrategias de conservación; 4) promueve los
633 programas basadas en amplias superficies que son integrados a través de
634 varios sectores económicos y paisajísticos, por ejemplo la planeación de

635 cuencas que asegura el manejo de ecosistemas vinculados al territorio, las
636 poblaciones y a las estrategias de desarrollo; 5) promueve mercados voluntarios
637 que compensan la emisión de GHG; 6) moviliza a nivel mundial un movimiento
638 interconectado para el apoyo y consumo de la producción agrícola y sus
639 productos amigables con el ambiente y el clima (Scherr y Sthapit, 2009).

640 **La agricultura y la adaptación al cambio climático basada en los servicios** 641 **ecosistémicos**

642 ¹ La agricultura es una actividad que provee a las poblaciones humanas de
643 alimentos, materias primas para su vestido, medicinas y otros productos para
644 su bienestar, así como de servicios ecosistémicos vitales, tales como
645 biodiversidad, formación de suelo, regulación de los ciclos hídricos, secuestro
646 de carbono, entre otros. En la medida que se espera que la población mundial
647 alcance la cifra de 9.1 billones para el 2050, la producción agrícola necesita
648 aumentar conforme a la creciente demanda, para lo cual el cambio climático
649 representa un reto importante sobre todo debido a que 75% de las poblaciones
650 que viven en áreas rurales del mundo dependen de la agricultura, la forestería
651 y del sector de la pesca (FAO, 2021). La agricultura a escala mundial
652 enfrenta muchas restricciones para el logro de una productividad óptima,
653 respecto al acceso de recursos productivos, mercados y servicios, lo que en su
654 conjunto limita sus contribuciones a amplias metas del desarrollo económico y
655 social, regional y local para todos los casos.

656 ¹ Se considera que las variaciones en la demanda de agua (cantidad y

657 confiabilidad en su abasto) producidas por los efectos del cambio climático
658 sobre la agricultura, en la medida que esta es la actividad humana que más
659 necesita de dicho recurso en el mundo, amenazará no solo el bienestar de
660 millones de agricultores y campesinos con escasos medios, sino también
661 afectará el abastode alimentos para los consumidores locales (Rosenzweig *et*
662 *al.*, 2004; Torres-Lima *et al.*, 2022). De esta manera, los efectos del cambio
663 climático en la agricultura causan una gran influencia en su propio
664 desempeño ambiental, productivo y económico. Como ejemplo de lo señalado
665 anteriormente, la producción agrícola y frutícola es sensible a dos amplias
666 clases de efectos inducidos por el clima: 1) los efectos directos producidos por
667 cambios en la temperatura, precipitación y concentraciones de dióxido de
668 carbono, y 2) los efectos indirectos que ocurren mediante los cambios de
669 humedad del suelo y la distribución y frecuencia del ataque de plagas y
670 enfermedades (Fedoroff, 2010).

671 Estos cambios, dependiendo del tipo de impacto por sitio específico y por
672 sistema de producción frutícola, pueden afectar la respuesta fisiológica de las
673 especies vegetales, lo que conduce a su rendimiento biológico y productivo en
674 la sincronización para la adquisición de recursos en sus diferentes fases
675 fenológicas y eventos reproductivos entre especies respecto de variaciones en
676 los regímenes de precipitación, temperatura y en la concentración de CO₂.

677 Bajo estas consideraciones se estima que las adaptaciones de la agricultura al
678 cambio climático pueden implicar medidas agronómicas (fecha de plantación

679 temprana, reducción de la evaporación del suelo, ampliación del riego), mejora
680 genética (cultivares con mayor necesidad de grados-día de crecimiento) y
681 combinaciones de adaptaciones individuales (Wu *et al.*, 2023).

682 ¹ En virtud de que el cambio climático tiene un efecto importante en los
683 factores que rigen la absorción y acumulación de carbono en los ecosistemas
684 y, por tanto, desempeña un papel fundamental en la capacidad de estos
685 para secuestrar carbono en el futuro, queda claro que es necesario mantener
686 grandes extensiones de tierra para uso agrícola, en las cuales existe un
687 considerable potencial para mitigar las emisiones de carbono estimado en
688 alrededor de 0.6 Gt CO₂e al año para 2030 a escala mundial (Trumper *et al.*,
689 2009). Las emisiones antropogénicas netas mundiales de GEI se han
690 estimado en ⁵¹ 59±6,6 GtCO₂-eq⁹ en 2019, aproximadamente un 12% (6,5
691 GtCO₂-eq) más que en 2010 y un 54% (21 GtCO₂-eq) más que en 1990,
692 siendo la mayor parte y crecimiento de las emisiones brutas de GEI
693 correspondientes al CO₂, el cual procede de la combustión de combustibles
694 fósiles y procesos industriales (CO₂-FFI), seguido del metano (IPPC, 2023).

695 ¹ Si en el sector agrícola se adoptaran ampliamente prácticas de gestión óptimas
696 de carbono, se calcula que se podrían secuestrar por año de 5.5 a 6 Gt CO₂e
697 para 2030, cantidad comparable con las emisiones de ese sector. Alrededor
698 de 90% de este potencial podría lograrse mediante la mejora de los sumideros
699 de carbono y, aproximadamente, 10% mediante la reducción de emisiones.
700 Aunque la mayor parte (70%) puede llevarse a cabo en los países en desarrollo

701 se debe considerar que la principal posibilidad de mitigación radica en la gestión
702 de las tierras de cultivo y de pastoreo, y en la rehabilitación de suelos
703 orgánicos cultivados y tierras degradadas (Trumper *et al.*, 2009).

704 ¹ Para lograr lo anterior es preciso reconocer que en las áreas con altos niveles
705 de producción agrícola corresponde una baja diversidad de servicios
706 ecosistémicos o una baja multifuncionalidad de sistemas socio-ecológicos. Así,
707 las áreas o paisajes geográficos con alto valor para regular diversos servicios
708 ambientales frente al cambio climático (regulación: i.e. ciclo de nutrientes;
709 provisión: i.e. alimentos; y culturales: i.e. turismo) tienen mayores opciones para
710 el futuro, incluyendo una agricultura diversificada y plurifuncional (Raudsepp-
711 ¹ Hearne *et al.*, 2010). Esto implica el desarrollo de sistemas socio-ecológicos
712 que produzcan servicios ambientales plurales mediante la conservación y
713 restauración de los propios ecosistemas en correspondencia con la
714 intencionalidad explícita declarada en políticas de manejo y promoción social
715 con enfoques de contención de la vulnerabilidad y aumento de la resiliencia
716 de la propia agricultura a través del tiempo y espacio.

717 En virtud de que los agroecosistemas se encuentran en riesgo por las prácticas
718 que intensifican la producción más allá de los límites ecológicos (i.e.
719 degradación de suelos), se podría esperar que, mediante la restauración de las
720 funciones ecológicas de los sistemas agrícolas, los productores rurales puedan
721 contribuir a la reducción de las emisiones de GHG. Por ello es indispensable
722 reconocer que el enfoque de la adaptación basada en los ecosistemas

723 (“*Ecosystem-based adaptation*”), el cual consiste en el uso de los recursos
724 naturales y los servicios ecosistémicos puede formar parte de una estrategia
725 general de adaptación que ayudará a las poblaciones a contender con los
726 efectos adversos del cambio climático (Nalau, 2018).

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

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

745 curso al respecto. Así, se reconoce que el enfoque de adaptación basado en
746 ecosistemas debe ser un componente fundamental de la conciencia social, el
747 pensamiento político y de los procesos económicos (Munang *et al.*, 2011).

748 **La adaptación al cambio climático basada en la comunidad**

749 La FAO (2021) reporta que ⁹ incluso antes de la pandemia de COVID-19, el
750 mundo no estaba en vías de cumplir el compromiso compartido de acabar con
751 el hambre y la malnutrición mundial en todas sus formas para 2030. El Estado
752 mundial de la seguridad alimentaria y la nutrición de 2021 ⁹ estima que entre 720
753 y 811 millones de personas se vieron afectadas por el hambre en 2020, hasta
754 161 millones más que en 2019 con el aumento impulsado en gran medida por
755 la crisis del COVID-19 FAO (2021). Trágicamente, las mujeres y los niños a
756 menudo se han llevado la peor parte de la crisis.

757 Los sistemas agroalimentarios engloban la producción agrícola primaria de
758 alimentos y productos no alimentarios (de cultivos, ganado, pesca, silvicultura
759 y acuicultura), la producción de alimentos de origen no agrícola (por ejemplo,
760 carne sintética), la cadena de suministro de alimentos del productor al
761 consumidor y el consumidor final de alimentos. A nivel mundial, estos sistemas
762 producen unos 11,000 millones de toneladas de alimentos al año y constituyen
763 la columna vertebral de muchas economías (FAO, 2021). Se reporta que en un ⁹
764 mundo ideal los sistemas agroalimentarios serían resilientes, inclusivos y
765 sustentables, producirían alimentos suficientes, seguros y nutritivos para todos
766 y generando medios de vida que garanticen el acceso económico de las

767 personas a esos alimentos. Hoy en día, sin embargo, los sistemas
768 agroalimentarios no logran mantener alejados del hambre a 10% de la
769 población mundial (FAO, 2021).

770 ¹ De cualquier manera, la agricultura no solo es afectada por el cambio climático,
771 sino que por sí misma es uno de los principales emisores ¹ de contaminantes,
772 por lo tanto, el cambio climático tiene profundas implicaciones en que la
773 agricultura cumpla con las demandas de alimentos y productos de origen
774 vegetal al mismo tiempo que reduce el impacto ambiental de su producción
775 (Fedoroff, 2010).

776 Respecto a los tipos de adaptación, el Panel Intergubernamental sobre
777 Cambio Climático (IPCC) distingue diferentes ¹ categorías; particularmente,
778 la adaptación anticipatoria es aquella que toma lugar antes de que los
779 impactos del cambio climático sean observados. Asimismo, la adaptación
780 autónoma se refiere a aquella que no constituye una respuesta consciente
781 a los estímulos del clima, sino que es contenida por los cambios en los
782 sistemas naturales y mediante cambios en el mercado o en el bienestar en
783 los sistemas humanos.

784 Finalmente, la adaptación planeada es resultado de una decisión política
785 deliberada, basada en la preocupación por las condiciones que han
786 cambiado o que están por hacerlo en la medida en que un tipo de acción es
787 requerida para regresar, mantener o alcanzar un estado deseado de las
788 cosas. En su último reporte, el IPPC (2023) refiere que la eficacia de la

789 adaptación para reducir los riesgos climáticos está documentada en
790 contextos, sectores y regiones específicos, y que ³³ algunos ejemplos de
791 opciones de adaptación eficaces son: la mejora de los cultivos, la gestión y
792 el almacenamiento del agua en las explotaciones, la conservación de la
793 humedad del suelo, el riego, la agrosilvicultura, la adaptación basada en la
794 comunidad, la diversificación de la agricultura a nivel de explotación y de
795 paisaje, los enfoques de gestión sostenible de la tierra, el uso de principios
796 y prácticas agroecológicos, y otros enfoques que trabajan con procesos
797 naturales.

¹
798 En particular, las comunidades y sociedades rurales han venido ajustándose al
799 cambio de clima de manera discreta y reactiva. La idea de que la adaptación
800 debe ser planeada, proactiva y anticipatoria es una innovación e importante
801 componente de la adaptación basada en la comunidad (*Community-based*
802 *adaptation*, CBA). A partir de que el cambio climático afecta a las comunidades de
803 manera diferente de acuerdo con sus respectivas vulnerabilidades y capacidades
804 adaptativas, la adaptación debe ser específica y apropiada al contexto local;
805 sobre todo, si los proyectos de CBA se dirigen hacia el fortalecimiento de la
806 propia resiliencia de las comunidades y de sus ecosistemas (i.e. sistemas
807 agrícolas frutícolas) ¹ frente a los efectos de la variabilidad del clima.

808 La CBA emerge bajo la consideración de que la gente pobre es la más
809 vulnerable al cambio climático debido a que; a) sus modos de vida
810 directamente dependen de aquellos recursos naturales que tienen la tendencia

811 a sufrir estrés climáticos (i.e. la agricultura de temporal); b) que viven en lugares
812 remotos con dificultad de acceso a servicios y apoyos; y c) que son marginados
813 por estructuras sociales y políticas, lo que en su conjunto afecta su capacidad
814 adaptativa a los riesgos futuros de cambio (UNDP, 2015).

815 La CBA es un enfoque integral que mediante la provisión de pequeños
816 financiamientos para proyectos liderados por comunidades se orienta hacia:
817 apoyar ¹ la adaptación de los propios actores locales, incluso desde la
818 perspectiva de género; combina conocimiento local con científico; responde a
819 necesidades de adaptación tangibles; promueve la innovación dirigida por las
820 comunidades; provee de recursos materiales e información para el desarrollo
821 de capacidades adaptativas; permite la experimentación; hace fácil la
822 identificación y compartir las mejores prácticas; incrementa la resiliencia al
823 asegurarse que los actores locales se concienticen de por qué cambian las
824 condiciones locales y a qué deben adaptarse; además permite contribuir a los
825 procesos de adaptación, mediante su contribución en el diseño de políticas
826 regionales, nacionales e internacionales (CBA17, 2023).

827 **Conclusiones**

828 Es fundamental considerar que ¹ los procesos agroambientales tienen ante sí el
829 reto de proveer de alimentos a una población mundial de cerca de 9 billones
830 para el año 2050, la cual ejerce una incesante presión sobre los recursos
831 naturales, al mismo tiempo que los impactos del cambio climático multiplican el
832 riesgo de la misma producción agrícola.

833 De tal forma, los productores y las comunidades rurales son actores clave no
834 solo para el desarrollo económico y la seguridad alimentaria, sino también para
835 el manejo y conservación del medio ambiente y los ecosistemas. Para ello, las
836 prácticas de producción basadas en los recursos y servicios ecosistémicos,
837 tales como el manejo integrado de plagas, sistemas de producción para la
838 conservación y labranza mínima, la cosecha de agua, y el uso de materiales
839 y desperdicios orgánicos en las parcelas agrícolas, entre otros, son enfoques
840 que coadyuvan a mejorar el modo de vida y a la resiliencia de los habitantes
841 rurales, sus territorios y sus sistemas agroproductivos, en especial los
842 frutícolas.

843 Es preciso dejar ¹ claro que los principales objetivos que se persiguen con los
844 procesos de adaptación basados en los ecosistemas y las comunidades se
845 enfocan hacia la reducción de la pobreza y el logro del desarrollo sustentable,
846 al mismo tiempo que se logra fortalecer los beneficios medioambientales, la
847 resiliencia climática y vías de crecimiento de baja producción de carbono. El
848 marco internacional de políticas responsable por abordar el cambio climático
849 debe reconocer la vulnerabilidad de los procesos agroambientales. Hasta el
850 momento, ¹ la mayoría de las respuestas e iniciativas se enfocan a nivel nacional,
851 en vez de que remitan las necesidades a nivel regional y local en comunidades
852 y ecosistemas vulnerables, tales como la agricultura, sus sistemas
853 agroproductivos y sus productores, los cuales son directamente afectados
854 por el cambio climático.

855 Conforme a lo anterior, es imprescindible que las agendas de políticas de adaptación
856 induyan los lineamientos siguientes: 1) Se ¹ deben considerar las opciones de la
857 adaptación basada en los ecosistemas como un componente integral de la
858 reducción de los riesgos y de las estrategias de adaptación al cambio climático,
859 principalmente como parte de procesos de planeación del desarrollo local,
860 regional y nacional; 2) Los proyectos relacionados al cambio climático deben
861 tomar en cuenta las condiciones ambientales locales y los ecosistemas
862 involucrados, así como identificar las oportunidades para maximizar los
863 servicios ecosistémicos para la adaptación a la variabilidad del clima y en la
864 reducción de los riesgos, lo cual también implica la conservación de la
865 biodiversidad; 3) Las comunidades y los sectores de participación locales, sin
866 perder sus derechos de acceso a sus diversos tipos de recursos, deberán
867 involucrarse a través de todos los procesos de adaptación para asegurar el
868 buen diseño de proyectos que se dirijan hacia el desarrollo sustentable; 4) El
869 conjunto de los servicios ecosistémicos deberán ser reconocidos cuando se
870 lleven a cabo evaluaciones de costo-efectividad de las diferentes opciones de
871 adaptación; 5) La resiliencia de los sistemas sociales y ecológicos a los
872 riesgos naturales, los promovidos por el ser humano y los propios impactos
873 del cambio climático deberá ser facilitada mediante el mejoramiento del
874 manejo de los ecosistemas y el uso sustentable de los recursos; y 6) La
875 adaptación basada en los ecosistemas no es la única solución, sino que
876 representa un enfoque costo-efectivo de largo plazo que puede ser usada en

877 conjunto con otras medidas de adaptación y mitigación al cambio climático y al
878 manejo de desastres, en orden de reducir la vulnerabilidad de los procesos
879 agroambientales y de las poblaciones rurales, sus territorios y sus sistemas
880 agroproductivos, en especial los frutícolas.

881 **Referencias**

882 Arribas, A., Fairgrieve, R., Dhu, T. *et al.* (2022). Climate risk assessment needs
883 urgent improvement. *Nat Commun* 13, 4326 doi.org/10.1038/s41467-022-
884 31979-w

885 Baethgen, W. y Goodard, L. (2012). Latin American Perspectives on Adaptation of
886 Agricultural Systems to Climate Variability and Change. In Hillel, D. and
887 Rosenzweig, C. (eds.) *Handbook of climate change and agroecosystems:
888 Global and Regional Aspects and Implications*. London, Imperial College
889 Press. Doi.10.1142/9781848169845_0004

890 Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A. y Smith, P. (2008). *Cool farming: Climate
891 impacts of agriculture and mitigation potential*, Países Bajos, Greenpeace,

892 Bhattacharjee, P. Warang, O., Das, S. y Das, S. (2022). Impact of climate change
893 on fruit crops- A review. *Current World Environment*, 17(2):319-330.

894 Castillo-Martínez, S., Díaz-José, J., Leyva-Ovalle, O. *et al.* (2022). Urgently needed
895 transition pathways toward sustainability in agriculture: the case of Persian
896 lime (*Citrus latifolia* Tanaka) production in Veracruz, Mexico. *Environ Dev
897 Sustain*, doi.org/10.1007/s10668-022-02806-5

898 CBA17. (2023). The 17th International Conference on Community-based

899 Adaptation to Climate Change. Thailand, 22 – 25 May 2023.
900 www.iied.org/cba17-local-solutions-inspiring-global-action

901 Choudhury, A., Sen, J., Bhutia S. y Roy, P. (2017). Tropical and sub-tropical fruit
902 crops in the arena of climate change. *Journal of Pharmacognosy and*
903 *Phytochemistry*, 6(5): 574-575.

904 Estrada, F., Mendoza-Ponce, A., Calderón-Bustamante, O. *et al.* (2022). Impacts
905 and economic costs of climate change on Mexican agriculture. *Reg Environ*
906 *Change* 22, 126, doi.org/10.1007/s10113-022-01986-0

907 FAO. (2014). AQUASTAT Perfil de País - México. Organización de las Naciones
908 Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, FAO
909 www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/MEX

910 FAO. (2021). *The State of Food and Agriculture 2021. Making agrifood systems*
911 *more resilient to shocks and stresses*. Rome, FAO. doi.org/10.4060/cb4476en

912 Fedoroff, N., Battisti, D., Beachy, R. et al. (2010). Radically rethinking agriculture for
913 the 21st century. *Science*, 327:833-834.

914 Feng, S., Krueger, S. y Oppenheimer, M. (2010). Linkages among climate change,
915 crop yields and México-US cross-border migration. *Proceedings of the*
916 *National Academy of Sciences*, 107(32):14275-14262.

917 Haim, D., Shechter, M. y Berliner, P. (2008). Assessing the impact of climate
918 change on representative field crops in Israeli agriculture: a case study of
919 wheat and cotton. *Climatic Change*, 86:425-440.

920 Hillel, D. and Rosenzweig, C. (2012). Agriculture and environment in a crowding and
921 warming world. In Hillel, D. and Rosenzweig, C. (eds.) *Handbook of climate*
922 *change and agroecosystems: Global and Regional Aspects and Implications*.
923 London, Imperial College Press. doi.org/10.1142/9781848169845_0001

924 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Secretaría de Medio Ambiente
925 y Recursos Naturales (INECC-Semarnat). (2018). *México. Sexta*
926 *comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas*
927 *sobre el cambio climático*. México, INECC-Semarnat.

928 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change*
929 *2007: impacts, adaptation and vulnerability*, Working Group II, Contribution
930 to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment
931 Report, Suiza, IPCC,

932 IPCC. (2023). Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report. Suiza,
933 IPCC, www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

934 Jones, P. y Thornton, P. (2003). The potential impacts of climate change on
935 maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global*
936 *Environmental Change*, 13:51-59.

937 Kok, M., Tyler, S., Prins, L. *et al.* (2010). *Prospects for mainstreaming ecosystem*
938 *goods and services in international policies*, La Haya, Netherlands
939 Environmental Assessment Agency/International Institute for Sustainable
940 Development, p. 92.

941 Kuden, A. (2020). Climate change affects fruit crops. *Acta Hort.* 1281. doi
942 10.17660/ActaHortic.2020.1281.57

943 Liu, H., Li, X., Fischer, G. y Sun, L. (2004). Study on the impacts of climate
944 change on China's agriculture. *Climatic Change*, 65:125-148.

945 Lobelland, D. y Ortiz-Monasterio, I. (2007). Impacts of day versus night
946 temperatures on spring wheat yields. A comparison of empirical and
947 CERES model predictions in three locations. *Agronomy Journal*, 99: 469-
948 477.

949 Luers, A. (2005). The surface of vulnerability: An analytical framework for
950 examining environmental change. *Global Environmental Change*, 15:214-
951 223.

952 Magrin, G., Gay, C., Cruz, D. *et al.* (2007). Latin America. en M. Parry, et al. (eds.),
953 *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of*
954 *Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental*
955 *on Climate Change*, England, Cambridge University Press, 581-615.

956 McSweeney, C., New, M. y Lizcano, G. (2008). *Mexico. UNDP Climate change*
957 *country profile*. United Nations Development Programme, [[http://country-](http://country-profiles.geog.ox.ac.uk)
958 [profiles.geog.ox.ac.uk](http://country-profiles.geog.ox.ac.uk)].

959 Medda, S., Fadda, A. y Mulas, M. (2022). Influence of climate change on metabolism
960 and biological characteristics in perennial woody fruit crops in the
961 Mediterranean environment. *Horticulturae*, 8, 273.
962 doi.org/10.3390/horticulturae8040273

963 Munang, R., Thiaw, I. y Rivington, M. (2011). Ecosystem management:
964 Tomorrow's approach to enhancing food security under a changing
965 climate. *Sustainability*, 3:937-954.

966 Nalau, J., Becken, S. y Mackey, B. (2018). Ecosystem-based Adaptation: A review
967 of the constraints, *Environmental Science & Policy*, 89, 357-364,
968 doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.014.

969 Pielke, R., Prins, G., Rayner S. y Sarewitz, D. (2007). Lifting the taboo on
970 adaptation. Renewed attention to policies for adapting to climate change
971 cannot come too soon. *Nature*, 445(8):597-598.

972 Rajan, R., Ahmad, M., Pandey, *et al.* (2020). Climate Change and Resilience in Fruit
973 Crops. In *Climate change and its effects on agriculture*, Biotec Books, S/L,
974 337-354.

975 Ramírez, H., Fajardo, A., Ortiz, A. y De la Torre, O. (2022). The Agricultural Sector
976 and Climate Change in Mexico. *Journal of Agriculture and Ecology Research*
977 *International*, 23(3): 19-44,

978 Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. y Bennett, E. (2010). Ecosystem service
979 bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the*
980 *National Academy of Sciences*, 107(11):5242-5247.

981 Rodríguez, A. (2022). Introducción. En *Ciclo de disertaciones sobre cambio*
982 *climático y ambiente en la producción frutícola*. Instituto Nacional de
983 Tecnología Agrícola - EEA Alto Valle, Río Negro, Argentina. INTA.

- 984 Rosenzweig, C., Strzepek, K., Major, D. *et al.* (2004). Water resources for
985 agriculture in a changing climate: international case studies, *Global*
986 *Environmental Change*, 14:345-360.
- 987 Sarkar, T., Roy, A., Choudhary, S., y Sarkar, S. (2021). Impact of climate change
988 and adaptation strategies for fruit crops. In: Islam, M.N., van Amstel, A. (eds)
989 *India: Climate change impacts, mitigation and adaptation in developing*
990 *countries*. Springer Climate. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-
991 67865-4_4
- 992 Seeberg-Elverfeldt, S. y Tapio-Biström, M. (2010) *Global survey of agricultural*
993 *mitigation projects*. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 1,
994 Roma, FAO, 32.
- 995 Seo, N., Mendelsohn, R., Dinar, A. *et al.* (2008). *Long-term adaptation: Selecting*
996 *farm types across agro-ecological zones in Africa*. Policy Research Working
997 Paper 4602, Development Research Group, Washington, The World Bank,
- 998 Scherr, S. y Sthapit, S. (2009). *Mitigating climate change through food and land*
999 *use*. Report 179, Washington, Worldwatch Institute.
- 1000 Sharma, L., Sadhukhan, R. y Hota, D. (2021). Neutralising climate change through
1001 fruit crops. *A Journal of Crop Science and Technology*, 10(3):28-36, doi
1002 10.37591/RRJoCST
- 1003 Sukhdev P., Wittmer, H. y Miller, D. (2014). The Economics of Ecosystems and
1004 biodiversity (TEEB): Challenges and Responses, in D. Helm and C. Hepburn

1005 (eds), *Nature in the Balance: The Economics of Biodiversity*. Oxford. Oxford
1006 University Press.

1007 Thomas, D., Twyman, C., Osbahr H. y Hewitson, B. (2007). Adaptation to
1008 climate change and variability farmer responses to intra-seasonal
1009 precipitation trends in South Africa. *Climatic Change*, 83:301-322.

1010 Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B. *et al.* (2009). *The Natural Fix? The role of*
1011 *ecosystems in climate mitigation*, A UNEP rapid response assessment. United
1012 Nations Environment Programme, Cambridge, Reino Unido, UNEP-WCMC.

1013 Torres, P., Rodríguez, L. y Ramírez, C. 2009. Sustentabilidad y cambio climático.
1014 Lineamientos de políticas de adaptación para la agricultura y el desarrollo
1015 rural. *Veredas*, 10(18):39-62.

1016 Torres-Lima, P., Conway-Gómez, K. y Torres-Vega, P. (2022). Agriculture-Food
1017 Nexus. The Paradox of Sustainable Development in Mexico. In Leal Filho, W.,
1018 Kovaleva, M., Pokova, E. (eds) *Sustainable Agriculture and Food Security*,
1019 World Sustainability Series. Springer, Cham. Pp. 17-34.
1020 doi.org/10.10007/978-3-030-98617-9_2

1021 United Nations Development Programme, (UNDP) (2015). *Gender, Climate*
1022 *Change and Community- Based Adaptation Guidebook*. Nueva York,
1023 UNDP, 69.

1024 Van Hoof, S. (2023). Climate Change Mitigation in Agriculture: Barriers to the
1025 Adoption of Carbon Farming Policies in the EU. *Sustainability*, 15, 10452.
1026 doi.org/10.3390/su151310452

- 1027 ⁹⁹ World Meteorological Organization (WMO). 2021 State of the Climate in Latin
1028 America and the Caribbean (WMO-No. 1295). Geneva, 2021.
- 1029 ⁶⁴ Wu, L., Elshorbagy, A. and Helgason, W. (2023). Assessment of agricultural
1030 adaptations to climate change from a water-energy-food nexus perspective,
1031 *Agricultural Water Management*, 284, 108343,
1032 doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108343.
1033

1034 **Capítulo 3. Implicaciones del cambio climático en la producción frutícola**

1035 Helber Enrique Balaguera-López, Stanislav Magnitskiy, Joaquín Guillermo

1036 Ramírez-Gil, Gerhard Fischer

1037 **Resumen**

1038 Este capítulo tiene por objetivo mostrar una aproximación macro de los fenómenos
1039 ENOS (El Niño Oscilación del Sur) bajo condiciones tropicales y cómo afectan a los
1040 sistemas de producción frutícola con mayor dinamismo en Colombia por su
1041 potencial comercial como son los frutales de exportación, y también presentar
1042 elementos básicos asociados a estrategias de adaptación y mitigación a los efectos
1043 adversos de los fenómenos ENOS. Mediante el análisis histórico de área sembrada,
1044 producción y rendimiento de frutales con potencial de exportación en el país durante
1045 temporadas bajo la influencia de fenómenos ENOS, con el fin de visualizar los
1046 posibles efectos de estos eventos climáticos sobre los sistemas de producción, al
1047 igual que identificar estrategias potenciales para mitigar y adaptar los cultivos a
1048 estas condiciones.

1049 **Palabras clave:** Adaptación, fenómenos ENOS, temperatura, precipitación,
1050 mitigación.

1051 **Introducción**

1052 Las actividades agrícolas están directamente afectadas por los impactos
1053 potenciales del cambio climático (CC) debido a su dependencia directa de las
1054 variables asociadas al clima (Yohannes, 2016). El CC se refiere al cambio en
1055 variables climáticas como la precipitación y temperatura cuantificadas mediante

1056 herramientas estadísticas que identifican modificaciones en las medias de estas
1057 variables en espacios de tiempo mayores a 30 años (IPCC, 2014a). El CC en los
1058 trópicos se caracteriza por variaciones de los patrones de lluvia (incrementos y
1059 disminución), de la temperatura y precipitación (IPCC, 2014b). El aumento de la
1060 frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos afectan la seguridad
1061 alimentaria de la humanidad (IPCC, 2019). Otros efectos del CC sobre los cultivos
1062 incluyen eventos extremos de temperaturas altas, sequías, irradiaciones solares
1063 altas, inundaciones, tormentas de lluvia, entre otras (Zegeye, 2018).

1064 Como uno de los factores que más altera el clima en el planeta Tierra y, por ende,
1065 mayor influencia presenta sobre el CC se asocia a la concentración del CO₂, la cual
1066 se proyecta que para finales de este siglo aumentará en el aire hasta 600 o 700
1067 ppm, lo que causaría un incremento de la temperatura promedio sobre la superficie
1068 de la tierra en unos 4,5 - 5,0°C (Leung *et al.*, 2014). Por su parte, según cálculos del
1069 IPCC (2013), la temperatura promedio de aire considerada también en el mismo
1070 tiempo aumentaría entre 2,6 y 4,8°C. La causa de este aumento en la temperatura
1071 es el efecto invernadero (EI) generado, sobre todo, por el incremento de la
1072 concentración de CO₂ (eCO₂) y otros gases en las actividades antropogénicas
1073 (Fischer *et al.*, 2022a). El calentamiento global afecta directamente la estructura y
1074 función de los ecosistemas (Fischer *et al.*, 2022a), incluyendo la fisiología, el
1075 crecimiento y desarrollo de los frutales (Ceulemans *et al.*, 1999). Las condiciones
1076 ambientales pueden alterar las plantas durante todos sus estados de crecimiento y
1077 desarrollo (Ali *et al.*, 2021); aunque las plantas son capaces de activar cambios

1078 fisiológicos y moleculares específicos para responder a condiciones adversos
1079 ambientales y minimizar así el daño (Zandalinas *et al.*, 2016), en el campo, las
1080 condiciones de estrés abiótico ocurren todas al mismo tiempo, lo que constituye una
1081 situación única de estrés y no una combinación de estrés aditivo (Mittler, 2006).
1082 En especial, en el caso del efecto del CC sobre los frutales en el trópico, Ramírez y
1083 Kallarackal (2015) afirman que no se cuenta con mucha información disponible; es
1084 decir, se ha investigado y conocido poco sobre dónde y cómo los frutales pueden
1085 adaptarse al CC y de qué magnitud van a ser las potenciales afectaciones de este
1086 fenómeno sobre los cultivos (Porter *et al.*, 2017). Yohannes (2016) predice que los
1087 efectos van a ser más severos en los países del trópico y subtropical, donde hay
1088 temperaturas iniciales más altas, también en suelos marginales o degradados y en
1089 regiones de bajo desarrollo con una menor capacidad de adaptación.
1090 Se ha planteado de forma macro que uno de los mayores impactos del CC en la
1091 producción de frutales -caso aguacate- en el continente americano sería las
1092 variaciones de su distribución, dando lugar a que en las regiones tropicales esta
1093 especie se movería en el perfil altitudinal hacia las zonas altas, mientras que en las
1094 regiones subtropicales migraría hacia las latitudes bajas y altas, donde las
1095 temperaturas actuales son más bajas, pero que en escenarios de CC se espera
1096 incrementos (Ramírez *et al.*, 2019a). Debido a esta nueva situación, se hace
1097 necesario realizar una aproximación de cómo serán los potenciales cambios en las
1098 variables de clima que en muchos casos se proyectan como adversas para los
1099 frutales, y así poder tener una comprensión completa de los múltiples efectos del

1100 CC en la fisiología de las plantas como base para lograr la apropiada adaptación de
1101 los cultivos y los mecanismos de adecuación (Swaminathan y Kesavan, 2012).
1102 Enseguida se presentan de forma general las implicaciones de algunos de los
1103 factores ambientales asociados al CC sobre la fisiología y parámetros de producción
1104 de diferentes frutales.

1105 **Temperatura**

1106 Uno de los principales efectos del CC es el aumento en la temperatura que puede
1107 tener efectos positivos y/o negativos. Por una parte, estimula el crecimiento de las
1108 especies vegetales cultivables y no cultivables, lo que conlleva a una disminución
1109 de las fases fenológicas y reduce el tiempo de formación del fruto, esto es, el número
1110 de frutos y sus semillas podría ser reducido y así también la formación y viabilidad
1111 del polen (Larcher, 2003). Como consecuencia se recorta la percepción de la luz
1112 por los ciclos de crecimiento atenuados y una alteración de los procesos
1113 relacionados con el balance de carbono de la planta (Barnabás *et al.*, 2008). En
1114 muchos casos, las temperaturas altas implican el cierre estomático que
1115 adicionalmente reduce las tasas fotosintéticas debido a un menor influjo del CO₂ a
1116 las hojas (DaMatta *et al.*, 2010). En estas condiciones, por el mayor aumento de la
1117 respiración de la planta comparado con la fotosíntesis, se disminuye la ganancia
1118 neta del carbono (DaMatta *et al.*, 2010). Las temperaturas elevadas perjudican los
1119 frutales, sobre todo por el menor cuajado de los frutos que reduce la producción
1120 (Fischer *et al.*, 2016). Estos autores reportan en la vid, que las temperaturas
1121 superiores a los 35°C restringen el cuajado, mientras que en mango las que pasan

1122 los 35°C disminuyen la viabilidad del polen y el cuajado de los frutos. Asimismo, el
 1123 alto calor nocturno estimula la degradación de los fotoasimilados, limitando el
 1124 llenado y la calidad organoléptica de los frutos (Das, 2012).
 1125 Por su parte, en cítricos, un incremento en la temperatura del aire induce al
 1126 engrosamiento de mesófilo y epidermis de hojas, igual que un incremento en la
 1127 densidad estomática (Shafqat *et al.*, 2021). En el aguacate, los aumentos de
 1128 temperatura sumados a los déficits hídricos y asociados a fenómenos de
 1129 variabilidad climática en zonas tropicales acortan los ciclos de llenado del fruto, pero
 1130 afecta los parámetros de calidad visual (tamaño) y organoléptica (ácidos grasos),
 1131 (Ramírez-Gil *et al.*, 2020). En la tabla 1 se citan algunos ejemplos de la respuesta
 1132 en producción de algunos frutales cuando son sometidos a estrés por alta
 1133 temperatura.

1134 Tabla 1. Respuesta en producción de los frutales a temperaturas extremas en
 1135 contexto de cambio climático

Especie	Estrés y duración	Respuesta en producción	Referencia bibliográfica
Las plantas			
Maracuyá (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>)	Temperatura del aire que supera 30°C.	presentan exuberante crecimiento vegetativo, pero con muy poco cuajado de frutos.	Thokchom y Mandal (2017)

	Los árboles que no reciben suficiente cantidad de horas	Los árboles pueden florecer, pero las flores son de baja calidad y presentan deformaciones anatómicas. Un bajo porcentaje de cuajado de frutos.	Torres <i>et al.</i> (2017)
Olive (<i>Olea europaea</i> L.)	frío al estar expuestas permanentemente a temperaturas superiores a 22°C.		
	Exposición prolongada de árboles a las temperaturas de 36 (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)
Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)			

1136 Fuente: Elaboración propia.

1137 En frutales como el mango, litchi, macadamia, aguacate y cítricos, la inducción floral
1138 depende principalmente de temperaturas “frescas” (Fischer *et al.*, 2012) y es
1139 afectado por el calentamiento global (Rajan *et al.*, 2020). Por ejemplo, la inducción
1140 floral en mango ocurre cuando las inflorescencias se desarrollan bajo condiciones
1141 subtropicales frías inductivas (18°C día y 10°C noche o 15°C día y 10°C noche),
1142 (Fischer *et al.*, 2012). La alta temperatura también genera problemas luego de la
1143 inducción floral, por ejemplo, en regiones con temperaturas medias superiores a
1144 28°C, aceleran el crecimiento vegetativo en maracuyá, pero se reduce la producción
1145 por deshidratación del líquido estigmático (Fischer *et al.*, 2009). Por su parte, en
1146 gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*), temperaturas superiores a 30/25°C día/noche
1147 afectan la producción de flores (Jiménez *et al.*, 2012).

1148 En cuanto a la temperatura del suelo (TS), se le ha dado menos atención en los
1149 estudios de impacto climático, no obstante que este elemento también resulta
1150 afectado como consecuencia del calentamiento global (Jungqvist *et al.*, 2014). La
1151 TS influye en procesos importantes para los cultivos, como son la absorción de agua
1152 y nutrientes y la síntesis de hormonas en las raíces (Fischer y Ordúz-Rodríguez,
1153 2012); y es bien conocido que las raíces son un lugar de síntesis de hormonas,
1154 principalmente citoquininas (Lambers y Oliveira, 2019) y, también, las giberelinas
1155 que controlan el crecimiento por división y elongación celular, respectivamente (Taiz
1156 *et al.*, 2017).

1157 Para muchas especies tropicales, el rango de temperatura edáfica óptima se
1158 encuentra entre 20 y 25°C, pero no debe superar los 30 a 32°C (Rengel *et al.*, 2023).

1159 Para frutales, Agustí (2010) recomienda, en general, un rango de TS entre 10 y
 1160 30°C, ya que temperaturas inferiores y superiores reducen marcadamente el
 1161 desarrollo del sistema radical. Con temperaturas edáficas muy bajas (<10°C), la
 1162 absorción de nutrientes es muy limitada (Patil y Kulkarni, 2016), especialmente del
 1163 fósforo que se transporta a las raíces por difusión, así mismo, en las raíces que
 1164 crecen con baja temperatura, la permeabilidad de las membranas es reducida y la
 1165 viscosidad de los líquidos aumenta, lo cual disminuye su transporte en el sistema
 1166 radical y su entrada al xilema del tallo (Fischer y Orduz-Rodríguez, 2012).

1167 En uchuva *goldenberry*, con TS de 14, 22 y 30°C la mayor acumulación de masa
 1168 seca (MS) de la planta se obtuvo a 22°C, con mayor MS de raíces finas a 14°C,
 1169 pero la MS de frutos fue mayor a 30°C. La fotosíntesis y el uso eficiente del agua
 1170 incrementaron hasta 30°C, mientras que la tasa transpiratoria fue la más alta a 22°C
 1171 (Fischer *et al.*, 2000). En la tabla 2 se muestra el resumen de los efectos que
 1172 eventualmente puede generar el incremento de la temperatura del suelo, para más
 1173 detalles consultar a Fischer *et al.*, (2022c).

1174 Tabla 2. Parámetros fisiológicos de los frutales que se ven afectados por el
 1175 incremento de la temperatura del suelo, dentro del rango mínimo (unos 8-15°C) y
 1176 máximo (unos 32-43°C), según la especie.

	Incrementa	Disminuye
Proceso o parámetro	Síntesis hormonal, toma de agua y nutrientes. Tasa fotosintética, tasa transpiratoria, las conductancia estomática, uso eficiente del agua.	Tolerancia a inundaciones.

Biomasa de raíz y formación de raíces adventicias y crecimiento longitudinal de raíces. Biomasa de raíces finas

Crecimiento vegetativo, biomasa de la planta.

Fluidez y semipermeabilidad de las membranas.

Crecimiento reproductivo, número de frutos, biomasa de frutos.

1177 Fuente: Modificado de Fischer *et al.* (2022c).

1178 **Radiación solar**

1179 En periodos de alta radiación solar, ocasionados por la disminución de la capa
1180 atmosférica de ozono y el calentamiento global, las plantas son capaces de reducir
1181 más CO₂ y aumentar la producción de carbohidratos que garantizan un llenado y
1182 dulzura de los frutos de forma óptima (Sherman y Beckman, 2003). Los frutales en
1183 zonas con una radiación y temperatura mayor, dentro del rango óptimo de la
1184 especie, necesitan una menor área foliar para producir la misma utilidad que antes
1185 del potencial efecto del CC sobre la radiación; esto favorece a variedades con un
1186 rendimiento fotosintético más alto ya que no sufren por una temprana fotoinhibición
1187 (Fischer *et al.*, 2012). Pero una excesiva y prolongada radiación solar puede inducir
1188 golpes del sol en frutos carnosos y calentar tanto las células afectadas que los frutos
1189 se rajan (Fischer *et al.*, 2021a), lo que además puede agravarse por la presencia de
1190 patógenos que atacan estos tejidos enfermos, denominados patógenos secundarios
1191 (Fischer *et al.*, 2022d).

1192 En granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) el golpe de sol es la fisiopatía más
 1193 importante, provocada por el exceso de radiación solar en frutos desprotegidos por
 1194 las hojas, normalmente se acentúa luego de la poda de ramas o por una sequía que
 1195 también reduce el área foliar (Rivera *et al.*, 2002). El golpe de sol es igualmente un
 1196 factor abiótico de alto impacto en aguacate, donde provoca considerables pérdidas
 1197 al ser considerado un agente de rechazo de la fruta en proceso de selección
 1198 (poscosecha), y cuyo origen se ha asociado a altas radiaciones y árboles con bajas
 1199 áreas foliares (Ramírez-Gil *et al.*, 2020). Además, un exceso de radiación genera
 1200 golpe de sol en los frutos de gulupa y disminuye el desarrollo normal de la planta
 1201 (Jiménez *et al.*, 2012). Para mandarina Satsuma se detalla en la tabla 3 el efecto de
 1202 la alta radiación sobre la presencia de golpe de sol y de otros parámetros
 1203 fisicoquímicos.

1204 Tabla 3. Respuesta de los frutos de la mandarina Satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) a
 1205 la alta radiación causando golpe de sol.

Condición	Aumento	Disminución
Comparación de la severidad del daño usando los grados I: leve, II: poco, III:	Daños a epidermis y glándulas aumentaron con la severidad del golpe de sol. Polifenoles totales y actividad antioxidante se	Con la severidad del golpe del sol se disminuyeron en la corteza los contenidos de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> y total.

moderado- aumentaron en frutos sin Los carotenoides en la pulpa se
severo y IV: golpe del sol y los del grado III. redujeron con el aumento del
severo. Mayor firmeza en frutos daño.
quemados. Los sólidos solubles totales y la
acidez total titulable se
disminuyeron en frutos
quemados.

1206 Fuente: Modificado de Kim *et al.* (2022).

1207 Por otra parte, la ausencia de nubes, sobre todo en épocas secas prolongadas,
1208 hacen más probable la presencia de los rayos ultravioletas (UV), particularmente los
1209 UV-B entre 280 y 320 nm que inciden mayormente en zonas con altitudes más altas
1210 (Fischer *et al.*, 2022d). Varias especies han desarrollado mecanismos de protección,
1211 las hojas son más pequeñas, pero incrementan el número de capas de células en
1212 el mesófilo, por lo tanto, son más gruesas con una cutícula más resistente y, en
1213 algunos casos, pubescencia densa y mayor número de estomas en altitudes más
1214 altas. En uchuva (*Physalis peruviana* L.) se ha reportado como mecanismo de
1215 evolución una densa pubescencia en sus partes verdes (Fischer y Melgarejo, 2020).
1216 En lulo (*Solanum quitoense* Lam.) ha aumentado la concentración de antioxidantes
1217 (antocianinas) en el sistema vascular de la planta (Fischer *et al.*, 2022b), junto con
1218 la presencia de tricomas sobre sus pétalos y el fruto (Fischer y Orduz-Rodríguez,
1219 2012). Respecto a la mora, se reporta la presencia de tricomas glandulares y
1220 simples vellosidades (Moreno-Medina y Casierra-Posada, 2021). Como otro

1221 mecanismo de adaptación, la planta incrementa ciertos pigmentos fotoprotectivos
1222 como antocianinas y carotenoides, además de un mejor sistema antioxidante (Chen
1223 *et al.*, 2013). En los frutos también se desarrollan mecanismos de protección, donde
1224 se destaca el aumento de pigmentos, compuestos fitoquímicos como los fenoles
1225 solubles, flavonoles y la capacidad antioxidante (Martz *et al.*, 2010).

1226 Por otro lado, la baja radiación también es un problema asociado al CC que altera
1227 los sistemas productivos de frutales, y es una condición más acentuada en épocas
1228 de lluvias. La poca radiación presente no es suficiente para que los frutales
1229 mantengan altas tasas de fotosíntesis, por tal razón estarían por debajo de su punto
1230 de saturación lumínica. También se afecta la apertura estomatal que conlleva a
1231 menor intercambio gaseoso, esto puede alterar la fotosíntesis directamente, pero
1232 también de forma indirecta por un menor movimiento de iones a la parte aérea
1233 siguiendo la vía de flujo de masas. Lo anterior es más común para iones con
1234 movimiento y preferencia por xilema como Ca^{2+} y B, cuya disminución
1235 potencialmente causa problemas reproductivos y gran cantidad de fisiopatías en los
1236 frutos.

1237 La falta de luz en los frutales también se considera como responsable del pobre
1238 desarrollo del color. Por lo anterior, la baja radiación es un factor que disminuye la
1239 producción, pero también la calidad de los frutales. La gulupa es muy susceptible a
1240 los cambios de radiación solar porque afectan la productividad de las plantas, los
1241 días nublados disminuyen el crecimiento, la inducción de botones y la apertura
1242 florales (Fischer y Miranda, 2021). Ocampo y Posada (2012) afirman que la

1243 nubosidad excesiva durante la fructificación de la gulupa retrasa la maduración,
1244 disminuye el contenido de sólidos solubles y la calidad del jugo.

1245 **CO₂**

1246 El aumento de la concentración de CO₂ atmosférico está clasificado como una de
1247 las mayores causas del CC, y se predice un incremento a 600-700 ppm para fines
1248 de este siglo (Leung *et al.*, 2014). Las plantaciones de frutales son sistemas de
1249 producción que pueden secuestrar carbono de la atmósfera (Sharma *et al.*, 2021).
1250 Siendo el CO₂ el sustrato más beneficioso para la fotosíntesis, significa que es el
1251 contribuyente de mayor importancia en la producción mundial de los alimentos
1252 (DaMatta *et al.*, 2010).

1253 Las concentraciones elevadas de CO₂ (e-CO₂), pueden fomentar la fotosíntesis,
1254 aumentar la biomasa y el uso eficiente de agua e influyen en el incremento del
1255 rendimiento y la calidad de los frutos (Rajan *et al.*, 2020). Estos últimos autores
1256 señalan que el e-CO₂ intensificaría la fotosíntesis a temperaturas cercanas al óptimo
1257 del cultivo y no a la baja. Mishra *et al.*, (2019) afirman que la razón clave de esta
1258 fotosíntesis enriquecida es el aumento de la eficiencia de carboxilación de la
1259 RuBisCO, que es relativamente baja en la concentración del CO₂ atmosférico
1260 ambiental. Al respecto, en el transcriptoma de los tejidos foliares en fresa se
1261 identificaron 150 genes expresados diferencialmente en respuesta al e-CO₂, de los
1262 cuales 14 estaban involucrados en la fotosíntesis (Li *et al.*, 2020). Fischer *et al.*,
1263 (2022a) resaltan el “efecto de fertilización del CO₂” a los cultivos de frutales que
1264 aumentaría potencialmente bajo escenarios de CC.

1265 Los estudios en invernadero y con FACE (*Free-Air Carbon dioxide Enrichment*)
 1266 mostraron un aumento del rendimiento fotosintético y con esto una mayor
 1267 producción de uvas (Wohlfahrt *et al.*, 2018). En pitaya amarilla (*Selenicereus*
 1268 *megalanthus* K. Schum. ex Vaupel), las plantas con un e-CO₂ de 1.000 ppm
 1269 reaccionaron con 129, 68 y 233% de aumento en la toma diaria del CO₂, masa seca
 1270 del tallo y número de botones florales, respectivamente, además de 63% de mayor
 1271 peso fresco en los frutos comparado con los desarrollados en CO₂ ambiental (Weiss
 1272 *et al.*, 2010).

1273 Tabla 4. Procesos fisiológicos y parámetros de crecimiento y rendimiento que se
 1274 ven afectados por el e-CO₂ en frutales.

	Incrementa	Disminuye
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, regeneración de RuBP, nitrógeno foliar.

1275 * El proceso puede disminuir en algunos casos.

1276 Fuente: Elaborado a partir de Fischer *et al.* (2022a).

1277 Con un e-CO₂ entre 600 a 650 ppm muchas especies de plantas de tipo C3
 1278 aumentarán en 30% la velocidad de su crecimiento (Taiz *et al.*, 2017); además, el
 1279 e-CO₂ puede aliviar los efectos del estrés por sequía (Leakey, 2009) y anegamiento,
 1280 por ejemplo, en especies de *Prunus* (Pérez-Jiménez *et al.*, 2017). En cítricos, los

1281 cambios morfológicos de la hoja, en particular la disminución de la densidad
1282 estomática puede presentarse en respuesta al aumento de la concentración de CO₂
1283 (Vincent *et al.*, 2020). Algunos frutales compensan la reducción de la presión parcial
1284 del CO₂ en la altitud tropical por el aumento del número de estomas foliares, como
1285 reportan Fischer y Melgarejo (2020) para el caso de la uchuva.

1286 Sin embargo, se debe tener en cuenta que ⁵³ el mayor crecimiento de los frutales por
1287 el e-CO₂ exige un considerable suministro de nutrientes y agua, por lo cual es muy
1288 importante la selección de genotipos que se benefician del e-CO₂ y que presenten
1289 un alto uso eficiente de nitrógeno y agua (Fischer *et al.*, 2022a).

1290 **Cambios en precipitación**

1291 Como uno de los mayores efectos del CC -la reducción de precipitaciones-, se
1292 prevén condiciones de sequía. Además del déficit hídrico, están las altas
1293 temperaturas que generan factores de estrés abiótico de mayor envergadura y, en
1294 muchos casos por su ocurrencia simultánea perjudican el desarrollo de los cultivos
1295 y sus rendimientos (Zandalinas *et al.*, 2017). Asimismo, según estos autores, dichos
1296 desafíos ambientales conducen a estrés oxidativo en los cultivos por la síntesis de
1297 especies reactivas al oxígeno (ROS), principalmente por el desacople de las fases
1298 en la fotosíntesis; son las ROS la principal causa de daños importantes a nivel
1299 celular y molecular que luego desencadenan en graves problemas en la fisiología y
1300 la producción de los frutales, y en general de las plantas. De acuerdo con Restrepo-
1301 Díaz y Sánchez-Reinoso (2020), el estrés hídrico es una de las principales causas
1302 de pérdida de los rendimientos en los frutales, especialmente cuando el estrés se

1303 presenta en la etapa reproductiva, generando disminución en los rendimientos de 8
1304 a 40%.

1305 Mendoza-Vargas *et al.* (2021) observaron que en plantas de uchuva bajo estrés por
1306 déficit hídrico se presentó mayor temperatura foliar y prolina, sin embargo,
1307 disminuyeron la conductancia estomática, el contenido relativo de agua, la altura y
1308 el número de hojas. Bajo un estrés hídrico, las plantas de uchuva redujeron el
1309 crecimiento longitudinal de las ramas, por lo cual se perjudica el llenado y el número
1310 de los frutos que se desarrollan en la mayoría de los nudos de las ramas
1311 reproductivas (Fischer y Melgarejo, 2020). Del mismo modo, la menor área foliar y
1312 el cierre parcial de los estomas, promovido por el estrés hídrico, afectan
1313 notablemente la fotosíntesis y, en consecuencia, el crecimiento y producción de la
1314 planta, sobre todo si el estrés ocurre durante el llenado del fruto (Gariglio *et al.*,
1315 2007).

1316 El estrés hídrico severo, característico del fenómeno de variabilidad climática como
1317 El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)-El Niño, reduce drásticamente el crecimiento de
1318 la planta de uchuva generando hojas y frutos más pequeños (Fischer y Melgarejo,
1319 2014), y afectando de forma importante su productividad, tal como se presenta para
1320 algunos frutales en la tabla 5. Para el caso de granadilla, el estrés hídrico en las
1321 etapas reproductivas, desde la prefloración hasta el llenado del fruto, provoca la
1322 abscisión de las estructuras florales y reduce considerablemente el rendimiento
1323 (Miranda, 2020). Este efecto perjudicial en la fase reproductiva también está

1324 relacionado con la deficiencia de nutrientes como P, K, Ca y B (Fischer y Miranda,
 1325 2021).

1326 Existen mecanismos de adaptación según especie y variedad, p.e. en el caso de los
 1327 cítricos -citrange Carrizo y mandarina Cleopatra-; el Carrizo es más tolerante a las
 1328 condiciones de sequía y a altas temperaturas debido a su enfriamiento foliar por el
 1329 aumento de la transpiración y por su habilidad de modular el flujo de los electrones
 1330 fotosintéticos, por lo cual el daño oxidativo es menor (Zandalinas *et al.*, 2016). Pero
 1331 este proceso, en teoría, implicaría un aumento en el consumo de agua, lo cual sería
 1332 altamente limitante, pues durante dichos fenómenos se prevé una reducción en la
 1333 precipitación y los niveles de agua disponible en suelo. Bajo condiciones de sequía,
 1334 Bartels y Sunkar (2005) consideran al ácido abscísico (ABA) como una hormona
 1335 esencial que señala el estrés y está implicado en el control del cierre estomático, en
 1336 la expresión de genes que conducen a respuestas adaptativas y en la producción de
 1337 osmolitos compatibles (Zandalinas *et al.*, 2016).

1338 Tabla 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	Lahive <i>et al.</i> , (2019)

	un menor peso de frutos y semillas.	
Banano (<i>Musa sp.</i>)	Reducción en el tamaño de dedos y una disminución en el peso fresco de frutos.	Panigrahi <i>et al.</i> , (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 <i>et al.</i> , (2017)

1339 Fuente: Elaboración propia.

1340 Por su parte, Gariglio *et al.*, (2007) recomiendan la selección de variedades más
1341 tolerantes a la sequía, cuyas estrategias adaptativas estarían en el hecho de que
1342 presentan cierre estomático temprano, transpiración cuticular efectiva, reducción del
1343 área foliar por abscisión y habilidad de cambiar la orientación de la hoja hacia el sol.
1344 Igualmente, Fischer y Orduz-Rodríguez (2012) sugieren que los genotipos de
1345 frutales con un sistema radical profundo y extensivo son importantes para resistir
1346 periodos de estrés hídrico prolongados.

1347 **Anegamiento e inundación**

1348 Como efecto del CC, los eventos por anegamiento e inundación se están
1349 incrementando en frecuencia y son impredecibles a nivel global debido a las lluvias
1350 erráticas y no estacionales (Dubey *et al.*, 2021). La inundación de los suelos es uno
1351 de los factores más nocivos para la producción de los cultivos (Kaur *et al.*, 2020) y
1352 pueden causar pérdidas en los rendimientos de 10% a 40% (Aldana *et al.*, 2014); y
1353 su efecto es mucho más grave con la presencia de fenómenos climáticos como
1354 ENOS-La Niña. Por su parte, Schaffer *et al.*, (2009) observaron que, en uno o dos
1355 días de anegamiento, la concentración de oxígeno en el suelo puede disminuir de
1356 20% a <5%. Esta condición afecta notablemente el funcionamiento de la raíz; por
1357 ejemplo, en especies altamente susceptibles a inundación como el aguacate, la
1358 saturación de agua superior a 45% asociada a un contenido de gases en suelo
1359 menor de 35.9% presenta un alto impacto en variables de crecimiento y desarrollo
1360 de esta especie, dada la inducción del problema fisiopatológico conocido como
1361 pudrición de raíces por una condición de hipoxia-anoxia (Ramírez-Gil y Morales-
1362 Osorio, 2019).

1363 En este sentido y de acuerdo con Restrepo-Díaz y Sánchez-Reinoso (2020), el
1364 primer síntoma que se presenta es un cierre estomático que influye en la absorción
1365 pasiva de agua. También se produce un descenso de la transpiración, lo que
1366 provoca el marchitamiento y la senescencia de las hojas. El crecimiento del tallo, el
1367 área foliar, el cuajado del fruto y el rendimiento también pueden verse afectados
1368 (Restrepo-Díaz y Sánchez-Reinoso, 2020).

1369 Muchos frutales responden al estrés por inundación mediante la reducción de la
1370 tasa fotosintética y conductancia estomática como p.e. en citrus 'Cleopatra' (Pérez-
1371 Jiménez y Pérez-Tomero, 2021), aguacate (Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2019a)
1372 y papaya (Rodríguez *et al.*, 2014) o por el contenido o índice de clorofila en
1373 maracuyá (Basso *et al.*, 2019), gulupa (Chebet *et al.*, 2020) y naranjilla (Sánchez-
1374 Reinoso *et al.*, 2019). El anegamiento causa diferentes respuestas fisiológicas en
1375 plantas de uchuva; se ha reportado en plántulas de este frutal una disminución de
1376 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
1377 anegamiento (Chávez-Arias *et al.*, 2019). Estos mismos autores también
1378 encontraron disminución del potencial hídrico foliar, área foliar y parámetros de la
1379 fluorescencia de la clorofila *a* (Fv/Fm, ETR, Y(II) y qP), mientras que los contenidos
1380 de malondialdehído y prolina incrementaron.

1381 De acuerdo con Faria *et al.*, (2020) el maracuyá se considera como moderadamente
1382 sensible al exceso de agua en el suelo; sin embargo, Basso *et al.*, (2019) reportan
1383 que esta especie no tolera el anegamiento por más de 4 días, tal condición afecta
1384 notablemente el crecimiento de las raíces y el tallo. Esta observación concuerda con
1385 la clasificación de Crane *et al.*, (2020), donde reporta que las pasifloráceas no son
1386 tolerantes al anegamiento o terrenos inundados (Tabla 6). En el caso de la naranjilla
1387 (o lulo), la planta disminuye su crecimiento por anegamiento a partir de 6 días
1388 (Cardona *et al.*, 2016) y la fotosíntesis a partir de 3 días (Sánchez-Reinoso *et al.*,
1389 2019).

1390 Es necesario tener en cuenta que en cualquier grupo de tolerancia que se reporta
 1391 en la tabla 6, las plantas pueden ser afectadas por las enfermedades de raíces,
 1392 dado que la humedad podría actuar como factor predisponente en la planta o alterar
 1393 de forma directa la cantidad de inóculo del agente causal o actuar como mecanismo
 1394 de diseminación de la enfermedad (Ramírez-Gil *et al.*, 2021).
 1395 También se debe mencionar que cuando los periodos de lluvias son muy
 1396 prolongados puede afectarse la inducción floral, esto es debido a que algunos
 1397 frutales precisan un tiempo de déficit hídrico seguido de un buen suministro de agua,
 1398 como ocurre con la mandarina. En esta especie de la variedad 'Arrayana', Orduz y
 1399 Fischer (2007) reportan que se ⁷⁹presentó la principal floración completa después de
 1400 un periodo de estrés hídrico de 90 días, acumulando un déficit de 247 mm durante
 1401 ese tiempo.

1402 Tabla 6. Grupos de tolerancia en frutales tropicales y subtropicales al
 1403 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 x 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 x atemoya</i>)
	Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)	Pasifloráceas (<i>Passiflora spp.</i>)
	Banano (<i>Musa x paradisiaca</i>)	Jackfruit (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)

1404 Fuente: Adaptado por Crane *et al.* (2020).

1405 **Conclusiones**

1406 Los fenómenos de variabilidad y cambio climático con sus eventos extremos, tales
1407 como incremento en temperatura, variación en la precipitación, sequías, inundación,
1408 mayor radiación, entre otros, presentan múltiples efectos en la producción y calidad
1409 de los frutales, especialmente en el trópico y subtrópico, los cuales podrían ser
1410 perjudiciales. Por su parte, las temperaturas elevadas (>30°C) asociadas a la
1411 variabilidad y cambio climático disminuyen la duración de procesos de floración y
1412 de cuajado, afectan fotosíntesis, rendimiento y calidad del fruto acortando los ciclos
1413 fenológicos, pero con potenciales impactos sobre parámetros de calidad de los
1414 frutos por menor bioacumulación de compuestos funcionales.

1415 Las radiaciones solares altas y prolongadas causan el golpe del sol en los frutos
1416 carnosos, especialmente en frutales con deficiente área foliar y en altitudes mayores
1417 por la excesiva radiación UV. La baja radiación solar en épocas prolongadas de
1418 nubosidad y lluvia disminuyen la fotosíntesis, producción y calidad (color y sabor)
1419 de los frutos. En su caso, el aumento de la concentración de CO₂ atmosférico
1420 asociada al efecto invernadero y como una de las razones inherentes dentro de los
1421 fenómenos de cambio climático podrían favorecer la tasa fotosintética de los frutales
1422 y así la producción y calidad de los frutos, pero se trata de solo una variable dentro
1423 de muchas otras que se verán afectadas bajo escenarios de cambio climático. Para
1424 lograr entender cómo se comporta una especie deben desarrollarse ensayos bajo
1425 incrementos en temperatura, variaciones en precipitación, etcétera.

1426 El estrés hídrico que ocurre normalmente con temperaturas elevadas genera
1427 pérdida de producción en los cultivos, especialmente cuando sucede en la etapa
1428 reproductiva y en las primeras fases. Esta situación hace necesaria la búsqueda de
1429 patrones más adaptados a dicha adversidad, mediante múltiples respuestas como
1430 un cierre estomático más temprano, una reducción del área foliar y de la fotosíntesis,
1431 entre otros. Del mismo modo, el anegamiento y la inundación de los suelos son de
1432 los factores más nocivos para los cultivos debido a la falta de oxígeno para el
1433 funcionamiento de las raíces, lo que causa un cierre estomático más prolongado,
1434 marchitamiento y senescencia foliar prematura afectando en altos niveles la
1435 producción de los frutales. Por lo anterior, es indispensable desarrollar múltiples
1436 estrategias de mitigación y adaptación a este fenómeno.

1437 **REFERENCIAS**

- 1438 Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. 2nd ed. Madrid: Mundi-Prensa.
- 1439 Aldana, F., García, P. N. y Fischer, G. (2014). Effect of waterlogging stress on the
1440 growth, development and symptomatology of cape gooseberry (*Physalis*
1441 *peruviana* L.) plants. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*
1442 *Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149), 393-400.
- 1443 Ali, M. M., Yousef, A. F., Li, B. y Chen, F. (2021). Effect of environmental factors on
1444 growth and development of fruits. *Tropical Plant Biology*, 14, 226–238.
- 1445 Barnabás, B., Järger, K. y Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress
1446 on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 31, 11–38.
- 1447 Bartels, D. y Sunkar R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *CRC Critical*
1448 *Review of Plant Science*, 24, 23–58.
- 1449 Basso, C., Rodríguez, G., Rivero, G., León, R., Barrios, M. y Díaz, G. (2019).
1450 Respuesta del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) a condiciones de
1451 estrés por inundación. *Bioagro*, 31(3), 185-192.
- 1452 Cardona, W. A., Bautista-Montealegre, L. G., Flórez-Velasco, N. y Fischer, G.
1453 (2016). Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense*
1454 *var. septentrionale*) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista*
1455 *Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 53-65.
- 1456 Ceulemans, R., Janssens, I. A. y Jach, M. E. (1999). Effects of CO₂ enrichment on
1457 trees and forests: Lessons to be learned in view of future ecosystem studies.
1458 *Annals of Botany*, 84(5), 577-590.

- 1459 Chávez-Arias, C. C., Gómez-Caro, S. y Restrepo-Díaz, H. (2019). Physiological,
1460 biochemical and chlorophyll fluorescence parameters of *Physalis peruviana* L.
1461 seedlings exposed to different short-term waterlogging periods and fusarium
1462 wilt infection. *Agronomy*, 9, 213.
- 1463 Chebet, D., Kariuki, W., Wamocho, L. y Rimberia, F. (2020). Effect of arbuscular
1464 mycorrhizal inoculation on growth, biochemical characteristics and nutrient
1465 uptake of passion fruit seedlings under flooding stress. *International Journal of*
1466 *Agronomy and Agricultural Research* 16(4), 24-31.
- 1467 Chen, C., Li, H., Zhang, D., Li, P. y Ma, F. (2013). The role of anthocyanin in
1468 photoprotection and its relationship with the xanthophyll cycle and the
1469 antioxidant system in apple peel depends on the light conditions. *Physiologia*
1470 *Plantarum*, 149(3), 354-66.
- 1471 Crane, J. H., Balerdi, C. F. y Schaffer, B. (2020). *Managing your tropical fruit grove*
1472 *under changing water table levels*. Doc. HS957. Gainesville: Horticultural
1473 Sciences Department, UF/IFAS Extension.
- 1474 DaMatta, F. M., Grandis, A., Arenque, B. C. y Buckeridge, M. S. (2010). Impacts of
1475 climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research*
1476 *International*, 43, 1814-1823.
- 1477 Das, H. P. (2012). *Agrometeorology in extreme events and natural disasters*.
1478 Hyderabad: BS Publikations.
- 1479 Dubey, S. S., Kuruwanshi, V. B., Bhagat, K. P. y Ghodke, P. H. (2021). Impact of
1480 excess moisture in onion genotypes (*Allium cepa* L.) under climate change.

1481 International *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(3),
1482 166-175.

1483 Faria, L. O., Souza, A. G. V., Alvarenga, F. P., Silva, F. C. M., Junior, J. S. R.,
1484 Amorim, V. A., Borges, L. P. y Matos, F S. (2020). *Passiflora edulis* growth
1485 under different water regimes. *Journal of Agricultural Science*, 12(4).
1486 <https://doi.org/10.5539/jas.v12n4p231>

1487 Fischer, G., Orduz-Rodríguez, J. O. y Amarante, C. V. T. do. (2022d). Sunburn
1488 disorder in tropical and subtropical fruits. A review. *Revista Colombiana de*
1489 *Ciencias Hortícolas*, 16(3), e15703.
1490 <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15703>

1491 Fischer, G., Balaguera-López, H. E. y Cleves-Leguizamo, J. A. (2022c). Impact of
1492 soil temperature on fruit species within climate change scenarios. *Revista*
1493 *Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(1), e12769.

1494 Fischer, G., Parra-Coronado, A. y Balaguera-López, H. E. (2022b). Altitude as a
1495 determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia.
1496 A review. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 212-227.

1497 Fischer, G., Melgarejo, L. M. y Balaguera-López, H. E. (2022a). Review on the
1498 impact of elevated CO₂ concentrations on fruit species in the face of climate
1499 change. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2), e2475.

1500 Fischer, G. y Miranda, D. (2021). Review on the ecophysiology of important Andean
1501 fruits: *Passiflora* L. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2),
1502 9471–9481.

- 1503 Fischer, G., Balaguera-López, H. E. y Álvarez-Herrera, J. (2021a). Causes of fruit
1504 cracking in the era of climate change. A review. *Agronomía Colombiana*, 39(2),
1505 196-207.
- 1506 Fischer, G. y Melgarejo, L. M. (2020). The ecophysiology of cape gooseberry
1507 (*Physalis peruviana* L.) - an Andean fruit crop. A review. *Revista Colombiana*
1508 *de Ciencias Hortícolas* 14(1), 76-89.
- 1509 Fischer, G., Ramírez, F. y Casierra-Posada, F. (2016). Ecophysiological aspects of
1510 fruit crops in the era of climate change. A review. *Agronomía Colombiana*,
1511 34(2), 190-199.
- 1512 Fischer, G. y Melgarejo, L. M. (2014). Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana*
1513 L.). En: C. P. Carvalho y D. A. Moreno (eds.). *Physalis peruviana: fruta andina*
1514 *para el mundo*. Limencop SL, Alicante: Programa Iberoamericano de Ciencia
1515 y Tecnología para el Desarrollo – CYTED, 31-47.
- 1516 Fischer, G. y Orduz-Rodríguez, J. O. (2012). Ecofisiología en frutales. En: G. Fischer
1517 (ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Bogotá: Produmedios,
1518 54-72.
- 1519 Fischer, G., Ramírez F. y Almanza-Merchán P. J. (2012). Inducción floral, floración
1520 y desarrollo del fruto. En: G. Fischer (ed.). *Manual para el cultivo de frutales*
1521 *en el trópico*. Bogotá: Produmedios, 120-140.
- 1522 Fischer, G., Casierra-Posada, F. y Piedrahíta, W. (2009). Ecofisiología de las
1523 especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. En: D. Miranda G. Fischer, C.
1524 Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra, W. Piedrahíta, L.E. Flórez (eds.). *Cultivo*,

1525 *poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá,*
1526 *granadilla, gulupa y curuba.* Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias
1527 Hortícolas, 45-67.

1528 Fischer, G., Ebert, G. y Lüdders, P. (2000). Root-zone temperature effects on dry
1529 matter distribution and leaf gas exchange of cape gooseberry (*Physalis*
1530 *peruviana* L.). *Acta Horticulturae* 531, 169-173.

1531 Gariglio, N. F., Pilatti, R. A. y Agustí, M. (2007). Requerimientos ecofisiológicos de
1532 los árboles frutales. En: G. O. Sozzi (ed.). *Árboles frutales. Ecofisiología,*
1533 *cultivo y aprovechamiento* Buenos Aires: Editorial Universidad de Buenos
1534 Aires, 41-82.

1535 Helaly, M. N., El-Hoseiny, H., El-Sheery, N. I., Rastogi, A. y Kalaji, H. M. (2017).
1536 Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of
1537 mango. *Plant physiology and biochemistry*, 118, 31-44.

1538 IPCC. (2014a). Annex II: Glossary. En: *Climate Change 2014: Synthesis Report.*
1539 *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of*
1540 *the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva: IPCC.

1541 IPCC. (2014b). Fifth assessment report - impacts, adaptation and vulnerability. *Fifth*
1542 *Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
1543 Geneva: IPCC.

1544 IPCC. (2019). Summary for Policymakers. En: *Climate change andland: an IPCC*
1545 *special report on climate change, de-certification, land degradation,*

1546 *sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes*
1547 *terrestrial ecosystems*. Geneva: IPCC.

1548 IPCC. (2013). Summary for policymakers. En: T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner,
1549 M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley
1550 (eds.). *Climate change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of*
1551 *Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental*
1552 *Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

1553 Jiménez, Y., Carranza, C. y Rodríguez, M. (2012). Gulupa (*Passiflora edulis* Sims.).
1554 En: Fischer G. (ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Bogotá:
1555 Produmedios, 579-599.

1556 Jungqvist, G., Oni, S. K., Teutschbein, C. y Futter, M. N. (2014). Effect of climate
1557 change on soil temperature in Swedish boreal forests. *PLoS ONE* 9(4),
1558 e93957.

1559 Kaur, G., Singh, G., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Orlowski, J. M. y Golden, B. R.
1560 (2020). Impacts and management strategies for crop production in
1561 waterlogged or flooded soils: A review. *Agronomy Journal*, 112, 1475-1501.

1562 Kim, M., Park, Y., Yun, S. K., Kim, S.S., Joa, J., Moon, Y.-E., Do, G.-R. (2022). The
1563 anatomical differences and physiological responses of sunburned Satsuma
1564 mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruits. *Plants* 11, 1801.

1565 Lahive, F., Hadley, P., Daymond, A. J. (2019). The physiological responses of cacao
1566 to the environment and the implications for climate change resilience. A

1567 review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 5.
1568 doi.org/10.1007/s13593-018-0552-0

1569 Lambers, H., Oliveira, F. S. (2019). *Plant physiological ecology*. 3rd ed. Cham:
1570 Springer Nature.

1571 Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology*. Berlin: Springer-Verlag.

1572 Leakey, A. D. B. (2009). Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the
1573 future of C4 crops for food and fuel. *Proceedings of the Royal Society B*, 276,
1574 2333-2343.

1575 Leung, D. Y., Caramanna, G., Maroto-Valer, M. M. (2014). An overview of current
1576 status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and*
1577 *Sustainable Energy Review*, 39, 426-443.

1578 Li, X., Zhao, J., Shang, M., Song, H., Zhang, J., Xu, X., Zheng, S., Hou, L., Li, M.,
1579 Xing, G. (2020). Physiological and molecular basis of promoting leaf growth in
1580 strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) by CO₂ enrichment. *Biotechnology &*
1581 *Biotechnological Equipment*, 34(1), 905-917.

1582 Martz, F., Jaakola, L., Julkunen-Tiitto, R., Stark, S. (2010). Phenolic composition
1583 and antioxidant capacity of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) leaves in Northern
1584 Europe following foliar development and along environmental gradients.
1585 *Journal of Chemical Ecology*, 36, 1017–1028.

1586 Mateus Rodríguez, J. F. (2022). Evaluating the combined effects of climate change
1587 parameters on growth and physiology of *Theobroma cacao* L. PhD thesis.
1588 University of Reading. UK.

- 1589 Mendoza-Vargas, L. A., Villamarín-Romero, W. P., Cotrino-Tierradentro, A.S.,
1590 Ramírez-Gil, J. G., Chávez-Arias, C. C., Restrepo-Díaz, H., Gómez-Caro, S.
1591 (2021). Physiological response of cape gooseberry plants to *Fusarium*
1592 *oxysporum* f. sp. physali, fusaric acid, and water deficit in a hydroponic system.
1593 *Frontiers in Plant Science*, 12, 702842.
- 1594 Miranda, D. (2020). Granadilla: *Passiflora ligularis* Juss. In: A. Rodríguez, F. G.
1595 Faleiro, M. Parra, A. M. Costa (eds.). *Pasifloras - especies cultivadas en el*
1596 *mundo*. Brasilia DF: ProImpress and Neiva: Cepass, 65- 103.
- 1597 Mishra, A.K., Agrawal, S. B., Agrawal, M. (2019). Rising atmospheric carbon dioxide
1598 and plant responses: current and future consequences. En: *Climate change*
1599 *and agricultural ecosystems*. Elsevier, pp. 265-306.
- 1600 Mittler R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination.
1601 *Trends in Plant Science*, 11, 15-19.
- 1602 Moreno-Medina, B. L., Casierra-Posada, F. (2021). Caracterización de especies de
1603 mora (*Rubus* sp.) cultivadas en los altiplanos tropicales. En: G. Fischer, D.
1604 Miranda, S. Magnitskiy, H. E. Balaguera-López, Z. Molano (eds.). *Avances en*
1605 *el cultivo de las berries en el trópico*. Bogotá: Sociedad Colombiana de
1606 Ciencias Hortícolas, pp.102-112. doi.org/10.17584/IBerries
- 1607 Ocampo, J., Posada, P. (2012). Ecología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis*
1608 f. *edulis* Sims). En: J. Ocampo, K. Wyckhuys (eds.). *Tecnología para el cultivo*
1609 *de la gulupa en Colombia (Passiflora edulis f. edulis Sims)*. Cali: Centro
1610 Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 29-32.

- 1611 Orduz, J., Fischer, G. (2007). Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la
1612 inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte
1613 llanero de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25(2) 255-263.
- 1614 Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., Knox, J. W. (2021). Identifying
1615 opportunities to improve management of water stress in banana production.
1616 *Scientia Horticulturae*, 276, 109735.
- 1617 Patil, D.D., Kulkarni, M. E. (2016). Soil temperature and its influence of crop growth.
1618 *Readers Shelf* 12(9), 41-42.
- 1619 Pérez-Jiménez, M., Pérez-Tornero, O. (2021). Short-term waterlogging in Citrus
1620 rootstocks. *Plants* 10, 2772.
- 1621 Pérez-Jiménez, M., Hernández-Munuera, M., Piñero, M.C., López-Ortega, G., del
1622 Amor, F.M. (2017). CO₂ effects on the waterlogging response of 'Gisela 5' and
1623 'Gisela 6' (*Prunus cerasus* × *Prunus canescens*) sweet cherry (*Prunus avium*)
1624 rootstocks. *Journal of Plant Physiology*, 213, 178-187.
- 1625 Porter, J.R., Howden, M., Smith, P. (2017). Considering agriculture in IPCC
1626 assessments. *National Climate Change*, 7, 680–683.
- 1627 Rajan, R., Feza, M., Pandey, K., Aman, A., Kumar, V. (2020). Climate change and
1628 resilience in fruit crops. En: *Climate change and its effects on Agriculture*.
1629 Biotec Books, 337-354.
- 1630 Ramirez, F., Kallarackal, J. (2015). Responses of fruit trees to global climate change.
1631 *Springer Briefs in Plant Science*. Springer International Publishing.

- 1632 Ramírez-Gil, J. G., Castañeda-Sánchez, D., Morales-Osori, J. G. (2021). Edaphic
1633 factors associated with the development of avocado wilt complex and
1634 implementation of a GIS tool for risk visualization. *Scientia Horticulturae*, 288,
1635 110316,
- 1636 Ramírez-Gil, J. G., Cobos, M.E., Jiménez-García, D., Morales-Osorio, J. G.,
1637 Peterson A. T. (2019a). Current and potential future distributions of Hass
1638 avocados in the face of climate change across the Americas. *Crop and Pasture
1639 Science* 70, 694-708.
- 1640 Ramírez-Gil, J. G., Franco, G., Henao-Rojas, J. C. (2019b). Review of the concept
1641 of quality in Hass avocado and the pre-harvest and harvest factors that
1642 determine it under tropical conditions. *Revista Colombiana de Ciencias
1643 Hortícolas*, 13, 359–370.
- 1644 Ramírez-Gil, J. G., López, J. H., Henao-Rojas, J. C. (2020). Causes of Hass
1645 avocado fruit rejection in preharvest, harvest, and packinghouse: Economic
1646 losses and associated variables. *Agronomy*, 10, 8.
- 1647 Ramírez-Gil, J. G., Morales-Osorio, J. G. (2020). Development and validation of
1648 severity scales of avocado wilt complex caused by *Phytophthora cinnamomi*,
1649 *Verticillium dahliae* and hypoxia-anoxia disorder and their physiological
1650 responses in avocado plants. *Agronomía Colombiana*, 38(1), 85–100.
- 1651 Ramírez-Gil, J. G., Morales-Osorio, J. G. (2018). Microbial dynamics in the soil and
1652 presence of the avocado wilt complex in plots cultivated with avocado cv. Hass

1653 under ENSO phenomena (El Niño – La Niña). *Scientia Horticulturae*, 240, 273-
1654 280.

1655 Rengel, Z., Cakmak, I., White, P. J. (2023). *Marschner's mineral nutrition of plants*.
1656 4th edition. London: Academic Press.

1657 Restrepo-Díaz, H., Sánchez-Reinoso, A. D. (2020). Chapter 5. Ecophysiology of fruit
1658 crops: A glance at its impact on fruit crop productivity. En: A. K. Srivastava, C.
1659 Hu (eds.). *Fruit Crops - Diagnosis and Management of Nutrient Constraints*.
1660 Amsterdam: Elsevier, 59-66.

1661 Rivera, B., Miranda, D., Ávila, L., Nieto, A. (2002). *Manejo integral del cultivo de la*
1662 *granadilla Passiflora ligularis* Juss. Manizales: Editora Litoas.

1663 Rodríguez, G., Schaffer, B., Basso, C., Vargas, A. 2014. Efecto del tiempo de
1664 inundación del sistema radical sobre algunos aspectos fisiológicos y
1665 desarrollo del cultivo de lechosa (*Carica papaya* L.) *Revista Facultad de*
1666 *Agronomía (UCV)*, 40(3), 89-98.

1667 Sánchez-Reinoso, A. D., Jiménez-Pulido, Y., Martínez-Pérez, J. P., Pinilla, C. S.,
1668 Fischer, G. (2019). Chlorophyll fluorescence and other physiological
1669 parameters as indicators of waterlogging and shadow stress in lulo (*Solanum*
1670 *quitoense* var. *septentrionale*) seedlings. *Revista Colombiana de Ciencias*
1671 *Hortícolas* 13(3), 325-335.

1672 Schaffer, B., Urban, L., Lu, P., Whiley, A. (2009). Ecophysiology. En: R. E. Litz (ed.).
1673 *The mango. Botany, production and uses* 2nd edition. Wallingford: CAB
1674 International, 170-209.

- 1675 Shafqat, W., Naqvi, S. A., Maqbool, R., Haider, M. S., Jaskani, M. J., Khan, I. A.
1676 (2021). Climate change and citrus. *Citrus-Research, Development and*
1677 *Biotechnology*. En: M. S. Khan e I. A. Khan (eds.). *Citrus Research,*
1678 *Development and Biotechnology*. 1-22.
- 1679 Sharma, S., Rana, V. S., Prasad, H., Lakra, J., Sharma, U. (2021). Appraisal of
1680 carbon capture, storage, and utilization through fruit crops. *Frontiers in*
1681 *Environmental Science*, 9, 700768.
- 1682 Sherman, W. B., T. G. Beckman. (2003). Climatic adaptation in fruit crops. *Acta*
1683 *Horticulturae* 622, 411–428.
- 1684 Swaminathan, M. S., Kesavan, P. C. (2012). Agricultural research in an era of
1685 climate change. *Agricultural Research*, 1, 3-11.
- 1686 Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento*
1687 *vegetal*. 6th ed. Artmed.
- 1688 Thokchom, R., Mandal, G. (2017). Production preference and importance of passion
1689 fruit (*Passiflora edulis*): A review. *Journal of Agricultural Engineering and Food*
1690 *Technology*, 4(1), 27-30.
- 1691 Torres, M., Pierantozzi, P., Searles, P., Rousseaux, M. C., García-Inza, G.,
1692 Miserere, A., Maestri, D. (2017). Olive cultivation in the southern hemisphere:
1693 flowering, water requirements and oil quality responses to new crop
1694 environments. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1830.
- 1695 Vincent, C., Morillon, R., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A. (2020). Citrus in changing
1696 environments. En: *The genus citrus*. Woodhead Publishing, 271-289.

1697 Weiss, I., Mizrahi, Y., Raveh, E. (2010). Effect of elevated CO₂ on vegetative and
1698 reproductive growth characteristics of the CAM plants *Hylocereus undatus* and
1699 *Selenicereus megalanthus*. *Scientia Horticulturae*, 123, 531-536.

1700 Wohlfahrt, Y., Smith, J. P., Tittmann, S., Honermeier, B., Stoll, M. (2018). Primary
1701 productivity and physiological responses of *Vitis vinifera* L. cvs. under Free Air
1702 Carbondioxide Enrichment (FACE). *European Journal of Agronomy*, 101, 149-
1703 162.

1704 Yohannes, H. (2016). A review on relationship between climate change and
1705 agriculture. *Journal of Earth Science and Climate Change*, 7(2), 335.

1706 Zandalinas, S. I., Balfagón, D., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A. (2017). Modulation
1707 of antioxidant defense system is associated with combined drought and heat
1708 stress tolerance in Citrus. *Frontiers in Plant Science*, 8, 953.

1709 Zandalinas, S. I., Rivero, R. M., Martínez, V., Gómez-Cadenas, A., Arbona, V.
1710 (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and
1711 drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction
1712 in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology* 16, 105.
1713 <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7>

1714 Zegeye, H. (2018). Climate change in Ethiopia: impacts, mitigation and adaptation.
1715 *International Journal of Research in Environmental Studies* 5, 18–35.

1716

1717 **Capítulo 4. Variabilidad climática en la fruticultura tropical: Consideraciones**
1718 **para Colombia**

1719 Laura A. Valbuena-Gaona, María Isabel Munera-López, Gerhard Fischer, Stanislav
1720 Magnitskiy, Helber Enrique Balaguera-López y Joaquín Guillermo Ramírez-Gil

1721 **Resumen**

1722 Colombia pertenece a la zona tropical con alta vocación agrícola, y es una de las
1723 principales y potenciales despensas agrícolas del mundo y es clave para garantizar
1724 la seguridad alimentaria a nivel global. La producción frutícola en Colombia participa
1725 con 17% del total de la producción agrícola nacional. Las líneas de producción
1726 frutícola que han presentado la mayor participación en los últimos años son: banano
1727 y plátano (44%), cítricos (10%), aguacate (8%), piña (4%), mango (3%), y pasifloras.
1728 Colombia, cuenta con ventajas competitivas como: (i) diversidad de climas y suelos;
1729 (ii) capacidad productiva del sector agropecuario por presentar áreas con potencial
1730 de siembra; y (iii) cumplimiento de exigencias en la calidad del producto. Sin
1731 embargo, la variabilidad climática en Colombia es una constante por efectos de La
1732 Niña y El Niño que afectan el rendimiento y la calidad de los frutos tropicales.
1733 También, se incrementa la incidencia de plagas y enfermedades, aumentos en los
1734 costos de insumos y precios del producto final, y afectación en infraestructura. La
1735 variabilidad climática presenta sequías. Para mitigar o adaptar frutales a la condición
1736 de estrés por sequía se recomienda: selección de genotipos tolerantes; selección
1737 de épocas de siembra; sistema de riego; manejo eficiente del agua, y aplicación de
1738 bioestimulantes.

1739 **Palabras clave:** Variabilidad climática, fruticultura tropical, Colombia.

1740 **Introducción**

1741 El sector de las frutas frescas y procesadas a nivel mundial es uno de los más
1742 dinámicos y de mayor crecimiento dentro del mercado de los alimentos (Zanetti *et*
1743 *al.*, 2020). Este avance en importancia ha dado lugar a un aumento continuo en
1744 áreas sembradas y producción de frutas en múltiples regiones y zonas del planeta
1745 con vocación agrícola (FAO, 2023). Tal situación es consecuencia directa de las
1746 nuevas tendencias por la alimentación saludable, y como las frutas son percibidas
1747 en el mercado como grandes aportes de compuestos nutricionales de alto valor con
1748 múltiples beneficios sobre la salud humana y competidores directos de productos
1749 comestibles tradicionales (Nguyen *et al.*, 2021).

1750 A nivel mundial se destacan las zonas tropicales y subtropicales como las áreas de
1751 mayor importancia para la producción frutícola (FAO, 2023). La producción mundial
1752 de frutas se considera de alta importancia económica, superando a otros sistemas
1753 agrícolas, dado que es una industria de alto valor y generación de empleo (Nguyen
1754 *et al.*, 2021). Igualmente, como gran parte de la agricultura mundial, presenta
1755 múltiples retos a nivel tecnológico, productivo y comercial. Dentro de estos desafíos
1756 se destacan aquellos que suscitan incertidumbre, tales como el efecto que producen
1757 el cambio y variabilidad climática sobre las zonas productivas y especies cultivadas,
1758 la escasez de agua, la disminución de área para siembra, las preferencias del
1759 consumidor, variabilidad de precios, disminución de mano de obra rural, bajos
1760 niveles de adopción tecnológica, entre otros (Cáceres-Zambrano *et al.*, 2022).

1761 Colombia es un país que pertenece a la zona tropical con alta vocación agrícola, y
1762 posee extensas áreas con potencial productivo gracias a la congruencia de
1763 condiciones edáficas, climáticas y topográficas que la hacen apta para el desarrollo
1764 de múltiples cultivos en diferentes zonas agroecológicas (UPRA, 2023). La FAO ha
1765 señalado a Colombia como una de las principales y potenciales despensas
1766 agrícolas del mundo y un país clave para garantizar la seguridad alimentaria a nivel
1767 global (Procolombia, 2022). Durante los últimos años, el área sembrada con
1768 sistemas de producción hortofrutícola del país ha tenido un crecimiento sostenido,
1769 ³⁰ pasando de 862 mil hectáreas en el 2015 a 1,01 millones de hectáreas en el 2021,
1770 en buena medida gracias a las políticas nacionales agropecuarias que se han
1771 propuesto aumentar la oferta de productos agrícolas, promover el incremento de
1772 áreas sembradas y mejorar la productividad (EVA, 2023).

1773 A nivel país se tiene una división macro en regiones en función de múltiples
1774 parámetros tanto ambientales como geopolíticos (Figura 1). En este sentido y con
1775 base en la vocación productiva a nivel agrícola, la región Andina se destaca como
1776 la de mayor producción frutícola del país, alcanzando los 5,9 millones de toneladas
1777 con una amplia variedad de oferta de frutas, seguido de las regiones Caribe,
1778 Pacífica, Orinoquia y Amazónica respectivamente (EVA, 2023), (Figura 1). A partir
1779 de la información recopilada por las Evaluaciones Agropecuarias (EVAs) del
1780 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en la Figura 1 se reporta el
1781 comportamiento del área sembrada de las principales frutas que se producen en el

1782 país según las regiones eco-geográficas para consumo interno y como un renglón
1783 de importancia en la generación de divisas.

1784 En términos generales y con algunas restricciones asociadas a zonas de reserva
1785 natural, centros poblados, área hidrográfica e infraestructura vial, entre otras, la
1786 frontera agrícola de Colombia se ubica entre los 0 y 3.000 msnm de elevación, con
1787 algunas excepciones en distintos departamentos (Nariño, Boyacá, Cundinamarca,
1788 Antioquia, entre otros) donde se puede realizar agricultura de forma sostenible por
1789 encima de los 3.000 m sin afectar las zonas de páramos y reservas naturales. Una
1790 agrupación macro en este perfil geográfico da lugar a tres zonas altitudinales con
1791 una amplia diferenciación climática: (i): 0-1.000 m-cálido; (ii): 1.001-2.000 m-medio
1792 y (iii): 2.001-3.000-frío (Figura 2). En estas macrorregiones se puede encontrar gran
1793 cantidad de diversidad de especies frutícolas con un alto potencial en su producción
1794 para consumo local y para exportación. En la Figura 1 se reportan las frutas de
1795 mayor relevancia por área sembrada, producción e importancia económica.

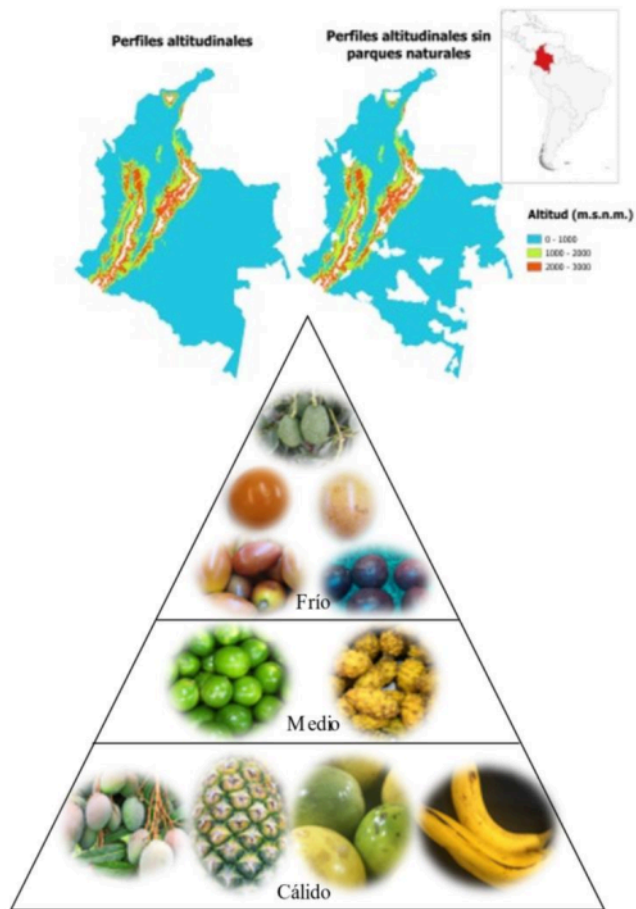
1796 La producción frutícola en Colombia participa con 17% ³⁰ del total de la producción
1797 agrícola nacional, ubicando al subsector como uno de los más relevantes y de
1798 mayor crecimiento en el agro colombiano (Procolombia, 2022). Las líneas de
1799 producción frutícola que han presentado la mayor participación en los últimos años
1800 son: banano y plátano (44%), cítricos (10%), aguacate (8%), piña (4%), mango (3%),
1801 pasifloras (2%), entre otros (SAC, 2021). Estos productos concentran 71% del total
1802 de la cosecha del subsector (Figura 2).

1803 Figura 1. Participación y principales frutas tropicales producidas en las eco-
1804 regiones de Colombia



1805
1806 Fuente: Elaboración propia con datos tomados de ³⁰ Ministerio de Agricultura y
1807 Desarrollo Rural- Evaluaciones Agropecuarias, Evas (junio 2021) para las líneas
1808 productivas sujetas de recaudo 2020- Proyecciones Unidad Técnica para 2021.

1809
1810 Figura 2. Perfil altitudinal de macrorregiones con potencial de producción agrícola
1811 en Colombia. (i): 0-1000 m-zona cálida; (ii): 1001-2000 m-zona media y (iii): 2001-
1812 3000-zona fría



1813

1814 Fuente: Elaboración a partir de un mapa de elevación digital con una resolución de
 1815 30 m descargado de EARTHDATA-Open Access For Open Science
 1816 (<https://www.earthdata.nasa.gov/>) y para determinar áreas con potencial agrícola se
 1817 eliminaron las zonas de parques y zonas de reserva natural, centros poblados, área
 1818 hidrográfica, e infraestructura vial obtenidas de la información geográfica de datos
 1819 abiertos del Ideam (<http://www.ideam.gov.co/capas-geo>).

1820 En las zonas agrícolas de los trópicos se observa una gran amenaza para los
 1821 sistemas frutícolas que se asocia a la variabilidad climática, relacionada

1822 especialmente a los fenómenos El Niño-Oscilación del Sur-ENOS (La Niña y El
1823 Niño) o ENSO en idioma inglés (NOAA, 2022). Adicionalmente se encuentra el
1824 potencial efecto del cambio climático (CC), donde se espera un mayor impacto
1825 negativo por incrementos en la temperatura, variación en la precipitación que en
1826 muchos casos es más reducida y con proyecciones más devastadoras a nivel
1827 tropical (Yohannes, 2015).

1828 Los cambios en la precipitación y temperatura asociados a los fenómenos de
1829 variabilidad y cambio climático pueden presentar una alta influencia en la
1830 agricultura, alterando múltiples procesos y con implicaciones en toda la cadena de
1831 valor de la producción de alimentos (Kurukulasuriya and Rosenthal, 2013). Con
1832 base en lo anterior y dado el alto potencial y crecimiento en área, producción e
1833 importancia de los frutales en Colombia, en el presente capítulo se expone en cuatro
1834 apartados: (i) área sembrada, producción y rendimiento de las principales frutas
1835 producidas en Colombia y cuya finalidad es la exportación; (ii) dinámica temporal de
1836 los fenómenos ENOS (La Niña y El Niño) en Colombia; (iii) potencial efecto de los
1837 fenómenos ENOS sobre la fruticultura en Colombia; y (iv) herramientas de
1838 mitigación y adaptación a los ENOS en la fruticultura.

1839 El objetivo principal del presente trabajo es mostrar una aproximación macro de los
1840 fenómenos ENOS bajo condiciones tropicales y cómo afectan a los sistemas de
1841 producción frutícola con mayor dinamismo en Colombia por su potencial comercial
1842 como son los frutales de exportación, y también presentar elementos básicos
1843 asociados a estrategias de adaptación y mitigación a los efectos adversos de los

1844 fenómenos ENOS. Dentro de estos sistemas se seleccionaron aquellos
1845 relacionados con la producción de aguacate (*Persea americana* Mill, cv Hass),
1846 banano (*Musa acuminata* Colla × *Musa balbisiana* Colla cv. Cavendish, clones
1847 Valery, Gran Enano y Williams), mango (*Mangifera Indica* L. cv. Kent, Keitt, Tommy
1848 Atkins, y criollo: azúcar), cítricos lima Tahití (*Citrus × latifolia*), piñas (*Ananas*
1849 *comosus* L. cv. Cayena Lisa, Perolera, Manzana, y Gold MD2.), uchuva (*Physalis*
1850 *peruviana* L.), tomate de árbol (*Solanum betaceum* L.), granadilla (*Passiflora*
1851 *ligularis* f. *lobata* (Mast.) Killip), gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims), maracuyá
1852 (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.), y pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.
1853 Britton & Ros) (Figura 2).

1854 **Área sembrada, producción y rendimiento de las principales frutas con** 1855 **potencial de exportación en Colombia**

1856 Una de las múltiples causas asociadas a la gran variedad de condiciones
1857 edafoclimáticas en las condiciones tropicales y específicamente en Colombia es la
1858 presencia de un perfil altitudinal que cubre desde los 0 hasta los 5.776 m de
1859 elevación. Tal característica hace que en este rango de alturas se presente la
1860 congruencia de factores locales, regionales y continentales que alteran y
1861 condicionan las variables de clima como la temperatura, precipitación, radiación,
1862 humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica, entre otras. Igualmente,
1863 a nivel edáfico las variaciones se dan como una congruencia entre el clima y los
1864 factores formadores de suelo como material parental, relieve y la biota existente.
1865 Esta multiplicidad de factores y condiciones hacen de Colombia un país

1866 megadiverso, lo que incluye una extensa variedad de especies de frutas silvestres
1867 y domesticadas con alto potencial para la alimentación humana y potencial
1868 comercial (Gori *et al.*, 2022).

1869 Debido a estas características, Colombia se ha convertido en uno de los países más
1870 dinámicos a nivel mundial en cuanto a su perfil y diversidad exportadora de frutas
1871 tropicales como el banano, aguacate, limón, piña, mango, y más; además de otras
1872 exóticas donde se destacan la uchuva, gulupa, pitahaya, granadilla, feijoa y tomate
1873 de árbol; estas frutas presentan gran aceptación en el mercado internacional.

1874 Actualmente, ⁷² Colombia es el principal exportador de frutas exóticas en América, el
1875 segundo exportador de banano, el cuarto de aguacate y el sexto de limón en el
1876 continente (Procolombia, 2022). Es también el segundo mayor exportador de frutas
1877 a la Unión Europea. Los productos más relevantes a nivel de exportación en
1878 volumen son los bananos-plátanos (38%, 147.5 mil t), aguacate (21%, 83.5 mil t),
1879 lima Tahití (8%, 32.5 mil t), naranjas frescas o secas (7%, 25.2 mil t) y otras frutas
1880 tropicales y exóticas como pasifloras, uchuva, pitahaya, berries, entre otras (6%,
1881 22.4 mil t), (SAC, 2021).

1882 El país cuenta con una serie de ventajas competitivas que respaldan la expansión
1883 y el crecimiento de sus exportaciones (Procolombia, 2022); dentro de ellas se
1884 pueden enunciar como las de mayor relevancia: (i) diversidad de climas y suelos;
1885 (ii) capacidad productiva del sector agropecuario por presentar áreas con potencial
1886 de siembra; y (iii) cumplimiento de exigencias en la calidad del producto. En los

1887 últimos cinco años, el sector hortofrutícola ha registrado un crecimiento anual
1888 continuo de 19% (Procolombia, 2022), (Figuras 3, 4, 5).

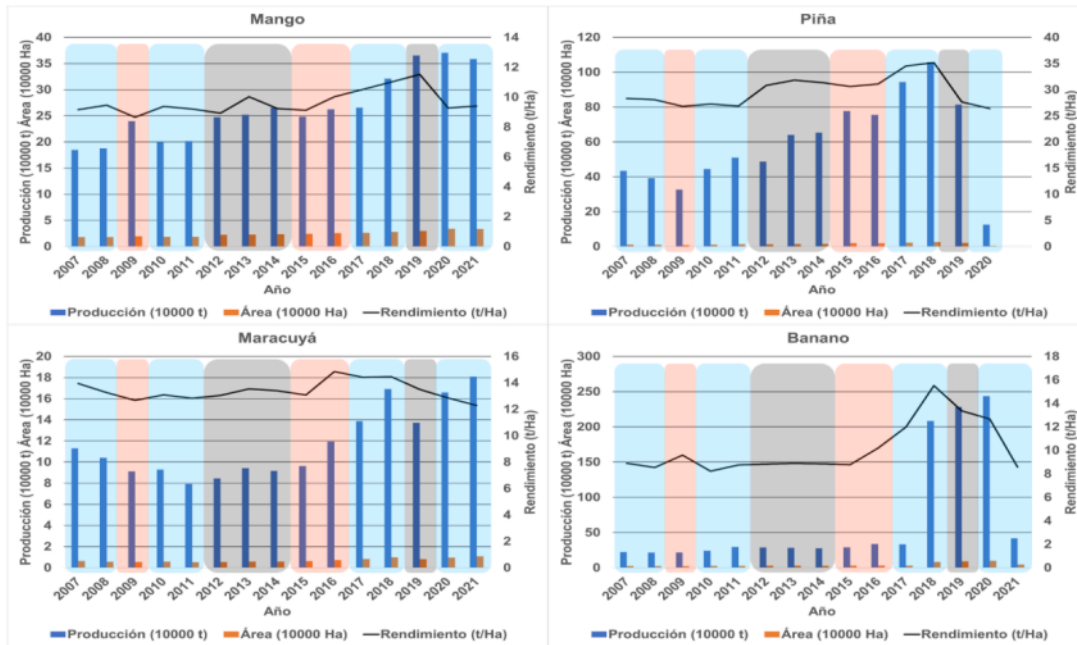
1889 En términos generales, los volúmenes exportados de frutas que se enuncian en la
1890 Figura 2 han presentado dos tendencias desde el año 2007 al 2021 (fecha hasta
1891 donde se logró disponibilidad de datos, ver Figuras 3, 4 y 5). Por un lado, están
1892 aquellos de comportamiento estable como el tomate de árbol, granadilla, uchuva,
1893 mango y piña, los cuales han presentado valores medios similares de área
1894 sembrada y toneladas producidas durante el tiempo evaluado. En estos periodos se
1895 destacan leves incrementos en volúmenes totales, posiblemente asociado a
1896 mejores prácticas agronómicas, selección de nichos edafoclimáticos específicos
1897 donde se maximiza la cantidad de producción y, por supuesto, como una
1898 consecuencia directa del aumento del área plantada (Figuras 3, 4 y 5).

1899 En el segundo grupo se encuentran las frutas cuya importancia en área sembrada
1900 y volúmenes de producción han presentado un fuerte crecimiento en los últimos
1901 cinco años; dentro de estas se destacan el maracuyá, bananos, la lima Tahití, la
1902 pitahaya, el aguacate, y la gulupa (Figuras 3, 4 y 5). Un caso particular y que
1903 demuestra la importancia del crecimiento del sector frutícola es el aguacate cv. Hass
1904 de origen colombiano, el cual en un periodo de 10 años (2010-2020) se posicionó a
1905 nivel mundial y continúa ocupando los primeros lugares en las exportaciones del
1906 país. Para el año 2021, el aguacate tuvo un crecimiento de 41% en términos de
1907 valor y de 27% en términos de volumen (Procolombia, 2022). Los productores de
1908 aguacate han entendido las necesidades de trazabilidad e inocuidad que exigen las

1909 ventanas comerciales con el fin de cumplir protocolos de admisibilidad de los
1910 diferentes destinos. Asimismo, el país ha apostado por posicionarse cada vez con
1911 más fuerza en diferentes mercados, no solo ocupando nichos de mercado altamente
1912 competitivo como el europeo, sino que ha visto como potenciales los mercados
1913 asiáticos, el norteamericano, el sur del continente americano y el medio oriente
1914 (Procolombia, 2022), (Figura 5).

1915 Para todos los sistemas de producción frutícola analizados (Figuras 3, 4 y 5) se
1916 encontró a nivel macro poco o nulo aumento en los rendimientos a través del tiempo.
1917 Por el contrario, esta variante ha presentado una gran variabilidad altamente
1918 influenciada por los años en los cuales se ha producido algún fenómeno de
1919 fluctuación climática interanual asociado al ENOS (La Niña y El Niño). En apartados
1920 posteriores se realizará una descripción general del comportamiento específico de
1921 este fenómeno y su impacto en la fruticultura tropical caso Colombia.

1922 Figura 3. Dinámica de área sembrada, producción, rendimiento y efecto macro del
1923 ENSO en frutales de importancia para la exportación en Colombia plantados bajo
1924 clima cálido



1925

1926 Fuente: Elaboración propia. El área negra representa la variación natural del clima

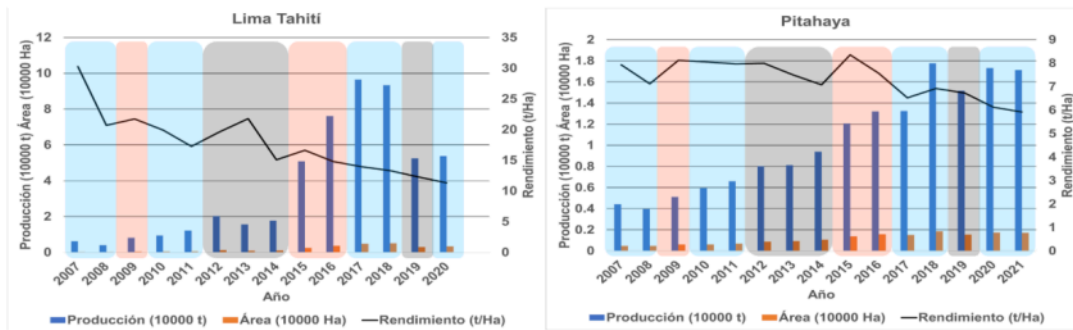
1927 asociado a condiciones intra-anales, y fenómenos micro-climáticos de Colombia.

1928 Áreas rojas: Fenómeno ENOS- El Niño. Áreas azules: Fenómeno ENOS- La Niña.

1929 Figura 4. Dinámica de área sembrada, producción, rendimiento y efecto macro del

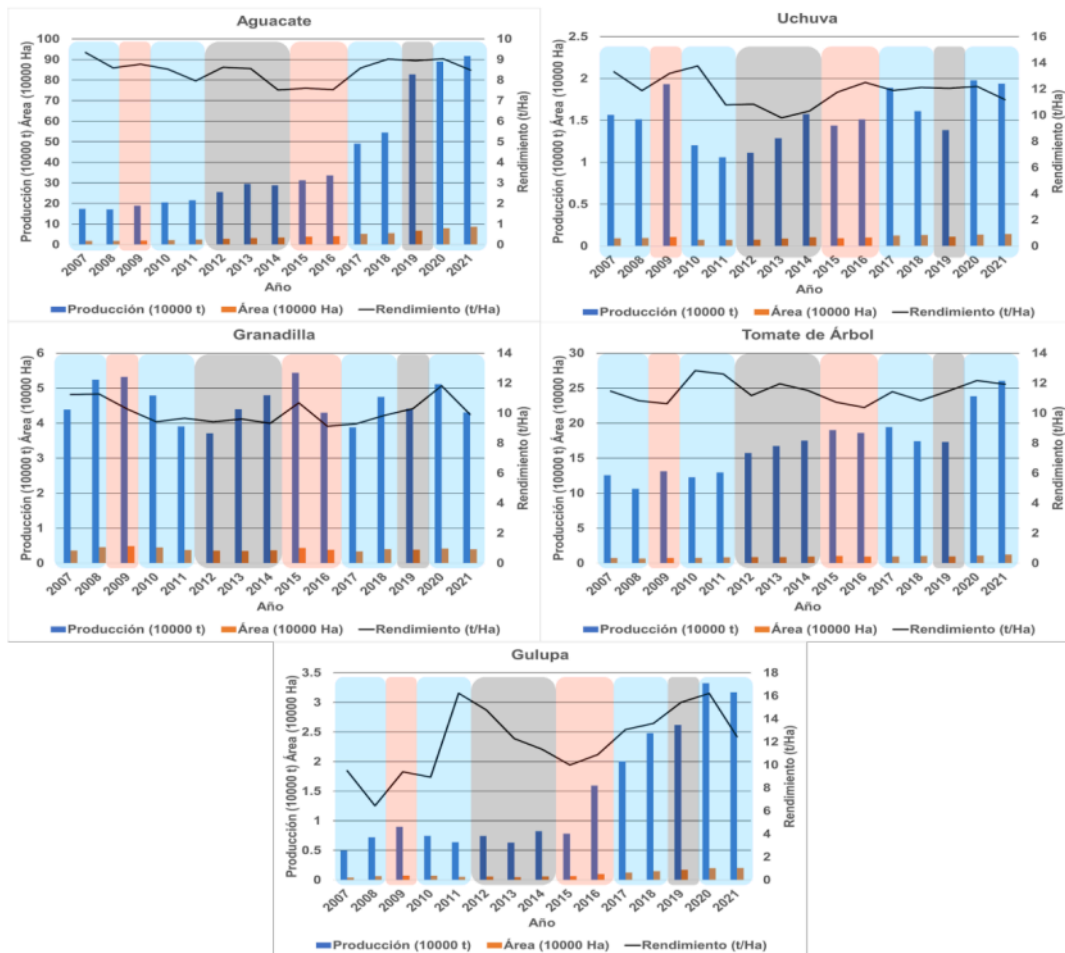
1930 ENSO en frutales de importancia para la exportación en Colombia plantados bajo

1931 clima medio



1932

1933 Fuente: Elaboración propia. El área negra representa la variación natural del clima
 1934 asociado a condiciones intra-anales y fenómenos micro-climáticos de Colombia.
 1935 Áreas rojas: Fenómeno ENOS- El Niño. Áreas azules: Fenómeno ENOS- La Niña.
 1936 Figura 5. Dinámica de área sembrada, producción, rendimiento y efecto macro del
 1937 ENSO en frutales de importancia para la exportación en Colombia plantados bajo
 1938 clima frío



1939

1940 Fuente: Elaboración propia. El área negra representa la variación natural del clima
 1941 asociado a condiciones intra-anales, y fenómenos micro-climáticos de Colombia.
 1942 Áreas rojas: Fenómeno ENOS- El Niño. Áreas azules: Fenómeno ENOS- La Niña.
 1943 Dinámica Temporal de los fenómenos ENOS (La Niña y el Niño) en Colombia.
 1944 Los eventos El Niño y La Niña se asocian a los niveles de temperatura de la
 1945 superficie del mar (TSM, por sus siglas en inglés) en el Pacífico tropical que son
 1946 más cálidas y frías que las medias históricas respectivamente (McPhaden *et al.*,

1947 2006). Estos dos eventos climáticos se conocen como El Niño–Oscilación del Sur-
1948 ENOS (ENSO en inglés), asociados a las interacciones acopladas atmósfera-
1949 océano que en casi su totalidad se vincula a la base del Pacífico (NOAA, 2022).
1950 Bajo una condición de ENOS, para Sudamérica la precipitación y la temperatura
1951 presentan una relación inversa, donde El Niño se asocia a sequía en la Amazonía
1952 ¹⁰² y el noreste de Sudamérica, e inundaciones en la costa occidental tropical y el
1953 sureste de Sudamérica; por su parte, La Niña actúa de manera contraria (Cai *et al.*,
1954 2020).

1955 Para este caso particular y con las series de tiempo de datos existentes de
1956 producción, área sembrada y rendimiento de los principales frutales tropicales con
1957 potenciales de exportación (Figura 2) y anomalías reportadas al ENOS (La Niña y
1958 El Niño), (NOAA, 2022), analizamos la dinámica de este fenómeno en la serie de
1959 tiempo entre 2007 y 2021 (Figura 6). A partir de la información que se observa en la
1960 Figura 6 se puede observar que la condición de variabilidad climática en Colombia
1961 es una constante, lo que indica la necesidad de desarrollar estrategias de
1962 adaptación y mitigación para la búsqueda de sistemas agrícolas sostenibles y
1963 resilientes a este tipo de fenómenos, en especial el subsector frutícola.

1964 En Colombia, entre el 2007 y 2021 se reportaron anomalías climáticas asociadas al
1965 ENOS, las cuales presentaron cinco periodos marcados del fenómeno de La Niña,
1966 alternados con tres del fenómeno de El Niño y varios ciclos de variabilidad climática
1967 interanual con algunos meses atípicos con temporadas húmedas o secas en
1968 comparación con los promedios multianuales (Figura 6). Durante junio 2007 y marzo

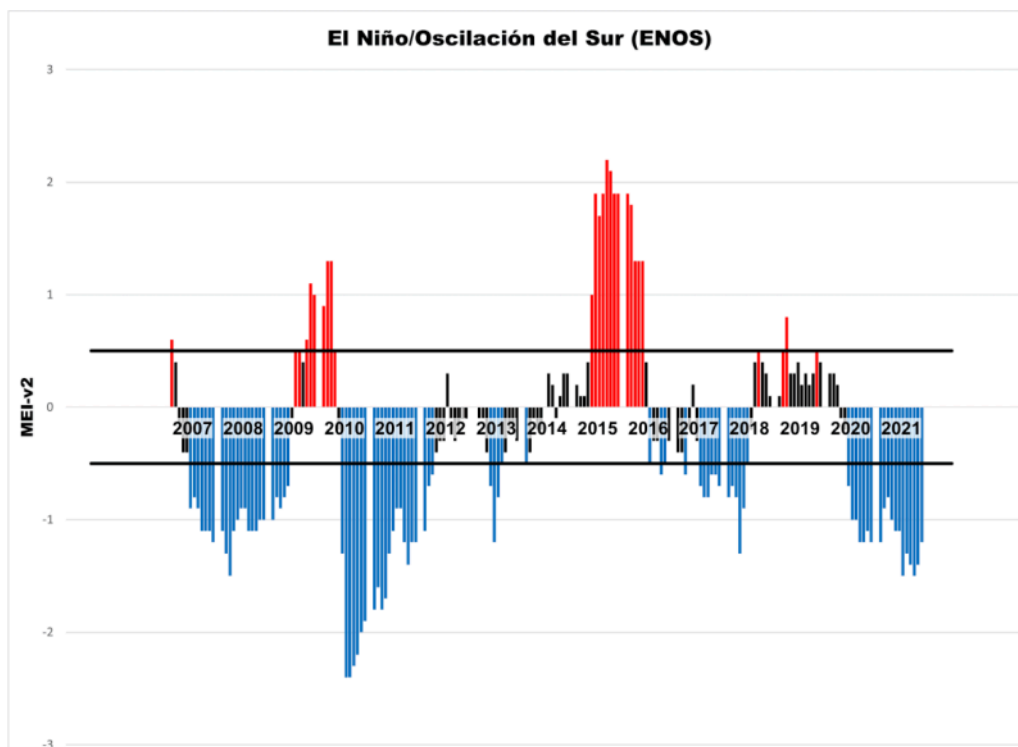
1969 2012 se presentaron dos temporadas marcadas de La Niña separadas por un
1970 evento de El Niño entre julio 2009 a abril 2010. En este periodo se presentó un Niño
1971 débil. Por su parte, los eventos de La Niña durante este periodo (2007-2009) se
1972 catalogaron como fuertes, pero los presentados entre mayo 2010 y marzo 2012
1973 fueron fuertes y de mayor intensidad (Cai *et al.*, 2020). Bajo estos escenarios se
1974 incrementaron las precipitaciones en las regiones de Sudamérica (Cai *et al.*, 2020)
1975 con grandes implicaciones en los sectores productivos incluyendo la agricultura y el
1976 subsector frutícola como se observan en las Figuras 3,4, 5 y 6.

1977 Posterior al 2012 y hasta el primer trimestre del 2015 se presentaron variaciones
1978 climáticas dentro de los límites esperados, con algunas excepciones entre mayo y
1979 agosto del 2013 y enero del 2014 donde el clima mostró una tendencia al fenómeno
1980 de La Niña (Figura 6). Posteriormente, y a partir de la primera parte del 2015 se
1981 vuelven a aparecer condiciones del fenómeno de El Niño hasta la primera mitad del
1982 2016, siendo este El Niño de mayor magnitud en el periodo de tiempo analizado,
1983 llegando incluso a considerarse el tercer fenómeno de El Niño más fuerte del que
1984 se tienen registro a nivel mundial (NOAA, 2022).

1985 Por último, desde la segunda mitad del 2016 hasta el 2021 se presentaron
1986 condiciones de La Niña en el país, separadas por un periodo comprendido entre el
1987 segundo semestre del año 2017 hasta finales del 2018. Posteriormente, entre el
1988 segundo semestre del 2018 y comienzos del 2020, las condiciones de clima fueron
1989 caracterizadas como “dentro de las normales climatológicas” con meses atípicos
1990 asociados a fenómenos de El Niño en septiembre del 2018, febrero, marzo y

1991 noviembre del 2019; mientras que los años 2020 y 2021 se asociaron a La Niña
1992 (Figura 6).

1993 Figura 6. Dinámica e intensidad de fenómenos de variabilidad climática asociadas
1994 a ENOS (La Niña y El Niño) en Colombia



1995
1996 Fuente: Elaboración propia. Las líneas negras horizontales representan la variación
1997 natural del clima asociado a condiciones intra- anuales y fenómenos micro-
1998 climáticos de Colombia. Barras negras: condición de clima natural; barras rojas:
1999 Fenómenos ENOS- El Niño; barras azules: fenómenos ENOS- La Niña. ⁶¹ MEIv2:
2000 índice Multivariado del Ciclo El Niño- Oscilación del Sur. Basado en: (i) Presión del
2001 Nivel del Mar, (ii) Temperatura Superficial del Mar, (iii) Componente Zonal de Viento

2002 (este-oeste), (iv) **Componente Meridional del Viento (norte-sur)** y (v) **Radiación de**
2003 **Onda Larga** (Zhang *et al.*, 2019). Los datos del MEIv2 fueron obtenidos de la Interfaz
2004 de Programación de Aplicaciones (API por sus siglas en inglés). ⁹⁵ **Oficina Nacional**
2005 **de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés)**
2006 (<https://psl.noaa.gov/enso/mei/>).

2007 **Potencial efecto de los fenómenos ENOS (La Niña y El Niño) sobre la** 2008 **fruticultura en Colombia**

2009 Para las regiones agrícolas, una de las anomalías climáticas de mayor impacto
2010 económico está relacionada con el ENOS (La Niña y El Niño) (Botero and Barnes,
2011 2022). EL ENOS en cualquiera de sus fases La Niña y/o El Niño afecta de forma
2012 directa los sistemas agrícolas en parámetros de productividad como lo es de
2013 rendimiento (Botero and Barnes, 2022; Wang *et al.*, 2020). Variable claramente
2014 observable de forma macro en las Figuras 3, 4 y 5 para los frutales de mayor
2015 potencial de exportación en Colombia, donde se observan las reducciones de
2016 producción especialmente bajo fenómenos ENSO-La Nina. También se sugiere un
2017 alto impacto en parámetros de calidad en diferentes frutas de origen tropical
2018 (Ramírez-Gil *et al.*, 2020).

2019 Por su parte, como consecuencias indirectas se considera que el ENOS (La Niña y
2020 El Niño) afecta múltiples partes dentro de la cadena de valor como su relación con
2021 incrementos en la incidencia de plagas y enfermedades, reducción de la calidad en
2022 poscosecha, aumentos en los costos de insumos y precios del producto final, y
2023 afectación en infraestructura, entre otros (Botero and Barnes, 2022).

2024 Las cifras a nivel mundial sugieren que el fenómeno ENOS puede provocar pérdidas
2025 en el rendimiento de los principales cultivos cercanos en un 10% (Lunt *et al.*, 2016).
2026 Específicamente para el sector agro en Colombia se reporta que los fenómenos
2027 ENOS han dejado cuantiosas pérdidas. En este sentido, la ola invernal 2010-2012
2028 generó inundaciones en aproximadamente 3.5 millones de ha, con daños
2029 cuantificados en más de \$11.1 mil millones COP (Ideam, 2011). Por su parte, El
2030 Niño 2014–2016, presentó afectaciones agrícolas por los déficits hídricos
2031 generados y su impacto potencial sobre la productividad, incrementos en costo por
2032 la necesidad de uso de riego, entre muchos otros efectos negativos (UNGRD, 2016).
2033 Para el caso específico de nuestro enfoque y en función de los sistemas agrícolas
2034 seleccionados (Figuras 3, 4, y 5), desde una aproximación macro se puede
2035 identificar de forma visual la relación directa entre las variaciones en el rendimiento
2036 y la ocurrencia de distintas fases del fenómeno ENOS durante la serie de tiempo
2037 2007-2021. Las variaciones y el efecto diferencial específico sobre la variable
2038 rendimiento se podrían asociar a que dentro de cada sistema productivo se
2039 presentan características particulares, posiblemente por el impacto diferencial que
2040 estos fenómenos climáticos regionales puedan tener sobre zonas agroecológicas
2041 donde se siembran estos frutales, la respuesta que la especie tenga con respecto
2042 al evento climático y los mecanismos de adaptación y mitigación que sean
2043 implementados a nivel local por los productores.
2044 Por otra parte, este análisis regional enmascara características específicas del
2045 sistema de producción y micro-climáticas de alta influencia en una variable como el

2046 rendimiento y su posible relación con fenómenos de variabilidad climática. En
2047 términos generales, las implicaciones específicas del fenómeno ENOS (El Niño y la
2048 Niña) se deben evaluar de forma detallada en cada agroecosistema, dado que los
2049 reportes existentes plantean que estos fenómenos pueden tener un efecto positivo
2050 o negativo en sistemas agrícolas (Ramírez-Gil *et al.*, 2020).

2051 En este sentido y buscando una aproximación a las relaciones entre productividad
2052 y el ENOS se puede observar en las Figuras 3, 4 y 5 que el resultado a nivel macro
2053 puede ser variable en función del cultivo, la intensidad y duración del fenómeno, así
2054 como la relación con el evento climático anterior, entre otros. Específicamente y
2055 para un potencial escenario, se podría tener una zona seca dada por sus normales
2056 climatológicas que presente un balance hídrico negativo (mayor evapotranspiración
2057 que precipitación), situación que implica la necesidad de aplicación de riego. Si en
2058 esta área se presenta un ENOS- La Niña moderado, posiblemente se obtenga un
2059 incremento en la productividad de una especie moderadamente tolerable a los
2060 excesos de humedad como el mango, lo cual podría explicar las variaciones en las
2061 Figuras 3, 4 y 5 donde, por ejemplo, el mango baja los rendimientos dentro de una
2062 condición de ENOS- El Niño e incrementa con ENOS- La Niña, especialmente
2063 después de un ENOS- El Niño.

2064 **Mitigación y adaptación hacia los efectos negativos de los fenómenos ENOS**
2065 **(La Niña y el Niño) en la fruticultura en Colombia**

2066 *ENOS-El Niño (sequía)*

2067 El fenómeno ENOS- El Niño genera una disminución notable en las precipitaciones
2068 con períodos secos más prolongados, pero también con aumento de la temperatura
2069 que conlleva a incrementar los requerimientos de riego u otras estrategias de
2070 mitigación o adaptación. Es por esto por lo que se necesita planear con anterioridad
2071 las diferentes estrategias para mitigar los impactos sobre la producción de los
2072 frutales, lo que implica el uso de una estrategia o la combinación de varias de ellas
2073 y cuya ejecución debe hacerse de manera oportuna. A continuación, se plantean
2074 diferentes estrategias comunes a varios sistemas de producción frutícola que
2075 buscan mitigar o adaptar la especie vegetal a la condición de estrés por sequía.

2076 **(i)** Selección de genotipos tolerantes: en zonas con alto impacto de la sequía es
2077 muy importante seleccionar frutales con adaptaciones a nivel morfológico,
2078 bioquímico y fisiológico de esta fuente de estrés. En tal caso, la elección más
2079 apropiada según la zona es sembrar especies como piña en climas cálidos y pitaya
2080 en clima medio (Figura 2). Estas especies bajo déficit hídrico disminuyen su
2081 productividad, pero tienen la posibilidad de tolerar condiciones más extremas que la
2082 mayoría de los frutales, principalmente por sus cambios anatómicos y la presencia
2083 del metabolismo fotosintético de tipo CAM que les permite ser muy eficientes con el
2084 uso del agua (Taiz *et al.*, 2018).

2085 La gran mayoría de los frutales se propagan mediante injertación, parte del éxito de
2086 esta técnica es la utilización de patrones o portainjertos con tolerancia o resistencia
2087 a condiciones difíciles de suelos, enfermedades, clima (incluida la condición de
2088 sequía), entre otros. Está demostrado que el portainjerto induce tolerancia al déficit

2089 hídrico en varias especies, incluso generando cambios a nivel postranscripcional en
2090 la copa, como ha sido reportado para el manzano (He *et al.*, 2022). La obtención de
2091 portainjertos con tolerancia a la sequía sigue siendo una prioridad en especies de
2092 gran interés económico en el mundo como los cítricos, los frutales caducifolios, los
2093 mangos y aguacate, entre otros; lo cual empieza a ser una prioridad en otros frutales
2094 como aquellos de la familia de las pasifloras (maracuyá, gulupa, granadilla, entre
2095 otras) y solanáceas (uchuva, tomate de árbol, lulo y más), donde este tipo de estrés
2096 está generando graves pérdidas económicas. Cabe aclarar que la investigación y
2097 desarrollo en portainjertos resistentes o tolerantes es aún incipiente.

2098 **(ii)** Selección de épocas de siembra: es una importante estrategia que mitiga el
2099 impacto del déficit hídrico y se basa en los pronósticos del clima y el conocimiento
2100 de la fenología de la especie, tiene la finalidad de que las etapas fenológicas más
2101 sensibles a la sequía coincidan con las épocas de lluvia. Por ejemplo, la siembra en
2102 el caso del banano debe realizarse en función de la disponibilidad de agua, las
2103 precipitaciones, el momento adecuado para la floración y el desarrollo del racimo
2104 (Ravi and Mustaffa, 2013). Estos mismos autores mencionan que cuando no hay
2105 presencia de lluvias pueden implementar riegos con frecuencia de 15 a 20 días. Lo
2106 anterior indica también la necesidad de contar con modelos de predicción del clima
2107 armonizados con el conocimiento de las fases fenológicas del cultivo, de tal forma
2108 que se pueden identificar las fases del desarrollo menos sensibles al déficit hídrico
2109 para que coincidan con los periodos de menor disponibilidad hídrica, buscando el
2110 menor impacto sobre la productividad y la calidad de las cosechas.

2111 **(iii)** Sistema de riego: cualquier sistema de riego se considera una alternativa
2112 favorable para suplir los requerimientos hídricos del frutal en las épocas de sequía.
2113 Sin embargo, la baja capacidad de almacenamiento de grandes volúmenes de agua
2114 y los pocos distritos de riego existentes en las regiones frutícolas obligan a que se
2115 necesite disponer de sistemas de riego localizados (riego por goteo) que son más
2116 eficientes (>80%) y presentan bajo consumo de agua y de energía, entre otras
2117 ventajas; aunque hay que señalar que los costos iniciales de inversión son altos
2118 (Vélez-Sánchez *et al.*, 2021).

2119 **(iv)** Manejo eficiente del agua: en las últimas décadas se han evaluado e
2120 implementado diferentes técnicas enfocadas a lograr un manejo eficiente del riego,
2121 se destacan el riego deficitario controlado (RDC) y el riego de secado parcial de la
2122 raíz, entre otros. En el RDC se disminuye el suministro hídrico en las etapas de
2123 desarrollo menos sensibles al estrés hídrico de la planta, esto lo convierte en una
2124 estrategia que induce regulaciones fisiológicas en las plantas y también mejora el
2125 rendimiento y la calidad de los frutos (Du *et al.*, 2015). El riego de secado parcial
2126 solo moja una parte de la zona de la raíz en cada evento de riego, mientras que el
2127 resto se deja secar de forma controlada.

2128 Regularmente, el riego se cambia entre las diferentes partes de la zona radicular,
2129 esto permite que las señales de secado del suelo como la hormona ABA se
2130 transmitan de raíz a brote para regular el crecimiento y el consumo de agua (Wang
2131 *et al.*, 2012). Esta técnica tiene la ventaja de que puede ahorrar agua, aumentar la

2132 productividad e incluso la calidad (Iqbal *et al.*, 2020). Sin embargo, todavía falta
2133 investigar estas técnicas en detalle en los frutales del trópico.

2134 **(v)** Aplicación de bioestimulantes: Los bioestimulantes se clasifican en las
2135 siguientes siete categorías: ácidos húmicos/fúlvicos, algas marinas/extractos
2136 botánicos, hidrolizados de proteínas, biopolímeros, minerales benéficos, bacterias
2137 y hongos benéficos (du Jardin, 2015). Los bioestimulantes pueden ser aplicados
2138 para mitigar el efecto del estrés hídrico, principalmente porque inducen respuestas
2139 fisiológicas, bioquímicas y moleculares en la planta que pueden generar tolerancia
2140 o evasión a este fenómeno. Se han aplicado bioestimulantes de diferentes fuentes
2141 a árboles frutales, vides y otros cultivos de bayas contra el estrés abiótico, incluida
2142 la sequía (Basile *et al.*, 2020); estos autores indican que los principales mecanismos
2143 que se mejoran son: aumento de la toma y asimilación de nutrientes por un sistema
2144 de raíces más vigoroso, aumento de la eficiencia fotosintética y las relaciones
2145 hídricas, incremento en la acumulación de osmolitos, un sistema antioxidante más
2146 eficaz, aumento en el uso eficiente del agua intrínseco, expresión diferencial de
2147 genes relacionados con detoxificación de especies reactivas de oxígeno y síntesis
2148 de osmolitos y, finalmente, poblaciones microbianas epífitas moduladas que
2149 mejoran el crecimiento de las plantas.

2150 Los bioestimulantes generan osmoprotección, y con esto disminuyen los daños que
2151 puede generar el déficit hídrico. En el mercado se pueden conseguir algunos
2152 bioestimulantes de interés como las poliaminas, silicio, melatonina, bisulfito sódico

2153 de menadiona (vitamina K3), bioestimulantes basados en extractos de algas,
2154 microorganismos y sustancias húmicas y fúlvicas (Jiménez-Arias *et al.*, 2021).

2155 (vi) Medidas para disminuir la transpiración: se recomiendan estrategias de fácil
2156 ejecución en campo: (i) eliminación de hojas basales y muy maduras de las ramas
2157 que transpiran y gastan compuestos energéticos en mayor cantidad; (ii) poda de
2158 ramas improductivas del interior del árbol; y (iii) raleo de frutos de baja calidad que
2159 pueden estimular la transpiración foliar. Igualmente se debe implementar un
2160 eficiente sistema de riego y un manejo adecuado del suelo enfocado en la
2161 disminución de evaporación de agua del suelo, por ejemplo, con la siembra de
2162 coberturas vegetales o mediante la aplicación de materia orgánica o conservación
2163 de una capa de hojarasca. Dentro de otros aspectos se debe considerar el uso de
2164 una adecuada densidad de siembra durante el establecimiento de cultivos en
2165 campo, y así conocer los cultivos que requieran (cacao) o toleran (banano, plátano)
2166 un cierto grado de sombrío, lo cual puede disminuir la tasa de transpiración.

2167 *ENOS-La Niña (incrementos en precipitación)*

2168 En términos generales y bajo el principio de que los fenómenos de variabilidad
2169 climática afectan de manera diferencial a los sistemas de producción agrícola como
2170 una función de la vulnerabilidad de la región donde se encuentra plantado el cultivo
2171 y el grado de respuesta del genotipo, se reporta que los frutales perennes no van a
2172 ser tan afectados por el cambio y la variabilidad climática comparando con los
2173 cultivos anuales y semestrales (Sthapit *et al.*, 2012). Desde el punto de vista de las
2174 consecuencias adversas del ENOS- La Nina, estas se expresan en incremento en

2175 la ocurrencia de los suelos saturados por anegamiento e inundaciones, aumentando
2176 la incertidumbre en vista de que dichos fenómenos se han vuelto impredecibles en
2177 la temporalidad de su ocurrencia y magnitud (Zhang *et al.*, 2021). Con el uso de
2178 predicciones del calentamiento global, especialmente para el norte de la región
2179 Andina, se reporta que aumentarán las inundaciones, al contrario de Suramérica,
2180 donde estos eventos se reducirán (Hirabayashi *et al.*, 2013).

2181 En Colombia, la influencia del fenómeno de ENSO-La Niña, se asocia a abundantes
2182 precipitaciones en gran parte del país con un alto impacto en los sistemas agrícolas
2183 (Ramírez-Gil *et al.*, 2020). Por ejemplo, en muchos suelos de las zonas de cultivos
2184 tropicales como el aguacate, especie altamente sensible a las condiciones de bajos
2185 contenidos de oxígeno (hipoxia-anoxia) sufren por un drenaje deficiente debido a
2186 que su fisiografía, origen y estructura física favorecen la inundación propiciando
2187 niveles freáticos altos o el estancamiento del agua en las capas superficiales
2188 (Ramírez-Gil *et al.*, 2021).

2189 La inundación de los suelos es considerada como un estrés de tipo abiótico de los
2190 más perjudiciales para la producción de los cultivos por la poca disponibilidad de
2191 oxígeno (Kreuzwieser and Rennenberg, 2014). De igual manera, las temperaturas
2192 elevadas asociadas al cambio climático pueden agravar los impactos del
2193 anegamiento incrementando la mortalidad de los frutales por la menor solubilidad
2194 de O₂ y CO₂ en aguas inundadas y calientes (Panda and Barik, 2021).

2195 En general, la disponibilidad del O₂ para el sistema radicular de las plantas
2196 inundadas se reduce debido a que el agua contiene menos gas que el que se

2197 encuentra en la atmósfera por la altamente reducida difusión de los gases disueltos
2198 en el agua, es decir es diez mil veces más lenta comparada con la que hay en el
2199 aire (Parent *et al.*, 2008), lo que puede inducir a una crisis energética en los tejidos
2200 anóxicos que lleve a la posible la muerte del frutal. Por la deficiencia de O₂ en suelos
2201 saturados de agua, las raíces son el primer órgano de la planta que es afectada
2202 muriendo primero las raíces finas y fibrosas (Fischer and Orduz, 2012). Además,
2203 por las condiciones anaeróbicas del suelo se incrementan las incidencias por
2204 fitotoxicidad debido a la creciente acumulación de iones reducidos y de productos
2205 de organismos anaeróbicos, por lo que se limitan los microorganismos edáficos
2206 aeróbicos y se incrementa la aparición de patógenos del suelo (Ramírez-Gil *et al.*,
2207 2021). En general, para los frutales leñosos un nivel freático de 1,5 m es el más
2208 recomendado en muchos cultivos (Fischer and Orduz, 2012).

2209 Debido a que los procesos fisiológicos de las raíces como la absorción de nutrientes,
2210 agua, la síntesis de citoquininas y giberelinas están altamente afectados por
2211 condiciones de hipoxia y anoxia, ahí es donde ocurre un cierre estomático (Taiz *et*
2212 *al.*, 2018). Igualmente se presenta una disminución de la transpiración lo que
2213 conlleva el marchitamiento y senescencia prematura de las hojas (Restrepo-Díaz
2214 and Sánchez-Reinoso, 2020). Estas situaciones causan una reducción de la
2215 conductancia estomática, fotosíntesis, crecimiento del tallo y foliar, y de la
2216 producción del frutal en general.

2217 Diferentes mecanismos de adaptación y tolerancia permiten a las plantas desarrollar
2218 cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos para superar la deficiencia de

2219 oxígeno. En este sentido se destacan la aclimatación metabólica y las redes de
2220 señalización, lo que posibilita a las plantas resistir o escapar de entomos con bajo
2221 oxígeno que perturban su crecimiento y metabolismo (Xie *et al.*, 2021).
2222 Generalmente, las especies que son más tolerantes al anegamiento se adaptan a
2223 través de la fermentación en las partes inundadas para continuar con su estado
2224 energético (Parent *et al.*, 2008). Asimismo, a corto plazo, la planta puede
2225 incrementar la cantidad de las enzimas antioxidantes como respuesta al aumento
2226 de ROS, lo que proporciona un criterio para la tolerancia al estrés por anegamiento
2227 (Pérez-Jiménez and Pérez-Tornero, 2021).

2228 Dentro de los cambios morfológicos se presenta la formación de aerénquima para
2229 resistir los periodos largos de inundación (Pérez-Jiménez and Pérez-Tornero, 2021)
2230 que, inducida por el anegamiento, comprende espacios intercelulares e
2231 interconectados propiciados por la muerte programada de las células corticales que
2232 puede incrementar el intercambio gaseoso con la parte aérea de la planta
2233 (Rankenberg *et al.*, 2021) y, de esta manera, promover el ajuste a las condiciones
2234 hipóxicas. Otra adaptación morfológica para mejorar la tolerancia al anegamiento
2235 es la inducción de raíces adventicias que por su formación de aerénquima facilitan
2236 la difusión de O₂ suministrado por las partes aéreas de la planta (Jackson and
2237 Colmer, 2005).

2238 En cuanto al mango, se reporta que varios genotipos reaccionan al anegamiento
2239 con la formación de lenticelas hipertrofiadas que contribuyen a la difusión de
2240 oxígeno (Schaffer *et al.*, 2009) y, al mismo tiempo, sirven para liberar sustancias

2241 tóxicas como resultantes del metabolismo anaeróbico (Parent *et al.*, 2008). Otra
2242 posibilidad de reducir el estrés por hipoxia es la selección de patrones más
2243 tolerantes como es el caso de los cítricos en los cuales *C. macrophylla* tolera mejor
2244 el anegamiento que 'Cleopatra'(Pérez-Jiménez and Pérez-Tornero, 2021),
2245 comportamiento que también se ha observado en aguacate con el patrón 'DusaTM'
2246 que es más tolerante al anegamiento que 'Duke 7' (Reeksting *et al.*, 2014) y en
2247 genotipos de la raza guatemalteca evaluados bajo condiciones tropicales en
2248 Colombia (Ramírez-Gil *et al.*, 2020). Por otra parte, una poda de las ramas
2249 terminado el anegamiento contribuye al restablecimiento del equilibrio en la relación
2250 tallo/raíz, sobre todo en frutales con raíces lesionadas; se encontró que los
2251 aguacates podados se recuperaron más rápidamente del estrés hipóxico que los no
2252 podados (Sanclemente *et al.*, 2014).

2253 Una forma para reducir el estrés es mejorar el potencial redox de un suelo inundado
2254 aplicando "fertilizantes de oxígeno sólidos" como el CaO₂ o MgO₂, con un efecto
2255 sobre el crecimiento (área foliar y peso seco total) de plantas de papaya anegadas
2256 (Thani *et al.*, 2016). También, la tolerancia al anegamiento puede ser promovida por
2257 la colonización micorrícica de las raíces y bacterias promotoras del crecimiento
2258 vegetal (Glick *et al.*, 2007).

2259 **Referencias**

2260 Basile, B., Rouphael, Y., Colla, G., Soppelsa, S. y Andreotti, C. (2020). Appraisal of
2261 emerging crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry

2262 crops facilitated by the application of biostimulants. *Scientia Horticulturae*,
2263 267, 109330.

2264 Botero, H. y Barnes, A. P. (2022). The effect of ENSO on common bean production
2265 in Colombia: a time series approach. *Food Sec.*, 14, 1417–1430.

2266 Cáceres-Zambrano, J., Ramírez-Gil, J. G. y Barrios, D., (2022). Validating
2267 Technologies and Evaluating the Technological Level in Avocado Production
2268 Systems: A Value Chain Approach. *Agronomy*, 12, 3130.

2269 Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S.,
2270 Garreaud, R. D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., Santoso, A., Ng, B.,
2271 Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H.-S., Marengo, J. A., Alves, L. M.,
2272 Osman, M., Li, S., Wu, L., Karamperidou, C., Takahashi, K. y Vera, C. (2020).
2273 Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nat*
2274 *Rev Earth Environ*, 1, 215–231.

2275 du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and
2276 regulation. *Scientia Horticulturae, Biostimulants in Horticulture* 196, 3–14.

2277 Du, T., Kang, S., Zhang, J. y Davies, W. J. (2015). Deficit irrigation and sustainable
2278 water-resource strategies in agriculture for China's food security. *J Exp Bot*
2279 66, 2253–2269.

2280 EVA. (2023). Datos: Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA. Evaluaciones
2281 Agropecuarias Municipales EVA | Datos Abiertos Colombia.
2282 [www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-](http://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge)
2283 [Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge](http://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge)

- 2284 FAO. (2023). FAOSTAT: Food and agriculture data [WWW Document]. URL
2285 www.fao.org/faostat/es/#home
- 2286 Fischer, G., Orduz, J. (2012). Ecofisiología en frutales, in: Manual Para El Cultivo de
2287 Frutales En El Trópico. *Produmedios*, Bogotá, Colombia, pp. 54–72.
- 2288 Glick, B. R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J. y McConkey, B. (2007).
2289 Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in*
2290 *Plant Sciences*, 26, 227–242.
- 2291 Gori, B., Ulian, T., Bernal, H. Y. y Diazgranados, M. (2022). Understanding the
2292 diversity and biogeography of Colombian edible plants. *Sci Rep*, 12, 7835.
- 2293 He, J., Guo, J., Jiang, L., An, W., Ma, F., Guan, Q. y Niu, C. (2022). Transcriptional
2294 Effects of Rootstock on Scion after Drought: A Case Study of Using MdGH3
2295 RNAi as the Rootstock. *Horticulturae*, 8, 1212.
- 2296 Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D.,
2297 Watanabe, S., Kim, H. y Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate
2298 change. *Nature Clim Change*, 3, 816–821.
- 2299 Iqbal, R., Raza, M. A. S., Toleikiene, M., Ayaz, M., Hashemi, F., Habib-ur-Rahman,
2300 M., Zaheer, M. S., Ahmad, S., Riaz, U., Ali, M., Aslam, M.U. y Haider, I.
2301 (2020). Partial root-zone drying (PRD), its effects and agricultural
2302 significance: a review. *Bulletin of the National Research Centre* 44, 159.
- 2303 Jackson, M. B. y Colmer, T. D. (2005). Response and Adaptation by Plants to
2304 Flooding Stress. *Annals of Botany*, 96, 501–505.

- 2305 Jiménez-Arias, D., García-Machado, F. J., Morales-Sierra, S., García-García, A. L.,
2306 Herrera, A. J., Valdés, F., Luis, J. C. y Borges, A. A. (2021). A Beginner's
2307 Guide to Osmoprotection by Biostimulants. *Plants*, 10, 363.
- 2308 Kreuzwieser, J. y Rennenberg, H. (2014). Molecular and physiological responses of
2309 trees to waterlogging stress. *Plant, Cell & Environment*, 37, 2245–2259.
- 2310 Kurukulasuriya, P. y Rosenthal, S. (2013). Climate Change and Agriculture : A
2311 Review of Impacts and Adaptations. World Bank, Washington, DC.
- 2312 Lunt, T., Jones, A. W., Mulhern, W. S., Lezaks, D. P. M. y Jahn, M. M. (2016).
2313 Vulnerabilities to agricultural production shocks: An extreme, plausible
2314 scenario for assessment of risk for the insurance sector. *Climate Risk
2315 Management*, 13, 1–9.
- 2316 Nguyen, T.-D., Nguyen-Quang, T., Venkatadri, U., Diallo, C. y Adams, M. (2021).
2317 Mathematical Programming Models for Fresh Fruit Supply Chain
2318 Optimization: A Review of the Literature and Emerging Trends.
2319 *AgriEngineering*, 3, 519–541.
- 2320 NOAA, C. P. C. (2022). Climate Prediction Center-ENSO (Climate Prediction Center-
2321 ENSO). National Oceanic and Atmospheric Administration.
- 2322 Panda, D. y Barik, J. (2021). Flooding Tolerance in Rice: Focus on Mechanisms and
2323 Approaches. *Rice Science*, 28, 43–57.
- 2324 Parent, C., Nicolas, C., Audrey, B., Crevècoeur, M. y Dat, J. (2008). An overview of
2325 plant responses to soil waterlogging. *Plant stress*, 20.

- 2326 Pérez-Jiménez, M. y Pérez-Tornero, O. (2021). Short-Term Waterlogging in Citrus
2327 Rootstocks. *Plants*, 10, 2772. doi.org/10.3390/plants10122772
- 2328 Procolombia. (2022). Cadena de Agroalimentos 2021. Colombia.
- 2329 Ramírez-Gil, J. G., Castañeda-Sánchez, D. y Morales-Osorio, J. G. (2021). Edaphic
2330 factors associated with the development of avocado wilt complex and
2331 implementation of a GIS tool for risk visualization. *Scientia Horticulturae*, 288,
2332 110316.
- 2333 Ramírez-Gil, J. G., Henao-Rojas, J. C. y Morales-Osorio, J. G. (2020). Mitigation of
2334 the Adverse Effects of the El Niño (El Niño, La Niña) Southern Oscillation
2335 (ENSO) Phenomenon and the Most Important Diseases in Avocado cv. Hass
2336 Crops. *Plants*, 9, 790.
- 2337 Rankenberg, T., Geldhof, B., van Veen, H., Holsteens, K., Van de Poel, B. y
2338 Sasidharan, R. (2021). Age-Dependent Abiotic Stress Resilience in Plants.
2339 *Trends in Plant Science*, 26, 692–705. doi.org/10.1016/j.tplants.2020.12.016
- 2340 Ravi, I. y Mustafa, M. M. (2013). Impact, Adaptation and Mitigation Strategies for
2341 Climate Resilient Banana Production, in: Singh, H.C.P., Rao, N.K.S.,
2342 Shivashankar, K.S. (Eds.), *Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and*
2343 *Mitigation Strategies*. Springer, India, 45–52. doi.org/10.1007/978-81-322-
2344 0974-4_5
- 2345 Reeksting, B. J., Taylor, N. J. y van den Berg, N. (2014). Flooding and *Phytophthora*
2346 *cinnamomi*: Effects on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in shoots

- 2347 of non-grafted *Persea americana* (Mill.) rootstocks differing in tolerance to
2348 Phytophthora root rot. *South African Journal of Botany*, 95, 40–53.
- 2349 Restrepo-Díaz, H. y Sánchez-Reinoso, A. D. (2020). Chapter 5 - Ecophysiology of
2350 fruit crops: A glance at its impact on fruit crop productivity, in: Srivastava, A.
2351 K., Hu, C. (Eds.), *Fruit Crops*. Elsevier, 59–66. doi.org/10.1016/B978-0-12-
2352 818732-6.00005-8
- 2353 SAC. (2021). Así es la hortofruticultura nacional. SAC - Sociedad de Agricultores de
2354 Colombia-*Revista Nacional de Agricultura*, 1–10.
- 2355 Sanclemente, M. A., Schaffer, B., Gil, P. M., Vargas, A. I. y Davies, F. S. (2014).
2356 Pruning after flooding hastens recovery of flood-stressed avocado (*Persea*
2357 *americana* Mill.) trees. *Scientia Horticulturae*, 169, 27–35.
- 2358 Schaffer, B., Urban, L., Lu, P. y Whiley, A. W. (2009). Ecophysiology. The mango:
2359 botany, production and uses, *Botany, Production and Uses*, 170–209.
- 2360 Sthapit, B. R., Ramanatha Rao, V., Sthapit, S.R. y International, B. (2012). Tropical
2361 fruit tree species and climate change. Bioversity International, India.
- 2362 Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. y Murphy, A. (2018). *Fundamentals of Plant*
2363 *Physiology*, 6th ed. Sinauer Associates, New York, NY.
- 2364 Thani, Q. A., Vargas, A. I., Schaffer, B., GuoDong, L. y Crane, J. H. (2016).
2365 Responses of papaya plants in a potting medium in containers to flooding and
2366 solid oxygen fertilization. *Proceedings of the Florida State Horticultural*
2367 *Society* 129, 27–34.
- 2368 UNGRD. (2016). Fenómeno El Niño, Análisis comparativo 1997-1998 // 2014-2016.

- 2369 UPRA. (2023). Evaluación de tierras: zonificación. www.upra.gov.co/uso-y-
2370 [adequacion-de-tierras/evaluacion-de-tierras/zonificacion](http://www.upra.gov.co/uso-y-adequacion-de-tierras/evaluacion-de-tierras/zonificacion).
- 2371 Vélez-Sánchez, J. E., Balaguera-López, H. E. y Alvarez-Herrera, J. G. (2021). Effect
2372 of regulated deficit irrigation (RDI) on the production and quality of pear
2373 Triunfo de Viena variety under tropical conditions. *Scientia Horticulturae*, 278,
2374 109880.
- 2375 Wang, B., Feng, P., Waters, C., Cleverly, J., Liu, D. L. y Yu, Q. (2020). Quantifying
2376 the impacts of pre-occurred ENSO signals on wheat yield variation using
2377 machine learning in Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291,
2378 108043.
- 2379 Wang, Z., Liu, F., Kang, S., Jensen, C. R., 2012. Alternate partial root-zone drying
2380 irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves.
2381 *Environmental and Experimental Botany*, 75, 36–40.
- 2382 Xie, L.-J., Zhou, Y., Chen, Q.-F. y Xiao, S. (2021). New insights into the role of lipids
2383 in plant hypoxia responses. *Prog Lipid Res* 81, 101072.
- 2384 Yohannes, H. (2015). A Review on Relationship between Climate Change and
2385 Agriculture. *J Earth Sci Clim Change*, 07.
- 2386 Zhang, T., Hoell, A., Perlwitz, J., Eischeid, J., Murray, D., Hoerling, M. y Hamill, T.
2387 M. (2019). Towards Probabilistic Multivariate ENSO Monitoring. *Geophysical*
2388 *Research Letters*, 46, 10532–10540.

2389 Zhang, Y., Liu, G., Dong, H., Li, C. (2021). Waterlogging stress in cotton: Damage,
2390 adaptability, alleviation strategies, and mechanisms. *The Crop Journal*, 9,
2391 257–270.

2392 **Capítulo 5. Producción de frutales y el cambio climático en México**

2393 Jorge Andrés Agustín

2394 **Resumen**

2395 Es necesario identificar tecnologías para reorientar la fruticultura hacia sistemas de
2396 manejo más sustentables para evitar la degradación acelerada de los recursos
2397 naturales primarios. La clasificación de sistemas frutícolas es compleja pues se
2398 pueden usar diferentes criterios para agruparlos según el interés, experiencias y
2399 finalidades. Existen sistemas frutícolas tradicionales, sistemas convencionales o
2400 sistemas modernos de producción frutícolas, y sistemas de producción frutícola
2401 agroecológicos. La fruticultura orgánica contempla tener un sistema orientado a la
2402 producción de frutos orgánicos de alta calidad nutritiva; ⁴² que el cultivo interactúe con
2403 los ciclos naturales de todo organismo vivo de una forma constructiva y que
2404 promueva la vida; que respete los ciclos biológicos; que promueva el mejoramiento
2405 de la fertilidad del suelo promoviendo la remineralización de los campos de cultivo,
2406 su desintoxicación y el incremento de la microflora y microfauna en donde habita y
2407 ⁹⁶ cuide la calidad y el uso del agua; y que el control de hierbas, plagas y
2408 enfermedades se realice sin el empleo de insumos de síntesis químico industrial.
2409 Conviene revalorar y adoptar algunas prácticas y conocimientos de la fruticultura
2410 tradicional tales como el uso de abonos, compostas, extractos vegetales para la
2411 nutrición y el control de plagas y enfermedades para desarrollar una fruticultura
2412 agroecológica.

2413 **Palabras clave:** Sistemas frutícolas, cambio climático, México.

2414 **Introducción**

2415 Dentro de la producción agropecuaria de México, la fruticultura es una de las
2416 actividades más importantes por su rentabilidad económica, la cantidad de empleos
2417 que genera en el medio rural, la superficie cultivada, la variedad de frutos de alto
2418 valor alimenticio y la existencia de una gran diversidad de especies introducidas y
2419 nativas de las que se obtiene una gran gama de frutos tropicales, subtropicales y de
2420 clima templado bajo diferentes sistemas de producción hortofrutícolas. Según la
2421 SAGARPA-SIACON (2013), ⁵² la superficie cosechada con frutales representa 6.44%
2422 de la nacional y el valor de su producción 20.67% del total de México, lo cual
2423 significa que cada hectárea cultivada con frutales fue tres veces más rentable que
2424 el promedio del resto de los cultivos y conviene destacar que como actividad
2425 económica, la fruticultura participa de manera importante en el Producto Interno
2426 Bruto (PIB), generando gran cantidad de empleos, además de alimentos altamente
2427 nutritivos para la población nacional e internacional, ya que varios productos
2428 hortofrutícolas son de exportación, lo cual genera divisas para el país.

2429 Cabe señalar que para la fruticultura se destina una superficie de más de un millón
2430 de hectáreas de las mejores tierras y se produce gran cantidad de especies de frutas
2431 bajo diferentes sistemas de producción acorde a las condiciones ambientales,
2432 sociales (culturales) y económicas de las regiones del país. Es importante conocer
2433 los distintos sistemas de producción frutícola para identificar diferentes tecnologías
2434 de manejo con el fin de reorientar actualmente la fruticultura hacia sistemas de
2435 manejo más sustentables en vista de que actualmente se cuestionan las prácticas

2436 no sostenibles, no solo en la fruticultura sino en general en las actividades agrícolas
2437 como responsables de la degradación acelerada de los recursos naturales
2438 primarios, tales como el suelo, el agua, la vegetación (bosques y selvas), la pérdida
2439 de la biodiversidad (recursos fitogenéticos), daños ecológicos por el uso elevado y
2440 descontrolado de agroquímicos, la contribución al cambio climático, el uso excesivo
2441 y agotamiento de los recursos hídricos, riesgos en la salud de los trabajadores,
2442 además de beneficios económicos mal distribuidos; actividades que generan
2443 objeciones a nivel nacional y mundial. La producción frutícola de México proviene
2444 de diferentes regiones agroecológicas con diversos sistemas de producción acorde
2445 a condiciones socioambientales y económicas que los agrónomos debemos de
2446 conocer y entender.

2447 En el presente capítulo nos ocuparemos de exponer los principales sistemas de
2448 producción de frutales en México, entendiendo por sistemas de producción el
2449 conjunto de diversas formas, tecnologías y conocimientos para cultivar frutales y
2450 obtener frutos para la población a precios accesibles, altamente nutritivos, con
2451 calidad e inocuidad, además de cumplir con el rol económico de generar empleos e
2452 ingresos para los productores y jornaleros, así como para las cadenas productivas
2453 que se insertan en cada región del país.

2454 **Los sistemas de producción de frutales en México**

2455 La agricultura es la actividad humana consciente y necesaria que utiliza el trabajo
2456 de los hombres y las mujeres a través del uso de diferentes prácticas tecnológicas,
2457 ya sean tradicionales o modernas con el aporte de la labor de las trabajadoras y

2458 trabajadores para actuar sobre los recursos naturales primarios que son: el suelo,
2459 las plantas, el agua y el clima con la finalidad de producir productos alimenticios
2460 para la humanidad entera como frutas, verduras, hortalizas, cereales o granos
2461 básicos, cultivos industriales, medicinales o especias. Además, como actividad
2462 económica que cumple los objetivos de producir alimentos para la población, genera
2463 ingresos en el medio rural para los agricultores, jornaleros y todas las personas que
2464 se integran en las cadenas productivas y también provee de materias primas para
2465 la agroindustria. Los cultivos agrícolas se pueden subdividir en granos básicos o
2466 cereales, hortalizas, frutales, cultivos industriales, flores y ornamentales, plantas
2467 medicinales y especias con diferentes sistemas o formas de producción en cuya
2468 clasificación intervienen varios elementos o variables ambientales, sociales
2469 (culturales) y económicas.

2470 Los sistemas frutícolas y agrícolas se definen o clasifican con base en diferentes
2471 variantes como las siguientes: Fuente de humedad: riego y/o temporal; Tipo de
2472 tracción: maquinaria, tracción animal o manual, combinada; Destino de la
2473 producción: comercial (Venta: exportación, nacional, regional, local) o autoconsumo
2474 (auto abasto familiar); Tipo de semillas o plantas: mejorada o nativa (criolla); Nivel
2475 tecnológico: alto, intermedio, bajo (tradicional); Tipo de productores: empresarios,
2476 campesinos, jornaleros, otros; Tipo de mano de obra: familiar, asalariada,
2477 combinada (familiar y asalariada); Forma de explotación: intensiva o extensiva; Por
2478 ciclo de cultivos: anuales o cíclicos, perennes, semi perennes; Ubicación del cultivo:
2479 cielo abierto (suelo) o agricultura protegida (sustrato, ferti-irrigación, invernadero);

2480 Tenencia a de la tierra: propiedad social (ejidal, comunal) o propietario (dueño); Tipo
2481 de clima: cálido o tropical, semicálido o subtropical (transición), templado; Número
2482 de especies o cultivos (disposición espacial): unicultivo (monocultivo), policultivo
2483 (asociado, intercalado, imbricado); Destino de la producción: autoconsumo (auto
2484 abasto familiar), venta (mercado regional, nacional, exportación); Ciclo del cultivo:
2485 anual, semiperenne o perenne; Condiciones de pendiente del terreno: pendiente
2486 elevado (accidentado), medio o plano; Cultivo a cielo abierto o protegido
2487 (invernadero, macro túnel, acolchado).

2488 Con algunas de las variables anteriores, la clasificación de sistemas frutícolas es
2489 compleja puesto que cada investigador puede usar diferentes criterios para
2490 agruparlos según su interés, experiencias y finalidades. A continuación, se señalan
2491 y describen tres grandes sistemas que agrupan a otros subsistemas de producción
2492 frutícolas que, de acuerdo con nuestra apreciación y experiencia, unimos y
2493 caracterizamos con las variables más sobresalientes que los distinguen.

2494 **Sistemas frutícolas tradicionales**

2495 Son aquellos sistemas que utilizan las prácticas agrícolas indígenas o de
2496 productores rurales o campesinos, consecuencia de la evolución conjunta de los
2497 sistemas sociales y medioambientales a través del tiempo ³⁶ y que muestran un nivel
2498 alto de sentido ecológico y sustentable expresado a través del uso intensivo de los
2499 conocimientos y recursos naturales, así como de los medios productivos ³⁶ que
2500 incluyen la gestión de la agrobiodiversidad mediante sistemas agrícolas
2501 diversificados. La agricultura y fruticultura tradicional suele basarse en prácticas

2502 transmitidas de generación en generación desde hace largo tiempo. Una
2503 característica destacada de los sistemas agrícolas tradicionales es su grado de
2504 diversidad vegetal en forma de policultivos o de sistemas agroforestales. En estos
2505 sistemas se pueden distinguir al huerto de traspatio, los huertos tolerados en orillas
2506 de parcelas cultivadas o caminos y la recolección de frutos. Podemos agregar que
2507 los sistemas frutícolas son las formas donde más empleo se hace de estas prácticas
2508 basadas en el uso de los recursos naturales (suelo, clima, agua, plantas), sociales
2509 (tenencia de la tierra, mano de obra, organización social, cultura) y económicos
2510 (autoconsumo, mercados, industria, tecnología de manejo, financiamiento) para la
2511 obtención de frutas de los huertos que proporcionen la seguridad alimentaria de la
2512 población tanto rural como urbana.

2513 El sistema frutícola tradicional se caracteriza por el policultivo, es decir, el huerto de
2514 traspatio y la recolección, y está compuesta por varias especies de frutales
2515 (policultivo), orientado principalmente hacia el autoconsumo, utiliza mano de obra
2516 familiar, no emplea agroquímicos, se puede encontrar en todo tipo de clima,
2517 necesita escasas prácticas de manejo tecnológico, la calidad del producto es entre
2518 baja a media por la diversidad genética y daños de plagas y enfermedades, al
2519 manejar gran número de especies frutales los cuidados que requiere permiten
2520 conservar *in situ* la diversidad genética de las especies frutícolas principalmente
2521 nativas y algunas introducidas. Gracias a este sistema es posible recurrir a dichos
2522 huertos para explorar, coleccionar y seleccionar nuevas especies y variedades, así
2523 como para conocer sus formas de uso diversificado y adquirir conocimientos

2524 agronómicos a través de estudios etnobotánicos de frutales que hoy cobran mayor
2525 interés económico para los mercados de frutas exóticas, además de reorientar hacia
2526 la fruticultura sostenible, actualmente muy cuestionada por la fruticultura
2527 empresarial de corte capitalista con diversos impactos ambientales, sociales y
2528 económicos, generalmente adversos a la sostenibilidad.

2529 El huerto familiar (traspatio) es el más representativo de los sistemas frutícolas
2530 tradicionales en México que cumplen con el rol de abastecer de todo tipo de
2531 productos agrícolas, no solo frutícolas sino hortícolas, medicinales, ornamentales,
2532 ceremoniales y especias que son muy importantes para el auto abasto de alimentos
2533 y ocasionalmente forman el complemento de ingresos económicos entre la
2534 población rural más pobre y sin acceso fácil a los mercados de frutas por problemas
2535 de comunicación o escasez de recursos económicos para comprarlas, pues son
2536 cada vez más caras debido a problemas inflacionarios y por la globalización de los
2537 mercados.

2538 Otro sistema muy común se refiere a los huertos tolerados que son utilizados para
2539 fines de recolección de frutos con especies diversas de árboles que pueden producir
2540 frutos comestibles para luego ser recolectados, se toleran en orillas de caminos, de
2541 terrenos cultivados o entre áreas vegetales naturales. Especies nativas como el
2542 tejocote, capulín, ilama o papausa, entre otras son solo el ejemplo de frutales de
2543 recolección que conforman este sistema junto con los huertos de traspatio, ambos
2544 con presencia de gran diversidad morfológica por lo que la conservación *in situ* por
2545 parte de los productores rurales, principalmente campesinos indígenas, tiene gran

2560 Fuente: El autor.

2561 Las condiciones agroclimáticas del sitio son las que determinan el tipo de especies
2562 frutales que pueden ser tropicales, subtropicales o de clima frío o templado. Este
2563 sistema, generalmente es de baja productividad y calidad por tener escaso manejo
2564 tecnológico y con frecuencia conlleva muchos daños por plagas y enfermedades,
2565 pero la mayoría de las veces son productos agroecológicos u orgánicos sanos por
2566 no tener residuos de agroquímicos que, de manera general, no se utilizan en ellos.
2567 También es muy importante señalar que este sistema de cultivo de frutales participa
2568 considerablemente en la conservación *in situ* de la diversidad genética de muchas
2569 especies, principalmente nativas, en donde se pueden realizar exploraciones,
2570 colectas, selecciones de variedades nuevas, puesto que los productores,
2571 campesinos e indígenas participan en la domesticación, selección y mejora genética
2572 en muchas especies de frutales. La agronomía debe revalorizar estos sistemas para
2573 reorientar el uso y conservación sostenible de la fruticultura y en general de la
2574 agricultura.

2575 En un estudio de agricultura de traspatio, Olvera-Hernández *et al.* (2017) concluyen
2576 que el huerto de traspatio, huerto familiar o solar ¹³ es considerado como un
2577 agroecosistema integrado por plantas y animales de utilidad a la familia del medio
2578 rural, y contribuye a la alimentación e ingreso económico por venta de excedentes.
2579 Agregan los autores que ¹³ las especies vegetales del traspatio tienen importancia por
2580 el uso que los productores les dan. Señalan también ¹³ la composición y relevancia de
2581 las especies vegetales del traspatio de las familias campesinas de tres municipios

2582 del Noreste de Puebla, México, ¹³ revelando su situación sociodemográfica
2583 relacionada con el tamaño del traspatio, importancia de especies frutales, anuales
2584 y perennes; así como el manejo y cuidado del traspatio. Se registraron al menos 20
2585 especies de frutales y 46 de especies anuales y perennes, importantes por su
2586 contribución a la alimentación e ingreso a la economía familiar, resaltando que el
2587 manejo y cuidado del traspatio está a cargo del núcleo familiar.

2588 **Sistemas convencionales o sistemas modernos de producción frutícolas**

2589 La producción frutícola en México se desarrolla bajo este gran sistema de
2590 producción convencional o moderno que se caracteriza por manejar grandes
2591 unidades productivas y el empleo de tecnologías modernas basadas en el uso de
2592 agroquímicos tales como los fertilizantes, reguladores de crecimiento, pesticidas de
2593 síntesis química, variedades mejoradas, unicultivo o monocultivo (una sola especie
2594 y variedad, ocasionalmente dos o tres), sistemas de riego presurizados con el
2595 suministro de fertilizantes solubles en el agua de riego (fertirriego), uso de
2596 maquinaria agrícola para las labores, contratación de mano de obra asalariada,
2597 productos dirigidos al mercado nacional y de exportación, elevados costos de
2598 producción, utilización de energía fósil para la maquinaria, prácticas de inocuidad;
2599 este sistema también es cuestionado por ser responsable del deterioro y
2600 contaminación ambiental, ya que las prácticas de aplicación de agroquímicos
2601 acarrear consecuencias sobre la salud de los trabajadores jornaleros por no usar
2602 las medidas de protección adecuadas, además de contaminar el agua, el suelo y,
2603 con esto, acelerar el cambio climático entre otros efectos negativos. Otra

2604 característica es que se busca un alto rendimiento y calidad de los productos
2605 frutícolas para que sea rentable su producción.

2606 La mayor parte de la producción frutícola de México es obtenida bajo este sistema
2607 convencional o moderno que puede tener subsistemas, aunque para algunos
2608 investigadores en realidad son sistemas de producción, pero con base en las
2609 características comunes expuestas se pueden agrupar como subsistemas en el
2610 gran sistema de producción. Los frutales de mayor importancia cultivados bajo esta
2611 práctica son: café, aguacate, mango, limón, naranja, durazno, nogal, papaya, coco,
2612 berries (fresa, zarzamora, arándano y frambuesa roja), toronja, plátano. Los
2613 subsistemas que pertenecen o se agrupan a este sistema convencional de
2614 producción frutícola pueden ser los siguientes:

2615 *Huertos a cielo abierto o suelo*

2616 La actividad frutícola de México está bajo este sistema de establecimiento y manejo
2617 de huertos. Comprende a las huertas de aguacate, café cereza convencional,
2618 naranja, plátano, guayaba, durazno, pera, manzanos, guanábana, mango, limón,
2619 nogal pecanero, nopal tunero, piña, pitahaya y pitaya entre los de mayor superficie.

2620 Las prácticas de manejo de este sistema de producción frutícola son las siguientes:

2621 Selección, limpia y preparación del terreno, barbecho, cruza, rastreos (1-2),
2622 surcado, plantación, podas, riegos por gravedad o presurizados, generalmente
2623 integrado con el control químico de plagas -en algunas especies se utiliza el Manejo
2624 Integrado de Plagas y Enfermedades y Malezas (MIP)-, fertilización química y
2625 orgánica, cosecha manual, venta en campo, participación industrial (selección y

2626 empaque, proceso), aplicación de algunos principios de manejo postcosecha,
2627 comercialización en mercados nacionales y de exportación, se utilizan variedades
2628 mejoradas, se obtiene buen rendimiento y calidad con inocuidad para la exportación
2629 aplicando en la mayoría de estos huertos las buenas prácticas agrícolas. Las
2630 siembras pueden ser en surcos (herbáceas como las berries), hileras con diseños
2631 de sistemas de plantación triangular o “tresbolillo”, rectangular o en cuadro (árboles
2632 perennes). El manejo técnico no es uniforme, sino que varía mucho entre especies,
2633 regiones, tipo de productores, destino de la producción (mercado nacional o
2634 exportación) y rentabilidad del cultivo.

2635 Además, se caracteriza por contar con unidades de producción tanto extensas como
2636 pequeñas que en su mayoría tiene asesoría técnica con especialistas, también se
2637 aplica en monocultivos con escasa base genética (una o dos variedades),
2638 variedades de alto rendimiento con adaptación agroclimática, elevado uso de
2639 agroquímicos, separación del cultivo y el ganado por cuestiones de inocuidad,
2640 dependencia del petróleo para el trabajo con maquinaria y equipos, se cuida el
2641 rendimiento y la calidad con inocuidad cuando el producto es para exportación.

2642 Figura 2. Huerto de durazno convencional con estímulos basados en productos
2643 químicos para producción forzada en Tingambato, Michoacán



2644

2645 Fuente: El autor.

2646 Algunos huertos con cultivos destinados a la exportación están siendo cuestionados
2647 por su poca sustentabilidad en el uso y conservación de los recursos naturales como
2648 el agua, suelo, cambio climático y pérdida de la biodiversidad debida
2649 fundamentalmente por extender el deterioro de los recursos vegetales (bosques y
2650 selvas) al realizar cambio de uso de suelo, también por incrementar la desigualdad
2651 social en la distribución de los ingresos y ganancias de manera inequitativa (las
2652 mayores ganancias son para dueños de empresas extranjeras), favorecen el
2653 rentismo de tierras, acaparamiento del agua de riego, riesgos por los daños en la
2654 salud de los trabajadores, contaminación ambiental, altos costos de producción y
2655 dificultades de mercado.

2669 calidad superior, un mejor control de la producción, menor incidencia de plagas y
2670 enfermedades, ⁸ la oportunidad de cultivar productos fuera de sus respectivas
2671 temporadas y mayores ganancias para los productores.

2672 Este sistema se centra en la producción de especies herbáceas o arbustivas tales
2673 como las berries (fresa, frambuesa roja, arándano o blueberry y la zarzamora),
2674 tomate rojo, pimiento y pepino europeo. Si bien proporciona una serie de beneficios,
2675 también conlleva muchos inconvenientes como los elevados costos en su
2676 aplicación, el plástico puede provocar contaminación de los terrenos al término del
2677 ciclo, utiliza grandes cantidades de agroquímicos y agua, requiere de polinizadores
2678 por estar en ambientes cerrados.

2679 En las berries (frutillas) y hortalizas en la región centro occidente y Sinaloa de
2680 México se están utilizando los macro túneles de plástico, algunos invernaderos y la
2681 malla sombra. Además, en este sistema se ha estado usando el acolchado plástico
2682 y el fertirriego (sistemas de riego presurizado por goteo con inyección de nutrientes
2683 a base de fertilizantes altamente solubles) que puede aplicarse con agroquímicos o
2684 con manejo orgánico y control biológico de plagas y enfermedades, pero requiere de
2685 buenas prácticas agrícolas para la inocuidad (cercado, instalaciones, señalización,
2686 uso de productos autorizados, capacitación de personal) y asesoría técnica
2687 especializada. La producción está orientada hacia la exportación en mercados
2688 internacionales y los costos son muy elevados para adoptar estos sistemas.

2689 Foto 4. Sistema de cultivo de agricultura protegida en arándano (blueberry) con
2690 macro túnel y acolchado plástico en Zamora, Michoacán



2691

2692 Fuente: El autor.

2693 *Producción recirculante (hidroponía)*

2694 Este sistema es el más novedoso y se encuentra en la fase de desarrollo, aunque
2695 algunos productores ya lo están utilizando a escala comercial conviene señalar que
2696 probablemente se utilice masivamente en los próximos años no solo para frutillas,
2697 sino también para muchas especies de hortalizas. El sistema utiliza estructuras de
2698 plástico o invernaderos (agricultura protegida), pero incorpora la hidroponía, tiene
2699 mayor control en el manejo de agua, preparación de soluciones nutritivas, emplea
2700 sustratos inertes en lugar de suelo (arena, tezontle, vermiculita, germinaza o fibra
2701 de coco y otros), se obtienen muy altos rendimientos, permite aplicar y controlar las
2702 prácticas de inocuidad, pero el mayor inconveniente es la elevada inversión inicial,
2703 además de que requiere forzosamente de asesoría por parte de expertos en
2704 hidroponía.

2705 *Sistemas de producción frutícola agroecológicos*

2706 Actualmente, la agricultura convencional o industrial está recibiendo fuertes
2707 cuestionamientos por favorecer el deterioro ambiental (principalmente por acelerar
2708 el cambio climático, su influencia en el daño y contaminación del suelo y agua, la
2709 pérdida de la biodiversidad), la desigualdad social y económica, la afectación de
2710 salud de trabajadores y productores, así como de los consumidores), entre otros.
2711 Se discute y propone, por lo tanto, la incursión en un sistema ⁸⁴ de producción de
2712 frutales con orientación agroecológica, ⁸⁴ entendiéndose su fuerte vínculo con los
2713 policultivos, la inclusión de animales y el rediseño del paisaje, el uso de materia
2714 orgánica como fuente de nutrientes y mejora del suelo, el empleo racional del agua,
2715 el control biológico de plagas y enfermedades, la revalorización de la tecnología
2716 tradicional de producción ya caracterizada; es decir, la producción sostenible. Esta
2717 nueva forma de producir productos agrícolas es reciente y nace como una respuesta
2718 a la necesidad de transformación sostenible de la agricultura en general y de la
2719 horticultura y fruticultura en particular. Aunque de manera lenta, poco a poco existe
2720 una tendencia hacia la mudanza a este nuevo sistema de producción agrícola a
2721 nivel nacional y mundial.

2722 Gliessman (2016) consigna que ³¹ la agroecología es una forma de rediseñar los
2723 sistemas alimentarios desde la granja hasta la mesa con el objetivo de lograr la
2724 sostenibilidad ecológica, económica y social, además menciona el mismo autor que
2725 para transformar o transitar de la agricultura industrial o convencional hacia la
2726 agricultura agroecológica se requiere de las acciones en por lo menos 5 niveles:
2727 Nivel 1: Incrementar ³¹ la eficiencia de las prácticas industriales y convencionales para

2728 reducir el uso y consumo de productos costosos, escasos o perjudiciales para el
2729 medio ambiente; Nivel 2: Sustitución de prácticas alternativas por insumos
2730 industriales/convencionales y prácticas; Nivel 3. Rediseñar el agroecosistema para
2731 que funcione sobre la base de un nuevo conjunto de procesos ecológicos; Nivel 4:
2732 Restablecer una conexión más directa entre quienes cultivan nuestros alimentos y
2733 quienes los consumen; Nivel 5: Sobre la base creada por los agroecosistemas
2734 sostenibles a escala de finca alcanzados en el Nivel 3 y las nuevas relaciones de
2735 sostenibilidad del Nivel 4 se pretende construir un nuevo sistema alimentario
2736 mundial, basado en la equidad, la participación, la democracia y la justicia, que no
2737 solo es sostenible, sino que ayuda a restaurar y proteger la vida de la tierra, sistemas
2738 de apoyo de los que todos dependemos.

2739 En suma, la Agroecología es una ciencia nueva que nace de las discusiones,
2740 cuestionamientos y preocupaciones de la agricultura convencional para ofrecer la
2741 alternativa de un nuevo sistema de producción agrícola y frutícola que incorpora
2742 conocimientos de la ecología y la agronomía hacia prácticas sostenibles. Los
2743 principios y estrategias de la agroecología, según Infante y San Martín (2016), son
2744 los siguientes: 1. Altas tasas de reciclaje para mantener un flujo permanente de
2745 nutrientes y disminuir los requerimientos de insumos externos; 2. Estimular la
2746 máxima diversificación de los agroecosistemas; 3. Asegurar la mejor condición de
2747 suelo manteniendo estable el contenido de materia orgánica, permitiendo un
2748 funcionamiento biológico de suelo que sostenga la fertilidad y la sanidad de los
2749 cultivos; 4. Aumentar las interacciones de los componentes del sistema

2750 fortaleciendo los procesos internos que apoyan y refuerzan la estabilidad; 5.
2751 Disminuir las pérdidas del sistema cerrando los ciclos de agua, materia orgánica,
2752 nutrientes, etc.; 6. Considerar las bases culturales de los sistemas tradicionales para
2753 el diseño y fortalecimiento de agroecosistemas de base agroecológica.

2754 *Fruticultura orgánica*

2755 La producción orgánica en la agricultura y horticultura en general, y particularmente
2756 en la fruticultura, se puede considerar como el sistema agroecológico de mayor
2757 importancia en relación con la superficie cultivada, los volúmenes de producción y
2758 el número de productores que participan bajo este esquema en México. ⁶⁹ La
2759 Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica (IFOAM, 2005)
2760 define a la agricultura orgánica como un sistema de producción que mantiene y
2761 mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Señala también como
2762 ¹² principios de la agricultura orgánica los siguientes: Principio de salud: la agricultura
2763 orgánica debe sostener y promover la salud de suelo, planta, animal, persona y
2764 planeta como una sola e indivisible; Principio de ecología: la agricultura orgánica
2765 debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos,
2766 emularlos y ayudar a sostenerlos; Principio de equidad: la agricultura orgánica debe
2767 estar basada en relaciones que aseguren equilibrio con respecto al ambiente común
2768 y a las oportunidades de vida; Principio de precaución: la agricultura orgánica debe
2769 ser gestionada de una manera responsable y con precaución para proteger la salud
2770 y el bienestar de las generaciones presentes y futuras, y el ambiente.

2771 Los siguientes requerimientos pueden considerarse como básicos para la
2772 producción orgánica de frutos: ¹⁴ i. Tener un sistema orientado a la producción de
2773 frutos orgánicos de alta calidad nutritiva; ii. Que el cultivo interactúe con los ciclos
2774 naturales de todo organismo vivo de una forma constructiva y que promueva la vida;
2775 iii. Que respete los ciclos biológicos, los estudie y comprenda; iv. Que promueva el
2776 mejoramiento de la fertilidad del suelo promoviendo la remineralización de los
2777 campos de cultivo, su desintoxicación y el incremento de la microflora y microfauna
2778 en donde habita y cuide la calidad y el uso del agua; y v. Que el control de hierbas,
2779 plagas y enfermedades se realice sin el empleo de insumos de síntesis químico
2780 industrial.

2781 Cabe destacar que la producción orgánica en México está regulada por la Ley de
2782 Productos Orgánicos (2010) que fue elaborada por SENASICA y aprobada por la
2783 Cámara de Diputados. Por lo tanto, el término agricultura orgánica se refiere al uso
2784 de técnicas y procesos ²⁰ que utiliza métodos que respetan el medio ambiente, la salud
2785 de las personas desde las etapas de producción hasta las de manipulación y
2786 procesamiento con el reparto justo y equitativo de las ganancias. ⁷⁶ La producción
2787 orgánica no solo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se
2788 aplica para producir y entregar el fruto al consumidor final. Hoy en día la producción
2789 orgánica se entiende como la obtención de productos agrícolas y frutícolas en la
2790 cual alguna empresa especializada extiende un certificado donde constata que
2791 efectivamente ese producto ha sido manejado con las prácticas orgánicas
2792 establecidas, de lo contrario no se considera orgánico. Esto desde luego implica

2793 contratar empresas y hacer pagos que son elevados, lo que desanima a muchos
2794 productores, pero definitivamente para la venta y exportación de dichos productos
2795 se exige ese certificado.

2796 A nivel mundial, la producción orgánica crece año con año. Los países con la mayor
2797 superficie de cultivo orgánico en el mundo en 2021 son: Australia que, ²⁷ sin ninguna
2798 duda, es el país líder en agricultura orgánica al contar con una superficie agraria
2799 destinada a este tipo de cultivos cercana a los 35,7 millones de hectáreas. La
2800 diferencia con los otros dos países que completan el podio supera así los 30
2801 millones. En concreto, el área dedicada a cultivos ecológicos en Argentina, que
2802 ocupa el segundo lugar de la clasificación mundial, se situó en torno a los 4,1
2803 millones de hectáreas durante el año referido. España perdió una posición con
2804 respecto a 2020, quedando relegada al séptimo puesto (Orus,2023). Aunque
2805 México no figura en la lista anterior, se conoce que ocupa el tercer sitio a nivel
2806 mundial. Según la SADER (2019), en México los productos que más se producen
2807 de manera orgánica son el café, aguacate, guayaba, limón, uva, fresa, coco,
2808 plátano, cártamo, mango, chía, zarzamora, naranja, garbanzo, tomate y maíz;
2809 destacan los frutales y algunas hortalizas en este sistema de producción. Las
2810 entidades con mayor producción orgánica son: Chiapas, Baja California y Oaxaca.
2811 ⁸ Más de 164 mil hectáreas de cultivo están certificadas bajo la Ley de Productos
2812 Orgánicos, 38 mil 107 productores han sido autenticados en cumplimiento a la
2813 citada ley, y de ellos, 86% son pequeños productores que cuentan con una
2814 superficie de hasta 5 hectáreas.

2815 En la práctica, la fruticultura orgánica se centra en el manejo de la fertilidad del suelo
2816 por medio de la aplicación de estiércoles y compostas, residuos orgánicos como
2817 abonos verdes y otros materiales orgánicos, no se permite la aplicación de
2818 fertilizantes de síntesis química; el control de plagas y enfermedades es el otro
2819 aspecto importante dentro del manejo orgánico de las huertas a través del uso de
2820 extractos vegetales, control biológico y el uso de algunos minerales como el cobre.
2821 Se incluyen las buenas prácticas de manejo para la inocuidad. Además, se aceptan
2822 como sinónimos de la agricultura orgánica denominaciones como agricultura
2823 alternativa, ecológica, biológica, natural, bio-dinámica y regenerativa, siendo la
2824 fruticultura orgánica la de más alto desarrollo actualmente. El sector campesino es
2825 el que mayor dinamismo ha tenido en la transformación de la agricultura orgánica
2826 en México debido a que han venido utilizando tecnologías más cercanas a las
2827 agroecológicas por varias razones, entre ellas por los altos costos de los
2828 agroinsumos.

2829 **Hacia la sustentabilidad de la producción frutícola**

2830 La FAO-SAGARPA (2014) señalan que por cambio climático se entienden las
2831 variaciones del clima atribuidas ⁶ directa o indirectamente a la actividad humana que
2832 altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural
2833 del clima observada durante períodos comparables y sus efectos sobre el sector
2834 agropecuario, ya que este es altamente dependiente del clima y por tanto,
2835 vulnerable a los cambios que presenta. Agregan que ⁶ entre los efectos del cambio
2836 climático se tiene el incremento en la temperatura, lo cual presenta alteraciones

2837 ⁶ negativas en el desarrollo vegetativo de los cultivos y provoca la proliferación de
2838 malas hierbas e insectos dañinos, así como la aparición o reemergencia de
2839 enfermedades. También, como efecto del cambio climático se registran eventos
2840 extremos como las sequías, las heladas y las inundaciones, las cuales afectan de
2841 manera negativa la producción agropecuaria por lo que en el contexto de la actual
2842 crisis internacional de precios de los alimentos los sucesos climáticos extremos
2843 juegan un papel importante.

2844 Actualmente existe un debate mundial sobre los efectos adversos que produce el
2845 cambio climático, no solo en la agricultura, sino en la población en general con
2846 inundaciones, sequías, calor excesivo, erosión del suelo, granizadas, heladas,
2847 agotamiento y escasez del agua, y efectos de ciclones y huracanes, los cuales
2848 ocasionan diferentes alteraciones en la población humana, en la producción
2849 agrícola y seguridad alimentaria que provoca mayor pobreza y desigualdad,
2850 principalmente en zonas rurales con el consecuente aumento de migración en busca
2851 de alternativas de sobrevivencia. La agricultura ha recibido severas críticas por el
2852 impacto que ha generado por décadas el uso de agroquímicos y fertilizantes, las
2853 prácticas de quema de residuos de cosecha, el consumo de mayores volúmenes de
2854 agua, la deforestación y cambio de uso de suelo para la fruticultura y la ganadería.
2855 Al reconocer que el cambio climático está alterando las condiciones de vida en el
2856 planeta, los debates sobre causas y responsabilidades se incrementan, pero por
2857 otro lado la población aumenta y se requieren grandes volúmenes de alimento y una
2858 distribución más equitativa. Es claro que se debe reorientar la tecnología de

2859 producción agrícola hacia el manejo sostenible atendiendo no solo el uso racional
2860 de los recursos naturales, sino también la cuestión social y económica. La respuesta
2861 al cambio climático es variable entre países, casualmente los que más contaminan
2862 con las emisiones del CO₂ (países industrializados) son los que menos
2863 responsabilidades adquieren para combatir este fenómeno que año con año se
2864 vuelve una gran amenaza para la humanidad.

2865 En la agricultura en general y la fruticultura en particular se manejan plantas que
2866 responden a los elementos del clima como la temperatura y humedad para su
2867 crecimiento y desarrollo normal de acuerdo con respuestas de adaptación
2868 agroecológica a través del tiempo; de esta manera, actualmente se reconocen tres
2869 principales tipos de frutales acorde a la adaptación por su clima: frutales tropicales,
2870 subtropicales y de clima templado. Por lo tanto, el crecimiento y desarrollo de estas
2871 especies frutícolas dependen de sus actividades fisiológicas influenciadas
2872 directamente por los elementos del clima: temperatura, precipitación, humedad
2873 relativa, viento, insolación, nubosidad, evaporación y presión atmosférica. Por otro
2874 lado, los factores del clima como la altitud, latitud, circulación de la atmósfera,
2875 orografía o relieve del lugar e influencia de corrientes marinas también influyen
2876 sobre la eco fisiología y morfología de los frutales. Ante los cambios de estos
2877 elementos climáticos es de esperar que tal actividad fisiológica se modifique
2878 afectando directamente la fenología del árbol frutal, lo que impacta directamente
2879 sobre el rendimiento y calidad de los frutos.

2880 El cambio de clima sucede a nivel mundial, pero tiene sus expresiones regionales y
2881 por zonas variables de un año a otro que presenta muchas dificultades para una
2882 predicción acertada. En la fruticultura nacional, por lo tanto, dependiendo de
2883 regiones y especies, las afectaciones son inconstantes y se ha visto en los últimos
2884 años alteraciones causadas por granizadas, heladas atípicas, bajas temperaturas
2885 que afectan la floración y el amarre de frutos, altas y bajas temperaturas, cambios
2886 en la humedad relativa, precipitaciones escasas que provocan sequía o elevadas
2887 que producen inundaciones, presencia de huracanes y ciclones con caídas de
2888 árboles, resquebrajaduras de ramas y troncos, deshoje y desprendimiento de frutos,
2889 mayor presencia y daños de plagas y enfermedades, incidencia de malezas, sequía
2890 y considerable necesidad de agua e inundaciones.

2891 No siempre el impacto es negativo, puede haber algunos puntos positivos en este
2892 cambio de los elementos del clima, pero se requiere conocer a profundidad el
2893 manejo de la tecnología actual para sacar provecho de dichos elementos del clima
2894 que afectan positivamente la fisiología de los frutales. Para ello es necesario crear
2895 y actualizar las estaciones meteorológicas que monitorean el clima en cada región
2896 frutícola con el fin de asociar esos elementos y sus niveles de cambio para ajustar
2897 las prácticas de manejo tecnológico. El ajuste tecnológico es muy necesario y
2898 muchos productores de frutales están dando esta batalla en México y a nivel
2899 mundial, aunque el cambio tecnológico influye sobre el incremento en los costos,
2900 pero se justifica como en el caso del sistema de agricultura protegida para la
2901 producción de berries y hortalizas que se ha incrementado de manera general,

2902 precisamente para contrarrestar los efectos del cambio climático y proteger la
2903 elevada inversión que se hace en este sistema de producción.

2904 ⁵⁶ La producción de un frutal depende de la diaria interacción de los árboles con el
2905 clima, el suelo, la humedad, nutrición, presencia de plagas, enfermedades y
2906 malezas, además de las intervenciones tecnológicas, ⁵⁶ las cuales van permitiendo a
2907 las plantas desarrollar su potencial en la medida que se minimicen las causas de
2908 estrés (García-Barreda *et al.*, 2021). En el caso del aguacate, un frutal de gran
2909 importancia económica para el país y especialmente para Michoacán, Avilés *et al.*,
2910 (2022) menciona que el cambio climático ha puesto en riesgo sus cosechas ⁵ en los
2911 diferentes países productores. Se calcula que para finales de siglo XXI la
2912 temperatura aumente entre 1.1 °C (en el mejor de los casos) y 6.4 °C (en el peor de
2913 los casos). Para las zonas productoras de aguacate en México se prevé un aumento
2914 en la temperatura lo que provocará que durante la floración no solo se acorte el
2915 periodo de apertura de flores, sino que se reducirá la cantidad de estos, las lluvias
2916 excesivas en poco tiempo traerán consigo mayor incidencia de plagas,
2917 enfermedades e inundaciones, lo que provocará un menor crecimiento de la raíz,
2918 además de problemas con los agentes polinizadores como es el caso de las abejas,
2919 lo cual repercutiría en una menor eficiencia de polinización, menos cuajado de fruto
2920 y menor rendimiento.

2921 Con el fin de disminuir los mencionados riesgos ⁵ causados por el cambio climático
2922 se debe implementar un plan integral que incluya la creación y uso de variedades
2923 con mayor rango de adaptabilidad y el manejo sustentable de los recursos naturales

2924 y de agroquímicos. La fenología del aguacate 'Hass' cultivado en Michoacán es
2925 vulnerable al cambio climático debido a la presencia de ⁵ dos amenazas: 1. El
2926 aumento de la temperatura máxima media anual; y 2. El retraso de la inflexión
2927 (descenso) de la temperatura mínima (Álvarez-Bravo *et al.*, 2017).

2928 Los impactos del cambio climático se ven reflejados en el ciclo hidrológico al influir
2929 en la evapotranspiración y en la precipitación, afectando la demanda de riego y la
2930 gestión de los sistemas de riego (Ojeda-Bustamente ⁶ *et al.*, 2011). De igual manera,
2931 las consecuencias de las variaciones en la disponibilidad de agua durante el
2932 crecimiento de los cultivos alteran su rendimiento debido a que el inicio de la
2933 estación se modificará. En el caso del café en Veracruz se encontró que los
2934 escenarios de cambio climático apuntan a serios riesgos en la producción de café,
2935 por ejemplo, un exceso en las condiciones de humedad podría generar la aparición
2936 de enfermedades como el "mal de hilachas"; el cambio de temperatura afecta el
2937 promedio de lluvias mensuales; la amplitud de la sequía pre estival durante el
2938 invierno modifica el inicio de la floración; y la variación de humedad y sequía altera
2939 el crecimiento del fruto ⁶ (Villers *et al.*, 2009).

2940 Otro de los efectos del cambio climático se ve reflejado en la distribución de plagas
2941 y enfermedades en animales y plantas. De acuerdo con el Sistema Nacional de
2942 Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF), la sequía prolongada y el
2943 incremento constante de temperatura, al igual que otros fenómenos derivados del
2944 calentamiento global (ciclones y nortes) favorecerán de manera general a las

2945 especies invasoras de insectos (transfronterizas), lo que incrementaría la presión
2946 de las plagas sobre los cultivos.

2947 Por lo que respecta a los frutales de clima templado o caducifolios en México, estos
2948 ⁵ se cultivan en el centro y norte del país donde la temperatura al final del otoño y
2949 durante el invierno es baja para que ocurra una defoliación de los árboles y
2950 presenten letargo durante el invierno. El calentamiento global, como efecto del
2951 cambio climático, tiene el potencial de reducir las horas frío (HF) disponibles en el
2952 invierno y afectar la producción de los árboles frutales caducifolios (Medina-García
2953 *et al.*, 2019). Las HF son temperaturas menores o iguales a 7.2°C y tienen un efecto
2954 directo en la fisiología de los frutales de clima templado, ya que permite adaptarse
2955 acorde a sus necesidades en la degradación de las reservas (almidón) en azúcares
2956 simples para la rebrotación foliar y la floración después de completar los
2957 requerimientos de las HF como mecanismos de adaptación. Por lo tanto, el efecto
2958 del cambio climático puede alterar la temperatura, las HF y las Horas Calor (HC)
2959 impactando directamente la brotación foliar y floral, en consecuencia, el rendimiento
2960 y calidad de frutos.

2961 El estudio de Medina-García *et al.* (2019) sobre efectos del cambio climático en
2962 ⁵ cuanto a la acumulación de horas frío en el periodo de invierno concluye que en
2963 análisis histórico sobre la variación del número de horas frío (HF) y un análisis
2964 similar en los escenarios climáticos 2030, 2050 y 2070 en varios ⁵ escenarios se
2965 encontraron efectos del cambio climático, el cual será desfavorable para los frutales
2966 de clima templado, provocando la disminución de la superficie establecida con

2967 frutales. Si eso pasa en el norte, podemos esperar que en el centro del país el efecto
2968 sea mayor. No solo se trata de reducción de HF, también pueden presentarse
2969 situaciones adversas de cambio de clima por la presencia de heladas, granizadas,
2970 sequías y mayores requerimientos de agua para el riego.

2971 Las experiencias prácticas de los efectos del cambio climático en la fruticultura son
2972 diversas, por ejemplo, las granizadas han ido en aumento en frecuencias y en el
2973 tamaño de los granizos, de tal manera que en los cultivos de pepino, jitomate,
2974 aguacate se han observado daños totales en el follaje y caída de frutos y rajaduras,
2975 impactando directamente en el rendimiento y la calidad de las cosechas. Las
2976 granizadas no solo se presentan en la temporada normal de lluvias de junio a
2977 septiembre, sino que se han registrado estos fenómenos durante los meses fuera
2978 de la temporada de lluvias. En el cultivo de aguacate se pueden ver huertas en la
2979 región de Uruapan, Michoacán, con daños casi totales en el follaje y caída de frutos
2980 en desarrollo, lo que resulta en cuantiosas pérdidas. Así con la fresa en la región de
2981 Maravatío, en el mismo estado, hemos visto daños al follaje cuando la planta
2982 comienza su desarrollo vegetativo a fines del mes de agosto, y aunque la planta se
2983 recupera se atrasa el crecimiento inicial de la planta y la producción también. Una
2984 de las razones por las que se utilizan plásticos en los invernaderos o macro túneles
2985 en frutales pequeños es precisamente para evitar los daños de granizo y heladas.
2986 Con el fin de reducir los daños de granizo en la fruticultura se incrementa
2987 actualmente el uso de caños antigranizo que probablemente también perjudican el

2988 ambiente, además no se conoce su efectividad e impactan directamente en el
2989 incremento de los costos de producción.

2990 Es muy necesario que en nuestro país se continúe con los estudios sobre el cambio
2991 climático utilizando todas las herramientas científicas al alcance, como el uso de los
2992 Sistemas de Información Geográfica (SIG), el establecimiento de estaciones
2993 climatológicas y otras para monitorear los cambios predecibles y detectables para
2994 prevenir, hasta donde sea posible, el impacto negativo de los cambios en los
2995 elementos del clima, principalmente el de la temperatura y precipitación, la
2996 presencia de fenómenos atmosféricos como los huracanes y ciclones, entre otros.

2997 También es importante señalar que se debe continuar con la conservación *in situ* y
2998 *ex situ* de los recursos fitogenéticos de los frutales pues el cambio climático puede
2999 ocasionar la pérdida de dichos recursos, además de mantener la mejora genética
3000 para crear nuevas variedades con resistencia o tolerancia a las adversidades como
3001 la sequía, inundaciones, resistencia a plagas y enfermedades, requerimientos de
3002 horas frío y horas calor, entre otros parámetros. Se debe apoyar a los productores
3003 con capacitación en el uso de las prácticas agroecológicas y las necesidades de
3004 transformación de la agricultura convencional hacia la agroecológica.

3005 Los actuales cuestionamientos que se hacen sobre la fruticultura con tecnología
3006 convencional basada en agroquímicos y energía fósil que provoca el deterioro de
3007 los recursos naturales (suelos, clima, ciclo hidrológico, agotamiento de los recursos
3008 vegetales, pérdida de la biodiversidad, riesgos sobre la salud de los trabajadores
3009 agrícolas, el aumento del cambio climático), así como la falta de inequidad en el

3010 reparto de las ganancias derivadas de la actividad frutícola hacen indispensable que
3011 la investigación agronómica y la formación docente reoriente los contenidos hacia
3012 la sostenibilidad. No está de más plantear la necesidad de capacitar a los
3013 agrónomos que se dedican a brindar asesoría técnica a los productores y a los
3014 mismos trabajadores (jornaleros agrícolas) para seguir el camino de las prácticas
3015 sostenibles en la fruticultura; esta reorientación, además de necesaria, es urgente.
3016 Por lo anterior, la adopción de prácticas agroecológicas es fundamental para la
3017 fruticultura sostenible siguiendo el ejemplo de algunos productores y empresas que
3018 están ya utilizándolas (agricultura orgánica) en la fruticultura con algunos cultivos
3019 como el café, aguacate, durazno, papaya, mango, berries, coco, limón, hortalizas y
3020 otros frutales como una nueva alternativa de producción más sostenible. Asimismo,
3021 conviene revalorar y adoptar algunas prácticas y conocimientos de la fruticultura
3022 tradicional tales como el uso de abonos, compostas, extractos vegetales para la
3023 nutrición y el control de plagas y enfermedades, y así desarrollar la fruticultura
3024 agroecológica.

3025 **Conclusiones**

3026 Los sistemas de producción frutícolas quedan entendidos, entonces, como el
3027 conjunto de diversas formas, tecnologías y conocimientos para cultivar frutales y
3028 obtener frutos destinados a la población a precios accesibles, altamente nutritivos
3029 con calidad e inocuidad, que cumplan con el rol económico de generar empleos e
3030 ingresos para los productores, jornaleros y las cadenas productivas que se insertan
3031 en cada región y país. Los principales sistemas de producción frutícolas en México

3032 son: los sistemas tradicionales donde se incluyen los huertos de traspatio, los
3033 sistemas convencionales o industriales con tecnología basada en agroquímicos,
3034 maquinaria agrícola, producción orientada a la comercialización en los mercados
3035 nacionales y de exportación; y los sistemas agroecológicos donde la producción
3036 orgánica está en crecimiento con muchos frutales, encaminada a la producción
3037 sostenible.

3038 El cambio climático afecta el rendimiento y la calidad de la producción frutícola por
3039 la presencia de diversos fenómenos adversos como granizadas, heladas,
3040 inundaciones, sequía, calor elevado, aumento de daños por plagas y enfermedades,
3041 incidencia de malezas, presencia de ciclones, huracanes, temperaturas elevadas y
3042 bajas que afectan la fisiología de los frutales, así como lluvias torrenciales que
3043 aumentan la erosión del suelo.

3044 **Referencias**

- 3045 Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruiz-Corral, J., Medina-García, G. (2017).
3046 Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de
3047 aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,
3048 8(19): 4035-4048.
- 3049 Aviles Reyes, A., Castro Acosta, E., López Fuentes, A., Mendoza Bautista, C. y
3050 Secundino José, K. (2022). Cambio climático y producción de aguacate.
3051 www.researchgate.net/publication/357662730_Cambio_climatico_y_produccion_de_aguacate
3052 [on_de_aguacate](http://www.researchgate.net/publication/357662730_Cambio_climatico_y_produccion_de_aguacate)

3053 García-Barreda S., Sangüesa-Barreda G., Madrigal-González J., Seijo F., González
3054 de Andrése E. y Camarero, J. (2021). Reproductive phenology determines the
3055 linkages between radial growth, fruit production and climate in four
3056 Mediterranean tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307. 108493
3057 doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108493

3058 Gliessman, S. (2016). Transforming food systems with agroecology. *Agroecology*
3059 *and Sustainable Food Systems*. 40:3, 187-189,

3060 IFOAM. (2005). Principios de la Agricultura Orgánica. Extraído en mayo de 2017
3061 desde: www.ifoam.bio/sites/default/files/poa_spanish_web.pdf

3062 Infante-Lira, A. y San Martín, K. (2016). Manual de Producción Agroecológica. Serie
3063 Manuales y cursos No 8. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)-
3064 Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 204 pp.

3065 Medina-García, G., Grageda-Grageda, J., Ruiz-Corral, J., Casas-Flores, I.,
3066 Rodríguez-Moreno, V. y de la Mora-Orozco, C. (2019). Disminución de las
3067 horas frío como efecto del cambio climático en México. *Revista Mexicana de*
3068 *Ciencias Agrícolas*, 10(6): 1325-1337.

3069 Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Íñiguez-Covarrubias, M. y Montero-
3070 Martínez, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y
3071 requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45: 1-11.

3072 Olvera-Hernández, J., Álvarez-Calderón, N., Guerrero-Rodríguez, J. y Aceves-Ruiz,
3073 E. (2017). Importancia de especies vegetales en el traspasio de familias

3074 campesinas del Noreste de Puebla, México. *Revista Agroproductividad*, 10(7):
3075 27-32.

3076 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y
3077 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
3078 (SAGARPA). (2012). México: el sector agropecuario ante el desafío del
3079 cambio climático.
3080 www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/160
3081 [8/01022019-cambio-climatico.pdf](http://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-cambio-climatico.pdf)

3082 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y
3083 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
3084 (SAGARPA). (2014). México: el sector agropecuario ante el desafío del
3085 cambio climático. México, D. F. www.fao.org/3/i4093s/i4093s.pdf

3086 Orus, A. (2023). Ranking de los 10 países con la mayor superficie agraria destinada
3087 a cultivos orgánicos en el mundo.
3088 [https://es.statista.com/estadisticas/542958/paises-con-la-mayor-superficie-](https://es.statista.com/estadisticas/542958/paises-con-la-mayor-superficie-de-cultivo-organico-en-el-mundo/)
3089 [de-cultivo-organico-en-el-mundo/](https://es.statista.com/estadisticas/542958/paises-con-la-mayor-superficie-de-cultivo-organico-en-el-mundo/)

3090 Posgraduados y Escuela Nacional de Agricultura. SADER. (2019). Productos
3091 orgánicos, naturalmente importantes. Chapingo, México.
3092 www.gob.mx/agricultura/articulos/productos-organicos-naturalmente-
3093 importantes. Consultado el día 25 de mayo de 2023.

3094 Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023). Agricultura protegida,
3095 otra manera de cultivar. Consultada el día 26 de mayo de 2023.

3096 [www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-prottegida-otra-manera-de-](http://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-prottegida-otra-manera-de-cultivar?idiom=es#:~:text=La%20agricultura%20prottegida%20es%20aquella,)
3097 [cultivar?idiom=es#:~:text=La%20agricultura%20prottegida%20es%20aquella,](http://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-prottegida-otra-manera-de-cultivar?idiom=es#:~:text=La%20agricultura%20prottegida%20es%20aquella,)
3098 [la%20temperatura%2C%20humedad%20y%20luz.](http://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-prottegida-otra-manera-de-cultivar?idiom=es#:~:text=La%20agricultura%20prottegida%20es%20aquella,)

3099 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
3100 (SAGARPA) y Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta
3101 (SIACON). (2013). Sistema de información agroalimentaria de consulta de
3102 producción frutícola. México, D. F. www.siap.gob.mx.

3103 SENASICA - Cámara de Diputados. (2010). Reglamento de la Ley de Productos
3104 Orgánicos (2010).

3105 Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C. y Hernández, J. (2009). Impactos del
3106 cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz,
3107 México. *Interciencia*, 34(5): 322-329.

3108

3109 **Capítulo 6. Fruticultura agroecológica innovada por agricultores en Cuba.**

3110 Luis L. Vázquez

3111 **Resumen**

3112 Los sistemas frutícolas tradicionales son resultado ⁹² de una coevolución cultural y
3113 biológica, los cuales representan la experiencia acumulada de los campesinos en
3114 su interacción con el medioambiente. Mediante la sistematización de sistemas
3115 frutícolas múltiples en diferentes agroecosistemas de Cuba se identifica una amplia
3116 diversidad de diseños de policultivos. En éstos frecuentemente se observan
3117 mayores rendimientos en ³⁹ una determinada área sembrada que de un área
3118 equivalente, pero sembrada en forma de monocultivo o aislada. A partir de que la
3119 producción frutícola en Cuba ha tenido importantes vertientes de desarrollo desde
3120 los años sesenta del siglo pasado, se presentan diversas evidencias de los avances
3121 en la transformación o transición agroecológica de la fruticultura en Cuba. A partir
3122 de la premisa de que existe una relevante contribución de sistemas frutícolas
3123 múltiples a la regulación ecológica, se ofrece en este capítulo una caracterización
3124 funcional de varios policultivos que son representativos en territorios de Cuba,
3125 principalmente que integran frutales y sistemas de polifrutales.

3126 **Palabras clave:** Fruticultura agroecológica, innovación, Cuba.

3127 **Introducción**

3128 Debido a varios factores que han evidenciado la insostenibilidad de la producción
3129 frutícola con base convencional o industrial, ha ocurrido una transición hacia la
3130 sustitución de insumos, entre otras prácticas de la agricultura orgánica, que, a su

3131 vez, ha facilitado la transformación hacia sistemas de cultivos frutícolas múltiples
3132 con diseño y manejo agroecológico. Los sistemas de cultivo múltiples son
3133 tradicionales en Cuba y han sido conservados por la agricultura campesina, y ponen
3134 en evidencia su contribución a la resistencia ante eventos extremos como: brotes
3135 incontrolables de plagas (mediados de los años ochenta), colapso de la agricultura
3136 convencional (desde principios de los noventa), frecuencia e intensidad de sequías
3137 (desde principios de siglo) y crisis por pandemia y sus consecuencias (desde 2021).
3138 ³⁹ Una de las principales razones por la que los agricultores a nivel mundial adoptan
3139 policultivos es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la
3140 siembra de una determinada área sembrada como policultivo que de un área
3141 equivalente, pero sembrada en forma de monocultivo o aislada. Es una forma de
3142 mejorar ⁴⁸ la utilización de recursos que refleja tres fenómenos: complementación en
3143 ²² el uso de ellos, facilitación entre especies y cambios en la partición de recursos. El
3144 aprovechamiento de los frutales en combinación con hortalizas en contextos
3145 familiares y de pequeños productores es una alternativa válida para el acceso a
3146 alimentos inocuos y nutritivos con la finalidad de satisfacer sus necesidades
3147 alimenticias y poder llevar así una vida activa y sana (Alvez y Alayón, 2020: 274).
3148 Precisamente, ⁶² introducir como criterio las funciones que realizan las plantas
3149 ¹⁰ productivas integradas en los diseños de sistemas de cultivos múltiples, así como
3150 las que se logren como resultado de las interacciones del diseño y manejo temporal
3151 y espacial de estos refuerza la hipótesis de que no es suficiente con lograr
3152 complejidad en los diseños agroecológicos, sino que se requiere multifuncionalidad

3153 (Vázquez *et al.*, 2015: 6). De hecho, el auge durante los últimos 30 años de las
3154 innovaciones realizadas por agricultores sobre policultivos que integran frutales
3155 presiona científicamente sobre la necesidad de evidenciar las multifunciones
3156 socioecológicas de estos diseños, como base para contribuir a una mayor
3157 sustentabilidad de la producción frutícola

3158 **Transición agroecológica de la fruticultura en Cuba**

3159 La producción frutícola en Cuba ha tenido dos vertientes de desarrollo desde los
3160 años sesenta del siglo pasado: (1) citricultura para la exportación en 15 grandes
3161 empresas (145 mil hectáreas), mediante un programa que requirió importantes
3162 esfuerzos inversionistas (Anaya *et al.*, 2016: 3), y (2) otras especies frutícolas para
3163 el consumo fresco y la industria nacional en los siguientes planes especiales:
3164 Antonio Maceo, Pinar del Río; Cordón de La Habana; Motembo, Villa Clara;
3165 Escambray, Sancti Spiritus; El Junco, Cienfuegos; Santa Cruz del Sur, Camagüey;
3166 Belic, Granma; El Caney, Santiago de Cuba (Cueto y Otero 2016: 296).

3167 De forma paralela, ⁴ en Baracoa, provincia Guantánamo, aprovechando las
3168 condiciones climáticas y la cultura de sus pobladores en la producción de coco
3169 (*Cocos nucifera*), se organizó un programa para el desarrollo y aprovechamiento
3170 integral de esta fruta, llegando a plantarse en el municipio más de 15,000 ha, e
3171 instalándose en 1967 una planta para la extracción de aceite de coco; dicho
3172 programa también incluyó ⁴ la recuperación del cultivo y producción de piña (*Ananas*
3173 *comosus*), impulsando así a plantaciones en San Antonio de los Baños, La Habana,
3174 en Ciego de Ávila y otras provincias (Cueto y Otero 2016: 296).

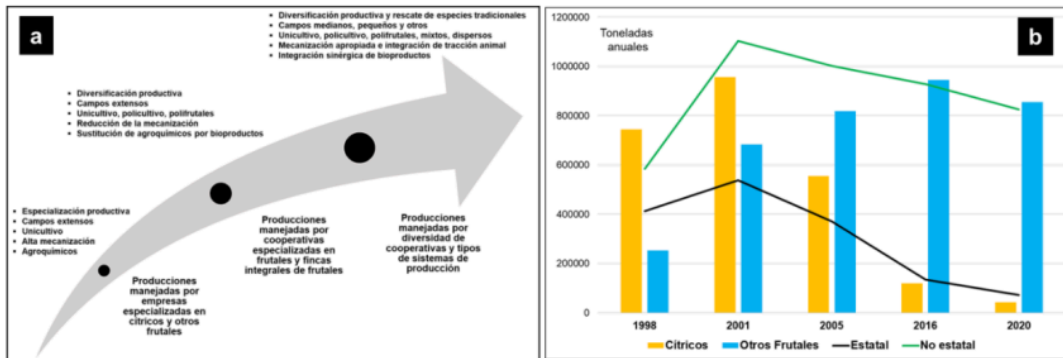
3175 La crisis económica desde los años noventa limitó el acceso a insumos importados
3176 para la producción en las grandes empresas especializadas, al mismo tiempo que
3177 las plantaciones comenzaron a manifestar estrés a causa de la combinación de
3178 desnutrición, unicultivo y problemas fitosanitarios, entre otras, evidenciándose que
3179 el modelo convencional de desarrollo frutícola es insostenible. Desde mediados de
3180 los años noventa estos programas se reorientaron hacia producciones
3181 diversificadas, sustituyendo insumos importados por bioinsumos nacionales (Cueto
3182 y Otero 2016: 295); mientras que a finales de esta década se comienza a establecer
3183 Fincas Integrales de Frutales, cuyo manejo combina ⁶⁶ especies frutícolas de períodos
3184 reproductivos largos, medianos y cortos en una misma hilera y el aprovechamiento
3185 de las calles con cultivos de porte bajo y de ciclos cortos como frutales, leguminosas,
3186 gramíneas, tubérculos, hortalizas (Rodríguez *et al.*, 2009: 52).

3187 De acuerdo con Cueto y Kilcher (citado por Cueto y Otero 2016: 299), ⁴ desde el año
3188 1996 se comienza a trabajar en la reconversión de áreas de cítricos convencionales
3189 en el marco de un nuevo proyecto de producción y comercialización de cítricos
3190 orgánicos, fundamentalmente para las producciones de jugos que cumplieran con
3191 todos los requisitos de certificación y los parámetros técnicos de calidad para su
3192 comercialización en el mercado europeo, particularmente el suizo. Agregan Cueto
3193 y Otero (2016) que ⁴ en el año 2002 se identificaron en las montañas del oriente
3194 cubano un grupo importante de productores de toronja (*Citrus paradisi*), naranja
3195 (*Citrus sinensis*) y luego, en el año 2004, productores de coco y mango (*Mangifera*

3196 *indica*), con el objetivo de organizar la producción de productos derivados de estas
3197 frutas para ser comercializados internacionalmente como orgánicos.

3198 Los años noventa también coincidieron con el inicio de la transición agroecológica
3199 de la producción agrícola que condujo a la recuperación del modelo de finca
3200 tradicional, donde se diversificaron las producciones, se integró la agricultura y
3201 ganadería, además de que se restauraron estructuras de vegetación auxiliar;
3202 transformaciones que también contribuyeron a la integración de frutales en campos,
3203 arboledas y cercas vivas internas. Al mismo tiempo, innovaciones agroecológicas
3204 realizadas por campesinos sobre policultivos agrícolas sirvieron de base para
3205 generar diseños de sistemas de cultivo múltiples con integración de frutales.
3206 Como resultado de lo anterior, en los últimos 30 años se ha evidenciado la transición
3207 agroecológica de la fruticultura en Cuba, caracterizada por la integración de otros
3208 frutales en empresas de citricultura, la sustitución de agroquímicos por bioproductos
3209 en empresas especializadas de cítricos y otros frutales, y las fincas integrales de
3210 frutales, proceso que contribuyó a la diversificación de las producciones, un mayor
3211 acceso de la población a frutas frescas y al auge de las minindustrias locales (Figura
3212 1).

3213 Figura 1. (a) Transición agroecológica de la fruticultura en Cuba; (b)
3214 comportamiento de las producciones anuales en el país (barras) y de la
3215 participación de empresas estatales y cooperativas no estatales



3216

3217 Fuente: Vázquez et al., 2015.

3218 Una evidencia de la transición agroecológica en la fruticultura es el incremento
 3219 notable de la producción de otros frutales en contraste con la de cítricos que era la
 3220 predominante; a la vez que la agricultura no estatal (cooperativas y agricultores
 3221 independientes) pasó a ser protagonista en la fruticultura del país (Figura 1b). Todo
 3222 ello ha contribuido al mismo tiempo a la popularización de los frutales; al incremento
 3223 de la producción y el abastecimiento de frutas a la población; también al uso correcto
 3224 de áreas de entidades y organismos estatales, así como de patios de viviendas que
 3225 se encuentren ociosos; al rescate de la diversidad de especies de frutos
 3226 tradicionales en el país; propiciar la colaboración en la reforestación; coadyuvar a
 3227 lograr la eficiencia económica de las entidades del sector agropecuario; y fomentar
 3228 la agroindustria familiar. Bajo estos criterios se desarrollan otros sistemas que
 3229 integran frutales como los del sistema de agricultura urbana y suburbana,
 3230 producción orgánica, agricultura de montaña, sistemas agroforestales y
 3231 silvopastoriles (Cueto y Otero 2016: 297).

3232 **Diseños agroecológicos de sistemas frutícolas múltiples generados por la**
3233 **innovación de agricultores**

3234 Una sistematización sobre sistemas frutícolas múltiples realizada en
3235 agroecosistemas de Cuba condujo a identificar diversidad de diseños que
3236 evidencian avances en la transformación agroecológica de la fruticultura (Cuadro
3237 1). Aunque este resultado no pretende establecer una clasificación de los tipos de
3238 sistemas frutícolas múltiples porque está basado en observaciones registradas a
3239 través de innovaciones realizadas con otros propósitos, se puede considerar como
3240 una aproximación preliminar. Según el nivel de escalado, existen tres tipos de
3241 sistemas frutícolas múltiples: (1) campos de cultivo y potreros de ganadería
3242 agroecológica; (2) fincas u otras unidades de producción; y (3) comunidades.

3243 Por otra parte, la diversidad de características del diseño genético (especies que se
3244 integran) y espacial (ubicación de las especies) se pueden observar en
3245 prácticamente todo el país, sea en zonas urbanas, periurbanas, rurales y de
3246 montaña, cuyo diseño temporal (momento en que se plantan) también es muy
3247 variado. Esta valiosa fuente de conocimiento tácito se puede considerar como un
3248 laboratorio que sirva de base científica para estudiar la adaptación transformativa
3249 de la fruticultura del futuro ante los cambios climáticos. Esto apunta a ⁹⁰ la necesidad
3250 de reevaluar la tecnología autóctona como fuente clave de información sobre la
3251 capacidad adaptativa centrada en la selectiva y en las capacidades experimentales
3252 y resilientes de los agricultores para hacer frente al cambio climático (Altieri y
3253 Koohafkan, 2008: 14).

3254 Cuadro 1. Aproximación a los principales tipos de sistemas frutícolas múltiples
 3255 existentes en agroecosistemas de Cuba*

Tipos	Diseño genético	Diseño espacial
Sistemas de cultivo y de ganadería		
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 cacaoeros se plantan según marco establecido. Los árboles de sombra son de especies establecidas con este propósito. Los árboles frutales se intercalan sin un diseño específico.
Pastoreo bajo frutales	Especies frutícolas básicas	Generalmente con marco de plantación de las especies integrada.

Frutales integrados en potreros	Diversidad de especies frutícolas	Se integran entre los árboles forrajeros, de sombra y en la cerca viva.
Fincas u otras unidades de producción		
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
Comunidades		
Comunidades rurales	Diversidad de especies frutícolas	Los frutales se integran dispersos, principalmente en patios familiares
Zonas periurbanas		

3256 Fuente: Elaboración propia.

3257 (-) Sistematizados en fincas campesinas rurales y urbanas. ³⁸ Proyectos: (1) Apoyo a
3258 la implementación de sistemas integrados y articulados para la producción
3259 agropecuaria, en el ámbito de la agricultura urbana, suburbana y familiar de La
3260 Habana (SIGA). La Habana (desde 2016); (2) Prácticas agropecuarias sostenibles
3261 adaptadas al cambio climático en la provincia Guantánamo (2015-2017); (3) ⁵ Mejora
3262 de la disponibilidad alimentaria en tres municipios de las provincias Santiago de
3263 Cuba y Guantánamo (RedAR) entre 2019 y 2021; (4) Acelerar la Producción
3264 Sostenible de Alimentos en Municipios Cubanos (PROSAM), entre 2016 y 2021; (5)
3265 ⁸³ Apoyo a la seguridad alimentaria y nutricional de dos municipios de Camagüey con
3266 enfoque de género y generacional-CAPROCA, el período 2021-2024.

3267 (⇔) Especies frutícolas básicas. Incluida en los planes de producción, demanda de
3268 la comercialización, industrias y minindustrias (ejemplos: mango, guayaba,
3269 aguacatero, fruta bomba, piña).

3270 (⇔⇔) Diversidad de especies frutícolas. Además de las básicas, especies
3271 tradicionales.

3272 Las ventajas en comparación con unicultivos frutícolas, según percepción de
3273 agricultores y técnicos locales, se sintetizan a continuación; por supuesto,
3274 redactadas en lenguaje científico a partir de la interpretación de lo expresado:

3275 ▪ Facilitación de la autorregulación ecológica (organismos nocivos, arvenses,
3276 microclima, ciclo de nutrientes).

- 3277 ▪ Facilitación de la estabilidad de la biota asociada con funciones positivas
3278 (enemigos naturales, polinizadores, microbiota rizosférica, biota del suelo,
3279 microbiota epifítica).
- 3280 ▪ Mejor calidad de productos (menos intervenciones físicas en el campo, no
3281 utilización de plaguicidas y herbicidas, desarrollo del cultivo bajo un hábitat
3282 seminatural).
- 3283 ▪ Facilitación de la integración y sinergias entre bioproductos (abonos
3284 orgánicos, biofertilizantes, bioplaguicidas).
- 3285 ▪ Menor costo de producción (deshierbes, control fitosanitario, riego).
- 3286 ▪ Facilitación de la resistencia asociativa ante eventos hidrometeorológicos
3287 extremos (sequía, lluvias intensas, vientos fuertes).
- 3288 ▪ Mayor rendimiento por campo (aprovechamiento del terreno, más de un
3289 cultivo y reducción de estrés climático debido al efecto del acompañamiento de
3290 cultivos).
- 3291 ▪ Mayor oportunidad de cosecha (especies de fenología y ciclos productivos
3292 que producen en diferentes temporadas).
- 3293 La mayoría de estos diseños han sido generados por agricultores innovadores, cuya
3294 metodología de experimentación tiene características propias: proyectan y definen
3295 mentalmente un diseño inicial que se basa en experiencias anteriores o por
3296 observarlo en otras fincas; el criterio de testigo o variante base para comparar es
3297 diferente: lo observa y compara con otra finca cercana o donde lo haya visto, o bien,
3298 le va realizando ajustes con base en prueba y rechazo de variantes. Si después de

3299 uno o más ciclos productivos el diseño funciona, lo adopta. Cabe señalar que es
3300 muy peculiar el criterio de los agricultores para determinar si un diseño de sistema
3301 de cultivo múltiple es bueno o necesita mejoras y para ello se hacen las preguntas
3302 siguientes, comparando con los mismos cultivos sin intercalamiento: ¿se reduce, se
3303 mantiene igual o aumentan los gastos de producción?, ¿en qué medida cambian los
3304 rendimientos productivos?, ¿cómo es la demanda de agua? y ¿cómo se comporta
3305 ante la sequía?, ¿qué ventajas tiene para la comercialización?, ¿qué puede
3306 aprovechar para autoconsumo de la familia y la cría de animales?

3307 También consideran sus conocimientos propios sobre efectos negativos o positivos
3308 del acompañamiento de las especies de plantas que va a integrar "se llevan bien o
3309 no", principalmente el crecimiento de sus órganos, efectos del sol y la sequedad,
3310 respuesta al exceso de agua, problemas fitosanitarios que presenta, entre otros
3311 criterios que son analizados integralmente, valorando posibles desventajas y
3312 ventajas hasta que estas últimas deciden su realización. Un factor de importancia
3313 se refiere a los problemas fitosanitarios; sin embargo, los agricultores han aprendido
3314 a no integrar plantas de la misma familia y valorar a los frutales permanentes como
3315 barreras vivas ante poblaciones inmigrantes; sin embargo, al inicio se presentaron
3316 problemas con fitopatógenos y fitonemátodos en el suelo, situación que han
3317 solucionado progresivamente mediante las acciones siguientes: mayor interacción
3318 con los técnicos fitosanitarios, rotación previa con abonos verdes, chequeo de la
3319 calidad de las plántulas y preparación del hoyo de plantación con abonos orgánicos
3320 y bioplaguicidas microbiológicos.

3321 Debido a que en estos diseños se integran frutales que son especies permanentes,
3322 las experiencias anteriores, referencias de otros agricultores y orientaciones de los
3323 técnicos son muy importantes; aunque normalmente realizan algunos ajustes en los
3324 diseños espaciales y temporales según aspectos negativos y positivos que
3325 observan. En el caso de la integración de cultivos temporales y anuales en campos
3326 de frutales, su capacidad de innovación es profusa, logrando diseños con elevada
3327 sostenibilidad. Esto significa que ningún diseño de sistema de cultivo frutícola
3328 múltiple es igual al otro, incluso en una misma finca. Esta característica en la
3329 metodología de innovación campesina es la que determina la mayor capacidad
3330 adaptativa de tales sistemas de cultivo a las condiciones propias de cada
3331 agroecosistema y el cambio climático.

3332 De acuerdo con Wilken (citado por Altieri y Koohafkan, 2008: 2), quien afirmó que
3333 ²¹ los sistemas agrícolas tradicionales se han ido conformando durante siglos a partir
3334 de una coevolución cultural y biológica y representan la experiencia acumulada de
3335 los campesinos en su interacción con el medioambiente, sin contar con insumos
3336 externos ni con capitales ni con el denominado saber científico. Haciendo uso de
3337 una autonomía ingeniosa, de un saber vivencial y de unos recursos cercanos, los
3338 campesinos han creado sistemas agrícolas sobre la base de una diversidad de
3339 cultivos, de árboles y crianza de animales en el espacio y en el tiempo, lo que les
3340 ha permitido maximizar la seguridad de las cosechas en medios marginales y
3341 variables, y con un espacio y recursos limitados.

3342 Aunque los sistemas frutícolas múltiples han sido generados por agricultores,
3343 aspecto no siempre reconocido social y científicamente, varios centros científicos,
3344 universidades, proyectos y programas de desarrollo local han realizado estudios
3345 para caracterizarlos y mejorar su manejo, al mismo tiempo que han facilitado el
3346 acceso a financiamiento para extenderlos, entre otras acciones que evidencian sus
3347 valores. Es un imperativo tener una mejor comprensión sobre cómo sostener y
3348 combinar los sistemas de competencias agrícolas indígenas y conocimiento
3349 científico, además de cómo saber traducir esto en la toma de decisiones de
3350 procesos que brinden el soporte necesario para los pueblos locales (Altieri y
3351 Koochafkan, 2008: 55).

3352 **Multifunciones ecológicas de sistemas frutícolas múltiples**

3353 Para evidenciar la contribución de sistemas frutícolas múltiples a la regulación
3354 ecológica, se ofrece a continuación una caracterización funcional de varios que son
3355 representativos en territorios de Cuba, principalmente policultivos que integran
3356 frutales y sistemas de polifrutales. Se valoraron las funciones de regulación
3357 ecológica (FRE) siguientes, ajustadas por Vázquez *et al.*, (2015: 2): FRE₁-barrera
3358 física a poblaciones de organismos nocivos (insectos, ácaros, esporas de
3359 microorganismos y otros); FRE₂-confusión para el desplazamiento y la localización
3360 de hospedantes por insectos fitófagos (color, olor, estructura, otros); FRE₃-
3361 reducción de la concentración de hospedantes preferidos de insectos, ácaros,
3362 microorganismos fitopatógenos y otros organismos nocivos (especies no
3363 hospedantes); FRE₄-flores y exudados como fuente de alimentación de adultos

3364 artrópodos entomófagos; FRE₅- facilitación de refugio y desplazamiento de
3365 artrópodos entomófagos (reservorio y corredor ecológico); FRE₆-mejora el
3366 contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo; FRE₇-facilita un microclima
3367 favorable; FRE₈- retención de humedad en el suelo; FRE₉-regulación de corrientes
3368 de aire; FRE₁₀-reducción de la erosión del suelo; FRE₁₁-regulación de arvenses;
3369 FRE₁₂-resistencia asociativa a vientos fuertes.

3370 Cada diseño se estudió en una sesión de trabajo en la propia finca con la
3371 participación del agricultor, varios técnicos locales e investigadores. Se realizaron
3372 observaciones y preguntas al agricultor, combinadas con valoraciones colectivas
3373 para determinar, según consenso, la contribución de cada diseño a las funciones
3374 ecológicas utilizando la escala relativa siguiente: (4) muy alta, (3) alta, (2) media, (1)
3375 baja, (0) ninguna o no percibida. Para cada diseño estudiado se determinó el
3376 Coeficiente Funcional (CF), mediante la expresión siguiente: $CF = \frac{\sum [(1 \times n) + (2 \times$
3377 $n) + (3 \times n) + (4 \times n)]}{12 \times 4}$. Donde: ³⁴ n es el número de FRE con cada valor de la
3378 escala; 12 es el total de FRE y 4 es el valor mayor de la escala utilizada. Para los
3379 efectos del presente estudio, el coeficiente funcional se considera relativamente
3380 inferior cuando está por debajo de 0,40; medio entre 0,41 y 0,60; alto entre 0,61 y
3381 0,80; muy alto por encima de 0,80.

3382 *Frutales en policultivos agrícolas*

3383 *Frutales semipermanentes con intercalamiento transitorio de cultivos agrícolas*

3384 Diseño genético y espacial. Cultivo principal surcos de guayaba roja enana (Figura
3385 2a). Intercalamiento de dos franjas de tres surcos cada una (Figura 2b) de frijol
3386 (*Phaseolus vulgaris*), separadas por un surco (Figura 2c) de plátano (*Musa* spp.).
3387 Figura 2. Vista general del diseño de policultivo de frutal semipermanente con
3388 intercalamiento temporal de cultivos agrícolas. Guanabacoa, La Habana



3389

3390 Fuente: Autor.

3391 Diseño temporal. Explotación semipermanente de guayaba enana
3392 (aproximadamente 5-6 años); siembra de cultivos agrícolas temporales mientras se
3393 desarrolla el plátano o banano. Este último se queda solo en el centro hasta que
3394 concluye el ciclo productivo de la guayaba enana.

3395 Coefficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas con un
3396 coeficiente funcional medio ($CF=0,58$) y con mayor contribución a las siguientes
3397 funciones: reducción de la concentración de hospedantes preferidos de insectos,
3398 ácaros y microorganismos fitopatógenos; mejora el contenido de materia orgánica
3399 y nutrientes en el suelo; facilitación de la alimentación de adultos de entomófagos.

3400 *Frutales permanentes con intercalamiento transitorio de cultivos agrícolas*

3401 Diseño genético y espacial. Cultivo principal surcos de aguacatero (*Persea*
3402 *americana*) en producción (Figura 3a). Intercalamiento de yuca (*Manihot esculenta*)
3403 en 2-3 surcos (Figura 3b).

3404 Figura 3. Vista general del diseño de policultivo de frutal permanente con
3405 intercalamiento temporal de cultivos agrícolas. Artemisa



3406

3407 Fuente: Autor.

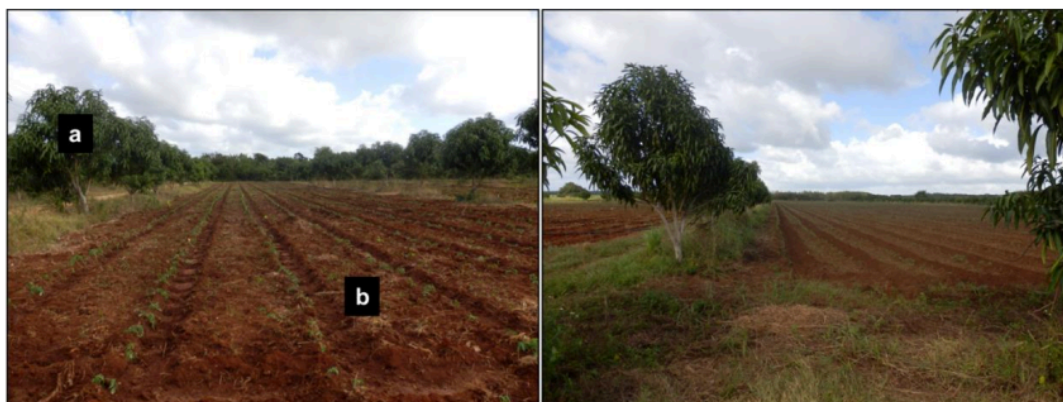
3408 Diseño temporal. Aguacatero como cultivo principal; siembra de cultivos agrícolas
3409 temporales o anuales mientras este se desarrolla.

3410 Coeficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas, con un
3411 coeficiente funcional alto ($CF=0,69$) con mayor contribución a las funciones:
3412 reducción de la concentración de hospedantes preferidos de insectos, ácaros y
3413 microorganismos fitopatógenos; mejora el contenido de materia orgánica, retención
3414 de humedad y reducción de la erosión del suelo; barrera viva ante organismos
3415 nocivos y vientos; regulación de poblaciones de arvenses.

3416 *Frutales permanentes como barrera con intercalamiento de cultivos agrícolas*

3417 Diseño genético y espacial. Cultivo principal mango (*Mangifera indica*) en
3418 producción (Figura 4a). Intercalamiento de tomate (*Solanum lycopersicum*) en 8
3419 surcos (Figura 4b).

3420 Figura 4. Vista general del diseño de policultivo de frutal permanente como barrera
3421 con intercalamiento temporal de cultivos agrícolas. Majagua, Ciego de Ávila



3422

3423 Fuente: Autor.

3424 Diseño temporal. Cultivo principal mango; siembra de cultivos agrícolas temporales,
3425 anuales y semipermanentes. Existe un diseño de secuencia y rotación de cultivos.

3426 En algunos campos se integra piña (*Ananas comusus*).

3427 Coeficiente funcional (CF). El diseño facilita la mayoría de las funciones estudiadas
3428 con un coeficiente funcional relativamente bajo ($CF=0,35$) y con mayor contribución
3429 a la función barrera viva ante organismos nocivos y vientos.

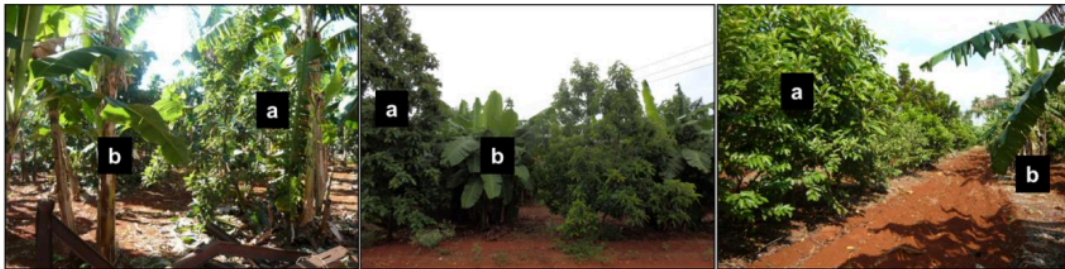
3430 **Polifrutales**

3431 *Frutales permanentes con intercalamiento semipermanente de plátano o banano*

3432 Diseño genético y espacial. Surco principal izquierda: aguacate y guayaba; centro:
3433 aguacatero; derecha: mamey y guayaba (Figura 5a). Entre surcos de frutales un
3434 surco central de plátano o banano (Figura 5b).

3435 Figura 5. Vista general del diseño de polifrutal que integra frutales permanentes y
3436 semipermanentes con intercalamiento semipermanente de plátano o banano.

3437 Bejucal, Mayabeque



3438

3439 Fuente: Autor.

3440 Diseño temporal. Cuando el frutal permanente alcanza mayor desarrollo de la copa
3441 se eliminan la guayaba enana y el plátano o banano.

3442 Coefficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas, con un
3443 coeficiente funcional muy alto ($CF=0,85$). El plátano o banano contribuye con
3444 funciones de retención de humedad y confusión de poblaciones inmigrantes de
3445 plagas por insectos.

3446 *Frutales permanentes y semipermanentes intercalados*

3447 Diseño genético y espacial (figura 6). Surco principal aguacate o mango.
3448 Intercalamiento de guayaba enana entre plantas del surco principal y entre surcos.

3449 Figura 6. Vista general del diseño de polifrutal que integra frutales permanentes y
3450 semipermanentes. Bejucal, Mayabeque



3451

3452 Fuente: Autor.

3453 Diseño temporal. Cuando los frutales permanentes alcanzan mayor desarrollo de la
3454 copa se elimina la guayaba enana.

3455 Coefficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas con un
3456 coeficiente funcional muy alto ($CF=0,81$).

3457 Entre los diseños antes estudiados, los policultivos que integran frutales, cultivos
3458 agrícolas anuales y temporales (Figuras 2, 3 y 4) obtuvieron menores coeficientes
3459 funcionales que los polifrutales (Figuras 5 y 6), debido principalmente a que los
3460 primeros tienen como caracteres funcionales diferenciales mayor contraste
3461 altitudinal y dinámica temporal entre las especies integradas; en cambio, los
3462 segundos son más uniformes respecto a la altura y su dinámica temporal es baja
3463 porque son cultivos permanentes o semipermanentes. Sin embargo, aunque los
3464 polifrutales tienen mayor capacidad de autorregulación ecológica, los policultivos
3465 que integran frutales facilitan el acceso durante mayor tiempo a mercados, esto es
3466 por la diversidad de especies productivas y de momentos de cosecha.

3467 Estas características sugieren que las fincas deberían integrar diferentes tipos de
3468 diseños de sistemas frutícolas múltiples porque, además del conjunto de funciones
3469 de regulación ecológica de los diseños, la diversidad de especies integradas y

3470 dinámica de cosechas, facilitan el acceso a diferentes mercados y minindustrias a
3471 la vez que contribuyen durante mayor tiempo en el año a la alimentación de la
3472 familia.

3473 ⁴ Un tipo de policultivo que se ha ido popularizando en Cuba es el de cultivos en
3474 franjas, por la facilidad que proporciona al manejo con la tracción animal. También
3475 a los frutales perennes se les han integrado cultivos de ciclo corto como el frijol
3476 común, leguminosas de grano, boniato, calabaza y en menor grado abonos verdes
3477 como la canavalia, buscando disminuir los costos por establecimiento del cultivo
3478 perenne, el cual demora algunos años previos a la ocupación de su área agrícola
3479 (Leyva *et al.*, 2016: 223).

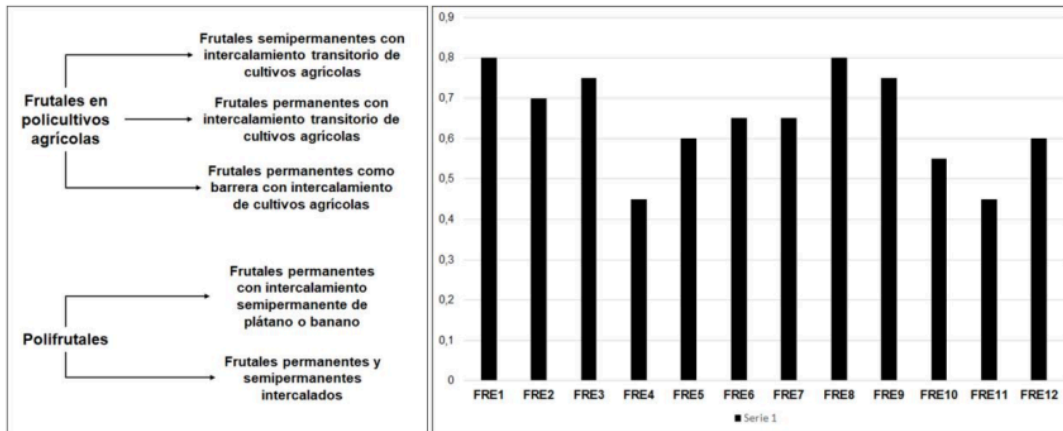
3480 Otra experiencia exitosa relacionada con un sistema policultural de frutales
3481 perennes y no perennes con cultivos anuales ⁴ consiste en sembrar un frutal perenne
3482 de porte alto (mango o aguacate con arreglos de 10 x 10 m entre plantas): se utilizan
3483 dos de guayaba enana y dos de papaya al centro de los surcos, mientras el frijol es
3484 aprovechado en los espacios centrales de las entrecalles (Leyva *et al.*, 2016: 223).

3485 ⁴⁸ Las siembras que se realizan con monocultivos usan los recursos ambientales de
3486 distintas maneras; cuando se siembran juntas pueden "complementarse" entre sí y
3487 hacer un mejor uso combinado de los recursos que por sí solas. Según Pret (citado
3488 por Alvez y Alayón, 2020: 274), en ²² el diseño de sistemas de cultivo que imiten la
3489 naturaleza puede hacerse un uso óptimo de la luz solar, de los nutrientes del suelo
3490 y de la lluvia.

3491 En este sentido, ²² evaluar sistemas agroproductivos con atención en las
3492 características específicas del sistema y en sus interrelaciones, permite entender la
3493 importancia de las sinergias para mantener el sistema en equilibrio, en producción
3494 constante y sin convertirse en una amenaza para la sostenibilidad (Silva-Laya *et al.*,
3495 2016: 365).

3496 En los diseños antes estudiados, las funciones de barrera física a poblaciones de
3497 organismos nocivos (FRE₁) y retención de humedad en el suelo (FRE₈)
3498 predominaron entre las identificadas, seguidas por la ¹⁰ reducción de la concentración
3499 de hospedantes preferidos de insectos, ácaros, microorganismos fitopatógenos y
3500 otros organismos nocivos (FRE₃) y la regulación de corrientes de aire (FRE₉), entre
3501 otras (Figura 7). Estos resultados evidencian la posibilidad de diseñar sistemas
3502 frutícolas múltiples que consideren caracteres funcionales diferenciales de las
3503 especies de cultivos que se integran en el campo, así como los que aportan el
3504 diseño temporal y espacial al realizarlos para propiciar las funciones de regulación
3505 ecológica necesaria.

3506 Figura 7. Frecuencia en la identificación de funciones de regulación ecológica
3507 (FRE) en los diseños de sistemas de cultivo frutícolas múltiples estudiados



3508

3509 Fuente: Elaboración propia.

3510 De hecho, un estudio realizado en 24 sistemas de cultivos múltiples en ¹⁰ fincas
 3511 suburbanas de diferentes territorios agrícolas de la región occidental, central y
 3512 oriental de Cuba, caracterizó el diseño genético, espacial y temporal de policultivos,
 3513 determinando el mayor coeficiente funcional para la regulación de plagas por el ¹⁰
 3514 diseño que integra yuca-maíz-frijol (86.7%); le siguen los diseños de boniato-maíz
 3515 y yuca-maíz (76.7%), plátanos-yuca (73.3%), frijol-maíz, plátano-frijol-maíz (70%) y
 3516 aguacate-mamey-café (66.7%), lo cual determina como tipos funcionales de plantas
 3517 en estos diseños al maíz, plátano o banano y los árboles frutales (Vázquez *et al.*,
 3518 2015: 1).

3519 Estudios realizados por Cueto y Otero (2016: 305), ⁴ en áreas de cítricos
 3520 convencionales se han establecido especies tales como *teramnus* (*Teramnus*
 3521 *labialis*) y *glycine*. En guayaba (*Psidium guajava*) se han obtenido excelentes
 3522 resultados con *dolichos* (*Lablab purpureus*) y diferentes especies de *crotalaria*
 3523 (*Crotalaria* spp.), las cuales a su vez tienen un efecto nematocida. También informan

3524 Cueto y Otero (2016: 305) que ⁴ en los cocoteros, especies como glycine, kudzú
3525 tropical y centro (*Centrosema pubescens*) son consideradas como plantas
3526 promisorias para la incorporación en el manejo de los suelos y su diversificación, en
3527 conjunto con la cría de animales dentro de las plantaciones de este frutal; además
3528 se han tomado medidas de protección de especies de leguminosas espontáneas en
3529 el campo como el caso de las especies *Alysicarpus vaginalis* y *Desmodium* spp.
3530 Se ha comprobado que las leguminosas herbáceas en policultivo con guayabos
3531 ²³ forman coberturas que reducen la presencia de arvenses de las plantaciones,
3532 además de aportar materia orgánica y nitrógeno al suelo (Fontes *et al.*, 2018: 305).
3533 ²³ Entre estas leguminosas se destaca *Teramnus labialis* (L.f.) Spreng, que además
3534 es una planta altamente preferida por los ovinos y su consumo en pastoreo, en unión
3535 con otras plantas naturales del ecosistema, aporta nutrientes que permiten
3536 ganancias de peso superiores a los 100 g por animal al día en los sistemas
3537 integrados de estos animales a los cítricos (Mazorra, 2006). El sistema que integra
3538 guayaba, leguminosa y ovino ²³ logra diversificar las producciones y amortizar los
3539 gastos de producción, especialmente cuando los rendimientos agrícolas son bajos,
3540 ya sea por causas ambientales o fisiológicas (Mazorra *et al*, 2020: 11).
3541 Uno de los principales diseños que realizan fincas campesinas en transición
3542 agroecológica en zonas suburbanas de la provincia La Habana es el silvopastoreo
3543 de aves de corral de razas semirústicas, ya que logra una alta capacidad de
3544 resistencia ³⁴ a las sequías porque además de que las razas son más tolerantes, el
3545 área de pastoreo posee un microclima fresco. Consiste en comunicar los corrales

3546 con campos de frutales cercados, facilitando que las aves se desplacen libremente
3547 debajo de los árboles, a la vez que tienen acceso al corral (Vázquez *et al.*, 2019:
3548 27). La diversidad de estos sistemas y la creatividad y conocimiento de agricultores
3549 familiares y comunidades indígenas son activos de gran valor para resolver los
3550 abrumadores problemas que afectan la agricultura en el siglo XXI (Altieri y
3551 Koothafkan, 2008: 6).

3552 **Referencias**

- 3553 Altieri, M. y Koothafkan, P. 2008. Enduring farms: climate change, smallholders and
3554 traditional farming communities. Environment and Development Series 6.
3555 Malaysia: Third World Network. Perarg, Malaysia. 63p.
- 3556 Alvez, N. V. y Alayón, P. (2020). evaluación de policultivos frutihortícolas
3557 agroecológicos del Nordeste Argentino. Bol. Soc. Argent. Bot., 55, 273-284.
- 3558 Anaya, B., Diana, C., Fernández, E., García, A., González, G., Muiño, B. L. Nova,
3559 A. y Royce, F.S. (2016). Conviviendo con el HLB: la diversificación de la
3560 industria cítrica en Cuba. *Working Paper* No.4, Cuba-US Agricultural
3561 Research Working Paper Series.
- 3562 Cueto, J. R. y Otero L. (2016). Fruticultura y Agroecología. En: Funes F. y Vázquez
3563 LL. (eds.) *Avances de la Agroecología en Cuba*. Capítulo 18, 295-312.
- 3564 Fontes, D., Mazorra, C., Acosta, Y., Pardo, J., Martínez, J., Hernández, J.,
3565 González, A., Fernádes, P. y Lavigne, C. (2018). Comportamiento
3566 productivo de coberturas vivas de leguminosas herbáceas en una plantación

- 3567 de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. Enana Roja cubana EEA-1840. *Revista*
3568 *Universidad y Ciencia*, 7(2), 297-308.
- 3569 Leyva, A., Páez E. y Casanova A. (2016). Rotación y policultivos. En: Funes F. y
3570 Vázquez LL. (eds.) *Avances de la Agroecología en Cuba*. Capítulo 13, 213-
3571 230.
- 3572 Mazorra, C. A., Martínez, J., Fontes, D., Santiago, F., González, A. y Acosta, Y.
3573 (2020). Viabilidad tecnológica y económica del sistema integrado
3574 GuayabaLeguminosa- Ovino en Ciego de Ávila, Cuba. *Rev. Prod. Anim.*,
3575 32(1).
- 3576 Mazorra, C. (2006). *Manejo de la selección del alimento para reducir el ramoneo de*
3577 *ovinos integrados a plantaciones de cítricos*. Tesis presentada en opción al
3578 grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias, Universidad de Ciego de
3579 Ávila. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ciego de Ávila, Cuba. 124 p.
- 3580 Rodríguez, A., Jardines, D., Farrés, E., Placeres, J., Peña, O., Fornaris, L. M.,
3581 Capote del Sol, M., González, C., Rodríguez, J. L., Hernández D. y Pérez, G.
3582 (2009). Las fincas integrales de frutales en Cuba. *Revista CitriFrut*, 26, No. 1,
3583 52-55.
- 3584 Silva-Laya, S. J., Pérez-Martínez, S. y Ríos, L. A. (2016). Evaluación agroecológica
3585 de sistemas hortícolas de dos zonas del oriente antioqueño, Colombia.
3586 *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10, 355-366.

- 3587 Vázquez, L. L., Castellanos, A. y Leiva, V. (2019). Transición agroecológica y
3588 resiliencia socioecológica a sequías en Cuba. Celia, Boletín Científico No. 3,
3589 44p.
- 3590 Vázquez, L. L., Porras, A. y Alfonso-Simonetti, J. (2015). Tipos funcionales de
3591 plantas productivas integradas en diseños de sistemas de cultivos complejos
3592 ⁶² innovados por agricultores. En: Memorias del V Congreso Latinoamericano
3593 de Agroecología. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-950-34-1265-
3594 7.
- 3595

3596 **Capítulo 7. Influencia de la variabilidad climática y el incremento de plagas y**
3597 **enfermedades en frutales**

3598 Humberto Mata Alejandro y María Del Refugio Castañeda Chávez

3599 **Resumen**

3600 Existen casos en los que las plagas se ven atraídas por las plantas que sufren por
3601 estrés hídrico debido a sequías por cambio climático. Otra causa de estrés por
3602 sequía es la disminución de compuestos metabólicos que ayudan en la defensa
3603 ante el ataque de plagas. Las tormentas y vientos huracanados pueden transportar
3604 esporas de patógenos a grandes distancias, incluso de un continente a otro. El
3605 incremento en las temperaturas, así como los eventos climatológicos extremos que
3606 dan lugar a tormentas y huracanes maximizan el potencial de riesgo de
3607 enfermedades. La variabilidad climática está influyendo directamente sobre el
3608 incremento de incidencia de plagas y enfermedades en los frutales, sobre todo en
3609 las zonas subtropicales y tropicales. Generar investigación sobre el
3610 comportamiento, distribución y adaptación de las plagas de mayor importancia, y de
3611 aquellas que pueden llegar a convertirse en plagas potenciales es importante.
3612 Existen vacíos de conocimiento en plagas de suelo, ya que la mayoría de los
3613 estudios realizados se han centrado en el efecto en plagas y vectores que se
3614 encuentran sobre la superficie de la tierra.

3615 **Palabras clave:** Variabilidad climática, plagas y enfermedades, frutales.

3616 **Introducción**

3617 Desde el inicio de la agricultura, los cultivos se han visto amenazados por múltiples
3618 plagas y enfermedades causantes de pérdidas en los rendimientos. Estas pérdidas
3619 oscilan entre un 10 y 28% de la producción mundial de alimentos (Savary *et al.*,
3620 2019). De acuerdo con la evidencia científica recabada en los últimos años, se
3621 anticipa que el cambio climático tendrá consecuencias severas en ámbitos
3622 económicos, sociales y ambientales a nivel global; en este sentido, la producción de
3623 alimentos se verá mermada debido a factores clave, como son la variabilidad ¹⁰³ de las
3624 temperaturas y la disponibilidad de agua; así como la sanidad de los cultivos
3625 derivado del ataque de plagas y enfermedades. ²⁶ El cambio climático ya está
3626 afectando los sistemas agrícolas en varias regiones del mundo; según el Sexto
3627 Informe de Evaluación del Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC), es
3628 evidente en los escenarios y eventos extremos de clima, en sus impactos y daños
3629 relacionados con la naturaleza y las personas, más allá de la variabilidad natural.
3630 Esto incluye el aumento de la temperatura y el incremento en la mortalidad de
3631 árboles relacionada con la sequía e incendios forestales, lo que pone en riesgo la
3632 seguridad alimentaria al obstaculizar los esfuerzos que se llevan a cabo para cumplir
3633 los objetivos del desarrollo sostenible (IPCC, 2022). De acuerdo con Telenchana-
3634 Paucar ²⁶ (2020), el cambio climático es un factor importante que afecta la abundancia
3635 de muchas especies de insectos al prolongar la temporada de crecimiento, cambiar
3636 el momento de aparición, aumentar la tasa de crecimiento y desarrollo, acortar el
3637 período de reproducción y reducir su mortalidad en la etapa invernal.

3638 La producción agropecuaria es una de las actividades más importantes para la
3639 seguridad alimentaria y la supervivencia de otras especies vivientes. No obstante,
3640 sus efectos sobre la biodiversidad están siendo cada vez mayores, en parte por
3641 actividades como la agricultura y ganadería intensivas que conllevarían a una
3642 pérdida aproximada de 25% de especies de flora y fauna en los próximos 50 años
3643 de seguir esta tendencia (Lanz *et al.*, 2018). Asimismo, la variabilidad climática
3644 puede afectar los rendimientos y la producción de alimentos mediante diversos
3645 mecanismos. Entre los factores de mayor importancia ⁵⁹ se encuentran los
3646 incrementos en la frecuencia de estrés por elevación de temperatura en el ciclo
3647 reproductivo de las plantas (Gourdji *et al.*, 2013); el aumento en estrés hídrico
3648 debido a disminución o aumento de lluvia (IPCC Working Group, 2013), y las
3649 reducciones en los ciclos de crecimiento a causa de las elevadas temperaturas
3650 (Vaghefi *et al.*, 2013).

3651 Por otra parte, la emisión ¹ de gases de efecto invernadero es consistente y se prevé
3652 un aumento de al menos 2°C respecto al valor previo a la Revolución Industrial
3653 (Stern, 2008). Todas estas alteraciones en su conjunto anticipan consecuencias
3654 negativas en los rendimientos de cultivos agrícolas si se tiene en cuenta los escasos
3655 esfuerzos gubernamentales por mitigar las emisiones de gases de efecto
3656 invernadero y CO₂ (Luck *et al.*, 2011). En este sentido, el cambio climático ya
3657 presenta efectos negativos en los rendimientos de diversos cultivos como el café y
3658 otras especies (Seo y Mendelsohn 2008; Craparo *et al.*, 2015). ²⁹ Es posible que en
3659 un inicio el calentamiento moderado del planeta beneficie a la producción de cultivos

3660 en las regiones templadas y perjudique a las regiones semiáridas y tropicales. Sin
3661 embargo, si el calentamiento continúa más allá de la mitad del siglo, la producción
3662 en todas las regiones del planeta se verá afectada de manera negativa (Tubiello y
3663 Rosenzweig, 2008); la vulnerabilidad de los países dependerá, entre otras cosas,
3664 de sus condiciones geográficas y del tipo de cultivos que produzcan o puedan
3665 producir.

3666 Además, los insectos plaga destruyen hasta 40% de la producción agrícola por año
3667 a nivel global, mientras que el daño por patógenos en las plantas cuesta alrededor
3668 de 220,000 millones de dólares, también a nivel mundial, debido entre otras cosas
3669 a la globalización que conlleva amenazas de introducción y propagación de nuevas
3670 especies invasoras causantes de daños en otras regiones en donde nunca han
3671 estado presentes; además del cambio climático que también fomenta la
3672 propagación de nuevos nichos para que las plagas colonicen y se desarrollen (FAO,
3673 2023). Uno de los temas a los que se le dedica más atención en la actualidad es a
3674 entender de qué manera afectará el cambio climático al desarrollo y fisiología de las
3675 plantas y su interacción con las plagas.

3676 Los insectos son organismos con metabolismo ectotérmico, es decir, dependen
3677 principalmente de fuentes de calor externas y su temperatura corporal está regulada
3678 por los cambios de la misma en el medio ambiente; por lo que el efecto directo del
3679 cambio climático sobre los insectos se ha asociado principalmente al incremento de
3680 la temperatura, aunado a cambios en el régimen de precipitación, concentraciones
3681 de CO₂ atmosférico, aumento en la radiación, sin dejar de lado las interacciones

3682 planta-herbívoros y sus enemigos naturales (Quesada-Moraga, 2011). Un aspecto
3683 relevante derivado de las concentraciones de CO₂ es la relación carbono-nitrógeno
3684 (C:N) en el suelo, ya que el incremento de C:N disminuye la calidad nutricional del
3685 material vegetal y esto puede ocasionar cambios en el comportamiento y desarrollo
3686 de las plagas con repercusión mayor en los insectos masticadores que en insectos
3687 chupadores (Ji *et al.*, 2011).

3688 Se debe tomar en cuenta que, de acuerdo con García *et al.* (2012), la distribución
3689 de una especie está articulado según las variaciones de temperatura, humedad y
3690 precipitación a lo largo del gradiente altitudinal, de tal manera que un modelo de
3691 estudio debe estimar el cambio climático y la distribución de especies (Zacarías-
3692 Eslava y Castillo, 2010; Sáenz *et al.*, 2010). Los cultivos de climas cálidos, sobre
3693 todo de los trópicos, tienden a sufrir más los embates de plagas que los cultivos de
3694 clima templado, sin embargo, no se sabe a ciencia cierta si en un futuro se volverá
3695 un problema las interacciones de cultivo y plagas, y en qué regiones geográficas
3696 (Shaw y Osborne, 2011).

3697 Numerosos insectos herbívoros, incluyendo a casi la mitad de los que se alimentan
3698 de plantas cultivadas de importancia económica, consumen tejidos vegetales en
3699 desarrollo que solo están disponibles por poco tiempo, lo cual implica que son muy
3700 susceptibles a las modificaciones del clima, sobre todo de las oscilaciones de
3701 temperatura. En ambos casos, tanto plantas como insectos se ven afectados, las
3702 plantas en su fenología y los insectos al incrementar sus mecanismos metabólicos,
3703 de reproducción, supervivencia, propagación y dinámica poblacional; pero si la

3704 respuesta a ese cambio es más rápida en uno de ellos, el otro tendrá problemas
3705 con el medio ambiente y de paso con sus enemigos naturales (Prakahs *et al.*, 2014).
3706 La variabilidad en el clima interfiere en el desarrollo del ciclo de los insectos plaga,
3707 lo que genera una relación inversa entre el ciclo de vida y la variación térmica, es
3708 decir, al incrementarse la temperatura se acorta el ciclo de vida de la plaga, esto
3709 dificulta la planificación de un control efectivo de estas (Futurcrop, 2023). Lo anterior
3710 puede afectar la diapausa de los insectos, por lo que el impacto del cambio climático
3711 sobre ellos estará supeditado a los efectos del mismo cambio climático; esto puede
3712 tener resultados contrapuestos con una expansión del área de distribución de
3713 especies; y de acuerdo con los estudios de Bebber (2013), insectos plaga tales
3714 como ácaros, diversos coleópteros, dípteros y lepidópteros tienen un
3715 desplazamiento promedio de 2.7 kilómetros por año hacia los polos e incrementos
3716 de sus poblaciones y la patogenicidad de esporas. Sin embargo, el cambio climático
3717 puede tener un efecto inverso en una misma especie sobre su zona de distribución
3718 (Quesada-Moraga *et al.*, 2011; Tonnang, 2015).
3719 Algunos estudios avalan los problemas causados por epidemias de plagas y
3720 enfermedades como es el caso del tizón de la hoja en cultivos como el maíz en los
3721 años setenta en Estados Unidos, cuando las pérdidas fueron estimadas en un 15%,
3722 lo que equivale a una pérdida energética (kcal) de aproximadamente 18.5 trillones
3723 de calorías que dejaron de aportarse a diversas actividades pecuarias y humanas
3724 (Rubenstein *et al.*, 2005; Heinemann *et al.*, 2013). En Sudamérica, específicamente
3725 en Brasil, se espera un incremento en las poblaciones de nematodos del café y de

3726 minadores de hojas derivado de un aumento en el número de generaciones en un
3727 mes en comparación con las condiciones climáticas de 1961-1990 (Ghini *et al.*,
3728 2008). En este sentido, insectos plaga como los hemípteros resultan susceptibles a
3729 las variaciones de temperatura debido a que su ciclo de vida es corto; desde el
3730 punto de vista ecológico, cuentan con una alta capacidad de reproducirse y de
3731 dispersarse para explorar nuevos hábitats, lo cual facilita la transmisión de ciertos
3732 virus: potyvirus, cucumovirus y los luteovirus, agentes causantes de patologías en
3733 cultivos como el melón y tomate entre otros.

3734 Otro aspecto que agregar es el efecto que la variabilidad climática provocará en el
3735 metabolismo ²⁶ de las plantas, lo cual tendrá implicaciones en el nivel de resistencia
3736 genética hacia los vectores virales pues se pronostica que agentes virales
3737 transmitidos por insectos vectores emergerán con mayor regularidad,
3738 extendiéndose a nuevas áreas y complicando las medidas de control y mitigación,
3739 lo que dificultará y encarecerá los sistemas productivos ante nuevos escenarios
3740 climáticos (Bueso, 2018). Otro factor abiótico capaz de afectar las poblaciones de
3741 insectos plaga es la lluvia, en este sentido tanto la frecuencia como la intensidad
3742 alteran los patrones de supervivencia de insectos, ya que en algunos casos sus
3743 huevecillos y larvas son arrastrados. De tal manera, la magnitud de la lluvia puede
3744 afectar insectos de cuerpo pequeño -ácaros y áfidos-, y la variabilidad de las lluvias
3745 puede dañar a plagas del suelo.

3746 Existen casos en los que las plagas se ven atraídas por las plantas que
3747 principalmente sufren por estrés hídrico producto de sequías, esto se debe a que

3748 las plantas pierden humedad por el proceso de transpiración, lo que da pauta a que
3749 las columnas de agua en el xilema se rompan, generando así una emisión acústica
3750 que es detectada por coleópteros descortezadores. Otra causa de estrés por sequía
3751 es la disminución de compuestos metabólicos que ayudan en la defensa ante el
3752 ataque de plagas (Yidhego *et al.*, 2019). De esta manera, la variabilidad en el clima
3753 puede tener un efecto en la transmisión de virus en cultivos agrícolas; la transmisión,
3754 de huésped a huésped, se hace por medio de insectos vectores como los pulgones
3755 y la mosquita blanca; además, como ya se mencionó anteriormente, el clima altera
3756 la fisiología y fenología e indirectamente lo hace con los virus que se propagan
3757 (Trebicki *et al.*, 2020).

3758 De acuerdo con la predicción de los escenarios climáticos existe el riesgo de un
3759 aumento de la actividad ciclónica en las zonas tropicales, lo que tendrá como
3760 consecuencia la propagación de *B. tabaco*; asimismo, el escenario de sequía podría
3761 disminuir la tasa de supervivencia e influir en el tamaño y diseminación de sus
3762 poblaciones (Trebicki *et al.*, 2016). De igual manera, los áfidos pueden recorrer
3763 largas distancias si las condiciones térmicas son favorables y los movimientos del
3764 aire atmosférico que los expone ayudan al desplazamiento horizontal (Ferrerres e
3765 Irwin, 2017). En verano, la escasez de lluvias y las altas temperaturas reducen la
3766 disponibilidad de huéspedes, lo que supone un reto para los vectores y virus en vista
3767 de que las temperaturas superiores a 36°C en el verano disminuyen la subsistencia
3768 de los áfidos y por ende la propagación de los virus. Además, las tormentas y vientos
3769 huracanados pueden transportar esporas de patógenos a grandes distancias,

3770 incluso de un continente a otro, como por ejemplo la propagación de la roya
3771 originada por *Puccinia graminis* (Prank *et al.*, 2019).

3772 **Plagas de importancia económica que impactan en la fruticultura tropical por**
3773 **la variabilidad climática (algunos casos)**

3774 *Batrocera dorsalis* y *Ceratitis capitata*

3775 Los tetrífidos causan daños económicos importantes en la fruticultura pues sus
3776 larvas se desarrollan en la fruta. La familia de esta plaga comprende algunas
3777 especies invasoras como la *Batrocera dorsalis* y *Ceratitis capitata* que se alimentan
3778 de diversas especies frutales. *Batrocera olea* no solo se encuentra en otras partes
3779 del mundo, también ha invadido California y México recientemente (CABI, 2021).
3780 *Batrocera dorsalis* se desarrolla en climas tropical y subtropical, pero las
3781 alteraciones por la variabilidad climática podrían permitir que esta especie
3782 incursione en áreas templadas por medio del comercio de fruta (EPPO, 2021). En
3783 el caso de *C. capitata*, se puede encontrar en varias regiones del mundo incluyendo
3784 América Central, puede pasar el invierno en zonas más templadas en etapa de larva
3785 y como fruta almacenada, y también es posible que se disemine a través del
3786 comercio de cítricos (Fedchok *et al.*, 2006).

3787 *Rhynchophorus ferrugineus*

3788 El picudo rojo de las palmeras, como su nombre lo dice, *R. ferrugineus* es una plaga
3789 originaria de Asia que se detectó en 2010 en California, Estados Unidos, y sus larvas
3790 se alimentan de la parte apical de las palmas, incluyendo palmeras de coco y
3791 datileras (El-Mergawy y Al-Ajlan, 2011), con una infestación de uno al 5% de su

3792 población, lo que ha causado pérdidas anuales por 15 millones de dólares (Al-
3793 Ayedh, 2017). La expansión del picudo hacia otras latitudes en el mundo se debe
3794 probablemente a la distribución de material vegetal (plántulas) a otros países de
3795 oriente, Europa, África y América, en esta última zona se dio por erradicado en 2015.
3796 De acuerdo con estudios realizados por Ge y colaboradores (2015), el picudo rojo
3797 puede expandirse debido al cambio climático, por lo que las estrategias de control
3798 de esta plaga incluyen medidas culturales, fitosanitarias y biológicas (Ge *et al.*,
3799 2015). Sin embargo, aún se considera como el principal reto para los productores
3800 del sector ornamental de palmas.

3801 *Diaphorina citri*

3802 El psílido asiático de los cítricos es una especie originaria de Asia tropical y
3803 subtropical y se ha extendido hacia América y África; fue reportada por primera vez
3804 en Florida y en la actualidad se ha dispersado por otros estados (Halbert *et al.*,
3805 2010). Vector de la bacteria *Candidatus liberibacter* agente causal del *huanlongbing*
3806 en los cítricos, es considerada la enfermedad más dañina de estos frutales en el
3807 mundo. ⁴⁰ Algunos estudios previos sobre el riesgo asociado de *D. citri* y
3808 consecuentemente de la dispersión de HLB en México, clasifican prácticamente
3809 todas las áreas cítrícolas del país como zonas de alto riesgo para la infección de
3810 HLB (Díaz *et al.*, 2010; Aldama-Aguilera *et al.*, 2011). De acuerdo con un estudio
3811 hecho por Rodríguez y colaboradores (2023), *D. citri* está presente en 38.6% del
3812 territorio mexicano y los autores opinan que en escenarios futuros puede variar de
3813 11 a 25% de la cifra actual pues el potencial de riesgo aumentaría derivado del

3814 incremento en la superficie de cítricos. En este sentido, los estados costeros y las
3815 penínsulas de Yucatán y Baja California son las áreas idóneas y por lo tanto de
3816 mayor riesgo para el desarrollo de *D. citri*, y con ello de la dispersión del
3817 *huanglongbing* (López *et al.*, 2013).

3818 Una característica común en los estudios realizados sobre este tema ⁴⁰ es que en su
3819 metodología asignan un peso similar a la superficie plantada con cítricos y las
3820 particularidades agrometeorológicas de esas zonas. A pesar de que *D. citri* es una
3821 plaga devastadora de los cítricos, se ha encontrado en diversos estudios que la
3822 variabilidad climática no es un factor que pueda multiplicar el daño que hace -debido
3823 a incrementos de la temperatura y la humedad- pues existe una correlación negativa
3824 en contra de la actividad de vuelo de *D. citri* y con ella su dispersión se ve limitada
3825 (Johnston *et al.*, 2019). Sin embargo, *D. citri* puede desplazarse en diferentes
3826 parámetros de temperatura y humedad, aunque en temperaturas superiores a 40°C
3827 perjudica su capacidad de desplazamiento (Antolinez *et al.*, 2021). Otro componente
3828 que reduce las poblaciones de esta plaga es la altura superior a los 600 m, lo que
3829 puede ser consecuencia de la combinación entre diversos elementos como presión
3830 del aire, oxigenación, rayos UV y temperatura (Jenkins *et al.*, 2015).

3831 **Enfermedades que impactan en la fruticultura tropical por la variabilidad**
3832 **climática (algunos casos)**

3833 *Fusarium oxysporum*

3834 Es un patógeno del suelo que se distribuye ampliamente en distintas regiones de
3835 América en varios cultivos, entre ellos la palma de aceite y el plátano (Rodríguez,

3836 2020). Este fitopatógeno es causante del marchitamiento en el cultivo del banano
3837 en Colombia y otras muchas partes del mundo, independientemente de la superficie
3838 ocupada y su producción (García-Bastidas *et al.*, 2019; Mostert *et al.*, 2017).
3839 ¹ *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Raza 4 Tropical, actualmente fue reclasificado
3840 como *Fusarium odoratissimum* y está considerado como una gran amenaza para la
3841 producción de banano en todo el mundo (Maryani *et al.*, 2019).

3842 El incremento en las temperaturas en un rango de 24 a 34°C, así como los eventos
3843 climatológicos extremos que dan lugar a tormentas y huracanes maximizan el
3844 potencial de riesgo de la enfermedad, principalmente cuando existe saturación
3845 hídrica en los perfiles de suelo donde se cultiva banano variedad Cavendish (Pegg
3846 *et al.*, 2019). La enfermedad causada por Fusariosis de las musáceas es tipificada
3847 como cuarentenaria, ya que puede provocar afectaciones hasta de 40% en una
3848 superficie de 1.3 millones de hectáreas (Dita *et al.*, 2018) y, de acuerdo con los
3849 pronósticos y modelos cartográficos de zonificación, las afectaciones abarcarían
3850 desde México hasta Centro y Sudamérica (Ibarra-Zapata *et al.*, 2021).

3851 *Phytophthora* spp y otros oomicetos

3852 Este hongo fitopatógeno es el origen de un sin número de enfermedades en la
3853 fruticultura a nivel mundial; se trata de un oomiceto ampliamente estudiado que
3854 pertenece al género *Phytophthora* y causa importantes pérdidas en la agricultura
3855 actual (Savary *et al.*, 2019; Wilches-Ortiz, 2013). Bebbler y colaboradores (2013)
3856 consideran que los efectos de la variabilidad climática desplazarán a los oomicetos
3857 hacia los polos, principalmente hacia el hemisferio norte. En la actualidad existe una

3858 proliferación de enfermedades causadas por este género de oomicetos que
3859 provocan pudriciones de raíz; un ejemplo es la enfermedad del cancro que afecta a
3860 más de 1000 especies en zonas templadas y tropicales en el mundo y que es
3861 causada por *Phytophthora cinnamomi*.

3862 Otro oomiceto significativo a nivel mundial es el *Plasmopara viticola*, conocido como
3863 mildiú veloso de la vid, este patógeno produce pérdidas importantes no solo en el
3864 cultivo, sino también en la industria del vino afectando su calidad; se considera que
3865 las pérdidas van de 5 a 40% en las diversas regiones vitivinícolas del mundo. De
3866 acuerdo con las zonas en las que se presenta este patógeno, generalmente de clima
3867 templado, un aumento en las temperaturas potenciaría la presencia de la
3868 enfermedad. Es así que las proyecciones que se hacen nos indican escenarios con
3869 mayor presencia de la afección, lo que implicará mayores esfuerzos por controlar
3870 futuros brotes de esta (Salinari *et al.*, 2006, 2007; Gullino *et al.*, 2018; Angelotti *et*
3871 *al.*, 2017).

3872 Roya del cafeto *Hemileia vastarix*

3873 ¹⁶ La aparición de la roya en los últimos años como una epidemia con efectos
3874 devastadores parece estar relacionada a una combinación de factores económicos
3875 y meteorológicos (Avelino *et al.*, 2015). Los periodos de incubación y de latencia
3876 pueden sufrir aumentos o disminuciones en sus tiempos de desarrollo dependiendo
3877 de las condiciones climáticas (Rivillas *et al.*, 2011). Recientes estudios han
3878 evidenciado cómo los cambios del clima a futuro tendrán efectos negativos en el
3879 ¹⁶ cultivo de café (Laderach *et al.*, 2010, Imbach *et al.*, 2017). Se esperan variaciones

3880 en las distribuciones actuales de este cultivo y, por consiguiente, habrá cambios de
3881 distribución y afectaciones a las plagas y enfermedades asociadas al cultivo, así
3882 como a la diversidad benéfica asociada (Guerrero *et al*, 2020, Chain-Guadarrama
3883 *et al*, 2019).

3884 En algunas zonas de Brasil los escenarios futuros, de acuerdo con los modelos de
3885 predicción, muestran un incremento de hasta 14.2% en la incidencia de la
3886 enfermedad de la roya del cafeto con periodos de incubación inferiores a los 19
3887 días, y con muy alta severidad de la enfermedad. La variabilidad temporal sigue una
3888 dinámica en la que se espera que disminuirá en los meses de invierno y se
3889 incrementará en los periodos estacionales de calor y lluvia (Alfonsi *et al.*, 2019). A
3890 la vez, se ha proyectado que el problema de roya del cafeto estará presente en
3891 prácticamente toda Centroamérica entre los años 2041 al 2060.

3892 **Consideraciones finales**

3893 De acuerdo con los antecedentes aquí descritos, se puede considerar que existe
3894 suficiente evidencia de que la variabilidad climática está influyendo directamente
3895 sobre el incremento de incidencia de plagas y enfermedades en todos los cultivos a
3896 nivel mundial, sobre todo en las zonas subtropicales y tropicales. Los elementos
3897 climáticos como la temperatura y las lluvias, sin lugar a duda, son los componentes
3898 esenciales y de mayor impacto en el desarrollo de las poblaciones de plagas y
3899 enfermedades a nivel mundial. Conviene considerar que las actividades
3900 antropogénicas han tenido consecuencias graves en el medio ambiente, lo cual ha
3901 impactado en los elementos climáticos que favorecen el desarrollo y diseminación

3902 de plagas y patógenos que son capaces no solo de terminar con las cosechas, sino
3903 que se han convertido en verdaderas epidemias a lo largo de los últimos 40 años.
3904 Cabe mencionar que el impacto de las plagas y enfermedades en los diferentes
3905 agroecosistemas tropicales, entre ellos el ramo frutícola, variará dependiendo de las
3906 diferentes prácticas y manejo de los huertos. Así, el uso indiscriminado de pesticidas
3907 es un factor que incidirá tanto en la contaminación del medio ambiente como en la
3908 resistencia de algunas plagas. La resiliencia y capacidad del entorno ambiental para
3909 adaptarse y reponerse a estas circunstancias dependerá de la posibilidad evolutiva
3910 de los ecosistemas (Sield *et al.*, 2017).

3911 En este sentido, tomar acción sobre la variabilidad climática dependerá de todos en
3912 su conjunto; sin embargo, de acuerdo con las tendencias, revertir las consecuencias
3913 a corto plazo será difícil. Aunque en el área agrícola también hay mucho por hacer,
3914 y si bien es necesario cambiar paradigmas con respecto a la agricultura
3915 convencional, de igual manera se requerirá de los avances biotecnológicos y
3916 nanotecnológicos para combatir de manera inteligente los embates biológicos en la
3917 agricultura. Sin duda alguna, con toda la evidencia científica que existe en la
3918 actualidad se deben tomar medidas de control y monitoreo en zonas en donde existe
3919 la amenaza de plagas y enfermedades que están arraigadas desde hace muchos
3920 años, en vista de que la efectividad en su control y erradicación bajo las
3921 circunstancias de variabilidad climática agravarán la situación.

3922 Por lo anterior es de suma importancia seguir generando investigación sobre el
3923 comportamiento, distribución y adaptación no solo de las plagas de mayor

3924 importancia, sino también de aquellas que debido a las condiciones cambiantes
3925 pueden llegar a convertirse en plagas potenciales. Incluso existen vacíos de
3926 conocimiento en plagas de suelo, ya que la mayoría de los estudios realizados se
3927 han centrado en el efecto en plagas y vectores que se encuentran sobre la superficie
3928 de la tierra, y en el efecto sobre la interacción de plagas y patógenos con sus
3929 enemigos naturales y antagónicos.

3930 Es preciso también intensificar el intercambio de información en materia comercial
3931 a nivel internacional sobre la importación y exportación de alimentos, plantas y
3932 animales que puedan llegar a propagar plagas y enfermedades. Los marcos
3933 regulatorios, así como la elaboración de políticas en materia de riesgo fitosanitario
3934 están homologadas en todo el mundo gracias a ⁸ la Comisión de Medidas
3935 Fitosanitarias (CMF) que forma parte de la Organización de las Naciones Unidas
3936 para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y que cuenta con más de cien Normas
3937 Internacionales para Medidas Fitosanitarias, incluyendo todos los aspectos sobre
3938 cuarentenas de plantas.

3939 En este sentido, cabe señalar que México presidió durante dos años (2018-2020)
3940 dicha comisión (CMF), y en la 14^a reunión se abordaron diversos temas de interés
3941 fitosanitario, llegando a determinar el año 2020 como el Año Internacional de la
3942 Sanidad Vegetal, lo cual se llevó a cabo con la finalidad de hacer conciencia sobre
3943 la importancia socioeconómica de la sanidad vegetal. En cuanto a las acciones en
3944 materia de fitosanidad, México dispone del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad
3945 y Calidad Alimentaria (SENASICA) en donde actualmente se realizan vigilancias

3946 epidemiológicas con 30 plagas que son prioridad de atención en los principales
3947 cultivos del país, incluyendo frutales como cítricos, mango, durazno, ciruelo,
3948 chabacano, manzana y fresa. Asimismo, se da seguimiento con técnicos
3949 especializados, profesionales en trampeo preventivo y auxiliares de campo en las
3950 32 entidades federativas del país (SENASICA, 2023).

3951 Por último, es importante dejar en claro que esto es una tarea de todos,
3952 principalmente de las instituciones y gobiernos en el mundo y que la cooperación
3953 internacional es clave para enfrentar un problema global y así evitar epidemias
3954 futuras de las plagas ya descritas y de otras emergentes que en un momento dado
3955 puedan impactar significativamente en la producción de alimentos y con ello en la
3956 seguridad alimentaria, acciones como el uso eficiente del agua, prácticas
3957 agroecológicas, uso de la biotecnología, así como de la agricultura de precisión y
3958 del apoyo de la comunidad científica de manera interdisciplinaria, podremos hacer
3959 frente de manera eficaz al ataque de plagas y enfermedades que en algunos casos
3960 representa todo un desafío debido a la variabilidad climática.

3961 **Referencias**

3962 Aldama, A., Olvera, V. y Galindo, M. (2011). Reportes epidemiológicos de HLB. En:
3963 *Memoria del 2do Simposio nacional sobre la investigación para el manejo del*
3964 *Psilido asiático y el Huanglongbing de los cítricos en México*. Texcoco,
3965 México, p.122-127.

3966 Alfonsi, W., Coltri, P., Zullo, J., Patricio, F., Gonçalves, R., Shinji, K., Alfonsi, E. y
3967 Koga-Vicente, A. (2019). Geographical distribution of the incubation period of

3968 coffee leaf rust in climate change scenarios. *Pesquisa Agropecuária*
3969 *Brasileira*, 54, e00273.

3970 Al-Ayedh, H.Y. Al. (2017). The current state of the art research and technologies on
3971 RPW management. Paper presented at the *Scientific Consultation and High-*
3972 *Level Meeting on Red Palm Weevil Management*, 29–31, Rome, FAO.

3973 Angelotti, F., Hamada, E., Magalhaes, E., Ghini, R., Garrido, L. y Junior, M. (2017).
3974 Climate change and the occurrence of downy mildew in Brazilian grapevines.
3975 *Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasilia*, 52: 426–434.

3976 Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G.,
3977 Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. y Morales, C. (2015). The coffee rust
3978 crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible
3979 causes and proposed solutions. *Food Security*, V.7: 303-321.

3980 Bebber, D., Ramotowski, M. & Gurr, S. (2013). Crop pests and pathogens move
3981 polewards in a warming world. *Nature Clim Change* 3: 985–988
3982 doi.org/10.1038/nclimate1990

3983 Bueso, G. (2018). El cambio climático afectará a las estrategias de control de
3984 enfermedades y plagas (en línea). Phytohemeroteca :30. Disponible en
3985 [https://www.phytoma.com/images/pdf/301_RyC_Encuentro_Phytoma_CC.p](https://www.phytoma.com/images/pdf/301_RyC_Encuentro_Phytoma_CC.pdf)
3986 [df](https://www.phytoma.com/images/pdf/301_RyC_Encuentro_Phytoma_CC.pdf).

3987 Antolinez, C., Moynour, T., Martini, X. y Rivera, M. (2021). Las Altas Temperaturas
3988 Disminuyen la Capacidad de Vuelo de *Diaphorina citri* Kuwayama
3989 (*Hemiptera: Liviidae*). *Insectos*. No. 12.

- 3990 CABI. (2021). *Bactrocera oleae* (olive fruit fly) datasheet. In Invasive Species
3991 Compendium. Wallingford, UK, CABI. Citado el 16 de mayo 2023.
3992 <https://www.cabi.org/isc/datasheet/17689#todistribution>.
- 3993 Craparo, A., Van Asten, P., Länderach, P., Jassogne, L., y Grab, S. (2015). *Coffea*
3994 *arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications.
3995 *Agricultural and Forest Meteorology*. No. 207: 1-10.
- 3996 Chain, G., Martínez, R., Cárdenas, J., Vílchez, M. y Harvey, C. (2019). Uso de
3997 prácticas de adaptación basada en ecosistemas por pequeños cafetaleros en
3998 Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 1-18.
- 3999 Díaz, P., Mora, A., López, A., Guajardo, P. y Sánchez C. (2010). Modelación
4000 espacial en zonas de riesgo agroclimática para el desarrollo de *Diaphorina*
4001 *citri* en zonas citrícolas del estado de Veracruz. Caso de estudio de naranja.
4002 En: Memorias de XIV del Simposio internacional SELPER.
- 4003 Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E., y Staver, C. (2018). Fusarium wilt of
4004 banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward
4005 sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1468.
- 4006 EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2021). Current
4007 global distribution of *Bactrocera dorsalis* (DACUDO) In EPPO Global
4008 Database <https://gd.eppo.int/taxon/DACUDO/>
- 4009 El-Mergawy, R. y Al-Ajlan, A. (2011). Red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*
4010 (Olivier): Economic importance, biology, biogeography and integrated pest
4011 management. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 1: 1–23.

4012 FAO. (2023). Día Internacional de la Sanidad Vegetal. [https://www.fao.org/plant-](https://www.fao.org/plant-health-day/es)
4013 [health-day/es](https://www.fao.org/plant-health-day/es)

4014 FAO. (2020). Red palm weevil: Guidelines on management practices. Rome, FAO,
4015 86.

4016 Ferreres, A., Irwin, M. y Kampmeier, G. (2017). Movimiento de áfidos: proceso y
4017 consecuencias. En *Aphids as Crop Pests*, 2ª ed.; van Emden, HF, Harrington,
4018 R., Eds.; CABI Publishing: Wallingford, Reino Unido, Pp. 196–224.

4019 Futurcrop. (2023). El cambio climático y el momento de tratamiento de plagas.
4020 [https://futurcrop.com/es/blog/post/el-cambioclimatico-y-el-momento-de-](https://futurcrop.com/es/blog/post/el-cambioclimatico-y-el-momento-de-tratamiento-de-plagas/)
4021 [tratamiento-de-plagas/](https://futurcrop.com/es/blog/post/el-cambioclimatico-y-el-momento-de-tratamiento-de-plagas/)

4022 García-Bastidas, F., Quintero-Vargas, Ayala-Vásquez, M., Schermer, T., Seidl, M.,
4023 Santos-Paiva, M. y Noguera A. (2020). First report of Fusarium wilt tropical
4024 race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in
4025 Colombia. *Plant Disease*, 104 (3), 994.

4026 García López, A., Micó, E. y Galante, E. (2012). From lowlands to highlands:
4027 searching for elevational patterns of species richness and distribution of
4028 scarab beetles in Costa Rica. *Diversity and Distributions*, 18(6), 543–553.

4029 Ge, X., He, S., Wang, T., Yan, W. y Zong, S. (2015). Potential distribution predicted
4030 for *Rhynchophorus ferrugineus* in China under different climate warming
4031 scenarios. *PLoS ONE*, 10(10): e0141111.

- 4032 Gourджи, S., Sibley, A. y Lobell, D. (2013). Global Crop Exposure to Critical High
4033 Temperatures in the Reproductive Period: Historical Trends and Future
4034 Projections. *Environmental Research Letters*, 8, 024041.
- 4035 Guerrero-Carrera, J., Jaramillo-Villanueva, J., Mora-Rivera, J., Bustamante-
4036 González, A., Vargas-López, S. y Chulim-Estrella, N. (2020). Impacto del
4037 cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical*
4038 *Agroecosystems*, 23(71): 1-18.
- 4039 Gullino, M., Pugliese, M., Gilardi, G. y Garibaldi, A. (2018). Effect of increased CO₂
4040 and temperature on plant diseases: A critical appraisal of results obtained in
4041 studies carried out under controlled environment facilities. *Journal of Plant*
4042 *Pathology*, 100: 371–389.
- 4043 Ghini, R., Hamada, E., Junior, M., Marengo, J. y Goncalves, R. (2008). Risk analysis
4044 of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa*
4045 *Agropecuária Brasileira*, 43: 187–194.
- 4046 Halbert, S., Manjunath, K., Ramadugu, C., Brodie, M., Webb, S. y Lee, R. (2010).
4047 Remolques que transportan naranjas a las plantas de procesamiento mueven
4048 psílidos asiáticos de los cítricos. *Florida Entomology*. 93: 33–38.
- 4049 Heinemann, J., Massaro, M., Coray, D., Agapito-Tenfen, S. y Wen, J. (2013).
4050 Sustainability and innovation in staple crop production in the US Midwest.
4051 *International Journal of Agricultural Sustainability* 12(1): 71-88.
- 4052 Ibarra-Zapata, E., Aguirre-Salado, C. A., Miranda-Aragón, L., Escoto-Rodríguez, M.,
4053 Loredó-Osh, C., Mora Aguilera, G. y González-Gómez, R. (2021). Análisis

4054 geoespacial fitosanitario de la Fusariosis de las Musáceas a nivel global, con
4055 énfasis en América Pantropical. *Investigaciones Geográficas*, 106, e60466.

4056 Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, E., Ricketts, T.,
4057 Harvey, C., Donatti, C., Laderach, P., Locatelli, B. y Roehrdanz, P. (2017).
4058 Coupling of Pollination Services and Coffee Suitability Under Climate
4059 Change. *Pnas*, 39: 10438–10442.

4060 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). Climate change 2013:
4061 The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth
4062 Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

4063 IPCC. (2022) y Climate Change (2022): Impacts, Adaptation and Vulnerability.
4064 Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the
4065 Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. Roberts, M.
4066 Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S.
4067 Löschke, V. Möller, A. Okem y B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.
4068 Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056
4069 pp.

4070 Jenkins, D., Hall, D. y Goenaga, R. (2015). *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae)
4071 Abundance in Puerto Rico Declines with Elevation. *Journal of Economic*
4072 *Entomology*, 108(1):252-8.

4073 Ji, L., An, L. y Wang, X. (2011). Insect. *Science* 18: 409-418.

4074 Johnston, N., Stelinski, L. y Stansly, P. (2019). Patrones de dispersión de
4075 *Diaphorina citri* (Kuwayama) (Hemiptera: Liviidae) influenciados por el

4076 manejo de los cítricos y los factores abióticos. *Florida Entomology*, 102: 168–
4077 173.

4078 Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramírez, J., Pérez Portilla, E., Schepp, K. y
4079 Eizinger, A. (2010). Predicted impact of climate change on coffee supply
4080 chains. *The Economic, Social and Political Elements of Climate Change*. 703-
4081 723.

4082 Lanz, B., Dietz, S. y Swanson, T. (2018). La expansión de la agricultura moderna y
4083 la disminución de la biodiversidad global: una evaluación integrada.
4084 *Economía Ecológica*, 144: 260-277.

4085 López-Collado, J., López-Arroyo, J., Robles-García, P. y Márquez-Santos, M.
4086 (2013). Geographic distribution of habitat, development, and population
4087 growth rates of the Asian *citrus psyllid*, *Diaphorina citri*, in Mexico. *Journal of*
4088 *Insect Science*, 13(1).

4089 Luck, J., Spackman A., Freeman M., Trębicki P., Griffiths W., Finlay K. y
4090 Chakraborty, S. (2011). Climate change and diseases of food crops, *Plant*
4091 *Pathology* 60: 113-12.

4092 Maryani, N., Lombard, L., Poerba, Y., Subandiyah, S., Crous, P. y Kema, G. (2019).
4093 Phylogeny and genetic diversity of the banana Fusarium wilt pathogen
4094 *Fusarium oxysporum*, f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin.
4095 *Studies in Mycology*, 92: 155–194.

4096 Mostert, D., Molina, A., Daniells, J., Fourie, G., Hermanto, C., Chao, C., Fabregar,
4097 E. *et al.*, (2017). The distribution and host range of the banana Fusarium wilt

4098 fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, in Asia. *PLoS ONE*, 12:
4099 e0181630.

4100 Prakash, A., Rao, J., Mukherjee, A., Berliner, J., Pokhare, S., Adak, T., Munda, S. y
4101 Shashank, P. (2014). Climate Change: Impact on Crop Pests; Applied
4102 Zoologists Research Association (AZRA), Central Rice Research Institute:
4103 Odisha, India. 205 p.

4104 Pegg, K., Coates, L., O'Neill, W. y Turner, D. (2019). The epidemiology of *Fusarium*
4105 wilt of banana. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1395

4106 Prank, M., Kenaley, S., Bergstrom, G., Acevedo, M. y Mahowald, N. (2019). Climate
4107 change impacts the spread of wheat stem rust, a significant crop disease.
4108 *Environmental Research Letters*, 14: 124053.

4109 Quesada-Moraga, E. (2011). Plagas de insectos y Cambio Climático. *Phytoma*
4110 *España* 232: 21-31. [https://www.phytoma.com/la-](https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/232-octubre-2011/plagas-de-insectos-y-cambio-climtico)
4111 [revista/phytohemeroteca/232-octubre-2011/plagas-de-insectos-y-cambio-](https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/232-octubre-2011/plagas-de-insectos-y-cambio-climtico)
4112 [climtico](https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/232-octubre-2011/plagas-de-insectos-y-cambio-climtico)

4113 Rivillas Osorio, C., Serna Giraldo, C., Cristancho Ardila, M. y Gaitan Bustamante, A.
4114 (2011). La Roya Del Cafeto En Colombia - Impacto, Manejo Y Costos Del
4115 Control. Caldas, Co: Cenicafé. 51 P.

4116 Rodríguez, A., López, C., Soto, E., de la Cruz Vargas, M. y García-A, D. (2023).
4117 Future spatial distribution of *Diaphorina citri* in Mexico under climate change
4118 models. *Ecological Complexity*, 53: 101041.

4119 Rodríguez, M. (2020). El mayor enemigo de las musáceas parece haber llegado al
4120 continente americano, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* RT4. Disponible
4121 en: [https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/el-mayor-](https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/el-mayor-enemigo-de-lasmusaceas-parece-haber-llegado-al-continente-americano)
4122 [enemigo-de-lasmusaceas-parece-haber-llegado-al-continente-americano](https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/el-mayor-enemigo-de-lasmusaceas-parece-haber-llegado-al-continente-americano)
4123 Rubenstein, D., Heisey, P., Shoemaker, R., Sullivan, J. y Frisvold, G. (2005). Crop
4124 genetic resources: an economic appraisal. United States Department of
4125 Agriculture (USDA). Econ Information Bulletin No. 2.
4126 file:///C:/Users/Admin/Downloads/eib2.pdf

4127 Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S., Esker, P., Mc Roberts, N. y Nelson, A.
4128 (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops.
4129 *Nature Ecology & Evolution*, 3(3): 430-439.

4130 Salinari, F., Giosuè, S., Rossi, V., Tubiello, F., Rosenzweig, C. y Gullino, M. (2007).
4131 Downy mildew outbreaks on grapevine under climate change: Elaboration
4132 and application of an empirical-statistical model. *EPPO Bulletin*, 37: 317–326.

4133 Salinari, F., Giosuè, S., Rettori, A., Rossi, V., Tubiello, F., Spanna, F., Rosenzweig,
4134 C. y Gullino, M. (2006). Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on
4135 grapevine under climate change. *Global Change Biology*, 12: 1299–1307.

4136 Sáenz, R., Rehfeldt, G., Crookston, N., Duval, P., St. Amant, R., Beaulieu, J. y
4137 Richardson, B. (2010). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090
4138 climates of Mexico and their use in understanding climate-change impacts on
4139 the vegetation. *Climate Change*, 102(3): 595–623.

4140 Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (SENASICA). Plagas
4141 de vigilancia Activa y Pasiva, (2022). Consultado 04 de junio 2023.
4142 [https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-de-vigilancia-activa-y-pasiva-](https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-de-vigilancia-activa-y-pasiva-111406)
4143 [111406](https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-de-vigilancia-activa-y-pasiva-111406)
4144 Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. *American Economic Review*,
4145 98, 2: 1-37.
4146 Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano G. y
4147 Wild, J. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate*
4148 *Change*. 7: 395–402.
4149 Seo, N., y Mendelsohn, R. (2008). Measuring Impacts and Adaptations to Climate
4150 Change: a Structural Ricardian Model of African Livestock Management-
4151 Super-1", *Agricultural Economics*, 38, 2: 151-165.
4152 Shaw, M. y Osborne, T. (2011). Distribución geográfica de patógenos de plantas en
4153 respuesta al cambio climático. *Plant Pathology*, 60: 31-43.
4154 Telenchana-Paucar, N. (2020). Modelo predictivo del impacto del cambio climático
4155 sobre la distribución y abundancia de una especie de Noctuidae asociada
4156 con el cultivo de maíz (*Zea mays*). Tesis Maestría, s.l., Universidad Técnica
4157 de Ambato. 40 p. Disponible en
4158 <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31453/1/010>
4159 Trebicki P, 2020. Climate change and plant virus epidemiology. *Virus Research*, 286,
4160 198059.

4161 Trebicki, P., Vandegeer, R., Bosque-Pérez, N., Powell, K., Dader, B., Freeman, A.,
4162 Yen, A., Fitzgerald, G. y Luck, J. (2016). Virus infection mediates the effects
4163 of elevated CO₂ on plants and vectors. *Scientific Reports*. Mar 4;6:22785.

4164 Tubiello, F., y Rosenzweig, C. (2008). Developing climate change impact metrics for
4165 agriculture”, *Integrated Assessment*, 8 (1):165-184.

4166 Tonnang, H., Mohamed, S., Khamis, F. y Ekesi, S. (2015). Identification and risk
4167 assessment for worldwide invasion and spread of *Tuta absoluta* with a focus
4168 on Sub-Saharan Africa: implications for phytosanitary measures and
4169 management. *PloS one*, 10(8), e0135283.

4170 Vaghefi, N., Nasir Shamsudin, M., Radam, A. y Rahim, K. (2013). Modelling the
4171 impact of climate change on rice production: An Overview. *Journal of Applied*
4172 *Sciences*,13(24). doi.org/10.3923/jas.2013.5649.5660

4173 Wilches Ortiz, W. (2013). Obtención de aislamientos de *Phytophthora palmivora* de
4174 palma de aceite en trampas de frutos. Universidad de Cundinamarca.
4175 doi.org/10.13140/RG.2.2.35214.23367

4176 Yihdego, Y., Salem, H. y Muhammed, H. (2019). Agricultural pest management
4177 policies during drought: Case studies in Australia and the state of Palestine.
4178 *Natural Hazards Review*. 20, 05018010.

4179 Zacarías, E. y Castillo, R. (2010). Comunidades vegetales templadas de la Sierra
4180 Juárez, Oaxaca: pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el
4181 cambio climático. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, 87: 13–28.

4182

4183 **Capítulo 8. Dinámica espacial entre *Coffea arabica* Linneo y *Coffea***

4184 ***canephora* Pierre ex A. Froehn-er bajo el cambio climático**

4185 Ismael Quiroz Guerrero y Juan Guillermo Cruz Castillo

4186 **Resumen**

4187 El agroecosistema café es sensible a la variación climática debido a la dependencia
4188 del cafeto respecto a las precipitaciones. La producción de café se distribuye
4189 principalmente en zonas geográficamente expuestas al aumento de la temperatura.
4190 Existen estudios indicando que el área actual de cultivo de *C. arabica* será afectada
4191 severamente debido a la reducción de las condiciones ambientales favorables para
4192 su cultivo. En el presente estudio, se llevó a cabo una modelación del impacto del
4193 cambio climático y su efecto en la distribución de *C. arabica* y *C. canephora*. Se
4194 modeló con base en proyecciones climáticas del periodo 2021-2041 para el modelo
4195 climático global CMIP6. Para *C arabica*, se muestra un aumento en la superficie con
4196 condiciones poco favorables para su producción. En el Municipio de Tezonapa,
4197 Veracruz, *C. canephora*, en el periodo 2021-2041, el cambio climático generará una
4198 disminución del área propicia para este plantío y lo repliega con dirección a las
4199 laderas montañosas.

4200 **Palabras clave:** Producción de café, cambio climático, Veracruz.

4201 **Introducción**

4202 ²⁰ El cambio climático es definido como la variación del estado del clima identificable
4203 en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades que
4204 persiste durante largos períodos, generalmente decenios o períodos más largos

4205 (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático [IPCC], 2013). El ⁴³
4206 cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos
4207 externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o
4208 cambios antropógenos persistentes por la composición de la atmósfera o del uso
4209 del suelo (IPCC, 2013).

4210 El cambio climático también implica un conjunto de riesgos relacionados con el clima
4211 y su aumento significativo en un contexto de medios de subsistencia y de
4212 inseguridad alimentaria. Los grupos sociales históricamente desfavorecidos como
4213 pueblos indígenas o comunidades dependientes de la agricultura de subsistencia
4214 son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático. En el contexto de los
4215 agroecosistemas, el aumento de 2°C remite a una reducción de la productividad de
4216 alimentos de mayor consumo como el maíz, el trigo y el arroz, cuya disminución
4217 será significativa en países de África, el sureste asiático, América Central y América
4218 del Sur (IPCC, 2013).

4219 Entre la diversidad de agroecosistemas de México, el de café sobresale por la
4220 relación que guarda con pueblos originarios y zonas de alta riqueza biocultural. Las
4221 principales especies de café cultivadas son *C. arabica* (arábiga) y *C. canephora*
4222 (robusta); la primera sobresale por sus características organolépticas en taza, y la
4223 segunda es aprovechada principalmente en la industria del café soluble. En el
4224 periodo 2017-2021, México produjo 899,000 toneladas de café cereza; del total,
4225 Chiapas es el principal estado productor con 41%, seguido por el estado de
4226 Veracruz con 24% y el estado de Puebla con 15.3% (SADER, 2023). En el estado

4227 de Veracruz, el municipio de Tezonapa es el principal productor de café y a nivel
4228 nacional es de los municipios con mayor rendimiento con 32,000 toneladas (SIAP,
4229 2021). Cabe destacar que el municipio de Tezonapa por sus condiciones permite el
4230 cultivo de las dos especies principales de café de México (SADER, 2023).

4231 El agroecosistema café es sensible a la variación climática debido a la dependencia
4232 del cafeto respecto a las precipitaciones. La producción de café se distribuye
4233 principalmente en zonas geográficamente expuestas al aumento de la temperatura,
4234 por lo que existe el riesgo de que esas áreas ya no sean adecuadas para su cultivo
4235 en la medida que aumenta esta variable del clima. Se estima que, en los próximos
4236 30 años, 75% de la superficie cultivada con café arábica, y 63% de la superficie
4237 cultivada con robusta se pierda como consecuencia del cambio climático (Sachs *et*
4238 *al.*, 2019). En el caso de Latinoamérica, se considera una reducción entre 55 y 62%
4239 de la superficie con café arábigo, principalmente, en áreas con altitud entre los 400
4240 – 700 msnm. Sin embargo, existe la posibilidad de que las tierras altas (> 1800
4241 msnm) pueden compensar las pérdidas entre un 9-13% de la superficie perdida en
4242 áreas con altitud más baja (De Sousa *et al.*, 2019).

4243 Otros estudios, como el realizado por Schroth *et al.* (2015), coinciden en que el área
4244 actual de cultivo de *C. arabica* (la especie de café considerada de mayor calidad en
4245 taza) será afectada severamente debido a la reducción de las condiciones
4246 ambientales favorables para su cultivo. A nivel mundial, países como Indonesia
4247 podrían aumentar la producción de café debido a la aparición de nuevas áreas
4248 propicias (Schroth *et al.*, 2015).

4249 Ante los escenarios del cambio climático, el agroecosistema café deberá adaptarse
4250 a través de ajustes y ¹⁰⁰ cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar
4251 los daños potenciales o beneficiarse de ellos con la participación de las instituciones
4252 de gobierno y las organizaciones de productores (United Nations Framework
4253 Convention on Climate Change [UNFCCC], 2023). Alcanzar la adaptación del
4254 agroecosistema permitirá la aparición de la resiliencia que ante un escenario de
4255 cambio permite al agroecosistema café permanecer dentro de un dominio de
4256 estabilidad limitado por umbrales críticos, los cuales podrían estar integrados por
4257 variables como la temperatura y la precipitación principalmente (Folke, 2006). Para
4258 abordar la dinámica de cambio de un sistema es necesario conceptualizar al
4259 agroecosistema con una estructura para que pueda ser operacionalizado de la
4260 siguiente manera ³ (Walker *et al.*, 2004):

- 4261 • Latitud. Es la cantidad máxima que se puede cambiar al sistema antes de
4262 perder su capacidad de recuperación. Básicamente es el ancho de la cuenca de
4263 atracción. Una cuenca ancha significa que el sistema puede experimentar un mayor
4264 número de estados sin alcanzar la transformación.
- 4265 • Resistencia. Es la facilidad o dificultad para cambiar el sistema. Está
4266 relacionada con la topología de la cuenca. Las cuencas profundas de atracción
4267 indican que se requieren mayores fuerzas o perturbaciones para cambiar el estado
4268 actual a otro.
- 4269 • Precariedad. Es la trayectoria actual del sistema, la cual lo ubica respecto a
4270 un límite o "umbral" que si es rebasado dificulta o imposibilita la recuperación (Pr).

4271 • Panarquía. Proceso de influencia sobre el sistema causado por los estados y
4272 la dinámica de los (sub) sistemas en escalas por encima y por debajo de la escala
4273 de interés (Pa) (Walker *et al.*, 2004).

4274 Actualmente, el agroecosistema café permanece en un estado de equilibrio
4275 promovido por el productor quien busca la homeostasis del sistema a través del
4276 control de plagas, enfermedades, arvenses o la nutrición vegetal, por mencionar a
4277 algunos (Dekkers, 2015). Sin embargo, en el exterior de ese estado existen una
4278 cantidad determinada de conductores potenciales que podrían desplazar la
4279 condición actual del agroecosistema a una nueva (Gunderson, 2008; Walker *et al.*,
4280 2004). El cambio climático actúa como conductor a través de la alteración de la
4281 temperatura y la precipitación, lo que ejerce una presión a nivel ambiental con el
4282 resultado de dirigir al agroecosistema café ante un escenario de cambio en donde
4283 si no se presenta la resiliencia, este se transformará en un nuevo sistema de
4284 producción basado en otro cultivo que deberá estar adaptado a las nuevas
4285 condiciones ambientales (Gunderson, 2008; Walker *et al.*, 2004).

4286 En el contexto anterior se origina una dinámica de desplazamiento tanto del área
4287 ocupada por *C. arabica* como la de *C. canephora*, lo que ocasiona que se
4288 modifiquen las áreas de distribución actual de las especies de café. Es por esto que
4289 el objetivo del presente trabajo fue analizar la dinámica entre *C. arabica* y *C.*
4290 *canephora* bajo el modelo climático global CMCC-ESM2 para el periodo 2021-2041
4291 en la trayectoria socioeconómica compartida 585.

4292 **Metodología**

4293 Modelación del impacto del cambio climático y su efecto en la distribución de *C.*
4294 *arabica* y *C. canephora*

4295 El principio del modelado estuvo enfocado a detectar los cambios de distribución³
4296 basados en las condiciones climáticas existentes incluidas las áreas de distribución
4297 potencial y en las preferencias climáticas actuales de la especie bajo condiciones
4298 climáticas futuras. Se modeló el impacto del cambio climático con base en
4299 proyecciones climáticas del periodo 2021-2041 para el modelo climático global
4300 CMIP6 (Worldclim, 2022). Se verificó que los datos de condiciones actuales y³
4301 futuras presentaran los mismos parámetros de propiedades raster, resolución y
4302 vértices. Los datos climáticos fueron extraídos de la base de datos futura de clima
4303 mundial e incluyen 19 variables bioclimáticas diarias, mensuales y anuales, así³
4304 como datos combinados entre variables y de estacionalidad. Cada raster analizado
4305 presenta una resolución de 30s y equivale a 1 km² (Scheldeman y Van Zonneveld,
4306 2011; Worldclim, 2022).

4307 Las 19 variables climáticas fueron archivadas en formato *.asc. Cada variable³
4308 analizada contiene registros hechos en estaciones meteorológicas durante 30 años
4309 en el periodo de 1970 a 2000 (Fick y Hijmans *et al.*, 2017). Para determinar la³
4310 distribución actual y potencial de *C. arabica* y *C. canephora*, los datos
4311 meteorológicos fueron modelados mediante el software Maxent y su algoritmo de
4312 máxima entropía (Schroth *et al.*, 2015; Scheldeman y Van Zonneveld, 2011). Dicha
4313 modelación fue realizada con base en la identificación de ambientes similares a
4314 aquellos donde se cultiva *C. arabica* y *C. canephora* como áreas de posible³

4315 incidencia. Los datos de ocurrencia de *C. arabica* y *C. canephora* fueron obtenidos
4316 de 34 bases de datos pertenecientes a herbarios, colecciones botánicas y estudios
4317 florísticos. También fueron utilizados 52 registros de *C. arabica* y 75 registros para
4318 *C. canephora*, ambos del área de estudio. Con los datos de ocurrencia de *C. arabica*
4319 y *C. canephora* se realizó un análisis de presencia y ausencia potencial basado en
4320 la interacción con las 19 variables ambientales. En el área de estudio se calcularon
4321 las similitudes entre los valores ambientales en cada celda específica y los valores
4322 del nicho de *C. arabica* (Scheldeman y Van Zonneveld, 2011).

4323 Los resultados fueron proyectados en Q-gis versión 3.28 y se determinaron
4324 isolíneas de la distribución de los valores de ocurrencia con valores entre 0-1, donde
4325 los valores cercanos a cero (0) son negativos o de baja probabilidad de ocurrencia
4326 ambiental de las especies de café y valores cercanos a uno (1) son áreas con alta
4327 probabilidad de ocurrencia ambiental para las especies de café (Scheldeman y Van
4328 Zonneveld, 2011).

4329 **Análisis estadístico**

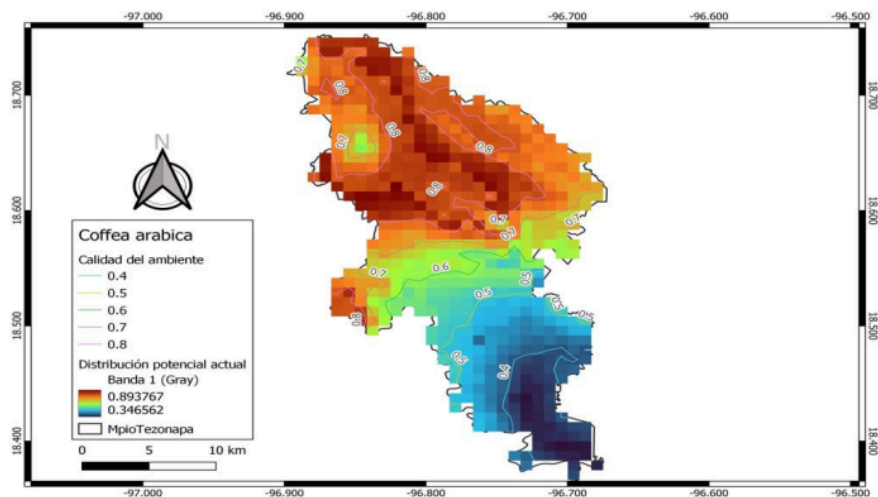
4330 Se utilizaron los valores numéricos distribuidos entre 0-1 de cada pixel para
4331 determinar estadísticas descriptivas y comparar las diferencias tanto en el escenario
4332 tomado como línea base de clima (1950-2000) y el escenario 585 para el periodo
4333 2021-2041.

4334 **Resultados y discusiones**

4335 Distribución actual y potencial futuro de *C. arabica*

4336 Las condiciones ambientales para la distribución actual de *C. arabica* están
4337 principalmente en la zona montañosa del municipio de Tezonapa entre los 400 y
4338 hasta los 1580 msnm. Las condiciones que la altitud confiere respecto a la
4339 temperatura y la humedad favorecen un ambiente adecuado para el desarrollo de
4340 esta especie de café. La frecuencia de condiciones con valores ambientales
4341 positivos para *C. arabica* y en el rango ente 0.5-0.8 fue de 489 km², y negativo en
4342 una superficie de 155 km² (Fig. 1).

4343 Figura 1. Distribución actual de *C. arabica* en el municipio de Tezonapa con datos
4344 meteorológicos entre los años 1950-2000



4345

4346 Fuente: Elaboración propia.

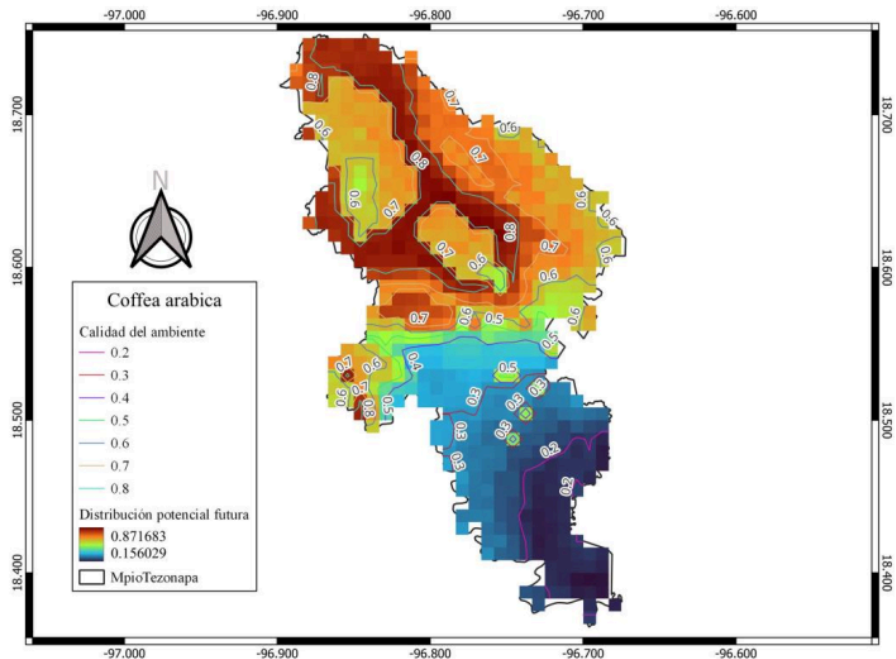
4347 En relación con las condiciones futuras (2021-2040), en el municipio se refleja una
4348 disminución del área propicia para el cultivo de *C. arabica*. Bajo el escenario 585 las
4349 condiciones de precipitación y temperatura cambian y esto tiene como resultado un

4350 movimiento en el área, principalmente bajo condiciones ambientales propicias con
4351 valores de 0.8 con una superficie de 101 km², de 0.7 con superficie de 80 km², de
4352 0.6 con superficie de 161 km², y de 0.5 con superficie de 70 km². Para el área de
4353 estudio se estima una disminución de 12% de la superficie con valores positivos
4354 (0.5-08) para el periodo 2021-2041 (Fig. 2).

4355 Los resultados obtenidos sobre los cambios observados en el periodo 2021-2041
4356 remitirán a otros efectos del cambio climático, principalmente porque el café arábigo
4357 requiere de sombra, la cual es imprescindible para una buena cosecha.
4358 Frecuentemente, el cultivo de *C. arabica* se traslapa con el bosque mesófilo de
4359 montaña, y por efecto del cambio climático, las especies arbóreas que integran la
4360 estructura de este bioma reducen su distribución actual principalmente por la
4361 reducción de la humedad (Estrada-Contreras *et al.*, 2015). La superficie perdida de
4362 cobertura de bosque mesófilo de montaña se estima en un 49% para el año 2050
4363 (Estrada-Contreras *et al.*, 2015). La sombra en los cafetales es proporcionada
4364 principalmente por árboles nativos (Estrada-Contreras *et al.*, 2015), por lo que el
4365 cambio climático al ejercer presión sobre la estructura arbórea también afectará la
4366 distribución de árboles de sombra que actualmente se utilizan en los cafetales, y
4367 que al no estar presentes exponen a los cafetos a una mayor cantidad de radiación
4368 con la consecuente disminución de calidad de los atributos sensoriales del café
4369 (Ahmed *et al.*, 2021). Los árboles de sombra confieren al cultivo de café una
4370 estructura que aprovechan otras plantas y animales, lo cual explica una
4371 biodiversidad alta asociada al cafetal y una protección a eventos meteorológicos

4372 extremos como sequías, ventiscas y lluvias torrenciales. La estructura arbórea
4373 también permite evitar problemas de erosión de suelo, de disminución de fertilidad
4374 y aumentar la tasa de infiltración y retención del agua en el suelo, lo que beneficia
4375 directamente a los cafetos establecidos (Acosta-Alba *et al.*, 2019; Muñoz-Villers *et*
4376 *al.*, 2020).

4377 Figura 2. Condiciones ambientales para el cultivo de *C. arabica* bajo el escenario
4378 de cambio climático 2.85 para el periodo 2021-2041



4379

4380 Fuente: Elaboración propia.

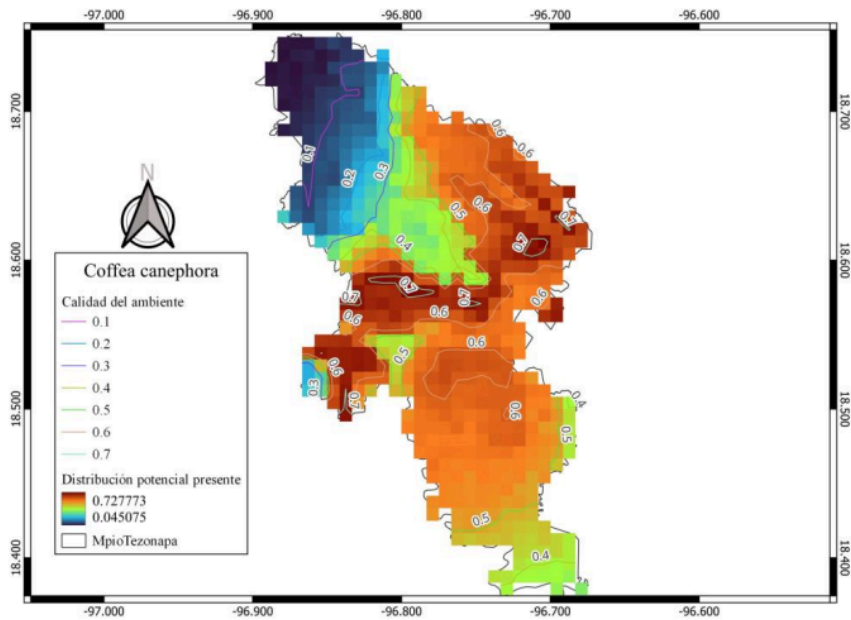
4381 El cambio climático pone en riesgo la calidad de las propiedades organolépticas del
4382 café debido a que esta característica aumenta cuando los cafetos se cultivan en

4383 altitudes ≥ 1200 msnm en donde se pueden obtener puntajes de catación ≥ 88 de
4384 calidad en taza. Sin embargo, dicha calidad del café está asociada al proceso de
4385 maduración lenta del fruto de café por lo que los cambios en los patrones de
4386 temperatura pueden alterar esta característica (Figueira *et al.*, 2015; Guevara-
4387 Sánchez *et al.*, 2019).

4388 Distribución actual y potencial futura de *Coffea canephora*

4389 La distribución actual de *C. canephora* se realiza principalmente en la zona del valle
4390 y de manera parcial en el área montañosa del municipio de Tezonapa, entre los 100
4391 y hasta los 700 msnm. Las condiciones del relieve confieren recursos suficientes
4392 que favorecen un ambiente positivo para el desarrollo del café robusta. El área con
4393 condiciones y valores ambientales positivos para *C. canephora* en el rango de 0.8
4394 a 0.5 fue de 385 km². El área con baja probabilidad de condiciones ambientales
4395 favorables (rango entre 0-0.04) para el café robusta fue de 259 km² (Fig. 3).

4396 Figura 3. Distribución potencial de *C. canephora* en el municipio de Tezonapa con
4397 datos meteorológicos entre los años 1950-2000



4398

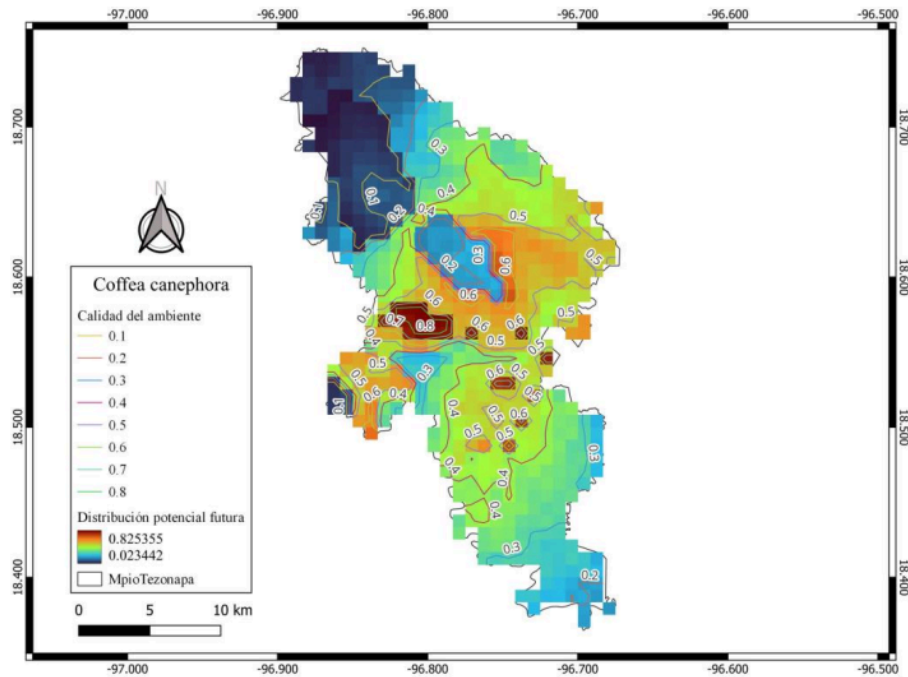
4399 Fuente: Elaboración propia.

4400 En el periodo 2021-2041, la frecuencia de valores positivos para el desarrollo de *C.*
 4401 *canephora* fue de 138 km² y los valores negativos fueron de 506 km², por lo que se
 4402 tuvo un aumento de la superficie con una baja probabilidad de condiciones
 4403 favorables para la especie (Fig. 4). El modelado de los efectos del cambio climático
 4404 en la región mostró una disminución de 38% de la superficie con condiciones
 4405 favorables para el crecimiento de *C. canephora*. La disminución del área
 4406 ambientalmente adecuada para el café robusta pone en riesgo el modo de vida de
 4407 productores que dependen de este cultivo y de sus recursos naturales como el
 4408 suelo, en virtud de que esta especie de café no utiliza árboles de sombra y presenta
 4409 una tendencia de manejo agronómico de monocultivo, lo cual la hace vulnerable

4410 ante sequías o precipitaciones extremas que afectan negativamente la fisiología, la
4411 floración y la fructificación del café, aunado a la disminución de la productividad
4412 (DaMatta y Ramalho, 2006; Silva *et al.*, 2013).

4413 Actualmente, el café robusta es aprovechado para la obtención de café soluble cuya
4414 calidad es menor a la alcanzada por *C. arabica*, por lo que el rendimiento por
4415 hectárea es la principal meta de los productores. Existe la posibilidad en el futuro de
4416 que en zonas en donde aún se pueda cultivar *C. canephora* se logre obtener un
4417 buen desempeño debido a que el café robusta es resistente a enfermedades,
4418 sequías y calor. Sin embargo, los cambios observados en las condiciones
4419 ambientales que permiten la ocurrencia de *C. robusta* ocasionarán que los
4420 productores establezcan una serie de estrategias de adaptación ante las nuevas
4421 condiciones del clima.

4422 Figura 4. Distribución potencial de *C. canephora* para el periodo 2021-2041 bajo el
4423 escenario de cambio climático 285



4424

4425 Fuente: Elaboración propia.

4426 En el área en donde se presentaron condiciones ambientales modificadas por el
 4427 cambio climático para *C. arabica* y *C. canephora* existe el riesgo de que los
 4428 productores no tengan la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones
 4429 climáticas, lo que será una desventaja ante la situación normal de falta de
 4430 oportunidades. El cambio climático también aumenta el riesgo de la presencia de
 4431 enfermedades emergentes que amenazan la salud de los productores (Pradhan &
 4432 Narayanan, 2020). Las diferentes aristas tocadas por el cambio climático presentan
 4433 la característica de promover la migración forzada o migración climática que a un
 4434 ritmo constante generará áreas extensas con refugiados climáticos (Pradhan &
 4435 Narayanan, 2020; Trummer *et al.*, 2023). No obstante, existen estrategias que los

4436 gobiernos locales y grupos de productores pueden gestionar a través de las políticas
4437 de protección social que permitan acercar los recursos financieros a las personas
4438 con potencial de migración, atender las causas que promueven la migración de los
4439 productores y fortalecer las bases que faciliten a estos sostener su principal fuente
4440 de ingreso.

4441 **Conclusiones**

4442 El modelado del cambio climático hace posible conocer la dinámica que se genera
4443 como resultado del cambio en las condiciones ambientales. En el área de estudio,
4444 la distribución potencial futura de *C. arabica* se modifica respecto a la distribución
4445 actual, presentándose un aumento en la superficie con condiciones poco favorables
4446 para el crecimiento de este tipo de café. Cabe destacar que en el periodo 2021-
4447 2041, en el área con condiciones favorables para el crecimiento del *C. arabica*,
4448 también se pueden alterar algunas características sensoriales asociadas a la
4449 calidad del café.

4450 En cuanto a la especie *C. canephora*, los estados ambientales favorables en la
4451 actualidad permiten que existan las condiciones para su cultivo, pero en el periodo
4452 2021-2041, el cambio climático genera una disminución del área propicia para este
4453 plantío y lo repliega con dirección a las laderas montañosas del municipio, por lo
4454 que una desventaja asociada a este cultivo es que actualmente se establece sin la
4455 protección de árboles de sombra debido a que se requiere sol directo para aumentar
4456 su producción, lo anterior aumenta el nivel de exposición y de sensibilidad ante
4457 eventos meteorológicos extremos derivados del cambio climático. El área del

4458 municipio afectada por el cambio climático tanto para *C. arabica* como para *C.*
4459 *canephora* podría promover que el productor, ante la falta de oportunidades decida
4460 migrar en búsqueda de mejores oportunidades.

4461 **Referencias**

4462 Acosta-Alba, I., Boissy, J., Chia, E. y Andrieu, N. (2019). Integrating diversity of
4463 smallholder coffee cropping system in environmental analysis. *The*
4464 *international Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 252-262.

4465 Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Warne, T., Anderson, E., Van Dusen, N.,
4466 Giuliano, P., Lonescu, K.E. y Cash, S. (2021). Climate change and coffee
4467 quality: systematic review on the effects on environmental and management
4468 variation on secondary metabolites and sensory attributes of *Coffea arabica*
4469 and *Coffea canephora*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-20.

4470 DaMatta, F. y Ramalh, J. (2006). Impacts of drought and temperature stress on
4471 coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant*
4472 *Physiology*, 18: 55-81.

4473 De Sousa, K., Van Zonneveld, M., Holmgren, M., Kindt, R. y Ordoñez, J. (2019). The
4474 future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Nature*
4475 *Scientific Reports*, 9: 1-9. doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7

4476 Dekkers, R. (2015). *Applied system theory*. Springer, New York United States, pp.
4477 15-37.

4478 Estrada-Contreras, I., Equihua, M., Catillo-Campos, G. y Rojas, S. (2015). Cambio
4479 climático y sus efectos en la vegetación de Veracruz, México: una

4480 aproximación mediante modelado de nicho ecológico. *Acta Botánica*
4481 *Mexicana*, 112, 73-93.

4482 Fick, S. y Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate
4483 surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12):
4484 4302-4315.

4485 Figueira, R., Ribeiro, D., Cirilo A. y Meira, B. (2015). Discrimination of the sensory
4486 quality of the *Coffea arabica* L. (cv. Yellow Bourbon) produced in different
4487 altitudes using decision trees obtained by the CHAID method. *Journal of*
4488 *Science*, 96: 3543-3551.

4489 Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological
4490 systems analyses. *Global Environmental Change*, 16: 253-267.

4491 Guevara-Sánchez, A., Del Águila, B., Saavedra, R., López, O. y Jackson, J. (2019).
4492 Efecto de la altitud en la calidad del café (*Coffea arabica* L.): comparación
4493 entre secado mecánico y tradicional. *Scientia Agropecuaria*, 10: 505-510.

4494 Gunderson, L. (2008). Panarchy. *Encyclopedia of Ecology*, 1: 612-616.

4495 Intergovernmental Pannel on Climate Change (IPCC). (2013). Glosario de términos.
4496 IPCC.
4497 [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_sp](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)
4498 [anish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)

4499 Muñoz-Villers, L., Geris, J., Alvarado, B., Holwerda, F. y Dawson, T. (2020). Coffee
4500 and shade trees show complementary use of soil water in a traditional

4501 agroforestry ecosystem. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 24: 1649-
4502 1668. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1649-2020>

4503 Pradhan, K. y Narayanan, K. (2020). Does climatic risk induce labor migration?
4504 Evidence from semi-arid tropics region of India. *Journal of Public Affairs*, 22:
4505 1-15.

4506 Sachs, J., Cordes, K., Rising, J., Toledano, P. y Mailing, N. (2019). Ensuring
4507 economic viability & sustainability coffee production. Columbia Center on
4508 Sustainable Investment.
4509 [https://scholarship.law.columbia.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1052&cont](https://scholarship.law.columbia.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1052&context=sustainable_investment_staffpubs)
4510 [ext=sustainable_investment_staffpubs](https://scholarship.law.columbia.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1052&context=sustainable_investment_staffpubs)

4511 Scheldeman, X. y van Zonneveld, M. (2011). Manual de capacitación en análisis
4512 espacial de diversidad y distribución de plantas. Bioversity International.
4513 Roma, Italia. 186 p. [https://cgspace.cgiar.org/items/c4b1b830-b4c5-44ad-](https://cgspace.cgiar.org/items/c4b1b830-b4c5-44ad-90fa-08d6d3a73489)
4514 [90fa-08d6d3a73489](https://cgspace.cgiar.org/items/c4b1b830-b4c5-44ad-90fa-08d6d3a73489)

4515 Schroth G., Landerach, D., Blackburn C., Neilson, J. y Bunn, C. (2015). Winner or
4516 loser of climate change? A modeling study of current and future climatic
4517 suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Regional Environment Change*, 15:
4518 1473-1482.

4519 Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). El cultivo de café en México.
4520 <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>

4521 Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). Avances de
4522 siembras y cosechas. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

4523 Silva, E., Cavatte, P., Morais, L., Medina, E. y DaMatta, F. (2013). The functional
4524 divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea*
4525 *canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed
4526 at improving drought tolerance. *Environ. Experimental Botany*, 87: 49-57.

4527 Trummer, U., Ali, T., Mosca, D., Mukuruva, B., Mwenyango, H. y Novak-Zezula, S.
4528 (2023). Climate change aggravating migration and health issues in African
4529 context: the views and direct experiences of a community of interest in the
4530 field. *Journal of Migration and Health*, 7: 1-6.

4531 United Nations Framework Convention on Climate Change. (UNFCCC). (2023).
4532 Adaptation & resilience. [https://unfccc.int/topics/adaptation-and-](https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction)
4533 [resilience/the-big-picture/introduction](https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction)

4534 Walker B., C.S. Holling, S.R. Carpenter, A. Kinzig. (2004). Resilience, adaptability
4535 and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*. 9:5.

4536 Worldclim. (2022). Global climate and weather data.
4537 <https://www.worldclim.org/data/index.html>

4538

4539

4540 **Capítulo 9. Hongos micorrízicos arbusculares y salud del suelo bajo el**
4541 **sistema milpa intercalada con árboles frutales en la mitigación del cambio**
4542 **climático**

4543 Tania Romero-Figueiras, Pablo Andrés-Meza, Joaquín Murguía-González,
4544 Alejandro Espinosa-Calderón, Julio González-Cárdenas, Otto Leyva-Ovalle,
4545 Ricardo Serna-Lagunes, Julio Díaz-José, Miguel Cebada-Merino, María Galindo-
4546 Tovar, Mauro Sierra-Macias y Margarita Tadeo-Robledo

4547 **Resumen**

4548 ⁴⁹ Las milpas con árboles han tomado gran importancia debido a que contribuyen a
4549 mitigar las adversidades del cambio climático y la degradación del suelo. Cuando
4550 las milpas son intercaladas con árboles frutales reciben el nombre de MIAF. En
4551 Campo Grande, municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz se estableció un módulo
4552 experimental tipo MIAF con cuatro hileras de árboles frutales dispuestos en curvas
4553 de nivel, plantados a 1 m de separación entre ellos y 7.8 m entre hileras. Los árboles
4554 frutales fueron: durazno (*Prunus pérsica*), limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) y lichi
4555 (*Litchi chinensis*), distribuidos bajo un arreglo de bloques completamente al azar. Se
4556 sembró en cada franja lateral a los árboles y en forma intercalada en hileras cuatro
4557 surcos de maíz y frijol. Se aplicaron 6 tratamientos: 1) Consorcio HMA + Rhizobium
4558 etli (1) + 50 % de fertilización mineral (FM); 2) Consorcio HMA + ²⁴ Rhizobium etli (2)
4559 + 50 % de FM; 3) Rhizophagus irregularis + Rhizobium etli (1) + 50 % de FM; 4)
4560 Rhizophagus irregularis + Rhizobium etli (2) + 50 % de FM; 5) 100 % de FM (testigo
4561 positivo); y 6) 0 % de FM (testigo negativo). La formación de consorcios microbianos

4562 impulsó la actividad biológica en el suelo, facilitando ⁷⁰ la descomposición de materia
4563 orgánica, la mineralización de nutrientes y la fijación de nitrógeno atmosférico. Estas
4564 actividades microbianas contribuyeron a mejorar la disponibilidad de nutrientes
4565 esenciales para las plantas y, favorecieron el crecimiento y desarrollo de los cultivos.
4566 **Palabras clave:** Sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), hongos
4567 micorrízicos arbusculares, cambio climático.

4568 **Introducción**

4569 Los sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) incluyen biodiversidad silvestre y
4570 domesticada, animales y vegetales manejados por el ser humano (Moreno-Calles
4571 *et al.*, 2014), donde árboles se asocian con cultivos agrícolas en espacio y tiempo,
4572 lo que genera un equilibrio ecológico y económico entre los componentes del
4573 sistema (Duché-García ⁵⁰ *et al.*, 2021). Sin embargo, los SAFT se encuentran bajo la
4574 presión de los sistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal de carácter
4575 especializado y de la racionalidad económica que los impulsa. Diversos factores
4576 socio-ecológicos asociados a esos sistemas productivos especializados ponen en
4577 riesgo a los sistemas agroforestales tradicionales (Boege, 2008).

4578 En este contexto, las milpas son un tipo de sistema agrícola que intercala cultivos
4579 como maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), calabaza (*Cucurbita* spp.),
4580 chile (*Capsicum* spp.), haba (*Vicia faba* L.) y soya (*Glycine max* L. Mer.) entre otros
4581 (Zambrano *et al.*, 2021; 2023). Cuando las milpas son intercaladas con árboles
4582 frutales reciben el nombre de MIAF (Cortés *et al.*, 2005), este sistema es una
4583 tecnología agrícola multiobjetivo para resolver problemas económicos, sociales,

4584 ecológicos y de alimentación que aquejan a las familias rurales que siembran en
4585 condiciones de laderas (Cortés *et al.*, 2005; SADER, 2023). ⁴⁹ Las milpas con árboles
4586 han tomado gran importancia debido a que contribuyen a mitigar las adversidades
4587 del cambio climático y la degradación del suelo (Albino, 2014).

4588 El sistema MIAF ha tenido buenos resultados ³ en los estados de Oaxaca, Puebla,
4589 Veracruz, Chiapas, Guerrero y estado de México, demostrando su eficacia para
4590 reducir la degradación de los suelos, producir granos básicos para la alimentación
4591 y frutas para su comercialización con lo que mejoran los ingresos familiares (Torres-
4592 Zambrano *et al.*, 2008). Además, ³ permite un aprovechamiento integral del suelo,
4593 agua, luz solar, mano de obra familiar, captura de carbono y la actividad microbiana
4594 que es básica para mejorar la calidad de los suelos (Cortés *et al.*, 2005; Cadena-
4595 Iñiguez *et al.*, 2018).

4596 Por otro lado, ³ el suelo es un complejo de partículas físicas, sustancias y materiales
4597 orgánicos que junto con el aire y el agua conforman un recurso esencial para el
4598 sostenimiento de la vida de muchos organismos, incluyendo al hombre. ⁴⁶ El
4599 funcionamiento de un ecosistema depende en gran medida de la actividad
4600 microbiana del suelo, ya que los microorganismos son los protagonistas de diversas
4601 actividades biogeoquímicas benéficas para las plantas a las que se asocian
4602 (Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2008). ²⁰ Los suelos contienen una amplia
4603 variedad de formas biológicas (Andrade-Torres, 2010) con tamaños muy diferentes
4604 como virus, bacterias, hongos, algas, colémbolos, ácaros, lombrices, nemátodos,
4605 hormigas y, por supuesto, las raíces vivas de las plantas vasculares.

4606 Entre los ²⁸ microorganismos que se encuentran en el suelo están los hongos
4607 formadores de micorrizas conocidos también como hongos micorrízicos
4608 arbusculares (HMA) (Lara-Capistrán *et al.*, 2021). Los HMA son microorganismos
4609 del suelo que forman una relación simbiótica con 80-90% de especies de plantas
4610 vasculares y 90% de plantas agrícolas (Navarro y Ramos-Zapata, 2021), incluyendo
4611 la mayoría de los cultivos de importancia económica, particularmente cereales y
4612 plantas hortícolas (Diagne *et al.*, 2020).

4613 Los efectos de los HMA sobre el crecimiento y elementos fisiológicos en las plantas
4614 han sido ampliamente estudiados en *Solanum lycopersicum*, *Sorghum bicolor* (L.)
4615 Moench, *Cucurbita máxima* Duchesne, *Piper longum* L., *Phaseolus vulgaris* L., y
4616 algunos árboles frutales como *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Nakai, *Prunus*
4617 *cerasifera* L., entre otros. En todas las especies, los HMA desbloquean y facilitan la
4618 absorción de nutrientes como el nitrógeno (N), zinc (Zn) y fósforo (P) (Kouadio *et*
4619 *al.*, 2017). También brindan ²⁸ protección contra patógenos, y a cambio de ello la
4620 planta le cede carbohidratos y proteínas para su sostenimiento metabólico. La
4621 planta y el hongo actúan como simbiosis: juntos son capaces de aumentar hasta
4622 25% la producción y no alteran el entorno ambiental. En los ecosistemas débiles y
4623 amenazados, las micorrizas son las principales cooperadoras para el
4624 establecimiento y desarrollo de las plantas (Noda, 2009).

4625 Estos antecedentes nos ayudan a entender la interacción planta-suelo-
4626 microorganismo en sistemas agrícolas antropizados y su importancia en el
4627 mejoramiento de la salud el suelo. Por ello, el objetivo general del presente trabajo

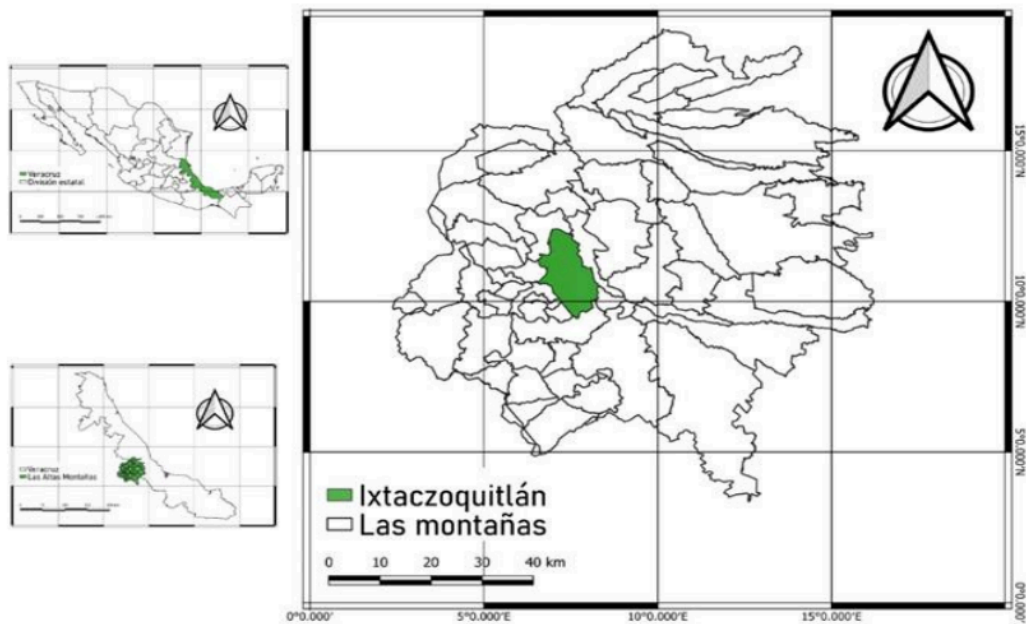
4628 de investigación fue determinar el efecto de hongos micorrízicos arbusculares
4629 (HMA) y *Rhizobium* sobre algunas características agronómicas y fisiológicas en un
4630 sistema de milpa intercalado con árboles frutales (MIAF).

4631 **Materiales y métodos**

4632 *Área de estudio*

4633 La investigación se realizó en la comunidad Campo Grande, municipio de
4634 Ixtaczoquitlán, Veracruz, México, ubicada geográficamente a los 18°49' LN; 97°1'
4635 LO y una altitud de 881 msnm (Figura 1). El clima en la localidad es *Am b(i')g* cálido
4636 húmedo, con una precipitación media anual de 2035.5 mm y temperatura media
4637 anual de 19°C. El tipo de suelo luvisol, con una pendiente de aproximadamente
4638 27%.

4639 Figura 1. Ubicación del área de estudio. Área Natural Protegida Metlac-Río Blanco
4640



4641

4642

4643 *Diseño y establecimiento de la parcela MIAF*

4644 Durante el ciclo otoño-invierno 2020-21 se estableció un módulo experimental tipo

4645 MIAF con cuatro hileras de árboles frutales dispuestos en curvas de nivel, plantados

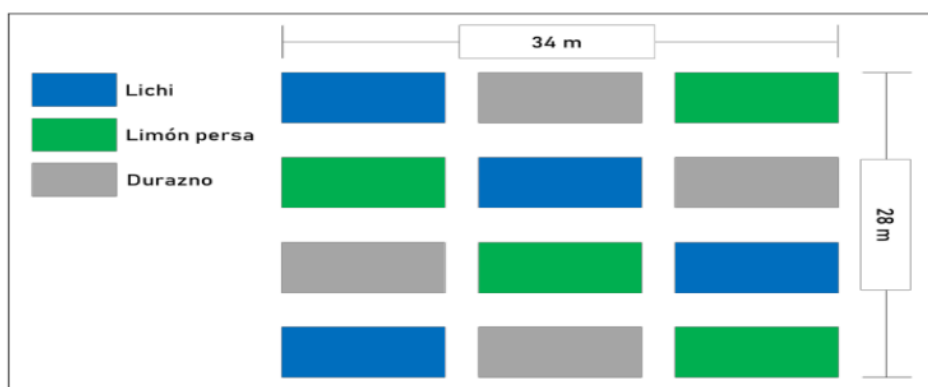
4646 a 1 m de separación entre ellos y 7.8 m entre hileras. Los árboles frutales fueron de

4647 tres especies: durazno (*Prunus pérsica*), limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) y lichi

4648 (*Litchi chinensis*), distribuidos bajo un arreglo de bloques completamente al azar

4649 (Figura 2).

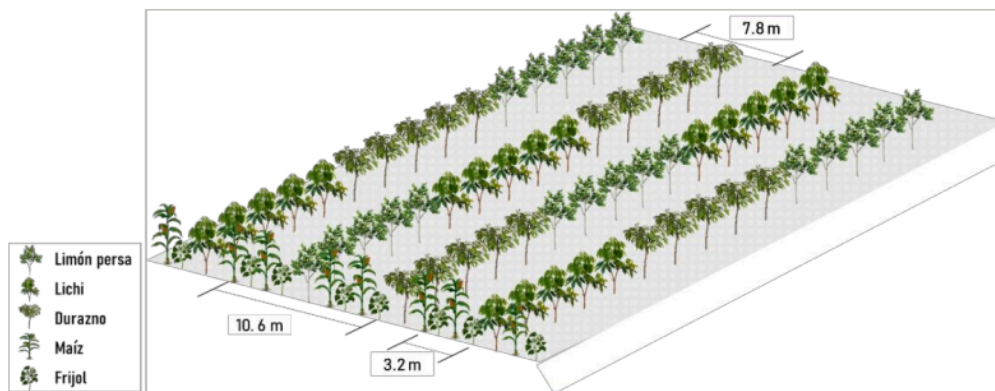
4650 Figura 2. Distribución de los árboles frutales en el módulo MIAF



4651

4652 Posteriormente, durante el ciclo primavera-verano 2021 se sembró en cada franja
 4653 lateral a los árboles y en forma intercalada en hileras cuatro surcos de maíz y frijol.
 4654 En el caso del maíz se sembró la variedad nativa “criollo crema” a una distancia
 4655 entre matas de 0.6 m, y en cuanto al frijol se plantó la variedad “criollo negro” a 0.3
 4656 m, y entre surcos a una distancia de 0.80 m. La unidad de observación estuvo
 4657 constituida por un surco de 5 m de largo. Al momento de la siembra se depositaron
 4658 tres semillas de maíz o frijol por golpe, a los 15 días después de la siembra (dds) se
 4659 aclareó dejando dos plantas por mata. En ambos cultivos se estimó una densidad
 4660 de población de 20,833 y 41,667 plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 3).

4661 Figura 3. Arreglo espacial y temporal de la milpa intercalada con árboles frutales



4662 Fuente: Elaboración propia.

4663 Fuente de Inóculo y diseño de tratamientos

4664 Las fuentes de inóculo utilizadas fueron: *Rhizophagus Irregularis* y un consorcio
 4665 micorrízico (compuesto por 13 géneros de HMA, entre los que destacan *Glomus*
 4666 *dimorphicum*, *Rhizophagus fasciculatus*, *Funneliformis mosseae*) [250 propágulos
 4667 g⁻¹] y dos cepas de *Rhizobium etli* [9 x 10⁷ ufc g⁻¹] provenientes de la empresa
 4668 BioFábrica Siglo XXI. La inoculación se realizó directamente a la semilla del frijol y
 4669 maíz a razón de 50 g de inóculo por cada kilogramo de semilla. Como adherente se
 4670 utilizó carboximetil celulosa.

4671 Se aplicaron 6 tratamientos: 1) Consorcio HMA + *Rhizobium etli* (1) + 50 % de
 4672 fertilización mineral (FM); 2) Consorcio HMA + *Rhizobium etli* (2) + 50 % de FM; 3)
 4673 *Rhizophagus irregularis* + *Rhizobium etli* (1) + 50 % de FM; 4) *Rhizophagus*
 4674 *irregularis* + *Rhizobium etli* (2) + 50 % de FM; 5) 100 % de FM (testigo positivo); y
 4675 6) 0 % de FM (testigo negativo). Todos los tratamientos se establecieron bajo un
 4676 diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.

4677 Características físicoquímicas y biológicas del suelo

4678 Para determinar la fertilidad del suelo se tomaron submuestras en diferentes puntos
4679 de acuerdo con las características topográficas del terreno. La profundidad de cada
4680 unidad muestral fue de 0-40 cm; posteriormente se homogenizó el suelo recogido y
4681 se obtuvo una muestra compuesta. En laboratorio se determinó la clase textural,
4682 pH, densidad aparente (g/cm^2), carbonatos totales (%), conductividad eléctrica
4683 (dS/m), macro y micronutrientes. Asimismo, para el análisis biológico se determinó
4684 la cantidad de materia orgánica y las Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de
4685 hongos, bacterias y actinomicetos presentes en el suelo.

4686 *Manejo del experimento*

4687 La fertilización mineral para el cultivo de maíz y frijol se realizó con la fórmula 70N-
4688 60P-00K y 35N-35P-00K, respectivamente. Al momento de la siembra de maíz se
4689 aplicó 1/3 de N y todo el P_2O_5 ; posteriormente, 30 dds se emplearon los 2/3
4690 restantes del N; mientras que para el frijol todo el fertilizante se aplicó al momento
4691 de la siembra. Los frutales se fertilizaron con la fórmula 20N-10P-20K, a razón de
4692 120 g/planta/año, esta dosis se fraccionó en dos aplicaciones. De la misma manera
4693 se suministró alrededor de las plantas un fertilizante líquido PUSH-UP® a razón de
4694 7 litros ha^{-1} , lo anterior para favorecer el establecimiento y desarrollo radicular de
4695 los árboles.

4696 *Siembra en macetas e inoculación con HMA, R. irregularis y Rhizobium etli*

4697 Bajo condiciones de invernadero se sembró maíz y frijol con las mismas variedades
4698 utilizadas en campo. Las semillas se depositaron en macetas plásticas de dos litros
4699 (0.70 kg). El sustrato utilizado fue suelo recolectado del módulo experimental. Al

4700 maíz y frijol se les aplicaron 15 tratamientos resultantes de la combinación de
4701 *rhizobium*, HMA y dosis de fertilización mineral (0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %)
4702 Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al
4703 azar. Después de 6 semanas de crecimiento, las plantas fueron cosechadas para
4704 medir algunas variables agronómicas y fisiológicas.

4705 *Variables evaluadas*

4706 Altura de la plántula: Se registró la altura en cm, desde la base del tallo hasta la
4707 última hoja de cuatro plantas tomadas al azar, esta actividad se realizó con la ayuda
4708 de una regla.

4709 Diámetro de tallo: Se registró el diámetro de tallo en mm, desde la base hasta la
4710 primera hoja en cuatro plantas tomadas al azar, esta actividad se llevó a cabo con
4711 la ayuda de un vernier.

4712 Área foliar: Se registró el largo y ancho de tres hojas desde el tercio inferior, medio
4713 y superior de cada planta, así como el número de hojas en cuatro plantas tomadas
4714 al azar. El área foliar se calculó al multiplicar el largo por ancho por el número de
4715 hojas. El valor final se expresó en cm².

4716 Unidades SPAD: Se determinó con un medidor SPAD-502 Plus, el cual es un
4717 dispositivo de medición portátil y no destructivo para medir el contenido de clorofila
4718 de las hojas. ⁷ Se tomó el promedio de las lecturas realizadas en el tercio inferior,
4719 medio y superior de cada planta.

4720 *Análisis estadístico*

7
4721 Todas las variables fueron sometidas a una prueba de homogeneidad de varianzas
4722 y normalidad mediante la prueba de Bartlett y Shapiro-Wilk. Aquellas variables que
4723 no presentaron una distribución normal se transformaron para su análisis.
4724 Posteriormente se realizaron análisis de varianza y una prueba de comparación de
4725 medias Duncan ($P \leq 0.05$). Los datos fueron analizados mediante el software
4726 estadístico STATGRAPHICS® Plus 5.0.

4727 **Resultados y discusión**

4728 *Análisis fisicoquímico del suelo*

4729 Los resultados de los indicadores físicos evaluados se muestran en el Cuadro 1. El
4730 módulo agroforestal tipo MIAF presenta un suelo de textura fina con una densidad
4731 aparente de 1.785 g/cm^3 , el cual disminuyó a 1.58 g/cm^3 como resultado de
4732 establecer la parcela agrícola MIAF. Si la densidad aparente se vuelve demasiado
4733 alta puede limitar el crecimiento de las raíces de las plantas. Esto podría provocar
4734 estrés por aireación (Stepniewski *et al.*, 1994), temperatura del suelo más baja y
4735 cambios en los procesos biológicos (Brussaard y Van Faassen, 1994), así como
4736 aumento de la desnitrificación (Linn y Doran, 1984) y pérdida de hongos micorrízicos
4737 (Ellis, 1998). 43 La susceptibilidad de los suelos a la compactación varía con la textura,
4738 siendo los suelos arcillosos más vulnerables que los suelos arenosos (Bünemann
4739 *et al.*, 2018).

4740 En cuanto a los indicadores químicos, se observa que el suelo pasó de un pH
4741 moderadamente ácido con 5.70 a ácido con 4.90 (Cuadro 1). Uno de los fenómenos
4742 que pudo ocasionar dicho resultado es la descomposición de la materia orgánica

4743 por microorganismos presentes en el suelo, produciendo un constante suplemento
 4744 de CO₂ que fácilmente se transforma en ácido carbónico (H₂CO₃), este compuesto
 4745 se combina con las bases intercambiables del suelo (K, Ca, Mg) y estas
 4746 composiciones se lavan del perfil llevando de esta forma al suelo a condiciones que
 4747 desarrollan acidez.

4748 Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo antes y después de establecer
 4749 el sistema agrícola MIAF

Indicadores	Ciclo productivo cero (2020)	Ciclo productivo uno (2021)	Unidad
Físicos			
Densidad aparente	1.78	1.58	g/cm ³
Químicos			
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

4750 Fuente: Elaboración propia.

4751 Por otra parte, los fertilizantes nitrogenados que forman amonio (NH₄), como la urea,
 4752 pasan por procesos de oxidación biológica o nitrificación, lo que ³⁸ lleva
 4753 inevitablemente a la acidificación del suelo. Es importante mencionar que la
 4754 mineralización de la materia orgánica también produce NH₄ como producto final del
 4755 proceso de descomposición. Este NH₄ contribuye de igual forma a la acidificación
 4756 del suelo después de la nitrificación (Espinosa y Molina, 1999). El suelo se
 4757 encuentra libre de carbonatos y sales. Los valores de la conductividad eléctrica (CE)
 4758 fluctuaron de 0.023 Sdm⁻¹ en el ciclo cero a 0.039 Sdm⁻¹ en el ciclo 1.

4759 Al final del primer ciclo productivo la materia orgánica incrementó de 1.71 a 2.76%,
 4760 es decir, de moderadamente bajo a moderadamente alto (Cuadro 1). La materia
 4761 orgánica se deriva de la descomposición y transformación microbiana de los detritos
 4762 de las plantas y los exudados de las raíces (Guo *et al.*, 2020). Diversos estudios
 4763 reportan que la composición de la materia orgánica disuelta en el suelo se deriva
 4764 principalmente de los lixiviados de los desechos vegetales y los rizodepósitos
 4765 liberados por los exudados de raíz, secreciones y raíces finas que se desprenden
 4766 durante el alargamiento de la raíz y compuestos orgánicos del recambio de

4767 micorrizas. ²⁰ La materia orgánica (MO) y el nitrógeno total (Nt) son dos propiedades
 4768 fundamentales para evaluar la fertilidad del suelo.

4769 *Análisis microbiológico del suelo*

4770 Los resultados del análisis microbiológico se muestran en el Cuadro 2, estos indican
 4771 un incremento ⁵⁸ en la cantidad de bacterias (55.0×10^6 a 68.0×10^6 UFC/g), hongos
 4772 (73.55×10^2 a 511.7×10^2 UFC/g) y actinomicetos (48.61×10^5 a 53.19×10^5 UFC/g)
 4773 al final del primer ciclo productivo. ⁷⁷ En general, los microorganismos más abundantes
 4774 en el suelo son las bacterias, aunque los hongos (por su mayor tamaño) representan
 4775 ⁴⁶ alrededor de 70% de la biomasa. Lo anterior es importante debido a que la actividad
 4776 microbiana de la rizosfera es, en gran medida, responsable del funcionamiento del
 4777 ecosistema y de la fertilidad de los suelos agrícolas.

4778 Cuadro 2. Propiedades biológicas del suelo antes y después de establecer el
 4779 sistema agrícola MIAF

Indicadores biológicos	Ciclo productivo	Ciclo productivo	Unidad
	cero (2020)	uno (2021)	
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

4780 Fuente: Elaboración propia.

4781

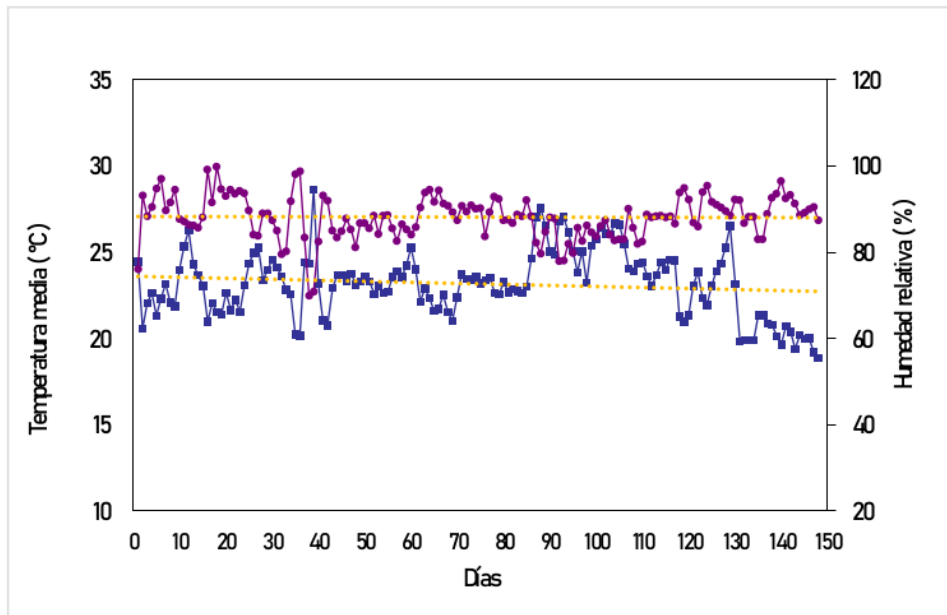
4782 Los resultados mostraron que los sistemas agroforestales promovían una mayor
4783 densidad de bacterias en comparación con los sistemas agrícolas convencionales.
4784 Además, se observó una mayor diversidad y actividad microbiana en los suelos de
4785 los sistemas agroforestales. Estos hallazgos respaldan nuestros resultados, donde
4786 se encontró una alta densidad de bacterias en el sistema agrícola agroforestal
4787 estudiado.

4788 También, los sistemas agroforestales favorecen la presencia y diversidad de hongos
4789 en comparación con los sistemas agrícolas convencionales. Estos hallazgos son
4790 consistentes con nuestros resultados, donde se encontró una densidad
4791 relativamente alta de hongos en el suelo del sistema agrícola agroforestal.

4792 *Parámetros climáticos*

4793 Durante el periodo de evaluación se registró la humedad relativa y temperatura
4794 imperante en el área de estudio (Figura 4). La humedad relativa registrada se
4795 mantuvo en un rango de 69.9 y 99.8%, con un promedio de 88.1% mientras que el
4796 promedio de la temperatura diaria osciló entre 18.9 y 28.6°C. Las características
4797 climáticas se encuentran entre los factores más importantes que influyen en las
4798 propiedades del suelo pues alteran la composición y biomasa microbiana de este
4799 (Yin *et al.*, 2022; Das *et al.*, 2023). Asimismo, se sabe que el contenido de agua del
4800 suelo limita los procesos biológicos en los suelos (Paz-Ferreiro *et al.*, 2010).

4801 Figura 4. Humedad relativa y temperatura registrados en la localidad de Campo
4802 Grande, municipio Ixtaczoquitlán, Veracruz



4803

4804 Fuente: Elaboración propia.

4805 *Limón persa*

4806 En la Figura 5 se muestra la cinética de crecimiento del limón persa y se observa
 4807 que la posición de los frutales dentro de la parcela ha influido en su desarrollo con
 4808 un rango de crecimiento de 60 a casi 200 cm aproximadamente. Durante el mes 15
 4809 se advierte un decremento en la altura, lo anterior debido a que se han realizado
 4810 podas de formación para darle fuerza estructural que pueda soportar una cosecha
 4811 máxima bien distribuida con exposición de luz solar y accesibilidad para las
 4812 prácticas culturales y de cosecha.

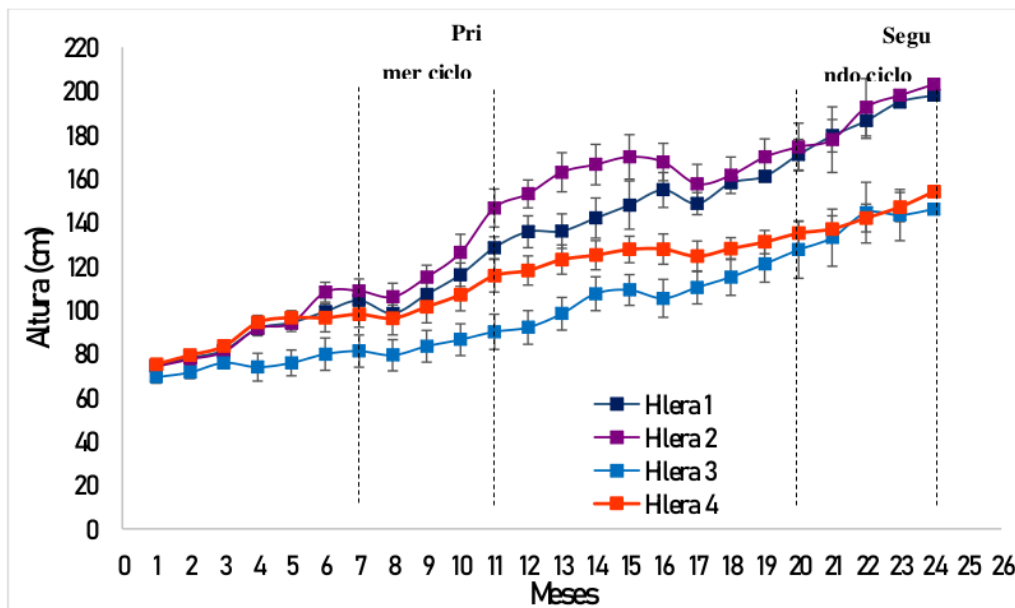
4813 La temperatura influye en el desarrollo del cultivo, la floración y maduración del fruto.

4814 La temperatura óptima del limón persa va de 25 a 31°C; la mínima para el cultivo es
 4815 de 18 °C y la máxima es de 38 °C. Las bajas temperaturas provocan paralización

4816 del crecimiento del árbol y en etapas de fructificación inducen caídas de frutos. Lo
4817 anterior sugiere que el cultivo de limón persa es factible en la localidad de Campo
4818 Grande, municipio Ixtaczoquitlán, Ver.

4819 Figura 5. Cinética de crecimiento de los árboles de Limón persa (*Citrus latifolia*
4820 Tan.) bajo el sistema agrícola MIAF

4821



4822

4823 Los valores son medias \pm desviación estándar.

4824 Fuente: Elaboración propia.

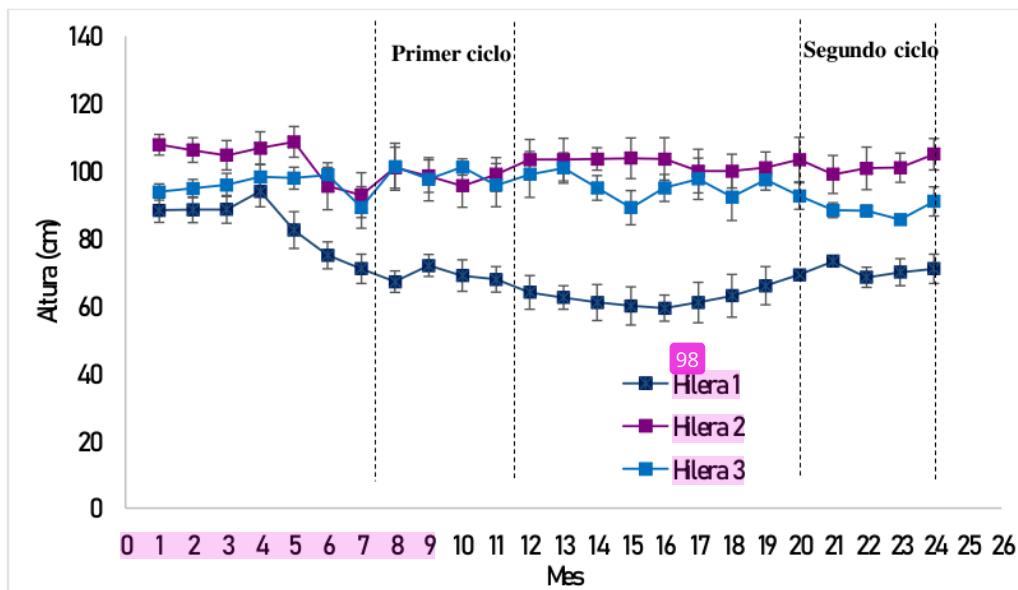
4825 *Lichi*

4826 El lichi crece bien en lugares tropicales con temperaturas altas del orden de los
4827 30°C; asimismo, requiere una humedad relativa entre 70 y 80%. Sin embargo, en la
4828 zona más importante de producción de lichi en China, las temperaturas promedio

4829 máximas y mínimas son de 19 y 9°C respectivamente en enero, mientras que
 4830 durante el mes de julio son de 33 y 25°C. No obstante, la cinética de crecimiento no
 4831 ha cambiado durante su fase de crecimiento (Figura 6) debido a que no ha mostrado
 4832 una buena adaptación a pesar de estar dentro del rango de temperatura óptima para
 4833 el cultivo. Los suelos ácidos y la presencia de Micorrizas en las raíces siempre se
 4834 han considerado sumamente benéficos y esenciales.

4835 Figura 6. Cinética de crecimiento de los árboles de lichi (*Litchi chinensis*) bajo el
 4836 sistema agrícola MIAF

4837



4838

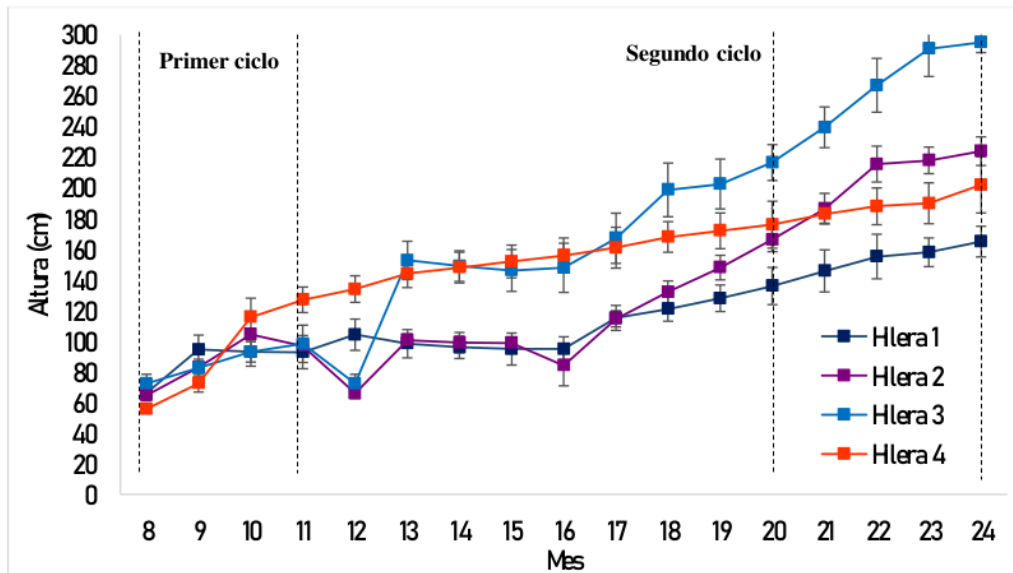
4839 Los valores son medias \pm desviación estándar.

4840 Fuente: Elaboración propia.

4841 *Durazno*

4842 Los árboles de durazno presentaron la mayor cinética de desarrollo de 60 a 280 cm,
 4843 aun cuando se realizaron podas de crecimiento, los árboles respondieron bien al
 4844 establecimiento (Figura 7). No obstante, la falta de bajas temperaturas puede ser
 4845 también un problema pues requieren de 400 a 800 horas de frío. Presentan un
 4846 adecuado desarrollo en los suelos francos, franco arenosos, franco arcillosos, con
 4847 pH de 6 a 8, y precipitación de 900 a 1,500 mm anuales (SIAP, 2016).

4848 Figura 7. Cinética de crecimiento de los árboles de durazno (*Prunus pérsica*) bajo
 4849 el sistema agrícola MIAF



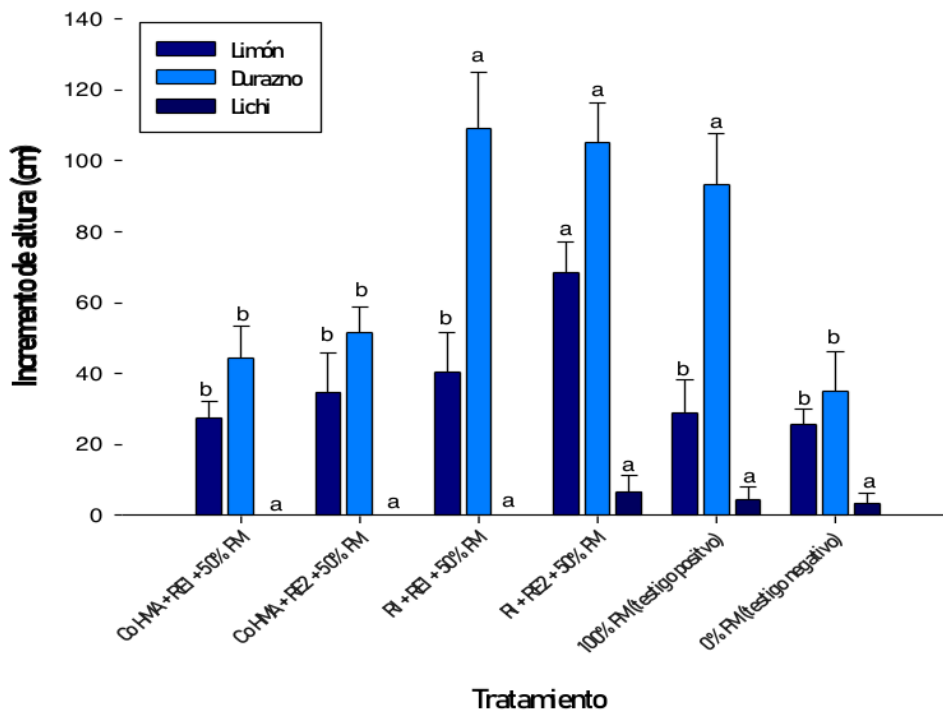
4850
 4851 Los valores son medias \pm desviación estándar.

4852 Fuente: Elaboración propia.

4853 En general, el limón persa y el durazno mostraron mayor adaptabilidad a las
 4854 condiciones edafoclimáticas. El tratamiento que presentó un mayor efecto en las
 4855 tres especies de árboles frutales fue *rhizophagus irregularis* + *rhizobium etli* (2) +

4856 50% de fertilización mineral, generando incrementos en altura de 68.5 ± 8.6 cm en
 4857 los árboles de ²⁴ limón persa, 105.3 ± 11.0 cm en durazno y 6.8 ± 4.5 cm en lichi
 4858 (Figura 8). Bolan (1991) y Fitter y Garbaye (1994) ⁶⁰ consideran que el beneficio de
 4859 las micorrizas se traduce en mayor crecimiento y desarrollo de las plantas en
 4860 beneficio de la adaptación y eficiencia de estas al facilitar una mayor absorción de
 4861 nutrientes minerales del suelo (nutrición).

4862 Figura 8. Efecto de los tratamientos en el incremento de altura de los árboles
 4863 frutales bajo el sistema agrícola MIAF



4864
 4865 Los valores son medias \pm desviación estándar. Diferentes letras en cada columna
 4866 indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable analizada

4867 ($p \leq 0.05$). Co: Consorcio, HMA: hongos micorrizicos, RE1: *rhizobium etli* (cepa 1),

4868 RE2: *rhizobium etli* (cepa 2), RI: *rhizophagus irregularis*, FM: Fertilización mineral.

4869 *Siembra en macetas e inoculación con HMA, R. irregularis y Rhizobium etli*

4870 Fuente: Elaboración propia.

4871 *Plántulas inoculadas de maíz*

4872 En relación con la altura de la plántula de maíz, los tratamientos 9 y 10 mostraron

4873 las mayores alturas con valores promedio de 2.2 ± 0.0 y 1.3 ± 0.0 respectivamente,

4874 seguidos por los tratamientos 4 y 5 con alturas promedio de 1.9 ± 0.2 (Cuadro 3).

4875 Estos resultados indican que los tratamientos 9, 10, 4 y 5 promovieron un mayor

4876 crecimiento en altura de las plántulas de maíz en comparación con los demás

4877 tratamientos. Por otro lado, los tratamientos 1 y 11 presentaron las alturas más bajas

4878 con valores promedio de 0.8 ± 0.2 y 0.9 ± 0.1 respectivamente. Estos resultados

4879 sugieren que los tratamientos 1 y 11 tuvieron un efecto negativo en el crecimiento

4880 de las plántulas.

4881 Cuadro 3. Efecto de los tratamientos estudiados en el desarrollo morfológico de

4882 las plantas de maíz

Tratamiento	Inóculo	Dosis de FM (%)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Unidades SPAD
1	Testigo	0	$0.8 \pm 0.2g$	$7.3 \pm 0.8d$	$20 \pm 2.1bcd$
2	Testigo	25	$1.7 \pm 0.2cd$	$11.7 \pm 1.6bc$	$19.4 \pm 0.0d$
3	Testigo	50	$1.8 \pm 2.0bcd$	$11.0 \pm 0.5c$	$26.9 \pm 0.7abc$
4	Testigo	75	$1.9 \pm 0.2abc$	$11.7 \pm 2.2bc$	$25.6 \pm 1.8abcd$

5	Testigo	100	1.9 ± 0.2abcd	15.6 ± 0.6a	30.2 ± 3.5a
6	Consortio HMA	0	1.1 ± 0.2fg	7.7 ± 2.3d	19.6 ± 2.2cd
7	Consortio HMA	25	1.5 ± 0.0de	11.3 ± 0.5c	23.0 ± 4.9bcd
8	Consortio HMA	50	2.1 ± 0.1ab	14.0 ± 0.2ab	22.2 ± 2.9bcd
9	Consortio HMA	75	2.2 ± 0.0a	14.4 ± 2.3a	32.0 ± 7.8a
10	Consortio HMA	100	1.3 ± 0.0ef	11.4 ± 0.1c	31.7 ± 6.2 a
11	<i>R. Irregularis</i>	0	0.9 ± 0.1g	7.8 ± 1.3d	21.7 ± 1.3 bcd
12	<i>R. Irregularis</i>	25	1.8 ± 0.2cd	11.8 ± 1.3bc	20.2 ± 2.9 bcd
13	<i>R. Irregularis</i>	50	1.9 ± 0.2abcd	10.7 ± 1.0c	27.2 ± 2.3ab
14	<i>R. Irregularis</i>	75	1.8 ± 0.2bcd	11.3 ± 2.1c	31.4 ± 3.4a
15	<i>R. Irregularis</i>	100	1.8 ± 0.1bcd	14.7 ± 1.3a	30.1 ± 2.4 a

4883 Los valores son medias ± desviación estándar. Diferentes letras en cada columna
4884 indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable analizada
4885 ($p \leq 0.05$). Fm: Fertilización mineral, HMA: Hongos Micorrízicos Arbusculares, *R*:
4886 *Rhizophagus*.

4887 Fuente: Elaboración propia.

4888 Al considerar trabajos previos similares, en un estudio realizado por Zulueta-
4889 Rodríguez *et al.* (2020) se encontró que la inoculación de semillas de maíz con una
4890 cepa específica de rizobacterias indujo un mayor crecimiento en altura de las
4891 plántulas en comparación con el control no tratado. Estos hallazgos respaldan
4892 nuestros resultados, donde los tratamientos 9, 10, 4 y 5 podrían estar relacionados
4893 con la inoculación de tratamientos similares.

4894 En cuanto al diámetro del tallo, los tratamientos 9, 10, 14 y 15 exhibieron los
4895 mayores valores promedio, lo que indica un mayor grosor del tallo en comparación
4896 con los demás tratamientos. Estos resultados sugieren que dichos procedimientos
4897 favorecieron el desarrollo y la fortaleza del tallo de las plántulas de maíz. Por otro
4898 lado, los tratamientos 1, 6 y 11 mostraron los diámetros de tallo más bajos en
4899 comparación con los demás tratamientos, lo que indica una menor fortaleza
4900 estructural.

4901 Sánchez-Roque *et al.* (2022) investigaron el efecto de la inoculación con hongos
4902 micorrízicos en el crecimiento y desarrollo del maíz. Los resultados revelaron que la
4903 inoculación con ciertas especies de hongos promovió un mayor diámetro del tallo
4904 en comparación con el control. Estos resultados son consistentes con nuestros
4905 hallazgos, donde los tratamientos 9, 10, 14 y 15 que mostraron los diámetros de
4906 tallo más grandes podrían estar relacionados con la inoculación de tratamientos
4907 similares.

4908 En cuanto a las unidades SPAD, los tratamientos 9, 10, 14 y 15 exhibieron los
4909 valores más altos, lo que señala una mayor concentración de clorofila y una mejor
4910 salud de las plántulas de maíz. Estos resultados sugieren que dichos tratamientos
4911 favorecieron una mejor fotosíntesis y un mayor rendimiento de las plantas. Por otro
4912 lado, los tratamientos 1, 2 y 6 mostraron los valores más bajos de unidades SPAD,
4913 lo que indica una menor concentración de clorofila y posiblemente una menor
4914 capacidad fotosintética.

4915 En un estudio realizado por Zhou *et al.* (2022), se encontró que la aplicación de un
 4916 fertilizante orgánico en el suelo reveló una mayor concentración de clorofila en las
 4917 hojas de las plantas de maíz. Estos resultados respaldan nuestros hallazgos, donde
 4918 los tratamientos 9, 10, 14 y 15 señalaron las unidades SPAD más altas que podrían
 4919 estar relacionados con tratamientos similares que mejoran la salud y la fotosíntesis
 4920 de las plántulas de maíz. Por lo tanto, ciertos tratamientos de inoculación y
 4921 fertilización pueden mejorar el crecimiento y la salud de las plántulas de maíz.

4922 *Plántulas inoculadas de frijol*

4923 Los tratamientos 10, 5 y 15 revelaron las alturas más altas con valores promedio de
 4924 0.68 ± 0.5 , 0.53 ± 0.0 y 0.54 ± 7.0 , respectivamente (Cuadro 4). Dichos resultados
 4925 indican que estos tratamientos promovieron un mayor crecimiento en altura de las
 4926 plántulas de frijol en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, los
 4927 tratamientos 6, 11 y 12 presentaron las alturas más bajas con valores promedio de
 4928 0.27 ± 0.0 , 0.22 ± 1.0 y 0.23 ± 1.0 , respectivamente. Estos resultados sugieren que
 4929 tales tratamientos tuvieron un efecto negativo en el crecimiento de las plántulas.

4930 Cuadro 4. Efecto de los tratamientos estudiados en el desarrollo morfológico de
 4931 las plantas de frijol

Tratamiento	Inóculo	Dosis de FM (%)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Unidades SPAD
1	Testigo	0	49.0 ± 7.9 bcd	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 ± 0.0 e	4.9 ± 0.4 abcd	34.9 ± 0.8 ab

4	Testigo	75	48.0 ± 2.0bcd	4.8 ± 0.3abcde	34.3 ± 3.9ab
5	Testigo	100	53.0 ± 3.0bc	5.1 ± 1.3abc	36.8 ± 0.8a
6	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	0	27.3 ± 3.1f	3.5 ± 0.3efg	29.3 ± 4.7ab
7	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	25	34.0 ± 3.6e	4.6 ± 0.4bcdef	32.3 ± 8.2ab
8	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	50	35.0 ± 2.0e	5.0 ± 0.5abc	33.2 ± 2.2ab
9	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	75	44.5 ± 2.5d	5.4 ± 0.7ab	36.5 ± 2.5ab
10	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	100	68.0 ± 5.0a	6.0 ± 0.6a	33.2 ± 2.2ab
11	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	0	22.0 ± 1.0 f	3.0 ± 0.2g	28.5 ± 5.4c
12	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	25	23.0 ± 1.0f	4.0 ± 0.2cdefg	29.5 ± 5.4ab
13	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	50	27.0 ± 3.0f	4.6 ± 0.5bcde	32.6 ± 1.5ab
14	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	75	46.3 ± 5.7cd	5.0 ± 1.5abc	37.4 ± 0.8a
15	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	100	54.3 ± 7.0b	5.0 ± 1.0abc	32.3 ± 8.2ab

4932 Los valores son medias ± desviación estándar. Diferentes letras en cada columna

4933 indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable analizada

4934 ($p \leq 0.05$). Fm: Fertilización mineral, HMA: Hongos Micorrízicos Arbusculares, *R*:

4935 *Rhizophagus*.

4936 Fuente: Elaboración propia.

4937 Al considerar trabajos previos similares, en un estudio realizado por Chalk *et al.*

4938 (2006), examinaron el efecto de diferentes inoculantes en el crecimiento de

4939 plántulas de leguminosas. Los resultados señalaron que la inoculación con una cepa

4940 específica de rizobacterias provocó un mayor crecimiento en altura de las plántulas

4941 de frijol en comparación con el control no tratado. Estos hallazgos respaldan

4942 nuestros resultados, donde los tratamientos 10, 5 y 15 que mostraron las alturas
4943 más altas podrían estar relacionados con la inoculación de tratamientos similares.
4944 En cuanto al diámetro del tallo, los tratamientos 10, 9 y 15 exhibieron los mayores
4945 valores promedio, lo que indica un mayor grosor del tallo en comparación con los
4946 demás tratamientos. Estos resultados sugieren que estos tratamientos favorecieron
4947 el desarrollo y la fortaleza del tallo de las plántulas de frijol. Por otro lado, los
4948 tratamientos 1, 2 y 11 mostraron los diámetros de tallo más bajos en comparación
4949 con los demás tratamientos, lo que indica una menor fortaleza estructural.
4950 Lynch *et al.* (1991) investigaron el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos
4951 en el crecimiento y desarrollo del frijol. Los resultados revelaron que la inoculación
4952 con ciertas especies de hongos propició un mayor diámetro del tallo en comparación
4953 con el control. Estos resultados son consistentes con nuestros hallazgos, donde los
4954 tratamientos 10, 9 y 15 que mostraron los diámetros de tallo más grandes podrían
4955 estar relacionados con la inoculación de tratamientos similares.
4956 En cuanto a las unidades SPAD, los tratamientos 5, 9 y 10 exhibieron los valores
4957 más altos, lo que indica una mayor concentración de clorofila y una mejor salud de
4958 las plántulas de frijol. Estos resultados sugieren que dichos tratamientos
4959 promovieron una mejor fotosíntesis y un mayor rendimiento de las plantas. Por otro
4960 lado, los tratamientos 11 y 12 mostraron las unidades SPAD más bajas, lo que indica
4961 una menor capacidad fotosintética.
4962 Un estudio realizado por Liu *et al.* (2019), evaluaron el efecto de diferentes
4963 tratamientos de fertilización en la concentración de clorofila en diferentes cultivos.

4964 Los resultados señalaron que ciertos tratamientos de fertilización favorecieron una
4965 mayor concentración de clorofila en comparación con el control. Estos hallazgos
4966 respaldan nuestros resultados, donde los tratamientos 5, 9 y 10 que mostraron las
4967 unidades SPAD más altas podrían estar relacionados con tratamientos similares
4968 que mejoran la salud y la fotosíntesis de las plántulas de frijol.

4969 En cuanto al área foliar, los tratamientos 8, 5 y 14 presentaron los mayores valores
4970 promedio, lo que indica un mayor desarrollo y expansión del área foliar en
4971 comparación con los demás tratamientos. Dichos resultados sugieren que estos
4972 tratamientos favorecieron el crecimiento de las hojas y la captación de luz para la
4973 fotosíntesis. Por otro lado, los tratamientos 1, 11 y 12 mostraron las áreas foliares
4974 más bajas en comparación con los demás tratamientos, lo que indica un menor
4975 desarrollo foliar.

4976 En un estudio previo, Martínez *et al.* (2017), examinaron el efecto de diferentes
4977 tratamientos de riego en el desarrollo del área foliar de las plantas de frijol. Los
4978 resultados indicaron que ciertos tratamientos de riego favorecieron un mayor
4979 desarrollo del área foliar en comparación con el control. Estos hallazgos son
4980 consistentes con nuestros resultados, donde los tratamientos 8, 5 y 14 que
4981 mostraron las áreas foliares más grandes podrían estar relacionados con
4982 tratamientos similares que promueven el desarrollo foliar en las plántulas de frijol.

4983 **Conclusiones**

4984 La formación de consorcios microbianos impulsa la actividad biológica en el suelo,
4985 facilitando ⁷⁰ la descomposición de materia orgánica, la mineralización de nutrientes y

4986 la fijación de nitrógeno atmosférico. Estas actividades microbianas contribuyen a
4987 mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y, por lo tanto,
4988 favorecen el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En los sistemas de producción
4989 agrícola sostenible, el uso de consorcios microbianos se ha convertido en una
4990 estrategia importante para reducir la dependencia de fertilizantes químicos y
4991 pesticidas al promover la salud del suelo y la conservación del medio ambiente. El
4992 hecho de fomentar la diversidad microbiana y establecer interacciones beneficiosas
4993 puede lograr una considerable eficiencia en la utilización de nutrientes, una
4994 resistencia superior a enfermedades y mayor productividad agrícola.

4995 **Referencias**

- 4996 Albino, G. (2014). El sistema agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales
4997 (MIAF): productividad y optimización económica del maíz y frijol. Tesis de
4998 Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 65p.
- 4999 Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos.
5000 *Ciencia*, 61: 84-90.
- 5001 Boege, E. (2008). El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México:
5002 hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los
5003 territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión
5004 Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. 344 p.
- 5005 Bolan, N. (1991). A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of
5006 phosphorus by plants. *Journal Plant and Soil*, 134: 189–207.

5007 Brussaard, L., y van Faassen, H. (1994). Effects of compaction on soil biota and soil
5008 biological processes. In B. D. Soane, y C. van Ouwerkerk (Eds.), *Soil*
5009 *compaction in crop production*, pp. 215-235. Elsevier.
5010 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B97804448828685001>
5011 80

5012 Bünemann, E., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., De Deyn, G., de Goede, R.,
5013 Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W.,
5014 van Groenigen, J., y Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil*
5015 *Biology and Biochemistry*, 120:105–125.

5016 Cadena-Iñiguez, P., Camas-Gómez, R., López-Báez, W., López-Gómez, H. y
5017 González-Cifuentes, J. (2018). El MIAF, una alternativa viable para laderas
5018 en áreas marginadas del sureste de México: caso de estudio en
5019 Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1351-1361.

5020 Chalk, P., Souza, R., Urquiaga, S., Alves, B. y Boddey, R. (2006). The role of
5021 arbuscular mycorrhiza in legume symbiotic performance. *Soil Biology and*
5022 *Biochemistry*, 38:2944-2951.

5023 Cortés, F., Isabel, J. (2005). Manual para el establecimiento y manejo del sistema
5024 milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas (No. 04; CP, Folleto
5025 729.). Colegio de Postgraduados. México. Secretaría de Agricultura,
5026 Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
5027 <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI->
5028 TEST%3A45706/Description

- 5029 Das, S., Deb, S., Sahoo, S. y Sahoo, U. (2023). Soil microbial biomass carbon stock
5030 and its relation with climatic and other environmental factors in forest
5031 ecosystems: A review. *Acta Ecologica Sinica*.
5032 doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.12.007
- 5033 Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P., Fall, D., Hocher, V., y Svistoonoff, S. (2020).
5034 Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance:
5035 Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, 12(10), 370.
- 5036 Duché-García, T., Ocampo-Fletes, I., Cruz-Hernández, J., Hernández-Guzmán, J.,
5037 Macías-López, A., Jiménez-García, D. y Hernández-Romero, E. (2021).
5038 Microbial groups in a milpa agroecosystem interclassified with fruit trees in high
5039 valleys of Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, 72.
- 5040 Ellis, F. (1998). Household strategies and rural livelihood diversification. *The Journal*
5041 *of Development Studies*, 35(1), 1-38.
- 5042 Espinosa, J. y Molina, E. (1999). La acidez y encalado de suelos. In *Accs* (Vol. 1,
5043 Issue May). International Plant Nutrition Institute.
5044 [http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez y encalado de suelos](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez_y_encalado_de_suelos)
- 5045 Fitter, A. y Garbaye, J. (1994). Interactions between mycorrhizal fungi and other soil
5046 organisms. *Plant and Soil*, 159: 123-133.
- 5047 Guo, X., Gao, Q., Yuan, M., Wang, G., Zhou, X., Feng, J., Shi, Z., Hale, L., Wu, L.,
5048 Zhou, A., Tian, R., Liu, F., Wu, B., Chen, L., Jung, C., Niu, S., Li, D., Xu, X.,
5049 Jiang, L. y Zhou, J. (2020). Gene-informed decomposition model predicts

- 5050 lower soil carbon loss due to persistent microbial adaptation to warming.
5051 *Nature Communications*, 11(1).
- 5052 Jaizme-Vega, M. y Rodríguez-Romero, A. (2008). Integración de microorganismos
5053 benéficos (Hongos micorrícicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de
5054 las Islas Canarias. *Agroecología*, (3),33-39.
- 5055 Kouadio, A., Nandjui, J., Krou, S., Séry, D., Nelson, P. N. y Zézé, A. (2017). A native
5056 arbuscular mycorrhizal fungus inoculant outcompetes an exotic commercial
5057 species under two contrasting yam field conditions. *Rhizosphere*, 4; 112-118.
- 5058 Lara-Capistrán, L., Hernández-Montiel, L.G., Reyes-Pérez, J.J., Zulueta-Rodríguez,
5059 R., Jazayeri, S.M., Villamar-Torres, R.O. (2021). Diversity and Ecology of
5060 Arbuscular Mycorrhization Fungi. In: Maddela, N.R., García, L.C. (eds)
5061 Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future. Springer, Cham. p.
5062 185-201. doi.org/10.1007/978-3-030-80108-3_10
- 5063 Linn, D. y Doran, J. (1984). Effect of Water Filled Pore Space on Carbon Dioxide
5064 and Nitrous Oxide Production in Tilled and Non-Tilled Soils. *Soil Science*
5065 *Society of America Journal*, 48, 1267-1272.
- 5066 Liu, C., Liu, Y., Lu, Y., Liao, Y., Nie, J., Yuan, X. y Chen, F. (2019). Use of a leaf
5067 chlorophyll content index to improve the prediction of above-ground biomass
5068 and productivity. *PeerJ*, 6, e6240.
- 5069 Lynch, J., Läuchli, A. y Epstein, E. (1991). Vegetative growth of the common bean
5070 in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*, 31(2), 380-387.

- 5071 Martínez, S., Rodríguez, L. y Torres, M. (2017). Effect of irrigation treatments on leaf
5072 area development in bean plants. *Irrigation Science*, 35(4), 345-356.
- 5073 Moreno-Calles, A., Galicia-Luna, V., Casas, A., Toledo, V., Vallejo-Ramos, M.,
5074 Santos-Fita, D. y Camou-Guerrero, A. (2014). Etnoagroforestería: El estudio
5075 de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12(3),
5076 1-16.
- 5077 Navarro-Cetina, F. y Ramos-Zapata, J. (2021). Micorriza arbuscular en plantas de
5078 Yucatán. *Bioagrobiencias*, 14(1).
- 5079 Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los
5080 pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-1.
- 5081 Paz-Ferreiro, J., Trasar-Cepeda, C. y Leirós, M. (2010). Effect of management and
5082 climate on biochemical properties of grassland soils from Galicia (NW Spain).
5083 *European Journal of Soil Biology*, 46(2): 136–143.
- 5084 Sánchez-Roque, Y., Pérez-Luna, Y., Santos-Espinoza, A. y Gutiérrez-Miceli, F.
5085 (2022). Evaluation of the effect of native arbuscular mycorrhizal fungi and
5086 vermicompost leachate on the yield and quality of field-grown peanuts. *Terra*
5087 *Latinoamericana*, 40: 1-15.
- 5088 Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023).
5089 <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/miaf-un-sistema-multiobjetivo>.
- 5090 SIAP. (2016). Atlas Agroalimentario. www.gob.mx/siap.
- 5091 Stepniewski, W., Glinski, J. y Ball, B. (1994). Chapter 8 - Effects of Compaction on
5092 Soil Aeration Properties. In B. D. Soane y C. van Ouwerkerk (Eds.), Soil

5093 Compaction in Crop Production (Vol. 11, pp. 167–189). Elsevier.
5094 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B97804448828685001>
5095 67

5096 Torres-Zambrano, J., Cortés Flores, J., Turrent Fernández, A., Hernández Romero,
5097 E. y Muratalla Lúa, A. (2008). Rendimiento de fruto y número de ramas
5098 principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra*
5099 *Latinoamericana*: 26(3), 265-273.

5100 Yin, S., Liang, G., Wang, C. y Zhou, Z. (2022). Asynchronous seasonal patterns of
5101 soil microorganisms and plants across biomes: A global synthesis. *Soil*
5102 *Biology and Biochemistry*, 175, 10885.
5103 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071722003169>

5104 Zambrano, J., Flores, J., Fernández, A., Haller, V., Solorio, C., y Jiénez-López, A.
5105 (2021). Caracterización físico-química y clasificación del suelo de ladera
5106 manejado bajo el sistema Milpa Intercalada con árboles frutales. *Teknos*
5107 *Revista Científica*, 21(2): 35-45.

5108 Zambrano, J., Hernández, A. y Amaro, R. (2023). Las milpas y los árboles.
5109 [https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-](https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/1245-las-milpas-y-los-arboles)
5110 ciencia-hoy/1245-las-milpas-y-los-arboles.

5111 Zhou, Z., Zhang, S., Jiang, N., Xiu, W., Zhao, J. y Yang, D. (2022). Effects of organic
5112 fertilizer incorporation practices on crops yield, soil quality, and soil fauna
5113 feeding activity in the wheat-maize rotation system. *Frontiers in*
5114 *Environmental Science*, 10, 2292.

5115 Zulueta-Rodríguez, R., Gómez-Merino, F., Alemán-Chávez, I., Núñez-Camargo, M.
5116 y ⁷⁵ Lara-Capistrán, L. (2020). Respuesta del cultivo de maíz a la bio-
5117 inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra*
5118 *Latinoamericana*, 38(3): 597-612.
5119

5120 **Capítulo 10. Diagnóstico de los efectos del cambio climático en la naranja en**
5121 **el norte de Veracruz**

5122 Gustavo Almaguer Vargas, Juan Guillermo Cruz Castillo, Viviana Carvajal Salazar
5123 y Alma Ayala Garay

5124 **Resumen**

5125 En el norte del Estado de Veracruz, los dueños de las unidades de producción
5126 consideraron que los factores climáticos son el segundo problema más importante
5127 que enfrentan, sobre todo la sequía. En un experimento de fertilización en naranja,
5128 se obtuvieron rendimientos muy bajos, atribuible a la interacción de una sequía
5129 atípica que ocurrió de marzo a septiembre de 2019, misma que causó estrés hídrico
5130 persistente, con la presencia de Huanglongbing y Virus de la Tristeza de los cítricos.

5131 En la literatura se indica que la producción de frutos en naranja bajo sequía se puede
5132 incrementar ³ con la aplicación combinada de sulfato de amonio, fosfato
5133 monoamónico y nitrato de potasio al suelo y follaje. El problema causado por el
5134 cambio climático en el norte de Veracruz es muy grave, ya que existen posibilidades
5135 que toda una región, que producía cerca del 50 % de la naranja a nivel nacional,
5136 desaparezca como tal, si persisten las sequías. Se sugiere a los productores
5137 prácticas culturales para mitigar daños por el cambio climático, sobre todo con poda,
5138 fertilizaciones al suelo y aplicación de bioestimulantes al follaje, y siembra de
5139 coberteras vivas.

5140 **Palabras clave:** Cambio climático, cítricos, Veracruz.

5141 **Introducción**

5142 El sector agropecuario y pesquero presenta una serie de problemas entre los que
5143 destacan la baja productividad, competitividad y rentabilidad, además de que no es
5144 incluyente, sin mencionar su reducida sustentabilidad, por lo que este sector se
5145 encuentra estancado y debilitado. ⁴⁵ Ha tenido un ritmo de crecimiento menor al de la
5146 economía nacional. En 1950, la participación del PIB primario en el PIB nacional era
5147 de 16.1% y en el 2019 del 2.4 %. En conjunto con la actividad industrial alimentaria,
5148 su importancia se eleva al 8.9% del PIB, con un alto potencial de desarrollo
5149 agroalimentario (agropecuario, pesquero y agroindustrial) (Programa Sectorial de
5150 Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018). ⁶⁸ A partir de 1988 se
5151 destruyeron mecanismos que resultaban fundamentales para el desarrollo agrario,
5152 se orientó el apoyo público a la manipulación electoral y se propició el vaciamiento
5153 poblacional del agro (Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024).

5154 La industria citrícola no es ajena a lo que sucede en el sector. A pesar de que México
5155 ocupa el quinto lugar como productor de cítricos en el mundo, con una derrama
5156 económica superior a los 15 mil millones de pesos (SAGARPA-SIACON, 2021), su
5157 problemática es grave, ya que presenta bajos rendimientos por hectárea (casi la
5158 tercera parte de lo que produce Florida), y el ingreso anual por hectárea de los
5159 naranjeros de la Huasteca Veracruzana era inferior a los \$ 4,000, principalmente
5160 por los altos costos de producción y la venta a intermediarios. (Almaguer *et al.* 2014).
5161 Son muchos los factores que provocan bajos rendimientos e ingreso, en donde
5162 destaca la baja adopción de innovaciones por parte de los productores, que en
5163 promedio es de 15 % (Almaguer *et al.* 2014), debido a que el 72.74 % de los

5164 productores tienen más de 45 años, el 86.5 % no tienen estudios, o cursaron hasta
5165 la secundaria; además de que las unidades de producción tienen como media 5.9
5166 hectáreas a nivel nacional, lo que implica que son minifundistas (Censo
5167 Agropecuario INEGI, 2022).

5168 Los citricultores enfrentan otros problemas como el precio de los fertilizantes, que
5169 de enero de 2022 a marzo de 2023 triplicó su precio. De hecho, el Censo
5170 Agropecuario de INEGI, (2022) afirma que el principal problema que tienen las
5171 unidades de producción en México, son los altos costos de insumos y servicios. El
5172 glifosato, el herbicida más utilizado en la región, independientemente que su precio
5173 se incrementó casi 100 % en un año, está en vías de prohibirse su uso para enero
5174 de 2024.

5175 **Cambio climático y sequía en el norte de Veracruz**

5176 El Censo Agropecuario de INEGI, (2022) indica por primera vez, que los dueños de
5177 las unidades de producción en México consideraron que los factores climáticos son
5178 el segundo problema más importante que enfrentan, sobre todo la sequía. ⁶⁷ La sequía
5179 es un fenómeno recurrente en el estado de Veracruz, donde los años con mayores
5180 declaratorias de sequía se han visto afectados con una menor producción
5181 agropecuaria. Los municipios del norte y suroeste padecen los niveles más altos de
5182 sequías (Valdez, 2022).

5183 De acuerdo con Monitor de sequía en México (2023), para 2021 se tuvieron cinco
5184 fechas sin sequía, pero para 2022 solo una tuvo lluvias adecuadas y los demás
5185 meses tuvieron diferente intensidad de sequía, desde anormalmente seco, sequía

5186 moderada y la severa. Para 2023, este monitor indica que ha habido las siguientes
5187 fechas con sequía.

5188 Cuadro 1. Intensidad de la sequía en diferentes fechas (2021-2023) en el Norte de
5189 Veracruz.

<i>Fecha</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>
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

5190 D0: Anormalmente seco; D1: Sequía moderada; D2: Sequía severa; nr: no reportado

5191 Fuente: Elaboración propia con datos de ⁷⁸ Monitor de sequía en México. Comisión
5192 Nacional del Agua ([https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-](https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico)
5193 [sequia/monitor-de-sequia-en-mexico](https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico)).

5194 De acuerdo con Bautista (2023), en la segunda quincena de marzo de este año se
5195 duplicó el número de municipios veracruzanos catalogados en las categorías de
5196 sequía con respecto al mismo periodo de 2022. Este mismo autor realizó un

5197 esquema de los tipos de sequía en la Región Huasteca Baja (Norte de Veracruz),
5198 con base a información geográfica, especificando que el tipo de sequía es severa y
5199 muy fuerte.

5200 Figura 1. Sequía en la Región Huasteca Baja (Norte de Veracruz).



5201

5202 Fuente: Elaboración de Bautista (2023), con información geográfica de INEGI, 2020.

5203 **Relación del cambio climático con la incidencia de plagas y enfermedades**

5204 El incremento del promedio de la temperatura ambiental a nivel mundial, en poco
5205 menos de 2 °C, causado principalmente por el rápido aumento en la concentración
5206 de CO₂ y otros gases con efecto tipo invernadero hacia la atmósfera, a escalas de
5207 51,000 millones toneladas anuales (Gates, 2021), aunado a sequías cada vez más
5208 intensas y recurrentes, pueden tener consecuencias impredecibles sobre las plagas
5209 y enfermedades de los cultivos (Fereres, 2018).

35
5210 Uno de los efectos causados por el cambio climático es el desplazamiento, que
5211 desde 1960 se ha producido en más de seiscientas plagas y enfermedades hacia
5212 los polos a una media de 2,7 km/año; en el caso de los hemípteros, ese
5213 desplazamiento ha resultado ser mucho mayor (13,7 km/año) (Bebber et al., 2013;
5214 Fereres, 2018).

35
5215 Existen varios ejemplos que demuestran que la emergencia de nuevos patógenos
5216 de plantas está asociada a la introducción y expansión de un insecto vector en una
5217 nueva zona geográfica (Fereres, 2015). La *Diaphorina citri* ha tenido la tendencia
5218 de entrar en una zona y 7 años después, en promedio, aparece *Candidatus*
5219 *liberibacter asiaticus* (Huanglongbing, HLB). En México EL HLB se presentó por
5220 primera vez en 2009 (Robles et al., 2017). Esta enfermedad está considerada como
5221 la más devastadora y letal de la citricultura en el mundo (Bové, 2006). Un ejemplo
5222 es que Colima produjo en 2014, la mitad de 2012, por causa del HLB, según el
5223 delegado de SAGARPA de ese estado (El Financiero, 4 de marzo de 2014).

5224 Robles et al. (2017), realizaron un muestreo de 700 árboles de limón mexicano con
5225 distintos porcentajes de copa afectada por la enfermedad. En los árboles con
5226 sintomatología bien definida de HLB, se observó una reducción del número de frutos
5227 por metro cuadrado de copa de 45.8%, con relación a limoneros asintomáticos.

5228 Hernández et al. (2021), en un experimento de fertilización en naranja, obtuvieron
5229 rendimientos sumamente bajos, atribuible a la interacción de una sequía atípica que
5230 ocurrió de marzo a septiembre de 2019, misma que causó estrés hídrico persistente,
5231 con la presencia de Huanglongbing y Virus de la Tristeza de los cítricos.

5232 Estos factores redujeron la absorción y translocación de nutrimentos hacia las hojas.
5233 Lo anterior fue confirmado por Fu et al. (2017) que indicaron que la infección de
5234 Huanglongbing y Virus de la Tristeza de los Cítricos actúa de manera sinérgica para
5235 debilitar los árboles debido a que se altera la translocación de nutrimentos.
5236 Hernández et al. (2021) concluyen que la sequía, el VTC y HLB son factores que⁸⁶
5237 limitan drásticamente el rendimiento de frutos en naranjos Marrs.
5238 Con la finalidad de plantear alternativas de solución al problema de enfermedades
5239 y sequías, Alayón et al. (2014), y Rodríguez et al. (2014) encontraron que la
5240 producción de frutos en naranja se puede incrementar³ con la aplicación combinada
5241 de sulfato de amonio, fosfato monoamónico y nitrato de potasio al suelo y follaje.
5242 Considerando que el Plan Nacional de desarrollo 2018-2024 plantea⁹⁷ como una de
5243 sus principales metas, la construcción de un sector agropecuario productivo que
5244 garantice la seguridad alimentaria basada en estrategias que impulsen la
5245 productividad,⁸² mediante la inversión en el desarrollo de capital físico, humano y
5246 tecnológico, así como el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales con
5247 los que se cuenta, y que el Programa Sectorial de la SAGARPA confirma lo anterior
5248 se planteó realizar un diagnóstico de la situación de la naranja en el Norte de
5249 Veracruz. Lo anterior, a fin de determinar la reducción en el rendimiento de árboles
5250 de naranja en el Norte de Veracruz, en un contexto de sequía intensa y presencia
5251 de Huanglongbing y Virus de la tristeza de los cítricos y promover la siembra de
5252 cobertera

5253 Metodología

5254 El trabajo se realizó en comunidades del Municipio de Ixhuatlán del Río, Papantla
 5255 de Olartre, Álamo Temapache, Tihuatlán y Castillo de Teallo, Veracruz de Ignacio
 5256 de la Llave, localizados en el Norte de Veracruz, denominado también Huasteca
 5257 baja, México. Con la finalidad de realizar un diagnóstico participativo y andragógico
 5258 y tener información de cuáles son los principales problemas que aquejan a los
 5259 naranjeros y que ellos plantearan competencias para una capacitación andragógica,
 5260 se elaboraron fichas de secuencia didáctica (adaptado de Obaya y Ponce, 2007),
 5261 que en seguida se describen.

5262 Cuadro 2. Fichas de secuencia didáctica.

5263 1.1. 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:	11 Dr. Gustavo Almaguer Vargas
Número consecutivo de ficha:	1
Localidad	Adalberto Tejeda
Número de productores participantes	23
Fecha y hora	24 de enero
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA VIDA REAL	
Las frecuentes sequías de 2019, 2021 y 2022 y el HuangLongBing (Dragón amarillo), mataron en promedio el 15 % de los naranjos de la región Huasteca, y	

al resto les mataron ramas y raíces, de tal manera que no pudieron alimentarse bien, lo que en parte ocasionó que sus rendimientos fueran inferiores a los normales de 2017-2020, por lo que hay que buscar alimentar a los árboles, que no sea por las raíces, con fertilizantes foliares, pero, sobre todo, adicionando bioestimulantes.

1.3. ELABORACIÓN DE LA COMPETENCIA PARA LA VIDA

Comprueba los beneficios de aplicar fertilizantes foliares, pero sobre todo con un bioestimulante hormonal a las plantas para mejorar la eficiencia de los insumos, reducir costos, revivir a los árboles que todavía puedan salvarse ⁶⁵ 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:

Consolidación de actitudes y valores (saber ser):	Elementos cognoscitivos (saber conocer):	Adquisición de destrezas y habilidades (saber hacer):
Trabaja en equipo Convive con sus compañeros Experimenta cosas nuevas	Acepta el papel fundamental de los biofertilizantes para recuperar los árboles y el rendimiento de ellos.	Utiliza el potenciómetro Mejora sus mezclas de insumos Aplica ácido fosfórico o productos comerciales a

<p>Muestra confianza en sí mismo, al preparar las mezclas</p>	<p>11 Escucha los elementos teóricos de la fertilización foliar</p> <p>Amplía sus conocimientos de la acidez y alcalinidad</p> <p>Utiliza innovaciones para mejorar eficiencia de insumos y reducir costos</p> <p>Investiga la reducción del pH por efecto del sulfato de amonio y urea</p> <p>Discieme cuales biofertilizantes mejoran el rendimiento</p> <p>Aplica productos acidificados y evalúa su efecto.</p>	<p>11 la mezcla, con las debidas precauciones</p> <p>Comprueba los efectos de diversas mezclas</p> <p>Desarrolla habilidad procesional en la preparación de soluciones</p>
<p>1.4. MATERIALES POR UTILIZAR</p>		
<p>Biofertilizante, potenciómetro, urea, sulfato de amonio, micronutrientes, ácido fosfórico, probetas, agua dura, coca cola®, papel, probetas, Impacto®, cuaderno,</p>		
<p>1.5. PRESENTACIÓN DE EVIDENCIAS DE LA COMPETENCIA (LO QUE SE ESPERA LOGRAR):</p>		
<p>Observará los efectos benéficos de la aplicación de bioestimulantes</p>		

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
11 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.

5264 Fuente: Elaboración propia.

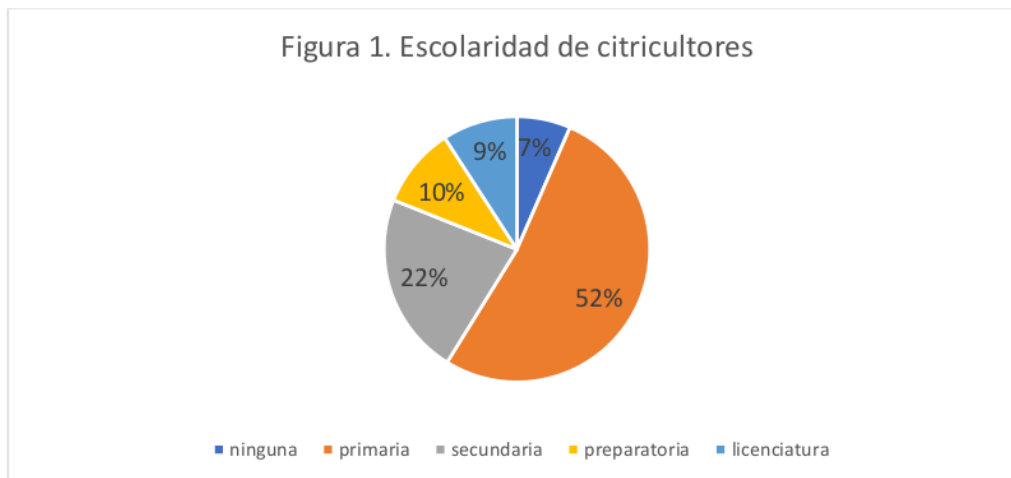
5265 También se aplicaron 450 encuestas durante 2022 y 2023 por parte de servidores
5266 sociales, que incluían preguntas de rendimiento en 2022 y estimación del de 2023,
5267 para lo cual se contaron los frutos presentes en 10 árboles por hectárea; se asignó
5268 un peso de 185 gramos a cada fruto y el resultado se multiplicó por el número de
5269 árboles que había en una hectárea.

5270 **Resultados**

5271 *Características de los citricultores*

5272 Para las condiciones de producción de naranja en el Norte de Veracruz, el promedio
5273 de edad es de 58.5 años, por lo que se puede afirmar que hay un problema de
5274 envejecimiento de la población ocupada en esta región. SADER-FAO (2014)
5275 consideran que hay ausencia de personas más jóvenes de edad productiva, debido
5276 a la migración nacional e internacional.

5277 Con relación al nivel de escolaridad (Figura 1), se observa que el 52% de los
5278 citricultores tiene primaria; el 22% secundaria y el resto preparatoria o licenciatura.
5279 Almaguer et al. (2022) encontraron que el 85% de los productores de maíz en
5280 Tlaxcala tenían una escolaridad promedio de 5 años.



5281

5282 Fuente: Elaboración propia.

5283 De acuerdo con SADER-FAO (2014) la escolaridad de los productores es
5284 importante por sus consecuencias en el manejo administrativo de las unidades de
5285 producción, la adopción de innovaciones y el uso de nuevas tecnologías. Aunado a
5286 lo anterior, Arizmendi y Mungaray, (1994) señalan la poca colaboración que existe
5287 entre las instituciones educativas y las productivas. En este sentido, las educativas
5288 tienen la obligación de trabajar las necesidades del sector productivo.

5289 *Perfil productivo*

5290 Los encuestados se caracterizan por reportar que los citricultores tienen en
5291 promedio 5.22 hectáreas con cítricos, generalmente como pequeña productividad.

5292 Con base en las encuestas, todos los productores tuvieron algunos árboles muertos
5293 y prácticamente todos los que no murieron, tenía algún grado de daño, expresado
5294 sobre todo en ramas muertas. Actualmente hay varias comunidades con al menos
5295 cien hectáreas con árboles muertos o en vías de morirse, como Vara Alta,
5296 Tamatoco, Tierra Amarilla, en Álamo Tamapache, pero también hay comunidades
5297 con el mismo problema en Cazones, Tamiahua, Tuxpan y Fortín.

5298 El problema causado por el cambio climático en esta región es muy grave, ya que
5299 existen posibilidades que toda una región, que producía cerca del 50 % de la naranja
5300 a nivel nacional, desaparezca como tal, si persisten las sequías. Por lo pronto, en
5301 dos años, 2022 y 2023, los rendimientos están disminuyendo drásticamente, lo que
5302 ocasiona que los ingresos de los citricultores se reduzcan a niveles muy bajos. De
5303 hecho, el rendimiento bajó 66.66 % en promedio en 2022, con relación al que se
5304 obtuvo en 2018, ya que obtuvieron 5.22 toneladas por hectárea, mientras que, en
5305 2023, el rendimiento estimado fue de 4.8. en promedio. El 50 % de árboles de
5306 naranjo están en vías de morir, si no se mitiga el daño del HLB (se anexan algunas
5307 fotografías). Los árboles de la región se han secado desde un 5 hasta un 100 %,
5308 Este panorama se debió sobre todo a que en 2021 y 2022 hubo una sequía extrema,
5309 en particular se está dando el fenómeno de "La Niña", por el cambio climático, pero
5310 muy acentuado, y que junto al ataque del Huanglongbing y el Virus de la Tristeza,
5311 están matando muchos árboles y los sobrevivientes, en su mayoría, quedaran
5312 dañados.

5313 **Consideración final**

5314 Se sugirió a los productores prácticas culturales para mitigar, en la medida de lo
5315 posible estos daños, sobre todo con poda, fertilizaciones al suelo y aplicación de
5316 bioestimulantes al follaje, y sobre todo, siembra de coberteras vivas.

5317 Figura 2. Vista de huertas con árboles muertos o en vías de morir.



5318

5319 Fuente: Los autores

5320 **Referencias**

5321 Alayón L. P., V. A. Rodríguez, A. B. Piccoli, M. D. Chabbal, L. I. Giménez y G. C.

5322 Martínez (2014). Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja

5323 Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y Tangor Murcott (*Citrus reticulata*

5324 Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Revista de la Facultad de Ciencias*

5325 *Agrarias UNCuyo*, 46:87-96.

5326 Almaguer V., G., & Ayala G, A. (2014). Adopción de innovaciones en limón persa

5327 (*Citrus latifolia* Tan.) en Tlapacoyan Veracruz. Uso de Bitacora. *Revista*

5328 *Chapingo Serie Horticultura*, 20 (1), 89-100.

5329 Almaguer V. G., Ayala G. A. V., Sánchez H. M., y Martínez T. G. (2022). LA

5330 producción de maíz en Huamantla, Tlaxcala. *Textual*, (80), 157-180.

- 5331 Arizmendi, R. y A. Mungaray, (1994). Una introducción a la relación entre educación
5332 y desarrollo económico en México. *Comercio Exterior*, 44 (3): 193-198.
- 5333 Bautista R., Y. 2023. Análisis de cambio climático en la región de la huasteca baja
5334 del estado de Veracruz. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico Superior de
5335 Chicontepec. Veracruz de Ignacio la Llave. México.83 p.
5336 <http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/5335/1/Tesis-Yucely.pdf>
- 5337 Bebber, D.P.; Ramotowski, M.A.T.; Gurr, S.J. (2013). Crop pests and pathogens
5338 move polewards in a warming world. *Nature Climate Change* 3, 985-988.
- 5339 Bové, J. M. 2006. Huanglongbing: a Destructive, Newly-Emerging, Century old
5340 Disease of Ditrus. *Journal of Plant Pathology*, 88: 7-37.
- 5341 INEGI (2022). Censo Agropecuario de INEGI. México.
- 5342 Fereres, A. 2015. Insect vectors as drivers of plant virus emergence. *Current Opinion*
5343 *in Virology*, 10, 42-46
- 5344 Fereres, A. (2018). Impacto del cambio climático sobre los insectos vectores de
5345 patógenos de plantas. *Phytoma*, 300: 105-109.
- 5346 Fu S., J. Shao, C. Paul, C. Zhou and J. S. Hartung (2017) Transcriptional analysis
5347 of sweet orange trees co-infected with *Candidatus liberibacter asiaticus* and
5348 mild or severe strains of Citrus tristeza virus. *BMC Genomics*, 18:837,
- 5349 Gates, B. (2021). Cómo evitar un desastre climático. Vintage. 318p. Estados Unidos.
5350 [https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=rnIZEAAQBAJ&oi=fnd&](https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=rnIZEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Gates+B.+(2021).+Cómo+evitar+un+desastre+climático.+Vint)
5351 [pg=PT6&dq=Gates+B.+\(2021\).+Cómo+evitar+un+desastre+climático.+Vint](https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=rnIZEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Gates+B.+(2021).+Cómo+evitar+un+desastre+climático.+Vint)

5352 age.+318p.+Estados+Unidos&ots=ktWUdn6gTj&sig=X6ImpQyyImQbRPaJ
5353 GQ9Mgi8JyN0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

5354 Hernández M., L. E. García P., J. Cortés F., Á. Villegas M. y J. A. Mora A. (2021).
5355 Fertilización integral en árboles de naranjo 'Marrs' en producción con síntomas de
5356 virus de la tristeza de los cítricos (VTC) y Huanglongbing (HLB). *Revista de*
5357 *Fitotecnia Mexicana*, 44 (1): 59-66.

5358 Monitor de sequía en México. 2021, 2022 y 2023. Comisión Nacional del Agua.
5359 [https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-](https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico)
5360 [sequia-en-mexico.](https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico)

5361 Obaya Valdivia, A., & Ponce Pérez, R. (2007). La secuencia didáctica como
5362 herramienta del proceso enseñanza aprendizaje en el área de Químico
5363 Biológicas. *Contactanos: 63. 19-25.*
5364 [https://biblioteca.marco.edu.mx/files/39%20La%20secuencia%20didactica%](https://biblioteca.marco.edu.mx/files/39%20La%20secuencia%20didactica%20como%20herramienta.pdf)
5365 [20como%20herramienta.pdf](https://biblioteca.marco.edu.mx/files/39%20La%20secuencia%20didactica%20como%20herramienta.pdf)

5366 Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. 2019. Presidencia de la República, México.
5367 Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-
5368 2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y
5369 Alimentación. México.

5370 Robles-G. M. M., M. Orozco S., M. A. Manzanilla R., J. J. Velázquez M. y S. H.
5371 Carrillo M. (2017). Efecto del HLB sobre el rendimiento de limón mexicano en
5372 Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8:1101-1111.

- 5373 Rodríguez V. A., S. C. Cabrera B., G. C. Martínez, M. D. Chabbal y S. M. Mazza
5374 (2014) Fertilización foliar con zinc y manganeso en huertos de naranjo
5375 'Valencia late'. *Cultivos Tropicales*, 35:100-105
- 5376 SAGARPA- SIACON. (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
5377 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y
5378 Alimentación. México.
- 5379 SADER-FAO (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural/ Organización de las
5380 Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Estudio sobre
5381 el envejecimiento de la población rural en México [PDF]. Recuperado de:
5382 [https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/docum](https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-2-estudio-sobre-el-envejecimiento-de-la-poblacion-rural-en-mexico.pdf)
5383 [ent/2019/01/28/1608/01022019-2-estudio-sobre-el-envejecimiento-de-la-](https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-2-estudio-sobre-el-envejecimiento-de-la-poblacion-rural-en-mexico.pdf)
5384 [poblacion-rural-en-mexico.pdf](https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-2-estudio-sobre-el-envejecimiento-de-la-poblacion-rural-en-mexico.pdf)
- 5385 Valdés R., O. A. (2022). Desastre compuesto: sequía y Covid-19 en Veracruz,
5386 México. *Interconectando Saberes*, 7(14): 15-27.
- 5387

5388 **Capítulo 11. El complejo vitivinícola de la Pampa, Argentina. Actores,**

5389 **desafíos y escenarios prospectivos a 2030**

5390 Roberto Carlos Mariano, Rocío Luján González, Santiago Agustín Pérez y

5391 Santiago Ferro Moreno

5392 **Resumen**

5393 Los Objetivos de Desarrollo Sostenible incluyen retos desafíos para los entramados

5394 agroalimentarios, los cuales se traducen y concretan en diversos complejos

5395 productivos vitivinícolas, sobre todo para los países del sur global. La importancia

5396 de la producción frutícola de la vid se refleja en relevantes indicadores

5397 socioeconómicos como el valor bruto de la producción, exportaciones, puestos de

5398 trabajo, consumo, producción, entre otros. Además, el estudio de los productos

5399 vitivinícolas incluye datos relacionados con el consumo *per cápita*, el desarrollo

5400 tecnológico y sus vinculaciones con la gastronomía y el turismo local. Para ello se

5401 requiere dilucidar el análisis de políticas, lineamientos, programas, estrategias y

5402 acciones de organismos pertenecientes a los Estados, organizaciones con y sin

5403 fines de lucro y a la sociedad civil en general que conforman los entramados

5404 productivos. En este capítulo se plantean argumentos relacionados con la

5405 construcción de escenarios estratégicos y prospectivos para la matriz productiva en

5406 La Pampa, Argentina respecto a: a) los procesos de agregado de valor que realizan,

5407 b) la generación de puestos de trabajo directos e indirectos, c) los efectos

5408 multiplicadores en las economías provincial y microrregionales, d) el aporte a la

5409 diversificación de matriz productiva y, e) el impacto en la ocupación y el arraigo
5410 territorial.

5411 **Palabras clave:** Viticultura, escenarios prospectivos, Argentina.

5412 **Introducción**

5413 El complejo productivo vitivinícola cumple un rol significativo en las economías
5414 iberoamericanas, especialmente en la Argentina (Hernández, 2021). La producción
5415 frutícola de la vid es la que mayor superficie ocupa en las plantaciones frutales de
5416 este país, específicamente en la región de Cuyo (Sánchez, 2020). El complejo
5417 vitivinícola tiene capacidad de marcar positivamente en varios objetivos y metas de
5418 la Agenda 2030 de Naciones Unidas (Montesinos y Cerdeño, 2020). Por su parte,
5419 los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) plantean desafíos a los entramados
5420 agroalimentarios que deben ser materializados en estrategias privadas y políticas
5421 públicas que mejoren los aportes al cumplimiento de la agenda global (CEPAL,
5422 2018). Esta agenda para el desarrollo sostenible de los territorios se encuentra
5423 materializada en 17 ODS medidos por indicadores con metas precisas y que
5424 pretenden ser referencia en la gestión futura de la sostenibilidad del planeta y de
5425 todos sus habitantes actuales y futuros (CEPAL, 2018).

5426 La construcción de estudios prospectivos representa una oportunidad para poder
5427 pensar de forma colaborativa y anticipatoria situaciones futuras que permitan
5428 configurar en distintos escenarios una agenda de políticas públicas (Aguilar Torrico
5429 *et al.*, 2018). El cumplimiento de varios de los ODS está vinculado a políticas,
5430 lineamientos, programas, estrategias y acciones de organismos pertenecientes a

5431 los Estados, organizaciones con y sin fines de lucro y a la sociedad civil en general
5432 que conforman los entramados productivos (Camarán *et al.*, 2019; Intini *et al.*, 2019).
5433 En Argentina, el complejo vitivinícola ocupa posiciones secundarias en lo que
5434 respecta a indicadores socioeconómicos como el valor bruto de la producción,
5435 exportaciones, puestos de trabajo, consumo, producción, entre otros (Hernández,
5436 2021; Observatorio Vitivinícola Argentino OVA, 2022). Aun así, el país ¹² es uno de los
5437 principales actores a nivel mundial, tanto por la calidad de los productos vitivinícolas
5438 obtenidos (con el Malbec como insignia), como por el consumo *per cápita*, el
5439 desarrollo tecnológico y sus vinculaciones con la gastronomía y el turismo local. El
5440 complejo genera aproximadamente 106.000 empleos directos y 280.000 indirectos
5441 a nivel nacional (OVA, 2022).

5442 En La Pampa, la matriz productiva está orientada, preponderantemente, al sector
5443 de comercio y servicios, así como a la producción primaria agrícola-ganadera con
5444 poca participación relativa de procesos de agregado de valor en la economía,
5445 productos regionales y el comercio provincial. En este marco, las tramas productivas
5446 regionales han sido identificadas como estratégicas y relevantes dentro del sector
5447 provincial, principalmente por: a) los procesos de agregado de valor que realizan,
5448 b) la generación de puestos de trabajo directos e indirectos, c) los efectos
5449 multiplicadores en las economías provincial y microrregionales, d) el aporte a la
5450 diversificación de matriz productiva y, e) el impacto en la ocupación y el arraigo
5451 territorial.

5452 La producción primaria de vid en La Pampa se concentra en la región sur que cuenta
5453 con disponibilidad de agua dulce del Río Colorado para riego, generalmente
5454 presurizado. En el año 2020 se encontraban en producción unas 235 hectáreas (ha)
5455 de vid (SEyC, 2021). Además, entre Gobernador Duval, 25 de Mayo y Casa de
5456 Piedra se concentra casi la totalidad de la superficie plantada de vid provincial. El
5457 Ente Provincial del Río Colorado (EPRC) es un organismo que depende del
5458 Ministerio de Producción de la Provincia de La Pampa y tiene a su cargo el
5459 desarrollo de las áreas regables, entre las cuales se encuentran los proyectos del
5460 área Casa de Piedra con más de 9 mil ha posibles bajo riego ⁸¹ y la búsqueda de
5461 inversores privados que adquieran las parcelas y dispongan del capital para poner
5462 productivamente en marcha el proyecto.

5463 En los últimos años, las inversiones vitivinícolas en la provincia han sido relevantes
5464 en búsqueda de aprovechar las condiciones agroecológicas regionales y potenciar
5465 las infraestructuras disponibles. A esto se le suman inversiones en bodegas de
5466 diversos tamaños en distintas localidades provinciales, la conformación de la
5467 Cámara Vitivinícola de La Pampa (CAVILPA) y la reciente creación de la Mesa
5468 Vitivinícola de La Pampa que congrega a los diversos actores públicos, privados e
5469 institucionales del sector. Además, la provincia de La Pampa lleva adelante el
5470 proyecto “La ruta de los vinos pampeanos” con el fin de generar y desarrollar
5471 actividades de enoturismo, el cual fue lanzado desde el año 2021 en el marco de la
5472 Feria Internacional de Turismo de América Latina, siendo una propuesta del

5473 gobierno local junto con el Ministerio de Producción y el Ente del Río Colorado con
5474 el fin de promocionar la producción e incentivar inversiones.²

5475 Ante el crecimiento del complejo provincial y las perspectivas de desarrollo resulta
5476 necesario realizar un análisis prospectivo y estratégico empalmando las posibles
5477 dinámicas futuras con la Agenda de Desarrollo Sustentable para el año 2030 en La
5478 Pampa. El objetivo general del presente capítulo es desarrollar un análisis
5479 prospectivo estratégico del complejo vitivinícola de la provincia de La Pampa,
5480 Argentina. Específicamente se pretende: 1) desarrollar un análisis estructural y
5481 funcional del complejo vitivinícola provincial; 2) identificar actores y variables clave
5482 para el futuro del complejo; 3) analizar la relación entre el desempeño del complejo
5483 y los ODS; y 4) construir escenarios prospectivos para el complejo vitivinícola de la
5484 provincia de La Pampa a 2030.

5485 El presente capítulo se estructura en cinco apartados: introducción a la temática, el
5486 desarrollo de un marco teórico, un marco metodológico, los resultados del estudio y
5487 las principales reflexiones. Se propone un marco teórico orientado a los entramados
5488 agroalimentarios y la prospectiva; luego se detalla la metodología empleada en el
5489 capítulo para la concreción de los objetivos indicados. La primera parte de los
5490 resultados plantea un análisis descriptivo del complejo vitivinícola provincial, se
5491 presentan actores y variables clave de futuro del complejo, siguiendo con un análisis

² Disponible en: <https://www.laarena.com.ar/la-pampa/2021-9-7-13-30-0-disenan-un-camino-del-vino-pampeano>

5492 de la incidencia de las variables con los ODS y, por último, se proyecta la
5493 construcción de escenarios para el complejo vitivinícola de la provincia. El último
5494 apartado analiza y pone en valor los principales aportes y reflexiones del trabajo.

5495 **Marco conceptual**

5496 Un sistema, entramado o complejo agroalimentario sostenible se encuentra
5497 integrado por actores, actividades, articulaciones, bienes, servicios, recursos,
5498 factores y capacidades que se conjugan desde el consumo hasta la producción para
5499 lograr objetivos comunes y aportes a territorios particulares (Ericksen *et al.*, 2009;
5500 Mariano y Ferro Moreno, 2020). En estos sistemas complejos existe la necesidad
5501 de definir y emplear diagnósticos para proponer y construir miradas de largo plazo
5502 (Toro *et al.*, 2010; Mariano, 2020).

5503 La realidad actual desafía las capacidades de las organizaciones públicas y
5504 privadas de los entramados agroalimentarios para producir información de futuro y
5505 conocimientos ¹⁹ de calidad que contribuyan a la resolución de problemáticas desde
5506 miradas transdisciplinarias y complejas que se adecuen a los procesos
5507 socioculturales, ambientales, económicos e institucionales (Papagno *et al.*, 2021;
5508 Mariano *et al.*, 2022). ¹⁹ Estas problemáticas pueden ser explicadas a partir de
5509 comprender las indeterminaciones, incertidumbres, fenómenos aleatorios,
5510 intervenciones e interacciones subjetivas de las capacidades sociales que se ponen
5511 en juego (Mariano ¹⁹ *et al.*, 2022).

5512 La prospectiva se encuentra vinculada al enfoque de la complejidad, el abordaje
5513 inter y transdisciplinario, la reflexión para la acción y la construcción social de futuros

5514 posibles (Balestri y Ferro Moreno, 2015; Mariano y Ferro Moreno, 2020). La ¹⁹
5515 prospectiva requiere trabajar desde una perspectiva sistémica y compleja de
5516 información de alta calidad y relevante con compromiso y participación activa de los
5517 actores sociales (Medina Vásquez *et al.*, 2014; Papagno *et al.*, 2021).
5518 Los objetivos de desarrollo sustentable 2030 conforman una agenda global que
5519 debe ser traducida y adaptada a los territorios, entramados productivos y
5520 organizaciones con el fin de comprender los aportes, los ejes de mejora y las
5521 acciones necesarias para contribuir al logro de estos y a sus metas específicas. Son
5522 definiciones que permiten comprender cuáles son los resultados buscados a nivel
5523 mundial, por país, provincia, localidad y organización al año 2030 (ONU, 2015).
5524 Buscan abordar la desigualdad de manera inclusiva y con amplio alcance,
5525 incluyendo la erradicación de la pobreza y el hambre, asegurando el consumo y la
5526 producción sostenible, además de promover sociedades inclusivas y pacíficas.
5527 Contar con este tipo de orientaciones de mediano plazo permite mejorar la potencia
5528 de los estudios prospectivos y estratégicos, posibilitando a los sistemas organizados
5529 interpretar y adaptar la agenda a sus particularidades.

5530 **Metodología**

5531 El enfoque del capítulo será de tipo descriptivo, cualitativo y estratégico. En primera
5532 instancia se realiza un diagnóstico prospectivo del complejo vitivinícola a partir de
5533 una revisión sistemática de estadísticas oficiales, trabajos científicos y técnicos
5534 recientes, complementada con encuestas aplicadas a actores calificados del
5535 complejo vitivinícola provincial. Las búsquedas de antecedentes se desarrollaron en

5536 bases de datos electrónicas y repositorios institucionales internacionales,
5537 nacionales y provinciales. Con base en esta revisión se seleccionan y analizan
5538 variables particulares del complejo con incidencia futura en el desempeño de este y
5539 se identifican a los actores partícipes del complejo de La Pampa; además, se
5540 plantean las estructuras, funciones y relaciones entre ellos, sintetizados en un
5541 flujograma.

5542 Para complementar la información secundaria y obtener la perspectiva estratégica
5543 de los actores se confeccionó un cuestionario abierto online indagando desafíos y
5544 fortalezas nacionales y regionales del complejo actual y futuro. Las encuestas
5545 fueron entregadas a un grupo de empresarias/os, funcionarias/os públicos y
5546 técnicas/os vinculadas/os. De un total de 10 actores clave mapeados contestaron
5547 8. Con base en el sector al que pertenecen, estos integrantes encuestados se
5548 subdividen en: 3 en producción primaria y transformación; 2 en distribución
5549 mayorista, minorista; 1 para ciencia y técnica; 1 en producción primaria; y 1 en sector
5550 público nacional. Según su antigüedad en el sector vitivinícola, 62% de ellos lleva
5551 más de 6 años en la actividad, 25% menos de 3 años y el restante 13% entre 3 y 6
5552 años. Se localizan: 2 en 25 de Mayo, 2 en Santa Rosa, 2 Casa de Piedra, 1 Abramo
5553 y 1 Gobernador Duval. Como resumen de las variables obtenidas se desarrollaron
5554 nubes de palabras a partir de la herramienta *WordClouds*³ que permite comprender
5555 visualmente la intensidad y repetición de las más usadas en las respuestas.

³ <https://classic.wordclouds.com/>

5556 A partir del procesamiento, selección y análisis de toda la información obtenida se
5557 identificaron variables claves actuales y de futuro del complejo vitivinícola provincial.
5558 Para su mejor interpretación se clasificaron en: Desafíos Nacionales Actuales
5559 (DNA); Desafíos Actuales Regionales y Locales (DARyL); Fortalezas Regionales y
5560 Locales (FRyL) y Desafíos Futuros a 2030 (DF230).

5561 La información generada se sintetiza en una tabla de incidencias cruzadas,
5562 relacionando los ODS con las variables clave del complejo. De acuerdo con las
5563 metodologías de medición usadas por FAO (2018a, 2018b, 2021) se propone la
5564 siguiente valoración cualitativa dispuesta en la siguiente escala de Likert (escala de
5565 1 a 3): 1, se encuentra poca incidencia entre las variables claves y los objetivos de
5566 desarrollo sostenible; 2, la incidencia no es tan evidente en la actualidad, pero puede
5567 llegar a tener incidencia media en el mediano plazo; 3, las variables clave inciden
5568 directamente en el desempeño del ODS.

5569 Como cierre se construyen escenarios prospectivos a 2030 para el complejo
5570 vitivinícola, planteados a partir de hipótesis de futuro de las tres variables clave:
5571 optimista, tendencial y pesimista, basados en la propuesta metodológica de Medina
5572 Vásquez y Ortegón (2006) y Viera *et al.*, (2022).

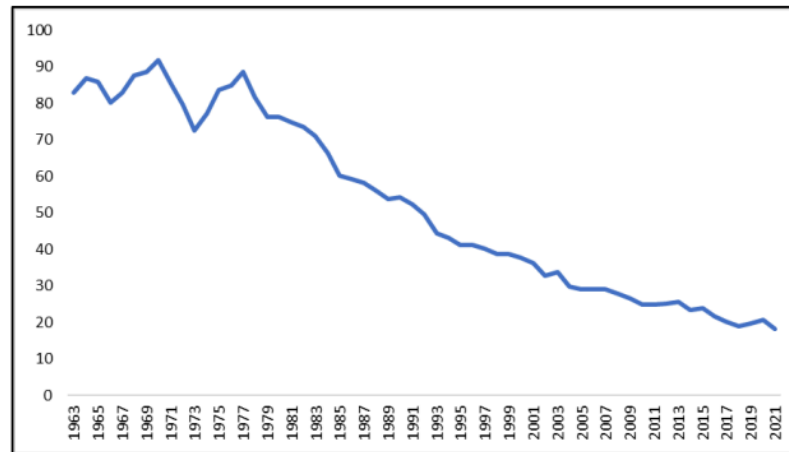
5573 **Resultados**

5574 *Descripción del Complejo Vitivinícola Provincial*

5575 Argentina es uno de los principales países consumidores de vino del mundo, en el
5576 año 2021 fue el 15° país en consumo *per cápita* (unos 24,3 litros/año), el 9° en
5577 volumen total consumido y el 161° país importador (IOVW, 2022). Considerando la

5578 dinámica en el tiempo, la tendencia del consumo *per cápita* nacional viene
5579 decayendo (figura 1). Diversos aspectos permiten explicar esta caída, entre ellos la
5580 baja del poder adquisitivo de los consumidores, aspectos preferenciales de nuevos
5581 consumidores, competencia con otros productos (Cabezón, 2019).

5582 Figura 1. Consumo de vino *per cápita* en Argentina

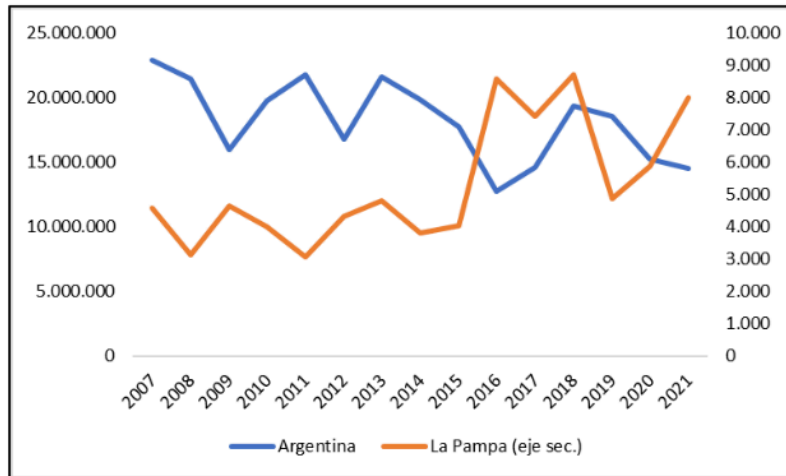


5583

5584 Fuente: OVA (2022).

5585 En cuanto a la producción de vino, Argentina es el 7° productor y el 8° exportador
5586 del mundo (OIV, 2022). Mendoza elabora 72% del total de hectolitros de vinos del
5587 país y San Juan 22,5 % (OVA, 2022). La provincia de La Pampa produjo 7.977
5588 hectolitros en el año 2021, es decir, 35% más que en el año 2020. Como se puede
5589 apreciar en la siguiente figura, la tendencia de la producción nacional es negativa y
5590 la de La Pampa positiva (Figura 2).

5591 Figura 2. Producción de vinos en Argentina y La Pampa 2007-2021 (hectolitros)



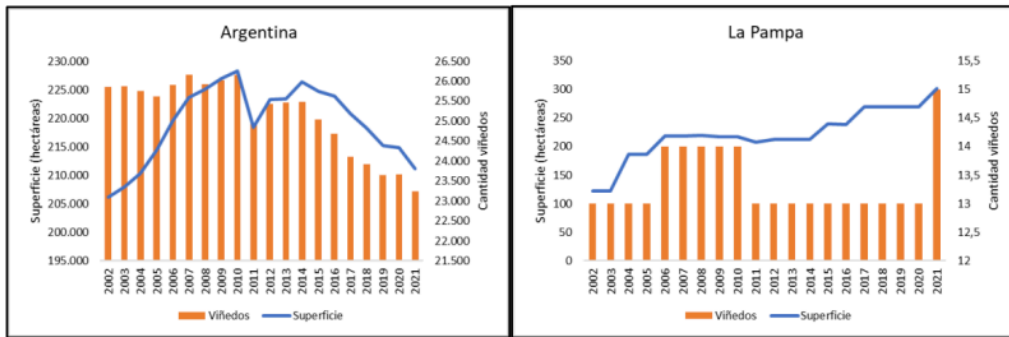
5592

5593 Fuente: OVA (2022).

5594 Argentina cuenta con unas 215 mil hectáreas plantadas, aunque con tendencia
 5595 decreciente y concentración de los viñedos; desde 1977 la cantidad de hectáreas
 5596 de vid viene en descenso (OVA, 2022), por ejemplo, en este período se perdieron
 5597 más de 135 mil hectáreas en Argentina, cerca de 38% de la superficie. La cantidad
 5598 de viñedos también fue decreciendo, de unos 53 mil en la década de 1970 a menos
 5599 de 24 mil en la actualidad, pasando de 6,2 has promedio por viñedo a 9,1 en 2019
 5600 (Figura 3).

5601 Figura 3. Superficie y viñedos en Argentina y La Pampa (2002-2021)

5602



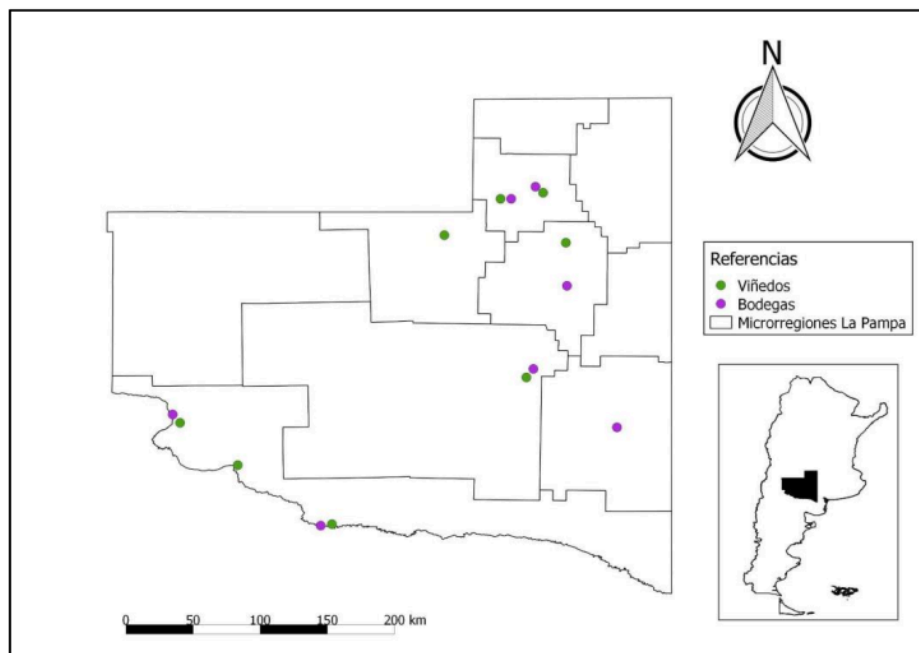
5603

5604 Fuente: OVA (2022).

5605 La provincia de La Pampa cuenta con 312 hectáreas en producción; 95% es
 5606 considerada de alta calidad enológica (OVA, 2022). La mayoría de los viñedos se
 5607 encuentran en la ribera del Río Colorado (microrregión 10) y el resto en el centro y
 5608 norte de la provincia (figura 4). El tamaño medio del viñedo en la provincia es de
 5609 14,9 hectáreas, superior al promedio nacional. Además, 86% de la superficie
 5610 cultivada en la provincia es de color tinto, 12,5% uva blanca y el restante 1,5% uva
 5611 y rosado (OVA, 2022).

5612

Figura 4. Mapa vitivinícola de la provincia de La Pampa



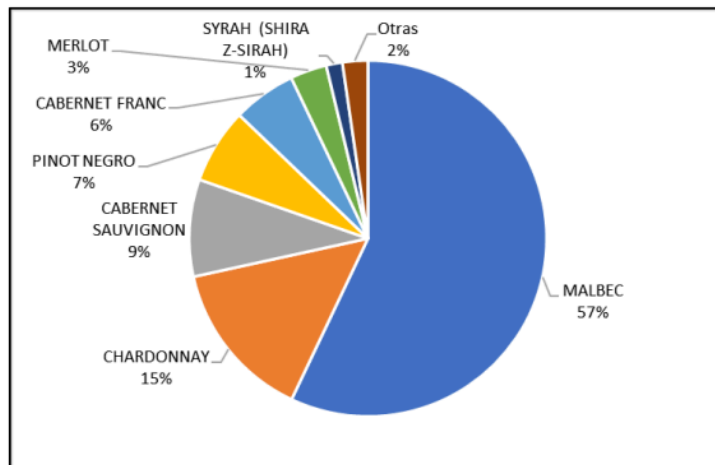
5613

5614 Fuente: Elaboración propia.

5615 El volumen cosechado en Argentina viene en descenso, de unos 30 millones de
 5616 quintales cosechados en 2007 se pasó a menos de 22 millones en 2021. A contra
 5617 tendencia nacional, La Pampa viene aumentando la edad de los viñedos y su
 5618 producción, acercándose a rendimientos por hectárea cercanos a los promedios
 5619 nacionales. Los varietales más plantados y procesados en La Pampa son el Malbec,
 5620 Chardonnay y Cabernet Sauvignon, entre los tres suman casi 80% de la superficie
 5621 plantada (Figura 5).

5622

Figura 5. Varietales plantadas en La Pampa



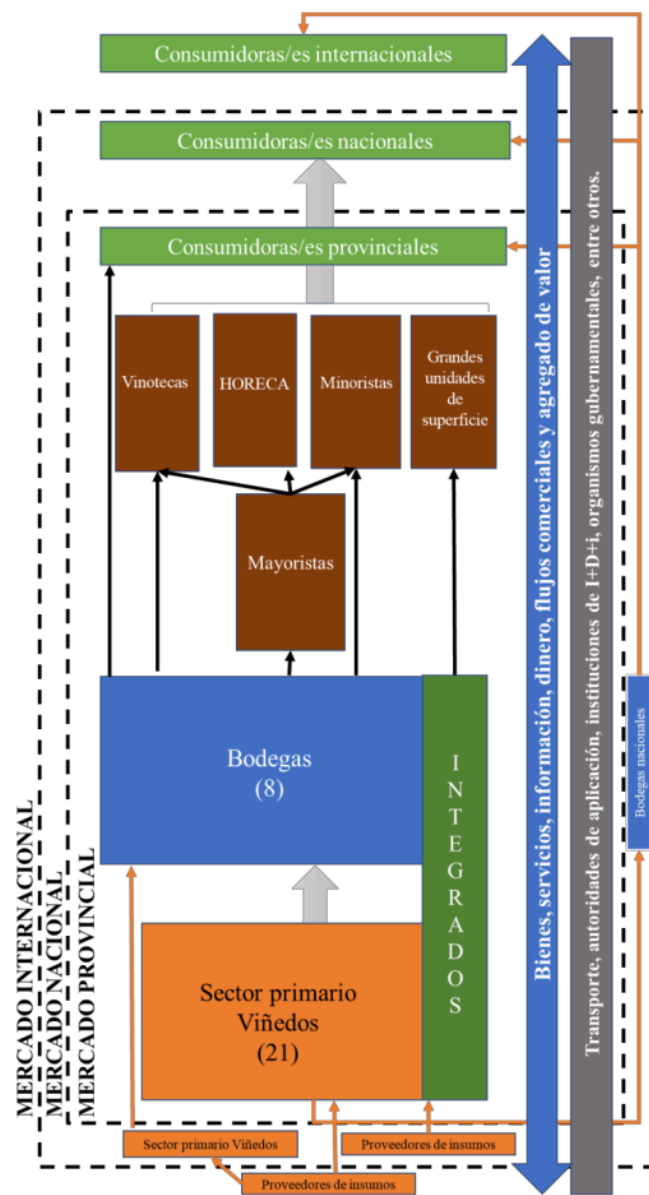
5623

5624 Fuente: OVA (2022).

5625 El complejo vitivinícola provincial se encuentra conformado por un conjunto de
 5626 actores que cumplen funciones diversas con el fin de satisfacer la demanda final del
 5627 consumo de vino. El producto final más relevante es el vino envasado en botella
 5628 que se obtiene a partir de la producción y procesamiento de la vid. El complejo se
 5629 puede subdividir en cinco subsectores según sus funciones: consumo final,
 5630 distribución, producción agroindustrial, producción primaria y actores transversales
 5631 a todo el complejo (figura 6). La elaboración del vino comienza con el prensado de
 5632 la uva recolectada de los viñedos para luego obtener el mosto en las bodegas,
 5633 después las operaciones de embotellado y concluye con la distribución mayorista y
 5634 minorista para alcanzar al consumidor final. Cabe mencionar que el proceso
 5635 principal en el que ocurre esta transformación es la fermentación alcohólica.

5636

Figura 6. Flujograma del complejo vitivinícola de La Pampa



5637

5638 Fuente: Elaboración propia.

5639 Los principales actores identificados del complejo vitivinícola provincial son:

- 5640
- Consumidores provinciales, nacionales e internacionales.

- 5641 • Distribuidores mayoristas, minoristas especializados, genéricos y todo el
5642 canal hasta el consumidor final de hoteles, restaurantes y cafés (HORECA).
- 5643 • Sector público y organizaciones sin fines de lucro: EPRC, Municipio de
5644 Gobernador Duval, Agencia de Extensión Rural (AER) 25 de Mayo del Instituto
5645 Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), FA-UNLPam, Ministerio de la
5646 Producción, Cámara Vitivinícola de La Pampa.
- 5647 • Bodegas agroindustriales: Bodegas Del Desierto (25 de Mayo), Quietud
5648 (Santa Rosa), Fincas del Duval (Gobernador Duval), Estilo 152 (General Acha), La
5649 Rebelde (Abramo), Pichi Huinca, Bodega El Rastro (Caleufú) y una en construcción
5650 por parte del Gobierno provincial en la localidad de Casa de Piedra. Dentro de estas
5651 bodegas provinciales se procesan diferentes marcas comerciales de productos
5652 entre los que están: Desierto 25 y Desierto Pampa (Bodegas del Desierto), Lejanía
5653 (Fincas del Duval), Antojos (Bodega La Rebelde), Quietud (Quietud), Estilo 152
5654 (Estilo 152), Pichi Huinca, El rastro (El Rastro), Arumcó (Gobernador Duval),
5655 Planicie (Casa de Piedra), Capdeville (Telén).
- 5656 • Viñedos: Viñas de Bodega del Desierto (25 de Mayo), Viñas de Fincas del
5657 Duval, Estación Experimental del EPRC (Casa de Piedra), Catena Zapata (Casa de
5658 Piedra), Familia Cassone (Casa de Piedra), Viñas en Pichi Huinca, Viñas en General
5659 Acha, Viñas en Telén, Viñas en Caleufú y Viñas en Winifreda.
- 5660 • Proveedores de insumos: Viveros extra-provinciales (fertilizantes, plantines,
5661 bioestimulantes), empresas productoras de artículos plásticos (portabotellas, cajas

5662 recolectoras), fábricas de maquinarias y equipamientos y tonelerías, fábricas de
5663 corchos, fábrica de botellas de vidrio, otros insumos específicos.

5664 *Desafíos, oportunidades y variables clave de futuro*

5665 De acuerdo con las perspectivas de los actores encuestados se plantearon 46
5666 variables clave que fueron clasificadas y analizadas según la intensidad de
5667 respuesta. A continuación, se detallan las variables por cada uno de los apartados
5668 con la intensidad absoluta anotada entre paréntesis.

5669 *Desafíos nacionales actuales*

5670 Particularmente, los desafíos nacionales son: a) infraestructura de servicios y
5671 conectividad a nivel nacional (rutas en mal estado) (3 enc.); b) costos de fletes y
5672 calidad de los servicios logísticos disponibles (2 enc.); c) costos y disponibilidad de
5673 insumos específicos y problemas de incorporación de tecnologías importadas (3
5674 enc.); d) altos costos productivos y de inversión inicial que favorecen a la
5675 concentración y limitan la entrada de Micro, Pequeñas y Medianas Empresas
5676 (MiPyMES) (3 enc.); e) escasez en cantidad y calidad de mano de obra calificada
5677 (4 enc.); f) abandono y pérdida de viñedos de pequeña escala (concentración de la
5678 actividad) (1 enc.); g) impactos del cambio climático en la producción de vid con
5679 fenómenos cada vez más extremos (4 enc.); h) contexto inflacionario, incertidumbre
5680 en políticas públicas, distorsión de los precios relativos y negocio de largo plazo en
5681 un contexto macroeconómico inestable estructuralmente (4 enc.); i) fluctuaciones
5682 importantes en la producción primaria (1 enc.); j) viñedos antiguos con genética de
5683 mala calidad y variedades obsoletas (1 enc.); k) concentración de mercado creciente

5684 en la producción, industrialización, comercialización y exportación (2 enc.); l)
5685 concentración de proveedores clave de la producción e industrialización (1 enc.); m)
5686 altos niveles de carga impositiva (1 enc.); n) burocracia (1 enc.). De esta manera,
5687 las palabras insumos, costos, rutas y viñedos son las variables que mayor
5688 preponderancia tuvieron en las respuestas (figura 7).

5689 Figura 7. Intensidad de palabras en desafíos nacionales



5690

5691 Fuente: Elaboración propia con *software Word Clouss*.

5692 *Desafíos actuales regionales y locales*

5693 Los desafíos actuales consisten en: a) disponibilidad de mano de obra especializada
5694 y capacitada para las etapas clave de los procesos productivos (5 enc.); b) mala
5695 conectividad en rutas con largas distancias a proveedores y centros de consumo (2
5696 enc.); c) altos costos y discontinuidad en los servicios de logística (2 enc.); d) falta
5697 de infraestructura agroindustrial con baja capacidad de procesamiento y escasez de

5698 servicios especializados (3 enc.); e) falta de financiamiento acorde a la naturaleza
5699 del sector (2 enc.); f) problemas en la disponibilidad de estabilidad y calidad de agua
5700 para riego (2 enc.); g) plantaciones jóvenes de baja producción actual (1 enc.); h)
5701 baja inversión privada y necesidad de altas inversiones para entrar al negocio de
5702 producción o industrialización (3 enc.); i) escasa visibilización y promoción de los
5703 vinos pampeanos en el contexto nacional e internacional (2 enc.); j) largo periodo
5704 de recuperación de inversión (1 enc.); k) baja cantidad de productores e inestables
5705 en el negocio (1 enc.).

5706 En el gráfico de intensidad de la figura 8 para los desafíos regionales y locales, las
5707 palabras que más se repitieron fueron costo, laboral, industria, producción e
5708 inversión.

5709 Figura 8. Intensidad de palabras en desafíos regionales y locales



5710

5711 Fuente: Elaboración propia con *software Word Clouss*.

5712 *Fortalezas regionales y locales*

5713 Se encontraron las siguientes fortalezas: a) presencia del INTA y apoyo del
5714 Gobierno Provincial (articulación público-privada e investigación) (5 enc.); b)
5715 evolución y tendencia en aumento de las principales variables locales (producción,
5716 plantación, agroindustrialización) (2 enc.); c) genética de alto potencial en las
5717 plantaciones, adaptada a las demandas del mercado actual y sanitarias (1 enc.); d)
5718 alto potencial productivo por disponibilidad de zonas bajo riego en condiciones
5719 edafo-climáticas favorables (6 enc.); e) infraestructura y disponibilidad de agua en
5720 cantidad y calidad (3 enc.); f) contar con pocos actores que se encuentran unidos y
5721 organizados en la cámara provincial (2 enc.); g) sentido de pertenencia de la
5722 población local a los productos pampeanos (1 enc.); h) buena calidad de las
5723 materias primas (uvas) y buen rendimiento agroindustrial (2 enc.); i) diversificación
5724 de variedades de producción (2 enc.); j) pertenencia a la región Patagónica con lo
5725 cual tenemos derecho a uso de la Indicación Geográfica Patagonia Argentina,
5726 reconocida internacionalmente (2 enc.).
5727 Los conceptos de agua, productos patagónica, articulación público-privada, apoyo
5728 y calidad son los que mayor preponderancia tuvieron en la nube obtenida (Figura
5729 9).

5730 Figura 9. Intensidad de palabras en fortalezas regionales y locales

5747 (1 enc.); k) articulación entre provincias por la gestión de los recursos hídricos (1
 5748 enc.).
 5749 Las variables de producción, capacitación, desarrollo, productos e industria son los
 5750 aspectos que mayor preponderancia tuvieron en la obtención del gráfico (Figura 10).
 5751 Figura 10: Intensidad de palabras de desafíos futuros regionales y locales a 2030



5752

5753 Fuente: Elaboración propia.

5754 A partir de los resultados obtenidos se plantea una tabla resumen y las siglas
 5755 abreviadas de las variables clave actuales y futuras que fueron seleccionadas del
 5756 complejo vitivinícola en La Pampa (Tabla 1).

5757 Tabla 1. Resumen de las variables clave del complejo vitivinícola en La Pampa

	Variables clave (VC)	Abreviatur
Estructurantes		a
Desafíos nacionales	a) Infraestructura y servicios	DNAa
	c) Costos y disponibilidad de insumos	DNAc

actuales (DNA)	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 producción y productividad del 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
--	--	---------

5758 Fuente: Elaboración propia.

5759 **Relaciones entre las variables clave con los ODS a 2030**

5760 Existen varios trabajos que abordan la incidencia del sector vitivinícola en el aporte
5761 al cumplimiento de la Agenda 2030 (Fecovita, 2019; OIV, 2022; Conrado, 2020;
5762 Salas Zorrilla y Farreras, 2021), dejando en evidencia que no todos los ODS
5763 mantienen relaciones relevantes con el sector bajo estudio. El grado de contribución
5764 de las organizaciones públicas o privadas a cada ODS, así como los riesgos y
5765 oportunidades que representan individualmente, dependerá de diversos factores
5766 (FAO, 2018a). Se plantea delimitar aquellos ODS y sus respectivas metas que son
5767 sensibles a relacionarse con el complejo vitivinícola de La Pampa; así, con base en
5768 los objetivos y las metas que conforman cada uno de los ODS, el complejo incide
5769 en 14 de los 17 ODS.

5770 La tabla 2 resume las variables clave del complejo vitivinícola de La Pampa que se
5771 relacionan con cada uno de los ODS seleccionados, indicando el total de variables
5772 y la incidencia hacia los ODS. El ODS 8 es en el que mayor incidencia presentan
5773 las variables clave de futuro.

5774 Tabla 2: Relaciones de los ODS y el complejo vitivinícola regional y local

ODS	Variables clave (VC) del complejo vitivinícola	Total de variables clave	Incidencia de las VC en los
-----	--	--------------------------	-----------------------------

	nacional, regional y local	(VC) que inciden por ODS	ODS a 2030
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
O6: meta 6.3; 6.5	DARyLd; FRyLd; FRyLe; DF2030h	4	1
O7: meta 7.2; 7.3	DF2030a; DARyLd; DNAc	3	1
O8: meta 8.2; 8.3; 8.4; 8.5 y	Todas	16	3

8.9			
O9: meta 9.1; 9.2; 9.3; 9.5	DNAa; DNAh; DARyLa; DARyLd; DARyLh; FRyLa; FRyLd; FRyLe; DF2030a; DF2030h	10	2
O11: meta 11.1	DARyLd; DARyLa; DNAe; DNAa	4	1
O12: meta 12.5	DNAa	1	1
O13: meta 13.1	DNAa; DNAg	2	1
O15: meta 15.1; 15.3	DNAd; DNAg; FRyLe	3	1
O16: meta 16.6	FRyLa; DF2030a;	2	1
O17: meta 17.5; 17.7	DNAa; DNAh; DARyLa; DARyLd; FRyLa; FRyLd; DF2030a; DF2030h	8	2

5775 Fuente: Elaboración propia.

5776 En la siguiente tabla se realiza un análisis de incidencia considerando la cantidad

5777 de ODS que tienen relación con las variables (tabla 3). Se marcan aquellas variables

5778 clave de futuro que se considerarán más incidentales y, por lo tanto, claves a la hora

5779 de plantear los escenarios futuros al 2030 para el complejo vitivinícola.

5780 Tabla 3. Variable clave e incidencia en los ODS

Variables (Abr.)	Incidencia en los ODS
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

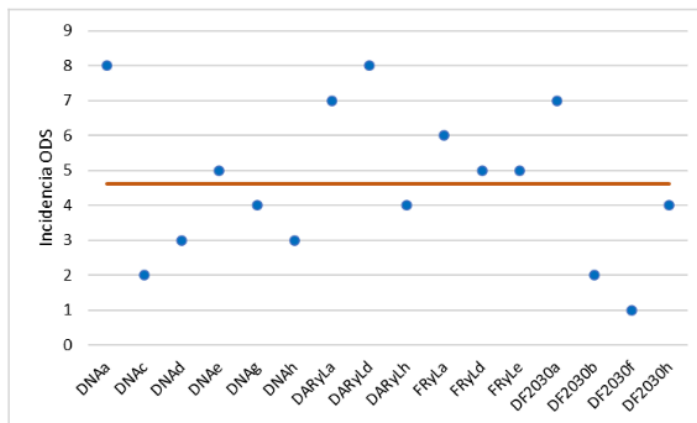
5781 Fuente: Elaboración propia.

5782 Para la selección de estas variables se tomó el promedio de participación en los

5783 ODS, y aquellas que quedaran por encima de este promedio fueron las elegidas

5784 (figura 11). Del total de variables clave se seleccionaron ocho.

5785 **Figura 11. Matriz de selección de variables**



5786

5787 Fuente: Elaboración propia.

5788 *Escenarios del Complejo Vitivinícola Provincial orientados hacia la incidencia de las*

5789 *variables claves en los ODS 2030*

5790 De acuerdo con la incidencia de las variables clave en los 14 ODS seleccionados

5791 se procedió a analizar, en el terreno de lo posible, los comportamientos optimistas,

5792 tendenciales y pesimistas de las 8 variables clave a 2030. Además, se puso en valor
5793 la participación de los actores relacionados con cada una de las variables. A partir
5794 de las interrelaciones entre las variables clave de futuro planteadas se desarrollan
5795 3 escenarios.

5796 Escenario 1: Optimista “un día sin vino es un día sin sol, la verdad está en el vino”
5797 Los accesos viales de las zonas productoras vitivinícolas fueron modernizados por
5798 completo. Los tramos desde 25 de Mayo a Casa de Piedra, el tramo de la ruta
5799 nacional 152 y la ruta 20 “del desierto” se han renovado, además de que han sido
5800 pavimentados 50 kilómetros de la ruta provincial 34. Por su parte, el acceso a
5801 internet en toda la microrregión 10 ha representado una apuesta de ⁹³ la Cooperativa
5802 regional de servicios públicos y sociales del oeste pampeano de 25 de Mayo
5803 (Coospu) que en unión con la Cooperativa de La Adela brindan el servicio regular a
5804 todo el territorio. El Banco de La Pampa ha incorporado una línea de financiamiento
5805 específica a tasas subsidiadas para tecnología de adaptación al cambio climático
5806 de productores vitivinícolas con muy buena aceptación.

5807 Las producciones pampeanas se encuentran con genética y variedades adecuadas
5808 al mercado y con evaluaciones periódicas de procesos en torno al cumplimiento de
5809 normas reguladas internacionalmente para la exportación de vino. La biodiversidad
5810 en los viñedos articulada con la producción de animales menores es una tendencia
5811 entre los productores pampeanos de la región. Existe un clúster vitivinícola en la
5812 microrregión 10 de La Pampa que involucra la coordinación y articulación de
5813 productores, agroindustriales y distribuidores del complejo vitivinícola provincial. La

5814 mano de obra especializada vitícola se encuentra generalmente en la microrregión
5815 10 provincial y se desplaza según requerimientos puntuales.

5816 Así es como la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), en convenio con la
5817 Universidad Nacional del Comahue y la Universidad Nacional de Cuyo han
5818 desarrollado dos ofertas académicas de grado y pregrado orientadas a enología y
5819 a tecnicaturas industriales. También se encuentran disponibles trayectos formativos
5820 de capacitaciones continuas en la localidad de Casa de Piedra, las temáticas giran
5821 en torno a las buenas prácticas agrícolas y de manufactura y comercialización de
5822 los productos vitivinícolas.

5823 Cabe señalar que la inversión en infraestructura agroindustrial pública y privada ha
5824 aumentado exponencialmente, lo cual ha repercutido en la generación de nuevos
5825 puestos de trabajo directos e indirectos y ha agregado valor a la uva obtenida. La
5826 sinergia público-privada entre los actores en el complejo reduce de forma
5827 significativa las discrepancias y diferencias en cuanto a los objetivos
5828 mancomunados.

5829 El Plan Estratégico Vitivinícola de La Pampa, coordinado por la Cámara Vitivinícola
5830 de La Pampa y la UNLPam, ha hecho énfasis en indicadores concretos para llegar
5831 a 2030 apoyando la competitividad sistémica y el desarrollo sostenible de proyectos
5832 conjuntos que prevalecen con mejoras en el consumo provincial de productos
5833 locales. Las características edáficas de La Pampa en consonancia con el clima
5834 particular de las regiones del sur han dado lugar a nuevas plantaciones de viñedos
5835 con características únicas en Latinoamérica. Ya se han desarrollado reuniones para

5836 anexar a la marca Patagónica del vino, una indicación geográfica especial para las
5837 plantaciones pampeanas de la vera del río Colorado con destino exportable. El
5838 aumento a 600 hectáreas con producciones de vid y el procesamiento realizado en
5839 la Provincia provocan una dinámica distintiva del complejo.

5840 El COIRCO y la CAIA han avanzado en una gestión integrada y compartida de los
5841 recursos hídricos disponibles en las provincias que los integran. Se acuerdan y
5842 discuten cupos mínimos integrados a la gestión hídrica y formas de riego, lo cual
5843 favorece la restitución del caudal ecológico del río Salado-Chadileuvú-Curacó
5844 propiciando nuevos aportes hídricos a zonas áridas.

5845 Se incrementaron fuertemente las inversiones en infraestructura edilicia, haciendo
5846 énfasis en los procesos de investigación y desarrollo en la industrialización de vid,
5847 proceso mancomunado con las sinergias y la cooperación pública-privada.

5848 Asimismo, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
5849 (CONICET), en un convenio con la UNLPam, han avanzado en negociaciones para
5850 desarrollar el primer Centro de Investigaciones Vitivinícolas de Argentina en
5851 concordancia con el Instituto Nacional de Vitivinicultura (2022).

5852 Los avances en bioeconomía circular propuestos por el Centro van impactando
5853 directa e indirectamente en la productividad, manteniendo los indicadores
5854 provinciales más altos que el promedio nacional. Cerca de 80% de los vinos
5855 pampeanos se exporta por la Zona Franca de General Pico con 90% de los insumos
5856 reciclados y/o reutilizados. La ruta del vino en la provincia de La Pampa ha
5857 desarrollado la veta turística, generando servicios conexos de valor y relaciones

5858 ganar-ganar entre productores, bodegas, distribuidores y prestadores. La oferta de
5859 degustaciones asociada con la ruta del asado de carne bovina pampeana atrae a
5860 turistas internacionales de las más variadas procedencias.

5861 Escenario 2: Tendencial “De tal cepa... tal vino...”

5862 Las renovaciones de los accesos viales a lo largo de toda la ruta del vino en La
5863 Pampa se han realizado de manera heterogénea, lo que ha provocado algunos
5864 conflictos entre los productores locales y los operadores de servicios turísticos. El
5865 sistema de internet y conectividad sigue siendo intermitente en todo el sureste
5866 pampeano con algunas excepciones. Los productores vitivinícolas invierten en
5867 tecnología de producción de acuerdo con sus posibilidades, aunque el cambio
5868 climático continúa impactando tanto en la baja del caudal del río Colorado como en
5869 el aumento de temperaturas, eventos climáticos imponderables y de lluvias
5870 torrenciales en el sur provincial; situación que ha contribuido a la aparición de plagas
5871 que atacan a las producciones, por lo que algunos rendimientos de los viñedos han
5872 disminuido considerablemente. Distintas instituciones como INTA, la Universidad
5873 Nacional de La Pampa y la Cámara vitivinícola contribuyen con nuevos aportes de
5874 investigación y desarrollo en el complejo.

5875 Se sigue incentivando desde el Estado provincial la actividad vitivinícola a partir de
5876 financiamientos y programas turísticos con énfasis en motorizar la producción e
5877 industrialización. El negocio vitivinícola provincial se encuentra concentrado en 8
5878 bodegas integradas horizontalmente por propiedad hacia la producción. La
5879 infraestructura agroindustrial aumentó en los últimos años, intensificando la

5880 búsqueda de capacidad especializada en procesamiento y, en consecuencia, las
5881 oportunidades de empleo especializado son cada vez más recurrentes. Perfiles
5882 como ingenieros en mecatrónica, sistemas de datos, gestión y control de robots con
5883 inteligencia artificial son los más requeridos por las bodegas especializadas.

5884 En cuanto a la oferta de servicios que se requieren para la actividad, siguen siendo
5885 escasos en el territorio y se depende de insumos internacionales costosos por el
5886 tipo de cambio y presentan problemas logísticos; por este motivo las bodegas se
5887 incluyen dentro de los servicios necesarios, fomentando la concentración del sector
5888 y así las barreras de entrada al negocio son cada vez más elevadas con una
5889 demanda *per cápita* que sigue una tendencia negativa.

5890 Los proyectos individuales de integración prevalecen por sobre los proyectos
5891 colectivos, igualmente existe diálogo, cooperación, articulación y acuerdos entre los
5892 actores, especialmente en el sector privado. La Cámara vitivinícola de La Pampa ha
5893 tomado relevancia nacional, impulsada por grandes bodegas. La productividad de
5894 las tierras pampeanas, por sus características particulares y la disponibilidad de
5895 agua para riego, sigue en ascenso generando una ventaja comparativa para las
5896 bodegas.

5897 Se encuentran 400 hectáreas de producción provincial de vid, pero a nivel territorial
5898 el desarrollo es aún una utopía. La cantidad y calidad de agua disponible va en
5899 continua disminución en el territorio, pero la eficiencia en los sistemas de riego y
5900 obra de la represa Casa de Piedra permiten que la oferta sea todavía mayor a la
5901 demanda.

5902 Se incentivan políticas de financiamiento e inversión del sector privado a partir de la
5903 articulación de actores públicos y privados para PyMES vitivinícolas en todo el
5904 complejo haciendo foco en la producción primaria, pero se ha tenido poco éxito
5905 debido a la coordinación de precios en torno a las agroindustrias. En este punto, la
5906 bodega de fondos públicos provinciales de Casa de Piedra ha mantenido constante
5907 la producción, vinificación y comercialización de varios de los emprendedores
5908 provinciales.

5909 El complejo vitivinícola provincial está disperso territorialmente con muchas
5910 iniciativas individuales propiciadas desde diferentes localidades con marcada
5911 distancia física entre sí, sin coordinación y sinergias positivas. La falta de economías
5912 de escala y esfuerzos individuales aislados han condicionado muchos esfuerzos
5913 estatales que desestabilizan el rumbo de los proyectos políticos provinciales. El
5914 sector privado concentrado ha visto en La Pampa un territorio próspero para nuevos
5915 viñedos y vinos acordes con las demandas del mercado internacional, por lo que la
5916 mayor parte de la uva de La Pampa se procesa en provincias vecinas, con escaso
5917 valor agregado y desarrollo territorial provincial.

5918 Escenario 3: Pesimista “Se picó el vino argentino y por supuesto el pampeano”

5919 El desgaste de los accesos viales sin renovación planificada y los nulos servicios de
5920 conectividad y acceso a internet de la microrregión 10 siguen acrecentando la
5921 brecha entre el suroeste y noreste de la provincia de La Pampa. En este contexto,
5922 el complejo vitivinícola provincial se ha visto partido y desmembrado, dando por
5923 tierra todos los esfuerzos de políticas públicas que se habían desarrollado.

5924 El tipo de cambio elevado y la exorbitante dependencia de importaciones en torno
5925 a los insumos externos condicionan la competitividad y ralentiza la adaptación al
5926 cambio climático de las producciones de vid. La aparición de nuevas enfermedades
5927 que atacan a los cultivos, las deficiencias de nutrientes y agua se potencian con la
5928 falta de dispositivos claves para los sistemas de riego presurizados. La mano de
5929 obra especializada no existe en la zona, los jornaleros vienen de otras regiones del
5930 país a costos elevados y sin sentido de pertenencia. Los jóvenes de las localidades
5931 cercanas ven al sector como un generador de puestos de trabajo de baja calidad y
5932 mal pagados. Los costos laborales se acrecientan en búsqueda de atraer personas
5933 a la producción y agroindustria, sobre todo en las épocas de poda, cosecha e
5934 industrialización.

5935 Los procesos tecnológicos se convierten en una barrera de entrada importante,
5936 muchas bodegas han cerrado sus puertas por la falta de insumos, materiales y
5937 repuestos estratégicos. La caída del precio de los mercados internacionales de
5938 vinos desplomó las inversiones en infraestructura agropecuaria y agroindustrial,
5939 además de que aumentó la caída en el consumo *per cápita* del vino. También se
5940 produjo una migración de capitales, mano de obra y servicios conexos hacia otros
5941 negocios más atractivos. Es así como 60% de los viñedos e infraestructura
5942 agroindustrial provincial se encuentra abandonada, solo quedan en producción
5943 algunas hectáreas en Fincas del Duval y Casa de Piedra que mantienen el nivel de
5944 actividad produciendo vinos en Duval para el mercado local, lo cual también se
5945 encuentra en proceso de decrecimiento. En cuanto al incentivo hacia la actividad

5946 vitivinícola por parte de actores públicos ha desaparecido, volcándose a actividades
5947 más redituables y multiplicadoras. A causa de esto, la ruta del vino quedó como un
5948 proyecto trunco que ha perdido conexión provincial con gran parte de producciones
5949 nacionales.

5950 Las instalaciones de la bodega de Casa de Piedra se han transformado en una usina
5951 eléctrica de energía renovable (acopio de energía proveniente de paneles solares y
5952 eólica). Existe desarticulación entre los actores públicos y privados, la crisis del
5953 complejo ha generado fuertes cruces entre funcionarios públicos y el sector privado
5954 que llevó a la ruptura del diálogo en el complejo. La Cámara Vitivinícola de La
5955 Pampa se ha disuelto, se agudizan conflictos preexistentes con choques de
5956 intereses también entre los mismos actores privados.

5957 Sumado a lo anterior, el potencial productivo de vid en La Pampa se ha visto
5958 afectado por la falta de disponibilidad de agua para riego en el río Colorado con
5959 cupos y horarios estrictos en el riego y fuertes penalidades son aplicadas de modo
5960 continuo por el EPRC, lo que afecta las propiedades edáficas de los suelos con
5961 cada vez mayor riesgo de contaminación. La discontinuidad de políticas públicas
5962 sobre el complejo vitivinícola ha generado que el EPRC haya disminuido sus
5963 funciones a solo ser una autoridad de aplicación de la normativa vigente. La falta de
5964 inversión por parte de empresas vitivinícolas nacionales en La Pampa ha
5965 aumentado, el complejo vitivinícola provincial se encuentra marginal y convertido en
5966 un negocio de nicho.

5967 **Reflexiones finales**

5968 El presente capítulo pone en valor -bajo una mirada sistémica, prospectiva y
5969 competitiva- información primaria y secundaria sobre el pasado, presente y futuro
5970 del entramado vitivinícola de Argentina y de La Pampa. Los datos cuantitativos
5971 sumados a las perspectivas interesadas de actores clave permiten aportar nuevos
5972 conocimientos, contruidos socialmente, sobre posibles dinámicas de futuro. El
5973 análisis de funciones y relaciones comerciales facilita comprender de manera amplia
5974 y sistémica el negocio y su dinámica comercial. El mapeo de actores agrega
5975 cualificación al análisis y, en conjunto con su localización, lo sitúa desde una
5976 perspectiva más adaptada a las particularidades del complejo bajo estudio.

5977 La identificación de variables clave para el desempeño del entramado -
5978 interpretadas, clasificadas y analizadas desde la óptica de los actores clave- aporta
5979 ideas claras sobre los aspectos que son estratégicos para el futuro del complejo. El
5980 análisis de las intensidades y relaciones con los ODS, así como las hipótesis de
5981 futuro dan pie a la elaboración de tres escenarios posibles al año 2030 como
5982 optimista, tendencial y pesimista.

5983 La construcción de escenarios invita a reflexionar sobre el futuro del complejo
5984 vitivinícola en la provincia de La Pampa y la posibilidad de pensarlo de manera
5985 táctica y sostenible. Las redacciones, todas hipotéticas, abren un abanico de
5986 posibles acciones a llevar a cabo para la toma de decisiones públicas y privadas y
5987 permiten construir, por medio de las interpretaciones de las relaciones y dinámicas
5988 territoriales situadas en el complejo vitivinícola, estrategias y políticas que potencien
5989 su desempeño y aporten a la concreción de los ODS. Las decisiones estructurales

5990 y coyunturales, públicas y privadas deberían ir tras una sinergia compartida de
5991 mediano plano; así, la construcción de una agenda que construya y anticipe el futuro
5992 es clave.

5993 El desarrollo de imágenes de futuro permite construir miradas anticipatorias con
5994 variables propuestas y valoradas por los actores clave para construir desde hoy el
5995 futuro del complejo vitivinícola provincial. A futuro, desde posiciones situadas en
5996 intereses, recursos y capacidades, se deben plantear estrategias y políticas que
5997 permitan afrontar estos escenarios considerando amenazas y oportunidades
5998 potenciales para el desarrollo del complejo vitivinícola provincial y la concreción de
5999 los ODS a 2030.

6000 **Referencias**

6001 Aguilar Torrico, T., Papagno, S., Mariano, R., Vitale, J. y Aceituno, P. (2018). Hacia
6002 una prospectiva latinoamericana: Un abordaje desde lo agrícola y lo
6003 alimentario. *Revista de Estudios Políticos y Estratégicos*, 6(2): 188-196.

6004 Balestri, L. A. y Ferro Moreno, S. (2015). Estrategia, política y complejidad. 1a. ed.
6005 EdUNLPam. Libro de texto para estudiantes universitarios.
6006 [https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/101/lb-](https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/101/lb-balest015%7D.pdf?sequence=3)
6007 [balest015%7D.pdf?sequence=3](https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/101/lb-balest015%7D.pdf?sequence=3)

6008 Cabezón, S. (2019). Mercado vitivinícola en la Argentina contemporánea. Trabajo
6009 de investigación para optar por el título de Licenciado en Administración.
6010 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Económicas.

- 6011 Camarán, M. L., Barón, M. L., Rueda, S. M. P. (2019). La responsabilidad
6012 empresarial y los objetivos del desarrollo sostenible (ODS). *Revista Científica*
6013 *Teorías, Enfoques y Aplicaciones en las Ciencias Sociales*, 11(24): 41-52.
- 6014 CEPAL (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una
6015 oportunidad para América Latina y el Caribe.
- 6016 Conrado, S. (2020). Enoturismo en la Argentina: propuesta de valor para el
6017 desarrollo del enoturismo sustentable en bodegas Etchart, Cafayate, Salta,
6018 Argentina. Universidad Nacional de San Martín.
6019 <https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/1468/1/TMAG%20EEYN%202020%20CS.pdf>
6020
- 6021 Ericksen, P., Ingram, J. y Liverman, D. (2009). Food security and global
6022 environmental change: emerging challenges. *Environmental Science &*
6023 *Policy*, 12(4): 373–377.
- 6024 FAO (2018a). El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el
6025 2050. Versión resumida. Rome. 64 pp.
6026 [https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e2afea45-10be-](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e2afea45-10be-4cab-a7e2-36508e77461b/content)
6027 [4cab-a7e2-36508e77461b/content](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e2afea45-10be-4cab-a7e2-36508e77461b/content)
- 6028 FAO (2018b). Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS.
6029 Versión resumida. Rome. 76 pp.
6030 [https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/65e7524f-9f38-](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/65e7524f-9f38-4e3c-b98c-e25a45737800/content)
6031 [4e3c-b98c-e25a45737800/content](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/65e7524f-9f38-4e3c-b98c-e25a45737800/content)

- 6032 FAO (2021). Guidance on core indicators for agrifood systems – Measuring the
6033 private sector’s contribution to the Sustainable Development Goals. Rome.
6034 [https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9b51b308-c29c-](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9b51b308-c29c-4cf4-a43d-68cfdbeaddf/content)
6035 [4cf4-a43d-68cfdbeaddf/content](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9b51b308-c29c-4cf4-a43d-68cfdbeaddf/content)
- 6036 FECOVITA (2019). Informe de sustentabilidad 2019. [https://www.fecovita.com/wp-](https://www.fecovita.com/wp-content/uploads/2021/07/Informe_Sustentabilidad_2019.pdf)
6037 [content/uploads/2021/07/Informe_Sustentabilidad_2019.pdf](https://www.fecovita.com/wp-content/uploads/2021/07/Informe_Sustentabilidad_2019.pdf)
- 6038 Hernández, J. J. (2021). La promoción de la vitivinicultura argentina: seis décadas,
6039 una función, múltiples actores. *Mundo Agrario*, 22(50), 169.
- 6040 Instituto Nacional de Vitivinicultura (2022). Informe anual: Mercado interno de vinos.
- 6041 International Organisation of Vine and Wine -IOVW- (2022). Estadísticas mundiales
6042 del mercado del vino. <https://www.oiv.int/es/what-we-do/global-report?oiv>
- 6043 Intini, J., Jacq, E., Torres, D. (2019). Transformar los sistemas alimentarios para
6044 transformar los ODS. Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América
6045 Latina y el Caribe. FAO, 24 [https://openknowledge.fao.org/items/a0ff3364-](https://openknowledge.fao.org/items/a0ff3364-820d-4653-ab5b-23f7a52a65cd)
6046 [820d-4653-ab5b-23f7a52a65cd](https://openknowledge.fao.org/items/a0ff3364-820d-4653-ab5b-23f7a52a65cd)
- 6047 Mariano, R. (2020). Modelización económica, hídrica y energética en producciones
6048 agrícolas bajo riego de la cuenca del río Colorado en La Pampa. Tesis
6049 Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y
6050 Forestales.
- 6051 Mariano, R. y Ferro Moreno, S. (2020). Vigilancia e inteligencia prospectiva
6052 estratégica en tramas agroalimentarias de la provincia de La Pampa,

- 6053 Argentina; Universidad Tecnológica Metropolitana. Programa de Estudio de
6054 Políticas Públicas; *Revista de Estudios Políticos y Estratégicos*, 8(2), 68-91.
- 6055 Mariano, R., Papagno, S. y Vitale, J. (2022). Prospectiva en el sector agrícola y
6056 alimentario: Guía técnico-metodológica - 1a ed. -. Editorial de la Universidad
6057 Nacional de La Pampa. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/8368>
- 6058 Medina Vásquez, J. y Ortegón, E. (2006). Manual de Prospectiva y Decisión
6059 Estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe.
6060 Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social.
6061 Comisión Económica para América Latina, Serie Manuales, No. 51, Santiago
6062 de Chile.
- 6063 Medina Vásquez, J., Becerra, S. Y Castaño, P. (2014). Prospectiva y política pública
6064 para el cambio estructural en América Latina y el Caribe. Serie Manuales, N°
6065 129. Santiago de Chile: ILPES, CEPAL, Naciones Unidas.
6066 [https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec0f284f-db91-4c1c-](https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec0f284f-db91-4c1c-9f6e-c14285fc2d83/content)
6067 [9f6e-c14285fc2d83/content](https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec0f284f-db91-4c1c-9f6e-c14285fc2d83/content)
- 6068 Montesinos, R. y Cerdeño, M. (2020). Economía circular y Objetivos de Desarrollo
6069 Sostenible. *Distribución y Consumo*, 1, 70-75.
- 6070 Observatorio Vitivinícola Argentino OVA (2022). Estadísticas: Evolución del
6071 consumo per cápita en Argentina.
6072 [https://observatoriova.com/2019/09/evolucion-del-consumo-per-capita-en-](https://observatoriova.com/2019/09/evolucion-del-consumo-per-capita-en-argentina/interactivos/)
6073 [argentina/interactivos/](https://observatoriova.com/2019/09/evolucion-del-consumo-per-capita-en-argentina/interactivos/)
- 6074 Organización de las Naciones Unidas (2015). Agenda para el Desarrollo 2015-2030.

6075 Organización Internacional de la Vid y el Vino OIV (2022). Base de datos y
6076 estadísticas. <https://www.oiv.int/es/what-we-do/country-report?oiv>

6077 Papagno, S., Vitale, J. y Barrientos, M. J. (2021). La prospectiva como construcción
6078 social de futuros en los procesos de ordenamiento territorial. V Workshop de
6079 la red Iberoamericana de observación territorial.
6080 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

6085 Salas Zorrilla, J. y Farreras, V. (2021). ¿Avanzamos hacia una vitivinicultura
6086 sostenible? un estudio exploratorio de la industria del vino de Argentina.
6087 Estudios económicos, 39(79), 127–167.
6088 doi.org/10.52292/j.estudecon.2022.277

6089 Sánchez, E. (2020). Programa Nacional Frutales. Superficie ocupada por
6090 plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva.
6091 Ediciones INTA, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce.
6092 https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_e34988d58892d06dbc8c466da6bc85ac

6094 SEyC (Subsecretaria de Estadísticas y Censos de La Pampa). (2021). Anuario
6095 estadístico 2021. [https://estadistica.lapampa.gob.ar/anuario-estadistico-](https://estadistica.lapampa.gob.ar/anuario-estadistico-2021.html)
6096 [2021.html](https://estadistica.lapampa.gob.ar/anuario-estadistico-2021.html)

- 19
- 6097 Toro, P., García, A., Gómez-Castro, A., Perea, J. y Acero, R. (2010). Evaluación de
6098 la sustentabilidad en agroecosistemas. Revisión bibliográfica. *Archivos de*
6099 *Zootecnia*, 59 (R):71-94.
- 6100 Vieira, M., Ojer, M., Vitale, J., Ramet, E., Pescarmona, B. y Viard, J. (2022).
6101 Escenarios de la cadena del durazno para industria al año 2030. En Vieira et
6102 al. Duraznos para industria en Argentina: Prospectiva al 2030. Cap. 9, 139-
6103 149. [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/18263/viera-ojeryvitale-](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/18263/viera-ojeryvitale-duraznosparaindustriaenargentina.pdf)
6104 [duraznosparaindustriaenargentina.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/18263/viera-ojeryvitale-duraznosparaindustriaenargentina.pdf)
6105

6106 **Capítulo 12. Un futuro ecológico y socialmente responsable para el aguacate**

6107 **mexicano**

6108 Gisela Valdés Padilla, Mayra Karina Solís López y María de Lourdes Flores López

6109 **Resumen**

6110 Este capítulo tiene como objetivo discutir la importancia económica, social y
6111 ecológica de la producción de aguacate y la propuesta a partir de la prospectiva y
6112 la generación de escenarios futuros deseados de la producción ecológica y
6113 socialmente responsable de la producción de aguacate mexicano. Se presenta un
6114 panorama de producción del aguacate a nivel iberoamericano para centrarnos en
6115 describir el sistema de producción en México con sus implicaciones económicas,
6116 sociales y ecológicas. Se finaliza con la propuesta prospectiva y a partir de la
6117 generación de escenarios deseados que involucra atención de política pública para
6118 la transformación desde los movimientos de la soberanía y autonomía alimentaria
6119 donde las huertas aguacateras son espacios agroecológicos que genera empleo
6120 digno, sin riesgos para la salud humana y se preserva la agricultura regenerativa,
6121 un balance con el mercado mundial y de exportación que favorece la salud
6122 planetaria basado en un rediseño de producción, distribución así como de
6123 transformación del consumo responsable y solidario.

6124 **Palabras clave:** Producción de aguacate, prospectiva, México.

6125 **Introducción**

6126 El aguacate o palta es un fruto verdoso de piel fina o gruesa, rico en proteínas y
6127 grasas, que se cultiva en las regiones de clima templado subhúmedo y semicálido

6128 subhúmedo con un rango óptimo de temperatura de 10 a 35°C. Su cultivo puede
6129 establecerse en temporal o riego, en altitudes que van de los 800 a los 2,500 metros
6130 sobre el nivel del mar y en una gran diversidad de suelos con buen drenaje
6131 (SAGARPA, 2017). La diversidad genética del aguacate ha sido agrupada en las
6132 razas Mexicana, Guatemalteca y Antillana o de las tierras bajas, de las cuales se
6133 derivan más de 19 variedades distintas; además, la alta polinización cruzada de la
6134 planta facilita la obtención de híbridos entre razas, lo que ha permitido la generación
6135 de las variedades *Booth 8*, *Choquette* y *Collinson* entre otras (Bernal y Díaz, 2005).
6136 Se trata de un excelente alimento rico en nutrientes, antioxidantes y también ácidos
6137 grasos monoinsaturados cuyo consumo está asociado a la disminución de factores
6138 de riesgo cardiovascular (Vivero *et al.*, 2019); además, el aceite de aguacate es
6139 utilizado ampliamente en la industria farmacéutica y cosmética (Pérez *et al.*, 2005).
6140 En el mercado internacional la oferta de aguacate se ha ido incrementado en los
6141 últimos cuarenta años. En Iberoamérica, 18 países producen el fruto, encabezados
6142 por México que es el principal productor no solo en esta región sino también a nivel
6143 mundial.
6144 Gran parte de la producción de aguacate proviene de pequeños productores,
6145 quienes lo cultivan en 27,712 huertos menores a 10 hectáreas (SADER, 2020). La
6146 comercialización del producto está orientada a mercados nacionales e
6147 internacionales en donde las empresas agroexportadoras cumplen el papel de
6148 mediadoras en la cadena productiva, obteniendo la mayor parte de la ganancia sin
6149 considerar cumplir con las cuotas establecidas en la agricultura, por el contrario,

6150 muchas veces el proceso involucra injusticias sociales como el trabajo infantil. El
6151 impacto de esta actividad también ha sido aprovechado por los grupos criminales
6152 de la zona a través del control de la comercialización de cultivos mediante el cobro
6153 de renta, situación que afecta directamente a los productores (Fuentes, 2015).

6154 La demanda y producción generalizada de esta fruta ha ocasionado la destrucción
6155 de los ecosistemas forestales y un efecto sobre el calentamiento de la tierra. En el
6156 medio ambiente esas alteraciones se han reflejado en la pérdida de bosques por
6157 deforestación debido al cambio de uso de suelo y al cultivo de aguacate clandestino,
6158 lo que afecta el hábitat de cientos de especies biológicas, entre las que destaca la
6159 mariposa monarca (*Danaus plexippus*) emblemática de México (SEMARNAT,
6160 2019).

6161 Otros de los efectos causados por lo anterior, son la baja calidad de suelos por
6162 exceso de fertilización y la contaminación del agua por el uso indiscriminado de
6163 plaguicidas (García, 2020). Lo anterior evidencia la necesidad de una normativa y
6164 un control a escala nacional e internacional en la cadena productiva del aguacate;
6165 es decir, se debe pensar y rediseñar otro futuro para este cultivo y los múltiples
6166 aspectos sociales, ambientales y culturales que, además de los económicos,
6167 involucraría el manejo responsable de su sistema productivo.

6168 **Producción del aguacate en Iberoamérica**

6169 En Iberoamérica, la superficie sembrada de aguacate en 2020 alcanzó las 500,805
6170 hectáreas con una producción de 5,522,942 toneladas. México encabezó la lista en
6171 ambos casos con 224,422 ha y 2,393,849 t respectivamente (FAO, 2020). El Cuadro

6172 1 muestra los 5 países iberoamericanos más importantes en estos rubros por debajo
 6173 de México, entre los que destacan Colombia con 78,578 ha, Perú con 50,605 ha,
 6174 República Dominicana con 43,129 ha y Chile con 30,143 ha; con una superficie
 6175 menor se encuentran países como Brasil, España, Guatemala, Venezuela, Ecuador,
 6176 entre otros.

6177 En términos de productividad, México produjo casi la mitad del total de aguacate en
 6178 esta región, seguido por Colombia con 876,754 t, República Dominicana, 676,373
 6179 t; Perú, 660,003 t y Brasil, 266,784 t (FAO, 2020). En la mayoría de estos países la
 6180 variedad que más se produce es la Hass debido a su gran fortaleza ante los cambios
 6181 climáticos, la calidad de su fruto y su resistencia al manejo postcosecha (Gallo y
 6182 Suarez, 2020; CEDRSSA, 2017).

6183 Cuadro 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	Fuerte, Hass, Zutano, Ettiinger,	Variedad cáscara verde Semil-34.	Hass, Fuerte, Negra de la Cruz,	Breda, Fortuna, Quintal, Margarida,

	(ecotipos cebo, leche y manteco) y aguacate papelillo, mezcla entre ambas Variedades: la Lorena, Trinidad, Booth-8, Fuerte, Trapo, Santana, Colinred y Ettinger	Nabal y Criolla	Junio hasta agosto- septiembre variedad criolla, Simmonds y Boot en zonas menores a 400 m.s.n.m., de septiembre- octubre a febrero marzo vaiedad Hass en zonas mayores a los 400 m.s.n.m.	Bacon, Edranol, Raza mexicana, Esther	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 Moqueg ua, Arequip a, Tacna, Apurima c y Huánuc o	Padre Las Casas, Guayabal, Las Lagunas, La Siembra, Moca, Provincia Espaillat, Cambita y Provincia San Cristóbal	Regiones de Coquimbo, Valaparais o, Metropolit an, O'Higgins (comunas de Peumo, Las Cabras, San Vicente de Tagua Tagua y Pichidegu a	Sao Paulo, Minas Gerais, Paraña, Campinas, Ribeirão Preto y Bauru
-----------------	---	--	--	---	--

6184 Fuente: Elaboración propia con base en Fao (2020); Bedoya y Julca (2020);

6185 Cuevas (2007); Gómez (2010); Beya *et al.*, (2021); Guevara *et al.*, (2021); Lemus

6186 *et al.*, (2010); CEAGESP (2015); CeIRD (s/f) Alves (2015); Fresh Plaza (2018).

6187 **Manejo técnico del aguacate en los principales países productores de**

6188 **Iberoamérica**

6189 En Colombia, en los departamentos de Sucre y Bolívar, el aguacate se produce de
6190 manera espontánea sin técnicas apropiadas de siembra y poda, así como
6191 fertilización mínima o nula, no obstante, en el departamento de Huila existen
6192 alrededor de 365 predios certificados en buenas prácticas agrícolas, es decir,
6193 métodos que permiten a los agricultores desarrollar criterios de calidad e inocuidad
6194 para proteger su salud y la del consumidor (González, *et al.*, 2018; Instituto
6195 Colombiano Agropecuario, 2021).

6196 Por su parte, en Perú se destaca el departamento de Moquegua, ya que un pequeño
6197 porcentaje de la producción (15%) es de tipo orgánica (Bedoya y Julca, 2020). En
6198 República Dominicana destaca la siembra de aguacate organizada, cultivos mixtos
6199 y los cultivares criollos como sombra en los cafetales en la mayoría de los casos
6200 (CEDAF, 2000). Existe una asociación de cultivos (frutales, cultivos y forestales),
6201 donde los agricultores llevan a cabo prácticas de conservación de suelo mediante
6202 el uso de barreras vivas y muertas, así como zanjas de contorno de desperdicios
6203 (Cuevas, 2007). En Brasil, el método de propagación más usado es el injerto por
6204 enchape o hendidura (Freire *et al.*, 2018).

6205 Estas son solo algunas de las prácticas culturales del aguacate llevadas a cabo en
6206 los países con mayor producción en la región; sin embargo, el ritmo acelerado con
6207 el que se ha ido incrementando este cultivo pone de manifiesto la necesidad de
6208 generar mayor conocimiento no solo en el aspecto técnico para mejorar la

6209 producción, sino también en las dimensiones sociales, ambientales, políticas y
6210 económicas.

6211 **Sistemas de producción de aguacate mexicano**

6212 En el campo mexicano se producen principalmente las variedades Hass, Criollo y
6213 Fuerte. El principal productor de aguacate es el estado de Michoacán ubicado en la
6214 región Centro –Occidente que aporta 75.2% ¹² de la producción total, seguido por los
6215 estados de Jalisco y estado de México con 10.2% y 4.9% respectivamente (SIAP,
6216 2021a). Las entidades de Nayarit, Morelos, Guerrero, Puebla, Chiapas, Oaxaca y
6217 Yucatán también contribuyen en un porcentaje menor a la producción nacional de
6218 aguacate. El cuadro 2 muestra algunos de los municipios productores de aguacate
6219 por estado.

6220 En relación con este cultivo cabe señalar que ¹⁴ 88.31% de la superficie se encuentra
6221 mecanizada, 82.34% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal; 76.65%
6222 de la superficie sembrada contó con asistencia técnica y 45.98% de la producción
6223 es de modalidad de riego (SAGARPA, 2017).

6224 Cuadro 2. Principales municipios mexicanos productores de aguacate

Estado	Municipio
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, Tepexi de Rodríguez
Chiapas	Trinitaria, Zinacatán, Teopisca ⁵⁴ 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 ⁵⁴ Motozintla, Bella Vista, Bejuical de Ocampo, Amatenango de la Frontera, La Grandeza, Mazapa de Madero y Siltepec

6225 Fuente: Elaboración propia con base en IIEG (2020); SIAP (2021b); Servicio
6226 Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2021); SADER (2016 y
6227 2019).

6228 En México existen diversos tipos de productores de aguacate que se diferencian
6229 según los canales de comercialización que utilizan, el tipo y tamaño de la
6230 explotación, tipo de propiedad, las características sociodemográficas, las prácticas
6231 culturales, el impacto ecológico que producen, entre otros.

6232 En Michoacán, el estado más importante en producción a nivel nacional, Burgos *et*
6233 *al.*, (2012) realizaron un estudio que consistió en desarrollar ⁵ una tipología de
6234 productores basada en el impacto ecológico potencial de sus modos de manejo de
6235 huerto. En los municipios de la llamada “franja aguacatera” se identificó la

6236 prevalencia de productores de tipo III y IV. Los primeros se caracterizan por un nivel
6237 que va de moderado a alto impacto ecológico en biodiversidad y contaminación,
6238 principalmente, pueden ser o no exportadores, orgánicos o convencionales, pero
6239 utilizan pesticidas y fertilizantes sintéticos y no llevan a cabo prácticas de
6240 conservación de diversidad arbórea.

6241 El tipo IV, además de las características mencionadas en el tipo III, presentan
6242 deficiencias en los sistemas de conducción y aplicación de agua, lo que genera un
6243 consumo excesivo del recurso; además de que las características físicas de los
6244 huertos como la alta inclinación de la pendiente origina problemas de erosión, los
6245 cuales no son mitigados adecuadamente. Cabe destacar que en esta región
6246 participan aproximadamente 40 mil productores que generan alrededor de 100 mil
6247 empleos a nivel de huertas, destacándose la producción primaria llevada a cabo por
6248 pequeños productores que poseen menos de 5 hectáreas de tierra (Sánchez y
6249 Sánchez, 2021).

6250 En el estado de México se destaca la presencia de dos tipos de productores de
6251 aguacate, aquellos que lo venden a las centrales de abasto y los que lo comercian
6252 a la orilla de la carretera. Se distinguen productores grandes, medianos y pequeños
6253 de acuerdo con el tamaño de las explotaciones que va de una hasta 85 ha
6254 (Sangerman *et al.*, 2014).

6255 En la mayoría de los casos se ha identificado que los productores poseen un bajo
6256 nivel de tecnificación y requieren de programas de transferencia de tecnología y
6257 capacitación continua para mejorar la producción y minimizar los riesgos del

6258 sistema-producto, así como el potencial de contaminación. En cuanto a este último
6259 punto, la entrega de la guía de corte para la obtención de la Constancia de Origen
6260 de Productos Regulados Fitosanitariamente es un requisito indispensable para los
6261 productores exportadores porque garantiza el uso regulado de agroquímicos; la
6262 generalización de esta medida entre productores no exportadores podría reducir el
6263 potencial de contaminación en las regiones productoras (Sangerman *et al.*, 2014;
6264 Nataren *et al.*, 2020; Rojas-Pérez *et al.*, 2022).

6265 En la misma línea, otra de las alternativas que va tomando fuerza, aunque a un ritmo
6266 más lento, es la agricultura orgánica, definida como el sistema agrícola que conlleva
6267 la producción ecológica de alimentos y fibras, dándole énfasis a la fertilidad del
6268 suelo, respetando los ciclos biológicos naturales y evitando los agrotóxicos. En este
6269 sentido, a nivel nacional, Michoacán es el estado con mayor número de municipios
6270 con superficie orgánica destinada al cultivo de aguacate y el tercero por superficie
6271 orgánica sembrada, ocupando 12% del total de hectáreas certificadas bajo la Ley
6272 de Productos Orgánicos (Delfín *et al.*, 2018).

6273 Entre los desafíos y las limitaciones que encara este tipo de producción, están las
6274 de tipo económico, ya que la falta de recursos y de financiamiento es un factor
6275 determinante para que los productores se incorporen y sean certificados como
6276 producción orgánica. La falta de asistencia técnica y capacitación es otro de los
6277 obstáculos que enfrentan y que les impide hacer la reconversión de sus sistemas
6278 productivos (Schwentenius *et al.*, 2014).

6279 En las plantaciones de aguacate, las prácticas agroecológicas suceden también
6280 como una opción capaz de incrementar los beneficios económicos y reducir los
6281 riesgos ambientales y económicos que se presentan en la agricultura convencional,
6282 conservando el equilibrio ecológico de los sistemas productivos (Montiel *et al.*,
6283 2008). A diferencia de la agricultura orgánica, la agroecología cuestiona todas las
6284 bases del sistema agroalimentario convencional y estudia de forma holística los
6285 agroecosistemas, incluyendo las interacciones con el ambiente y el ser humano;
6286 bajo este enfoque, los ecosistemas agrícolas, los ciclos minerales, el flujo de
6287 energía, los procesos biológicos y la dimensión socioeconómica son considerados
6288 como un todo (Altieri, 2009; Le Coq *et al.*, 2018).

6289 **La prospectiva y la generación de escenarios**

6290 Existe una tendencia social y cultural que está cuestionando el sistema capitalista y
6291 agroindustrial de producción de alimentos, y es desde esta oportunidad que se
6292 replantean prácticas y concepciones en torno a la tierra, al alimento y a la vida
6293 misma en su conjunto. La prospectiva crítica latinoamericana apuesta a la
6294 recuperación y regeneración de los territorios bioculturales persigue las autonomías
6295 alimentarias de organización y gobernanza, y procura diseñar otros futuros
6296 alternativos al modelo capitalista y patriarcal. La metodología y el campo de
6297 conocimiento de la prospectiva permiten anticiparnos con el fin de repensar las
6298 acciones y redirigirlas. La prospectiva sería entonces una práctica de intervención
6299 social que busca planear los futuros que deseamos tener.

6300 Con el propósito de razonar y pensar sobre posibles futuros es necesario plantear
6301 caminos epistemológicos y metodológicos basados en casos concretos. La
6302 prospectiva que elaboramos desde este fundamento epistémico busca hacerle
6303 frente al negocio y a la mercantilización de los alimentos. La metodología
6304 prospectivista nos permite plantear y generar escenarios posibles para el rediseño
6305 del sistema de la producción y el consumo del aguacate. La base que sustenta
6306 dichas perspectivas está fundamentada en planteamientos anticapitalistas,
6307 antipatriarcales a favor de la vida y del tejido biosocial para el futuro de la especie
6308 humana.

6309 El futuro como estado del porvenir se construye; como prospectivistas nos
6310 enfocamos en explorar, imaginar y diseñar la futuridad impulsando acciones
6311 metodológicamente para producir las posibilidades imaginadas y deseadas. En este
6312 caso, nos centramos en las realidades emergentes de las granjas y huertos
6313 impulsores del cambio en la manera de producir el aguacate, cuidar los recursos y
6314 regenerar los ecosistemas.

6315 El área de la producción de alimentos atraviesa todas las esferas de la vida que van
6316 desde el conocimiento de la bioquímica del suelo hasta el entendimiento de las
6317 economías locales y los mercados internacionales, desde el conocimiento ancestral
6318 del uso de las semillas hasta el manejo de la pluralidad tecnológica para aprovechar
6319 los recursos, etcétera. Por esto, el hacer prospectiva en esta área exige de un
6320 pensamiento transdisciplinario para inspirar pensamientos multicausales y visiones
6321 alternativas que permitan proyectar futuros que contemplen la complejidad de las

6322 problemáticas, pero sobre todo las soluciones y respuestas ante las necesidades
6323 de cambio y el mejoramiento de la salud humana y planetaria.

6324 Para nuestro estudio prospectivo sobre la producción de aguacate en México
6325 planteamos un escenario ideal alternativo basado e inspirado en prácticas que se
6326 llevan a cabo, en nuestro caso, en una huerta aguacatera en Jalisco, así como de
6327 otros casos mexicanos e iberoamericanos que resisten, luchan y crean otros
6328 modelos al agro hegemónico que ha fracasado en proveer de alimentos sanos a la
6329 población y que provoca la crisis ambiental, climática, de salud y de nutrición, así
6330 como injusticia y hambre.

6331 El análisis prospectivo apela a la inteligencia colectiva para diseñar y edificar el
6332 futuro, se trata de un proceso de construcción de conocimiento contextualizado que
6333 incluye a la sociedad civil organizada, a los expertos, los saberes que han resistido
6334 a los epistemicidios y al capitalismo. La segunda etapa de análisis prospectivo son
6335 las articulaciones y sinergias entre actores, instituciones e instancias para el diseño
6336 de oportunidades e innovaciones; todas aquellas colaboraciones que se necesitan
6337 fomentar con la finalidad de llevar a cabo las transformaciones. Ahora bien, la tercera
6338 etapa del proceso metodológico es el diseño de estrategias para lograr el futuro
6339 deseable.

6340 Se busca imaginar el mejor futuro ambiental y social para la producción y consumo
6341 del aguacate mexicano. En este trabajo iniciaremos con la narrativa en presente del
6342 escenario ideal, lo cual permite también deconstruir los futuros naturalizados y abrir

6343 espacio al diálogo y a la acción en la construcción de otros imaginarios y en la
6344 generación de nuevos horizontes.

6345 Esto es, en la prospectiva, para la descripción de escenarios y la planificación
6346 partimos de la vivencia y experiencia de la tendencia y avances en materia
6347 legislativa y marcos normativos en nuestro país, tales como aquellos acuerdos y
6348 compromisos firmados por el gobierno con organizaciones internacionales que
6349 tienen que ver con una perspectiva de derechos humanos con el fin de ⁴⁴mejorar la
6350 producción, distribución, acceso, comercialización, consumo de alimentos
6351 saludables y sostenibles, así como la reducción de su pérdida y desperdicio. De la
6352 misma manera, el compromiso del Estado es proteger los recursos naturales para
6353 evitar su acaparamiento y contaminación, dirigir las acciones a favorecer el
6354 aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, y también apoyar a la agricultura
6355 familiar o de pequeña y mediana escala en la producción agroecológica.

6356 A continuación, se explicarán, en modo narrativo, las proyecciones de otro
6357 escenario futuro para el aguacate mexicano. Habremos de puntualizar que para los
6358 análisis prospectivos es preciso situarse en los propios territorios con sus
6359 problemáticas y luchas específicas por un mejor futuro.

6360 **Escenario ideal del aguacate mexicano. Narrativa futura contada en presente**

6361 De acuerdo con la complejidad del tema sobre la producción agroalimentaria
6362 presentamos una narración de lo que sería el escenario ideal, basado en el
6363 constructo colectivo y las tendencias que hemos registrado y sistematizado en ⁷¹la
6364 investigación titulada: *Prospección sobre la reconfiguración de los sistemas*

6365 *alimentarios a partir de soberanía, derecho humano y justicia alimentaria fortalecida*

6366 *por una política alimentaria fundamentada en justicia social,*⁴ y en donde se ha

6367 pensado colectivamente en el futuro alimentario de nuestro país.

6368 Es el año de 2033 y en México las huertas de aguacate dejaron de ser un

6369 monocultivo y un conflicto social y ambiental tras revalorar la importancia de

6370 transformar la manera de producir este preciado fruto que deja importantes ganancias

6371 a nivel nacional. Como parte del programa impulsado por productores responsables

6372 y organizados se exigió al gobierno cambiar las políticas e incentivar la conversión

6373 de huertas de aguacates en comunidades de aprendizaje y trabajo, en donde se

6374 regenera el suelo, se comparten conocimientos, se hace comunidad y se genera

6375 empleo digno y sin riesgos a la salud humana. Gracias a la planificación territorial y

6376 al reparto de las tierras, muchas familias rurales, población neorrural, mujeres y

6377 jóvenes pudieron acceder a un territorio con el fin de hacer crecer el patrimonio

6378 agroecológico mexicano.

6379 Gracias a la ⁴⁴ política de seguridad y soberanía alimentaria que prioriza los derechos

6380 constitucionales a un medio ambiente sano, a la salud, la alimentación y el territorio,

6381 las huertas de aguacates se convirtieron en espacios en donde podemos ver a las

6382 familias viviendo en comunidad digna y autosustentable, ya que el comercio

6383 aguacatero es sumamente generoso, además del valor añadido de que los

⁴ Proyecto financiado por CONACYT Ciencia Básica y Frontera. Modalidad Paradigmas de Ciencia. No. 319222.

6384 consumidores lo reconocen gracias a la trazabilidad de responsabilidad social y
6385 ambiental en la producción del fruto.

6386 Las huertas aguacateras en México se han convertido en granjas agroecológicas y
6387 de agricultura regenerativa ⁵ que cuidan **la materia orgánica y la biodiversidad del**
6388 **suelo con el propósito de revertir los efectos generados por el calentamiento global.**

6389 Los agroquímicos han sido sustituidos, dando paso a productos elaborados por la
6390 red de productores conocedores de los suelos locales y de las necesidades
6391 nutricionales de las huertas. Así también el conocimiento agroecológico incentiva a
6392 convertir las huertas en un paraíso para los polinizadores, y así la riqueza de tener
6393 una variedad de cultivos que equilibra y regenera el ecosistema, además de aportar
6394 variedad de alimentos sanos y nutritivos para las familias que intercambian sus
6395 productos de manera local y los excedentes se posicionan en el mercado nacional.

6396 La epistemología que sustenta el conocimiento por el cuidado del suelo tiene que
6397 ver con las concepciones originarias de que la tierra es sagrada y es preciso cuidarle
6398 y regresarle algo de lo mucho que nos da. La práctica del cuidado y regeneración
6399 de los suelos en las huertas se trabajan con la cubierta permanente, con composta
6400 y mantillo. Esta técnica mantiene el suelo vivo y húmedo, además de la gran
6401 importancia que representa el uso racional del agua. Así también, el manejo de
6402 plagas se da por los conocimientos del control biológico, colocando
6403 estratégicamente hileras de flores para atraer depredadores útiles o liberando a

⁵ Es un sistema integral para aprovechar el poder de la biología del suelo y de la diversificación de los cultivos, y así reconstruir la materia orgánica del suelo, mejorar la retención del agua y la generación y absorción de nutrientes.

6404 depredadores cuando hay infestaciones. Por lo general, las enfermedades y los
6405 hongos dañinos de los árboles de las huertas aguacateras se están tratando con
6406 homeopatía, teniendo éxito en su erradicación. De esta manera, los saberes
6407 originarios en torno al riego y la poda siguen los ciclos lunares y son puestos a
6408 prueba con éxito en las huertas.

6409 Las tecnologías agroecológicas⁶ de las huertas son económicamente más viables,
6410 ya que se sustentan de los recursos locales. La agroecología ha cambiado la
6411 relación campo-ciudad en nuestro país pues ahora se busca la producción de
6412 alimentos más sanos y se reconoce la participación de los consumidores en esta
6413 labor, por lo tanto, su intervención es entusiasta y activa; además, las granjas tienen
6414 programas de trabajo voluntario en donde asisten para aprender y vivir la
6415 experiencia formativa y de comunidad que se ofrece en ellas. Las mujeres, las
6416 infancias, los jóvenes, la diversidad sexo-genérica son protagonistas en las granjas
6417 agroecológicas, practicando y difundiendo esta nueva y antigua manera de cultivar
6418 la tierra, obtener frutos con alto valor nutrimental y ser autosuficientes.

6419 La distribución del aguacate se da por los mismos productores organizados que han
6420 puesto sus propias reglas y precios en un mercado local y global, así los pocos
6421 intermediarios son solidarios y ayudan a comercializar tanto el aguacate y los frutos
6422 excedentes, como los agro-insumos. El gobierno ha organizado esquemas

⁶ Manejo del hábitat y uso de policultivos, la elaboración de composta, la incorporación de residuos de animales y cosechas, la selección y conservación de semillas.

6423 igualitarios para la exportación de aguacate, promoviendo el comercio, protegiendo
6424 a los pequeños agricultores y brindando acceso y oportunidades a las mujeres en
6425 todas las etapas, incluida la transacción comercial. Los acuerdos comerciales en los
6426 que participa México se sustentan en la base del respeto a los derechos humanos
6427 y mantienen el compromiso de flexibilizar las normas laborales, de salud y seguridad
6428 en el trabajo agrícola.

6429 Desde la estructura gubernamental se han modificado los mecanismos que
6430 obstaculizaban la disponibilidad y acceso de alimentos saludables y sostenibles,
6431 haciendo con esto que los trámites de reglamentación sean accesibles para todos
6432 los productores, y así fomentando e incentivando a través de las compras públicas
6433 que se dan en los diferentes estados. La nueva política mexicana, de la misma
6434 manera en que ha podido ⁴⁴ incentivar la producción agroecológica, ha regulado el
6435 comercio para privilegiar los derechos humanos por encima de los intereses
6436 comerciales. En cuanto a desastres y catástrofes, los propios propietarios de las
6437 huertas se han asegurado con el fondo que otorga el gobierno, lo que garantiza su
6438 inversión en caso de pérdida de la cosecha.

6439 El movimiento por la soberanía alimentaria de nuestro país y la demanda de
6440 alimentos sanos y nutritivos en años anteriores provocó que ahora la conciencia
6441 alimentaria se propusiera como eje transversal para las Estrategias Nacionales
6442 Mexicanas de Alimentación, Salud y Medio Ambiente, realizando acciones de
6443 cambio en hábitos y concepciones de todo el espectro de la población en torno al
6444 alimento y a la salud.

6445 Para este viraje en la producción del aguacate en nuestro país se necesitaron de
6446 varias sinergias entre instituciones que finalmente diluyeron sus conflictos de
6447 intereses políticos y económicos. El conocimiento transdisciplinario imperó, lo cual
6448 ha provocado que se reconozcan todos los saberes, comprobándose y
6449 perfeccionándose en cada territorio. Las y los expertos académicos han hecho de
6450 las huertas sus aulas en diálogo con los productores. La labor de las organizaciones
6451 civiles ha cobrado sus frutos al lograr que un gran porcentaje de la población civil
6452 esté interesada en dedicar su tiempo y su convivencia en la huerta como voluntarios
6453 y aprendices, obteniendo alimento sano como retribución. El papel del gobierno ha
6454 sido crucial, ya que ha respondido a las demandas de la población con programas
6455 de apoyo productivo, seguros contra desastres, incentivos económicos y facilidades
6456 en infraestructura de riego y de comunicación que han permitido prosperar a las
6457 granjas y huertos.

6458 En cuanto al mercado mundial y a las exportaciones, los huertos lograron su
6459 certificación orgánica internacional, ya que no se emplean productos químicos en
6460 los cultivos, se cuida la selección del fruto, la ¹⁰⁴ aplicación de materias orgánicas como
6461 abonos, el control natural de plagas y el uso racional de agua. Las huertas
6462 organizadas se han favorecido con los tratamientos cuarentenarios, y los
6463 certificados sanitarios y fitosanitarios cumplen con las regulaciones exigidas por el
6464 mercado europeo para contar con el permiso de exportación.

6465 El papel del Estado es relevante al obedecer el carácter colectivo de las propuestas
6466 ciudadanas a favor de la salud y la vida, al permitir la construcción de alianzas pluri-

6467 sectoriales con enfoque participativo en la creación de los indicadores; salvaguardar
6468 la biodiversidad y la salud para evaluar y tomar las decisiones pertinentes de
6469 planificación territorial y desarrollo local.

6470 **Discusión**

6471 La producción del aguacate ha traído consigo una serie de problemáticas complejas
6472 que aluden a las consecuencias adversas no solo para la salud humana, sino
6473 también para el ambiente. En Iberoamérica, esta producción se caracteriza por
6474 realizarse en países que cuentan con un acervo importante de capital natural,
6475 situación que representa un reto mucho más complejo para la gestión de este
6476 sistema productivo. La vorágine de su producción se sustenta en gran medida en
6477 los beneficios nutricionales contenidos en este fruto que es rico en antioxidantes y
6478 ácidos grasos monoinsaturados. La relevancia del incremento en el consumo del
6479 aguacate y otros alimentos altamente nutritivos como algunas hortalizas, frutos
6480 rojos, entre otros se basa, justamente, en los beneficios nutricionales y de salud que
6481 aportan.

6482 La tendencia al consumo de alimentos que contrarresten los problemas de salud
6483 generados por la dieta altamente calórica y nutricionalmente pobre ha generado la
6484 demanda de alimentos considerados como altamente saludables. El incremento de
6485 este fruto con un potencial amplio en su consumo se insertó en la dinámica de
6486 comercio global donde convergen, por un lado, el tema de salud vinculado a la
6487 pandemia de obesidad y, además, con la producción de alimentos considerados
6488 estratégicos en términos de su valor comercial.

6489 La producción del aguacate en nuestro país se configuró como elemento clave y
6490 disparador del componente económico asociado a la producción para la
6491 exportación. Datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y
6492 Pecuarias (INIFAP, 2022) estiman al aguacate como el tercer producto exportable,
6493 detrás del jitomate y la cerveza. Somos considerados como el primer productor a
6494 nivel mundial, con una producción de 43% que equivale a una cosecha de 216 mil
6495 hectáreas. Los principales mercados de exportación son Estados Unidos, Israel,
6496 Francia, Inglaterra, Canadá y Japón; el principal comprador de aguacate mexicano
6497 con un 76% de importaciones es Estados Unidos con un equivalente a más de 2,400
6498 millones de dólares (SIAVI. 2022).

6499 Esta dinámica forma parte de la expansión del modelo agroalimentario, originado
6500 como parte de las políticas neoliberales que concibe al alimento como negocio,
6501 incorporan paquetes tecnológicos con semillas patentadas generando dependencia
6502 de estos insumos y favorecidos por los tratados comerciales, ¹⁰¹ en el caso de la firma
6503 del Tratado de Libre Comercio de América del Norte a la fecha, el valor del aguacate
6504 mexicano se ha incrementado en más de 455% (Cruz-López *et al.*, 2022). Por otro
6505 lado, se desarticularon los procesos territoriales de autonomía, autosuficiencia
6506 alimentaria, manejo agrícola y uso de recursos naturales, modificando
6507 sustantivamente la producción agrícola en las regiones agrarias de nuestro país.

6508 En México, los principales productores de aguacate, como ya se mencionó, son los
6509 estados de Michoacán, que aporta 75.2% de la producción nacional, seguido por
6510 los estados de Jalisco y estado de México. En estas entidades, particularmente en

6511 el caso de Michoacán y Jalisco, la producción de este fruto se constituyó como un
6512 elemento disparador de tensiones sociales por la tenencia de la tierra, despojo de
6513 los territorios a través de procesos de venta desventajosos para los ejidatarios o a
6514 través de la renta de parcelas. La Red de Ambientalistas de Michoacán (REDAM)
6515 señala que 80% de las huertas ⁸⁹ se han instalado ilegalmente, no cuentan con
6516 autorización de cambio de uso de suelo forestal ni de impacto ambiental.

6517 Ahora bien, en cuanto al recurso hídrico, además de otros problemas relacionados
6518 con él y el impacto ambiental que genera el uso de agroquímicos en los suelos y
6519 mantos freáticos, según Anguiano *et al.*, (2003), el requerimiento de agua va de 850
6520 a 1500 litros por kilogramo, dependiendo de las condiciones climáticas y de
6521 precipitación fluvial. La demanda hídrica ha generado el desvío de agua de arroyos,
6522 manantiales y cauces naturales, y muchas veces se capta el líquido en ollas de agua
6523 y con esa cantidad se riegan superficies de más de dos hectáreas. Estas prácticas
6524 evidencian la falta de ordenamiento de los recursos hídricos, limitaciones y
6525 sanciones (REDAM, 2022).

6526 La transformación del escenario productivo actual al escenario futuro propuesto que
6527 enfrente los fenómenos señalados con anterioridad requieren de una política pública
6528 que reconozca la complejidad y diversidad de condiciones locales; que incentive la
6529 producción agroecológica a través de la construcción participativa y la difusión local
6530 del conocimiento de prácticas culturales asociadas al cultivo de aguacate. Para esto
6531 se requiere la creación de instrumentos coordinados entre las dependencias
6532 públicas involucradas que promuevan la agroecología.

6533 Le Coq *et al.*, (2018) destacan a continuación como mecanismos de gestión del
6534 conocimiento y acceso a los recursos los siguientes: la promoción de intercambios
6535 horizontales del conocimiento; la valorización de técnicas tradicionales como el
6536 sistema milpa y la chinampa; la promoción de redes territoriales de conocimiento
6537 agroecológico; así como las acciones que faciliten el acceso al crédito y también a
6538 los activos productivos de la tierra y el agua.

6539 Los instrumentos de acceso a los mercados, identificados por estos autores,
6540 consisten en la certificación orgánica participativa, el fomento de los circuitos cortos
6541 a través de ferias, cooperativas de consumidores y compras públicas orientadas a
6542 los productores agroecológicos. En lo referente a la exportación, se requiere ampliar
6543 la cobertura de programas con esquemas de capacitación y de apoyo con capital
6544 semilla, ya que estos han demostrado tener éxito (Ramírez *et al.*, 2006).

6545 Los instrumentos de subsidio para el medio ambiente proponen la regulación de las
6546 variedades genéticamente modificadas, tal es el caso del decreto mexicano que
6547 prohíbe la importación de maíz transgénico, los programas encaminados a la
6548 reducción de pesticidas, el reconocimiento de los beneficios ambientales, la
6549 protección del agua y la biodiversidad, la eficiencia energética y la promoción de
6550 fábricas de bioinsumos como las 25 ya existentes en Michoacán que forman parte
6551 de un programa gubernamental que fomenta el cambio de prácticas agrícolas por
6552 medio de la capacitación.

6553 Otra de las herramientas importantes que forma parte de los instrumentos
6554 económicos y está enfocada en la gestión de riesgos es el seguro agropecuario. Se

6555 han realizado estudios como el de Díaz (2006) que, derivado del análisis de la
6556 experiencia mexicana, propone las rutas necesarias para la viabilidad en este tipo
6557 de política pública. Las medidas de carácter financiero y fiscal, como sugiere Pérez
6558 (2006), deben garantizar un sistema preferencial de créditos sin intereses para los
6559 productores que deseen reconvertir sus sistemas agrícolas.

6560 Es importante destacar que los instrumentos de política pública necesitan para su
6561 creación, desarrollo y consecución de la organización y cohesión de los productores,
6562 ya que esto propicia el fortalecimiento y acrecienta las posibilidades de acceso a
6563 créditos, participación en programas y acceso a información para la toma de
6564 decisiones.

6565 La prospectiva del futuro del aguacate mexicano requiere de acciones positivas que
6566 permitirán rediseñar la producción y distribución, así como la transformación del
6567 consumo responsable y solidario. La prospectiva como proyecto político que busca
6568 transformar estratégicamente el escenario crítico actual se gesta desde los
6569 movimientos por la soberanía y autonomía alimentaria de Iberoamérica y el mundo.
6570 En el contexto mexicano de injusticias socioeconómicas, de violencias, de
6571 instituciones democráticas debilitadas y promesas de bienestar basadas en el
6572 crecimiento económico y en los avances tecnocientíficos, las decisiones que se
6573 tomen a nivel estructural tendrían que ser planteadas desde la defensa de los
6574 derechos y la sostenibilidad humana; desde la necesidad de mitigar el cambio
6575 climático y dismantelar el negocio del hambre; y desde la urgencia de preservar y
6576 regenerar los sistemas bioculturales que nos han sostenido.

6577 **Referencias**

- 6578 Altieri, M. (2009). El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y
6579 desafíos. En Altieri, M. (coord.) *Vertientes del pensamiento agroecológico:
6580 fundamentos y aplicaciones*. Colombia: Sociedad Científica Latinoamericana
6581 de Agroecología. [http://media.utp.edu.co/centro-gestion-
6582 ambiental/archivos/documentos-relacionados-con-agroecologia-seguridad-
6583 y-soberania-alimentaria/vertientes-del-pensamiento-agroecologico-
6584 fundamentos-y-aplicaciones.pdf#page=69](http://media.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/archivos/documentos-relacionados-con-agroecologia-seguridad-y-soberania-alimentaria/vertientes-del-pensamiento-agroecologico-fundamentos-y-aplicaciones.pdf#page=69)
- 6585 Alves, P. (2015). *Evolução da produção mundial e nacional de abacate*. [Tesis
6586 licenciatura. Universidad de Brasilia]. Brasilia.
6587 https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13760/1/2015_PetersonAlvesPereira.pdf
- 6588 Anguiano-Contreras, J., Coria-Avalos, V. M., Ruíz-Corral, J. A., Chávez-León, G.,
6589 Alcántar-Rocillo, J. J. (2003). Caracterización edáfica y climática del área
6590 productora de aguacate *persea americana Hass* en Michoacán, México. In
6591 *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del
6592 Aguacate)*, 323-328.
- 6593 Bedoya, E. y Julca, A. (2020). Caracterización de fincas productoras del cultivo de
6594 palto en la región Moquegua, Perú. *IDESIA*, 38(3):59-67.
- 6595 Bernal E., J. A. y Díaz D., C.A. (2005). Generalidades del cultivo. En Bernal E., J.
6596 A.; Díaz D., C. A. 2005, (compiladores). *Tecnología para el Cultivo del
6597 Aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria,

- 6598 CORPOICA, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia,
6599 Colombia. Manual Técnico 5. 241p.
- 6600 Beya, V., Baeza, B., Bustamante, C., Ceballos, A., Pizarro, E., Seguel, O., Kremer,
6601 C. y Galleguillos, M. (2021). Paquete tecnológico para la optimización del
6602 recurso hídrico en pequeños productores de aguacates y cítricos en Chile
6603 Central. *Aqua-LAC*, 13(1). [https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-](https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/264)
6604 [LAC/article/view/264](https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/264)
- 6605 Burgos, A., Anaya, C. y Cuevas, G. (2012). Impacto ecológico del Cultivo de
6606 Aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán: Definición
6607 de una Tipología de Productores, Etapa II. Informe final, Fundación Produce
6608 Michoacán. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM.
6609 Morelia, 125p.
- 6610 CEDAF. (Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc.). (2000). Sociedad
6611 Caribeña de Cultivos Alimenticios, 36 Memoria Anual. República
6612 Dominicana.
6613 [https://static1.squarespace.com/static/5bb88ab5aadd347e10f9c704/t/5bd5a](https://static1.squarespace.com/static/5bb88ab5aadd347e10f9c704/t/5bd5aa6dc830255a54c289ae/1540729481665/CFCS_2000_Vol.+36+Boca+Chica+%2C+Dominican+RepublicLR.pdf)
6614 [a6dc830255a54c289ae/1540729481665/CFCS_2000_Vol.+36+Boca+Chica](https://static1.squarespace.com/static/5bb88ab5aadd347e10f9c704/t/5bd5aa6dc830255a54c289ae/1540729481665/CFCS_2000_Vol.+36+Boca+Chica+%2C+Dominican+RepublicLR.pdf)
6615 [%2C+Dominican+RepublicLR.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5bb88ab5aadd347e10f9c704/t/5bd5aa6dc830255a54c289ae/1540729481665/CFCS_2000_Vol.+36+Boca+Chica+%2C+Dominican+RepublicLR.pdf)
- 6616 CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía
6617 Alimentaria). (2017). *Reporte Caso de Exportación: El aguacate*. Cámara de
6618 Diputados LXIII Legislatura. México.

6619 http://www.cedrssa.gob.mx/post_caso_de_-n-exportacinin-_el_aguacate-

6620 [n.htm](#)

6621 Cei RD (Centro de Exportación e Inversión de la Republica Dominicana). (s. f.).

6622 https://prodominicana.gob.do/Documentos/BC_PERFIL%20PRODUCTO%20-%20AGUACATE_V3.pdf

6623

6624 CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo). (2015).

6625 Programa brasileño para la modernización de la horticultura (2015). Abacate.

6626 13(1). <https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/abacate.pdf>

6627 Cruz-López, D. F., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G. y Reza Salgado, J.

6628 (2022). Competitividad De Las Exportaciones De Aguacate Hass De México

6629 En El Mercado Mundial». *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13

6630 (2):355-62.

6631 Cuevas, M. (2007). Influencia del manejo y condiciones edafoclimáticas sobre la

6632 calidad del aguacate (*Persea americana Mill*) cv. 'semil 34' en República

6633 Dominicana Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña del Mar, Chile.

6634 <http://www.avocadosource.com/wac6/es/Extenso/4a-155.pdf>

6635 Delfín, O., Bonales, J. y Rocha, C. (2018). Competitividad internacional del aguacate

6636 orgánico en Michoacán, un estudio basado en la metodología Partial Least

6637 Squares. *Revista Nicolaita Económicos*, XIII(1).

6638 [https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-nicolaita-de-estudios-](https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-nicolaita-de-estudios-economicos/articulo/competitividad-internacional-del-aguacate-organico-en-michoacan-un-estudio-basado-en-la-metodologia-partial-least-squares)

6639 [economicos/articulo/competitividad-internacional-del-aguacate-organico-en-](#)

6640 [michoacan-un-estudio-basado-en-la-metodologia-partial-least-squares](#)

- 6641 Díaz, E. (2006). El seguro agropecuario en México: experiencias recientes. Serie
6642 estudios y perspectivas, 63.
6643 [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4985/S2006624_es.](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4985/S2006624_es.pdf)
6644 pdf
- 6645 FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
6646 (2020). FAOSTAT base de datos estadísticos. Roma:FAO.
6647 <http://www.fao.org/faostat/es/avocado>.
- 6648 Freire, A. M., Amaral, B., Rodríguez, S., Cantaurias, T. y Fassio, C. (2018). Avances
6649 en la propagación del aguacate. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40(6).
6650 <https://www.scielo.br/j/rbf/a/ZDkWgNqJ86nQhMqCH3qRnKM/>
- 6651 Fresh Plaza. (2018). Brasil: La mayor parte de la producción de aguacate está
6652 destinada al mercado interno. Consultado en
6653 [https://www.freshplaza.es/article/9039442/brasil-la-mayor-parte-de-la-](https://www.freshplaza.es/article/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)
6654 [produccion-de-aguacate-esta-destinada-al-mercado-](https://www.freshplaza.es/article/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)
6655 [interno/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20brasile%C3%B1a%20de%2](https://www.freshplaza.es/article/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)
6656 [0aguacate,90%25%20de%20la%20producci%C3%B3n%20nacional](https://www.freshplaza.es/article/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).
- 6657 Fuentes, A. (2015). Narcotráfico y autodefensa comunitaria en “Tierra Caliente”,
6658 Michoacán, México. *Ciencia UAT*, 10(1): 68-82.
- 6659 Gallo, Y. y Suárez, M. (2020). Crecimiento del aguacate en Colombia: Un análisis
6660 externo de factores y variables. [Tesis de licenciatura, Universidad Católica
6661 de Oriente]. Antioquia, Colombia.

- 6662 García, B. (2020). La producción de aguacate has (Persea americana) como eje de
6663 desarrollo en Tetela del Volcán, Morelos [Tesis de maestría, Colegio de
6664 Postgraduados].
6665 <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4436>
- 6666 Gómez, C. (2010). Caracterización del sistema de producción de aguacate en las
6667 cuencas altas de la presa de Sabana Yegua, Azua, República Dominicana
6668 [Tesis licenciatura, Escuela agrícola Panamericana]. Recuperado de
6669 [https://bdigital.zamorano.edu/items/2d3e5e3f-238e-4f74-8503-](https://bdigital.zamorano.edu/items/2d3e5e3f-238e-4f74-8503-51172e3cbe44)
6670 [51172e3cbe44](https://bdigital.zamorano.edu/items/2d3e5e3f-238e-4f74-8503-51172e3cbe44)
- 6671 González, G., Figueroa, I., Perdomo, M. y Ardila, X. (2018). Producción de aguacate
6672 Hass una alternativa para el departamento del Huila. *Revista Crecer*
6673 *Empresarial*, 2.
- 6674 Guevara, W., Hidalgo, C. y Rojas, J. (2021). Análisis de la agroindustria chilena del
6675 aguacate (palta) en el mercado internacional. *Chilean Journal of Agricultural*
6676 *Science*, 37(1): 54-64.
- 6677 IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco). (2020). Estudio
6678 técnico de aguacateras en el estado de Jalisco. IIEG: Jalisco.
- 6679 INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria).
6680 (2022). Investigación en aguacate para mejorar la cadena productiva:
6681 INIFAP. [https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/investigacion-en-aguacate-](https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/investigacion-en-aguacate-para-mejorar-la-cadena-productiva-inifap?idiom=es)
6682 [para-mejorar-la-cadena-productiva-inifap?idiom=es](https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/investigacion-en-aguacate-para-mejorar-la-cadena-productiva-inifap?idiom=es)

- 6683 Instituto Colombiano Agropecuario. (2021). Resolución No. 082394.
6684 [https://www.ica.gov.co/getattachment/446ac25a-0fd7-4fd8-ae9f-](https://www.ica.gov.co/getattachment/446ac25a-0fd7-4fd8-ae9f-2e50f0047c8b/2020R82394.aspx)
6685 [2e50f0047c8b/2020R82394.aspx](https://www.ica.gov.co/getattachment/446ac25a-0fd7-4fd8-ae9f-2e50f0047c8b/2020R82394.aspx)
- 6686 Le Coq, J.; Patrouilleau, M.; Sabourin, S. y Niederle, P. (2018). Políticas públicas
6687 que promueven la agroecología y producción orgánica en América Latina.
6688 Conferência Internacional de Agricultura e Alimentação em uma Sociedade
6689 Urbanizada, Sep Porto Alegre, Brasil. [https://hal.science/hal-](https://hal.science/hal-02794344/document#:~:text=La%20agroecolog%C3%ADa%20pol%C3%A)
6690 [02794344/document#:~:text=La%20agroecolog%C3%ADa%20pol%C3%A](https://hal.science/hal-02794344/document#:~:text=La%20agroecolog%C3%ADa%20pol%C3%A)
6691 [Dtica%20sostenida%20por,soberan%C3%ADa%20alimentaria%20a%20niv](https://hal.science/hal-02794344/document#:~:text=La%20agroecolog%C3%ADa%20pol%C3%A)
6692 [el%20territorial.](https://hal.science/hal-02794344/document#:~:text=La%20agroecolog%C3%ADa%20pol%C3%A)
- 6693 Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Sepúlveda, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera,
6694 C. y Celedón, J. (2010). El cultivo de palto. Boletín INIA N° 129.
- 6695 Montiel, G., Krishnamurthy, L., Vázquez, A. y Uribe, M. (2008). Opciones
6696 agroforestales para productores de aguacate. *Terra Latinoamericana*,
6697 26(1):85-90.
- 6698 Nataren, J., del Angel, A., Megchu, J., Ramírez y Meneses. (2020). Caracterización
6699 productiva del aguacate (*Persea americana*) en la zona de alta montaña
6700 Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio*
6701 *Climático*, 6(12).
- 6702 Pérez, J. (2006). La política de fomento a la agricultura orgánica. *El Cotidiano*,
6703 21(139).

6704 Pérez, R., Villanueva, S. y Cosío, R. (2005). El aceite de aguacate y sus
6705 propiedades nutricionales. *e-Gnosis*, 3.

6706 Ramírez, L., Schwentesius, R., Gómez, A. y Martínez, E. (2006). La organización
6707 de productores y los programas de comercialización del sorgo en Guanajuato
6708 (Mexico). *Problemas del Desarrollo*, 37(145):177-201.

6709 REDAM (Red de Ambientalistas de Michoacán). (2022). Pronunciamiento de la
6710 REDMA caso aguacate. Publicado en:
6711 [https://representantesmichoacan.com/ilegales-80-de-huertas-de-aguacate-](https://representantesmichoacan.com/ilegales-80-de-huertas-de-aguacate-en-michoacan/)
6712 [en-michoacan/](https://representantesmichoacan.com/ilegales-80-de-huertas-de-aguacate-en-michoacan/)

6713 Rojas-Pérez, L., Cruz-Castillo, J. G., Monterroso-Rivas, A. I., Flores-Magdaleno, H.
6714 (2022). Avocado (*Persea americana* Mill.) production in Huatusco, Veracruz,
6715 Mexico. *Agro Productividad*. doi.org/10.32854/agrop.v15i12

6716 SADER. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2016). *Puebla 7° a nivel*
6717 *nacional en producción de aguacate*. Recuperado de
6718 [https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/puebla-7-lugar-a-nivel-](https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/puebla-7-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-aguacate)
6719 [nacional-en-produccion-de-aguacate](https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/puebla-7-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-aguacate)

6720 SADER. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2019). *Avance de la*
6721 *Producción de Aguacate en la Entidad Mexiquense*.
6722 [https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/avance-de-la-produccion-](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.)
6723 [de-aguacate-en-la-entidad-](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.)
6724 [mexiquense?idiom=es#:~:text=El%20Estado%20de%20M%C3%A9xico%20](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.)
6725 [0es,de%20Bravo%2C%20Villa%20de%20allende.](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.)

- 6726 SADER. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2020). *Productores de*
6727 *pequeña escala, los principales exportadores de aguacate a Estados Unidos:*
6728 *Agricultura.* [https://www.gob.mx/agricultura/prensa/productores-de-](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/productores-de-pequena-escala-los-principales-exportadores-de-aguacate-a-estados-unidos-agricultura)
6729 [pequena-escala-los-principales-exportadores-de-aguacate-a-estados-](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/productores-de-pequena-escala-los-principales-exportadores-de-aguacate-a-estados-unidos-agricultura)
6730 [unidos-agricultura](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/productores-de-pequena-escala-los-principales-exportadores-de-aguacate-a-estados-unidos-agricultura)
- 6731 SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y
6732 Alimentación). (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.* México:
6733 SAGARPA.
6734 [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf)
6735 [Aguacate.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf)
- 6736 Sánchez, A. y Sánchez, G. (2021). El clúster del aguacate en México. Un
6737 crecimiento sostenido a partir de la producción y desarrollo del mercado.
6738 *Revista RIVAR*, 8(24).
- 6739 Sangerman-Jarquín, D. M., Larqué-Saavedra, B. S., Omaña-Silvestre, J. M.,
6740 Shwenstesius de Rinderman, R. y Navarro-Bravo, A. (2014). Tipología del
6741 productor de aguacate en el estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias*
6742 *Agrícolas*, 5(6), 1081-1095. 09342014000600014&lng=es&tling=es.
- 6743 Schwentesiuss, R., Gómez Cruz, M., Ortigoza, J. y Gómez, L. (2014). México
6744 orgánico. situación y perspectivas. *Agroecología*, 9(1 y 2).
- 6745 SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y Comisión
6746 Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2019). *Plan de acción*

- 6747 *para la conservación de la mariposa monarca en México, 2018-2024*. México:
- 6748 SEMARNAT y CONANP.
- 6749 SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2021 a). Estadística de
- 6750 producción agrícola. Recuperado de
- 6751 http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php
- 6752 SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021b). *Panorama*
- 6753 *Agroalimentario*. México: SIAP. Recuperado de
- 6754 [https://nube.siap.gob.mx/panorama_siap/pag/2021/Panorama-](https://nube.siap.gob.mx/panorama_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021)
- 6755 *Agroalimentario-2021*
- 6756 SIAVI (Sistema de Información Arancelaria Vía Internet). (2022). *Aguacates (paltas)*.
- 6757 México. Secretaría de Economía. <http://www.economia-snci.gob.mx/sic->
- 6758 [php/desarrollo/Sistemas/siavi/genera.php?fraccion=08044001](http://www.economia-snci.gob.mx/sic-).
- 6759 Vivero, A., Valenzuela, R., Valenzuela, A. y Morales, G. (2019). Palta: compuestos
- 6760 bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Revista Chilena de*
- 6761 *Nutrición*, 46(4):491-498.
- 6762 Yabrudy, J. (2012). *Documento de trabajo sobre economía regional*. Banco de la
- 6763 República. Centro de Estudios Económicos regionales (CREER): Cartagena.
- 6764
- 6765
- 6766

6767 **Capítulo 13. Prospectiva socioeconómica y ambiental de plantaciones y**
6768 **agroindustrias de cítricos en México**

6769 Luis Alberto Olvera-Vargas y Noé Aguilar-Rivera

6770 **Resumen**

6771 Se considera a los cítricos -grupo de especies del género *Citrus*- como parte de los
6772 frutales cultivados en México de mayor importancia; tan solo ⁴⁷ en el estado de
6773 Veracruz representa una fuente fundamental de ingresos en sus principales zonas
6774 productoras, tanto por las ganancias generadas a los productores como por los
6775 empleos que se generan. No obstante, la citricultura enfrenta serios problemas
6776 económicos, ambientales y tecnológicos que afectan gravemente su productividad
6777 y la sustentabilidad del cultivo en el mediano y largo plazo, sobre todo por el uso
6778 indiscriminado de herbicidas como el glifosato; por la presencia de plagas y
6779 enfermedades; el bajo esquema de mecanización; falta de apoyos económicos y
6780 técnicos que faciliten la producción de los cultivos; y por el nulo uso de los residuos
6781 de procesamiento. Se pronostican tiempos difíciles para la citricultura en México,
6782 particularmente por el cambio en el manejo agronómico que podría tener
6783 repercusiones en el aspecto social, económico, ambiental y en la disminución de
6784 exportaciones. Programas y acciones por parte de la investigación, la industria y el
6785 gobierno deben estar bien definidos y enfocados a mejorar las prácticas agrícolas,
6786 además del apoyo al sector, sobre todo en las áreas con mayor producción. Este
6787 trabajo analiza opciones de manejo de las plantaciones y de los residuos

6788 (compostaje de cáscaras) que pueden aplicarse para mejorar la productividad
6789 desde un enfoque interdisciplinario y así transitar al desarrollo sostenible.

6790 **Palabras clave:** Plantaciones, agroindustria, cítricos, México

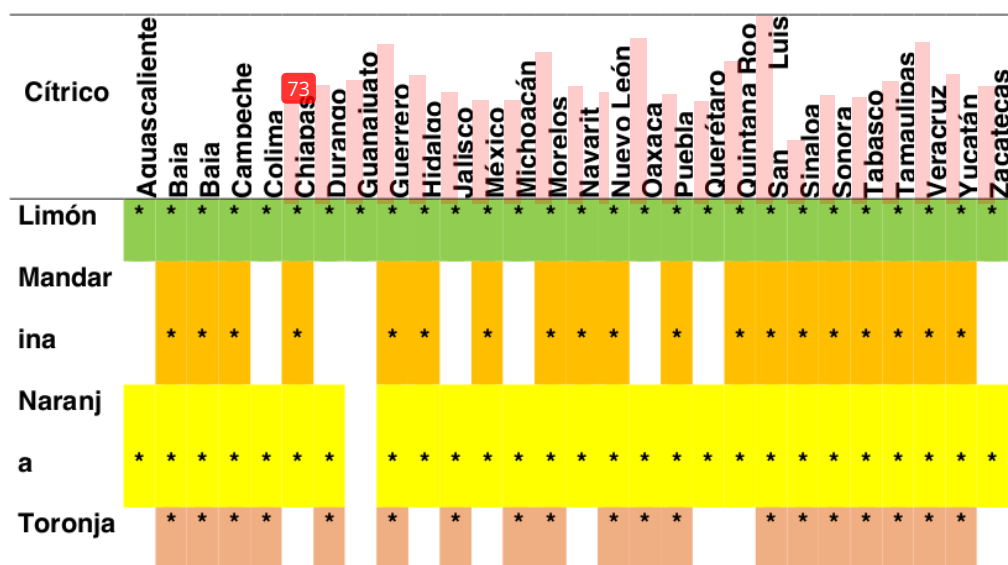
6791 **Introducción**

6792 El cultivo de los cítricos tiene gran relevancia en México, particularmente por la
6793 superficie que ocupa, la producción, el ingreso que genera y las personas que están
6794 dedicadas a los distintos procesos de producción y comercialización. A nivel
6795 mundial, México ocupa el 4º. lugar en producción de cítricos después de China,
6796 Brasil e India, por lo que contribuye con 4.2% del total mundial para 2021
6797 (FAOSTAT, 2021). En el interior del país, los cítricos se producen comercialmente
6798 en 28 estados (Tabla 1), aunque hay que señalar que también se usa como planta
6799 de ornato cultivada con este fin en zonas extensas del país.

6800 En los registros del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el
6801 último reporte indica que en 2021 se produjeron 8.24 millones de toneladas de
6802 cítricos, lo cual se desglosa en 35.8% de limón, 2.8% de mandarina, 55.7% naranja
6803 y 5.7% de toronja, lo que representó un valor aproximado de 34 mil millones de
6804 pesos para los estados productores. De la producción nacional obtenida, en
6805 promedio, se destina 75% al mercado de consumo en fresco, 15% a la industria y
6806 10 % para la exportación. En los últimos tres años se ha tenido un aumento en la
6807 exportación de cítricos de entre 15 a 35%, siendo el principal importador Estados
6808 Unidos; sin embargo, la venta se ha extendido e incrementado en países como
6809 Alemania, Japón, Reino Unido y Países Bajos (SIAP, 2021). México es el segundo

6810 mejor exportador de productos cítricos, solo después de España, generando más
 6811 de 200 millones de dólares en ganancias para el país (FAOSTAT, 2021).

6812 Tabla 1. Distribución de tipo de cítricos por estado



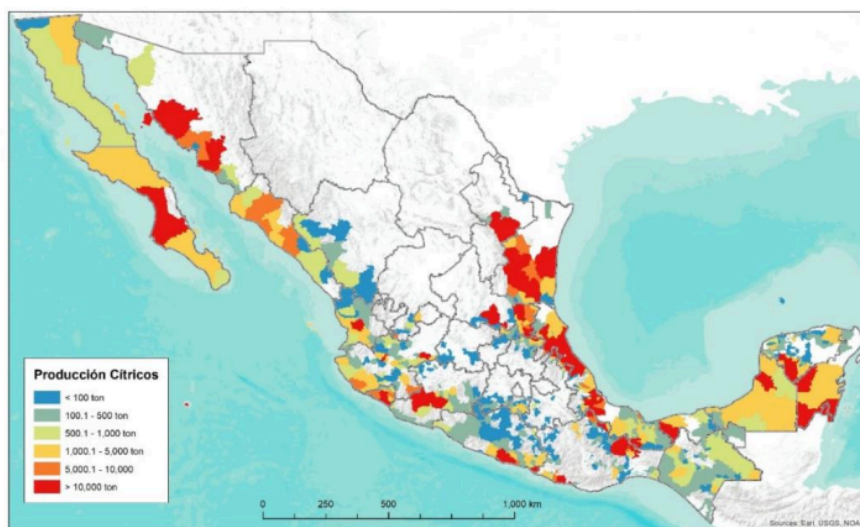
6813 Fuente: Elaboración propia.

6814 Los cítricos se cultivan en 733 de los 2457 municipios que tiene el país. Veracruz
 6815 es el estado con mayor superficie y producción de cítricos con 39.1% y 41.6% del
 6816 total nacional respectivamente. Sin embargo, estados como Michoacán reportan
 6817 producción importante de limón y toronja; Tamaulipas, de naranja y toronja; San
 6818 Luis Potosí y Puebla, de mandarina y naranja; Colima y Oaxaca, de limón; y Nuevo
 6819 León, de naranja (Figura 1). Dentro del grupo de los cítricos, la naranja es la especie
 6820 más producida y la de mayor expansión en México, la variedad Valencia es la más
 6821 representativa, aunque existen espacios con variedades de naranja agria, criolla,
 6822 *hamlin, marris y pineapple*. En cuanto al limón, la variedad agria (mexicano) y persa

6823 son las predominantes con un pequeño porcentaje de la variedad italiana. Las
6824 variedades más representativas de mandarina cultivada en México son la *dancy*,
6825 *fremont* y *criolla* y, en menor porcentaje, las variedades de *murcot* y *Fairchild*. En la
6826 toronja, la variedad predominante es la *ruby red*, con pequeños porcentajes de
6827 *criolla*, *doble roja*, *marsh* y *red blush* (SIAP, 2021).

6828 A nivel nacional, la producción de cítricos se ha mantenido en los últimos diez años
6829 con variaciones entre los 6.6 a los 8.4 millones de toneladas; mientras que la
6830 superficie sembrada se ha incrementado 7.9%, equivalente a cerca de 50 mil
6831 hectáreas en todo el país. En el caso del valor de la producción, las ganancias
6832 aumentaron poco más de 250% en el mismo periodo de diez años, lo que representa
6833 una ganancia superior a 21 mil millones de pesos (SIAP, 2021).

6834 Figura 1. Producción de cítricos a nivel nacional



6835

6836 Fuente: Elaboración propia.

6837 En Veracruz, después del maíz y la caña de azúcar, los cítricos son el grupo de
6838 cultivos más importante, ya que ocupa 16.2% del total de la superficie dedicada a la
6839 agricultura del estado y se produce en 115 de los 212 municipios que existen en
6840 Veracruz: la naranja se siembra en 167 mil hectáreas, el limón en 52 mil, la
6841 mandarina en 9 mil y la toronja en 8 mil hectáreas. En conjunto, estos cítricos
6842 contribuyen anualmente con 26.8% del valor total de la producción generado por la
6843 agricultura en el estado; esto representa 12 mil millones de pesos para Veracruz
6844 (SIAP, 2021). Las regiones más importantes en la producción de cítricos son la
6845 Huasteca Baja, Totonaca y Nautla, en donde los municipios de Álamo Temapache,
6846 Martínez de la Torre, Papantla, Tihuatlán, Castillo de Teayo y Aztlán son los que
6847 mayor superficie sembrada reportan (> 10 mil hectáreas) y mayor producción
6848 obtienen (> 150 mil toneladas).

6849 Se calcula que el cultivo de los cítricos involucra alrededor de 75 mil productores a
6850 nivel nacional y genera empleos indirectamente a más de 250 mil personas. En
6851 Veracruz, se calcula que existen más de 30 mil productores de cítricos y cerca de
6852 75% son productores de naranja (Gómez-Cruz *et al.*, 2016). De acuerdo con un
6853 estudio de Lara y Cervantes (2014), se calcula que en Veracruz la distribución
6854 tipológica de productores es de 8% correspondiente a los de subsistencia o
6855 autoconsumo (traspatio o pequeña porción de tierra ejidal de entre 300 y 600 metros
6856 cuadrados), 34% son pequeños productores (< 1.5 ha), 49%, medianos (1-6 a 5.4
6857 ha) y 9% grandes productores (> 5.5 ha).

6858 Estas diferencias en el tipo de productor implican manejos y ganancias significativas
6859 en la producción, comercialización y distribución de los cítricos en el estado.
6860 Respecto al género y edad de los productores citrícolas de Veracruz, se calcula que
6861 81% de ellos son hombres y 19%, mujeres; mientras que, por edades, 62.3% son
6862 adultos mayores, 37.2%, adultos y solo 0.5% son jóvenes (SADER, 2018).

6863 Los cítricos se cultivan casi todo el año, desde el municipio de Othón P. Blanco al
6864 sur de Quintana Roo, hasta Hermosillo, Sonora, Ensenada y Tijuana en Baja
6865 California, y Comondú en Baja California Sur en el occidente del país; así como
6866 General Terán y Abasolo, Tamaulipas en el nororiente. El limón y la toronja se
6867 cosechan predominantemente de agosto a enero, mientras que la recolección de
6868 naranja y mandarina se realiza de febrero a mayo. Por su parte, en Veracruz la
6869 naranja y mandarina se cosecha de noviembre a abril, la toronja de septiembre a
6870 diciembre -con una ventana en mayo-, mientras que el corte de limón se lleva a
6871 cabo principalmente de octubre a diciembre.

6872 De acuerdo con datos de la SADER (2017) y SIAP (2021), 18% de los cítricos se
6873 cultivan bajo condiciones de riego y buena tecnología; 32% en zonas montañosas
6874 bajo condiciones de riego y temporal con métodos de labranza sin tecnología;
6875 mientras que en un 50% restante se practica en áreas planas y mecanizadas, de
6876 temporal en su mayoría, cercanas a comunidades, agroindustrias y centros de
6877 mercado.

6878 **Perspectiva ambiental**

6879 Como se mencionó antes, los cítricos se cultivan de forma extensiva en el país
6880 desde la frontera sur en Quintana Roo hasta la frontera norte en Baja California y
6881 Tamaulipas, recorriendo casi de forma continua las planicies del Pacífico y Golfo de
6882 México. Por tal motivo, los cítricos se pueden encontrar a nivel del mar y hasta casi
6883 los 2,500 m.s.n.m. Esto implica que su cultivo ocurre en diversos climas: templados,
6884 cálidos, áridos y semidesérticos. Sin embargo, este factor es determinante en el
6885 desarrollo y calidad de los cítricos, y aunque las condiciones varían dependiendo de
6886 las especies (naranja, limón, toronja), las características climáticas óptimas
6887 generales son con climas cálidos y húmedos, con altitudes moderadas (< 1,000
6888 msnm), suelos permeables con texturas que van de francos a arenosos, nivel de pH
6889 entre 5 a 7, con temperaturas de 20° a 28° C y precipitaciones entre los 1,000 y
6890 2,000 mm (SAGARPA, 2017).

6891 Es importante señalar que uno de los principales factores que ha limitado la
6892 producción de los cítricos ha sido la temperatura, en especial la inferior a los 4° C o
6893 superior a los 30° C, ya que la maduración de la fruta y la floración se altera o retrasa
6894 provocando la pudrición o pérdida del cítrico (Ruíz *et al.*, 2013). Estos daños
6895 dependen de la variedad del cítrico, la edad de las plantaciones, el estado
6896 nutricional de los árboles, la duración del evento climático, etc. Aunque los cítricos
6897 tienen una alta capacidad de adaptación a climas diversos como en zonas áridas y
6898 semiáridas, sin riego y manejo eficaz suele haber una mala calidad del fruto.

6899 Otro factor ambiental determinante en la producción de los cítricos está asociado
6900 con plagas y enfermedades. Los problemas fitosanitarios pueden provocar pérdidas

6901 enormes en su producción, ya que disminuyen gradualmente la calidad y el
6902 rendimiento, incluso pueden causar la muerte del árbol, y aunque algunas de estas
6903 afecciones son más devastadoras que otras, el control y manejo fitosanitario implica
6904 recursos humanos y económicos que finalmente ocasionan consecuencias de tipo
6905 monetario, ambiental y de salud pública. La presencia de algunas plagas y
6906 enfermedades en este cultivo, y en otros, puede ocasionar restricciones en la
6907 movilidad y comercialización del material propagativo y de la fruta fresca
6908 (SENASICA, 2020).

6909 Según la NAPPO (2013), el sistema producto Cítricos es atacado por poco más de
6910 700 plagas y/o enfermedades, entre las que sobresalen la Leprosis, el Virus de la
6911 Tristeza (VTC), Mosca del Mediterráneo, Mosca de la fruta, *Psílido* asiático y el
6912 *Huanglongbing* (HLB). Este último se ha convertido en el problema más severo de
6913 la citricultura actual, ya que se disemina rápidamente, es de difícil control y no tiene
6914 cura. Esta bacteria se encuentra en casi todas las áreas citrícolas del mundo, y ⁸⁵ en
6915 México se detectó por primera vez en el municipio de Tizimín, Yucatán, en el año
6916 2009. En 2012 se reportaba en 182 municipios de 16 estados del país y actualmente
6917 se encuentra en casi la totalidad de las áreas citrícolas; se estima que cerca de 23%
6918 de los huertos comerciales tengan presente la bacteria (SENASICA, 2020; Olvera,
6919 2014).

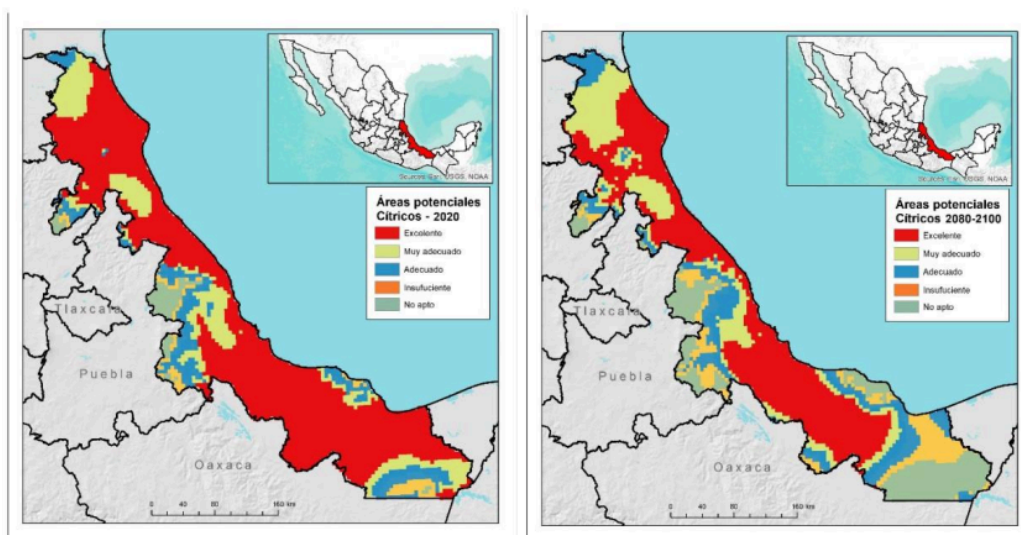
6920 Bajo este contexto, factores ambientales asociados entre ellos pueden repercutir en
6921 la productividad y rentabilidad de los cítricos. La temperatura, la precipitación y la
6922 sequía son fenómenos naturales muy estudiados, y las predicciones que se hacen

6923 para un futuro a mediano y largo plazo tienen cada vez menor omisión en los
6924 cálculos. El modelo de CMIP6 (Eyring *et al.*, 2016) presentado como insumo en la
6925 plataforma de Worldclim para conocer las condiciones climáticas futuras puede
6926 servir como herramienta para modelar los posibles escenarios que se presenten en
6927 las áreas citrícolas, ya que los modelos climáticos suponen una variabilidad en las
6928 temperaturas y precipitaciones a largo plazo.

6929 Durante esta investigación se usaron como referencia las coordenadas geográficas
6930 de los centroides de las parcelas de cítricos en Veracruz y las capas de estos
6931 modelos CMIP6 con resolución de 2.5 minutos; también se estableció un escenario
6932 de las áreas potenciales con cítricos para 2081–2100. Con la finalidad de comparar
6933 escenarios se realizó, paralelamente, un modelo con datos climáticos actuales
6934 (2020), usando como referencia espacial las mismas coordenadas geográficas de
6935 los centroides de las parcelas de cítricos. El resultado se presenta en la Figura 2.

6936 Figura 2. Áreas potenciales actuales 2020 (izq.) y escenario de áreas potenciales
6937 para cítricos en 2080-2100 (der.)

6938
6939
6940
6941
6942
6943
6944



6945 Fuente: Elaboración propia.

6946 Con base en los escenarios potenciales y usando como referencia principal el
6947 cambio climático (temperatura, precipitación y sequía), así como problemas
6948 fitosanitarios, las condiciones óptimas de los cítricos disminuirán, lo que supone que
6949 las áreas serán menos productivas y tendrán rendimientos más bajos (Tabla 2).
6950 Actualmente se cuenta con 65% de las áreas citrícolas en sitios con condiciones
6951 óptimas-excelentes, 31% y 3% en muy adecuadas y adecuadas respectivamente;
6952 es decir, 99 % de las áreas citrícolas de Veracruz están en los espacios adecuados.
6953 Cabe aclarar que los modelos se generaron con las zonas puntuales (coordenadas
6954 geográficas) donde ahora hay cítricos, por tal motivo da un porcentaje de casi el
6955 cien por ciento.

6956 Si los sitios en donde en la actualidad se realiza la siembra de cítricos no se moviera,
6957 dentro de 60 años y bajo cambios climáticos graves, las áreas con condiciones
6958 óptimas se reducirían en más de 60 mil hectáreas, es decir, las condiciones estarían
6959 catalogadas como insuficientes y no aptas para el grupo de cultivos. Estos cambios
6960 podrían generar pérdidas económicas para los citricultores, crecería la frontera
6961 agrícola como consecuencia de esta pérdida, aumentaría el uso de agroquímicos
6962 para elevar los rendimientos, elevaría los costos de producción, también dañaría el
6963 ambiente por la deforestación y el uso de herbicidas y plaguicidas.

6964 Tabla 2. Escenarios de condiciones óptimas de la citricultura en Veracruz

Áreas potenciales	Condiciones óptimas	
	2020	2080-2100

	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Excelente	391958	65	295476	49
Muy adecuado	186934	31	186934	31
Adecuado	18090	3	54271	9
Insuficiente	5427	0.9	30151	5
No apto	603	0	36181	6

6965 Fuente: Elaboración propia.

6966 A pesar de que los escenarios ambientales mundiales no son favorables,
6967 estimaciones económicas indican que en 2024 la producción será de 10.4 millones
6968 y en 2030 llegará a los 12.2 millones de toneladas. Esto tendrá un impacto favorable
6969 en las exportaciones que pasarán de 3.2 millones de toneladas en 2024, hasta llegar
6970 a los 5.16 millones de toneladas con un beneficio económico de más de 2,160
6971 millones de dólares (SADER, 2017).

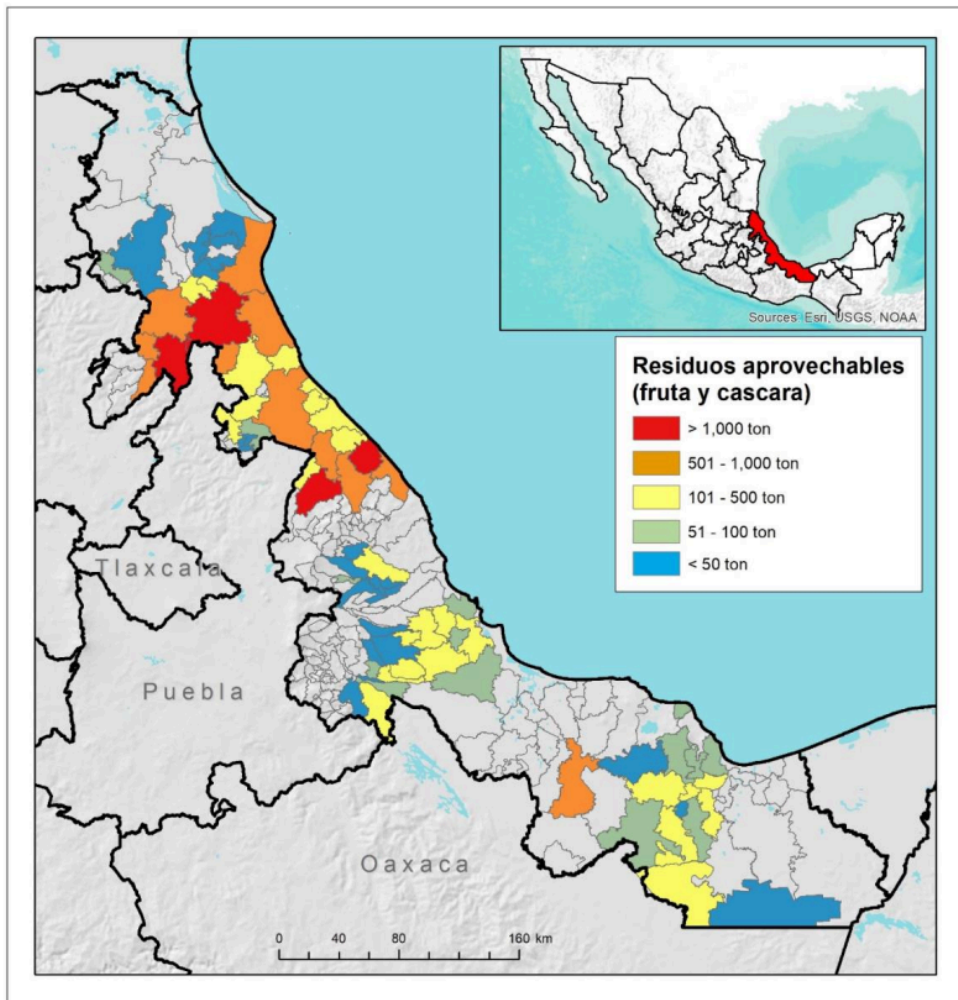
6972 **Manejo de residuos como alternativa sustentable**

6973 El uso de residuos frutícolas como ramas, pulpa, cáscara, hojas, semillas, etc.,
6974 pueden ser usados como sustratos renovables, ya que están compuestos por
6975 carbohidratos simples como la celulosa, lignina, hemicelulosa y demás compuestos
6976 que pueden ser de interés para la industria alimentaria, farmacéutica y
6977 biotecnológica. Rivera y Blanco (2013) reportan que existen más de 3,000 patentes
6978 registradas para el aprovechamiento de compuestos y residuos de cítricos (naranja,
6979 limón, mandarina y toronja). Los principales usos se dan en el área médica, dental
6980 o de aseo (productos farmacéuticos o químicos para la asepsia), compuestos

6981 químicos para preparaciones medicinales (actividad terapéutica), alimentos o
6982 bebidas no alcohólicas con cualidades nutricionales o para la conservación de
6983 alimentos en general, conservación de cuerpos humanos o animales, o bien para la
6984 eliminación o prevención de organismos no deseados (repelentes o reguladores del
6985 crecimiento), sustancias que repelen animales (Biocidas), invenciones para uso
6986 cosmético o similares para el aseo y fabricación del tabaco o productos para
6987 mascar.

6988 El uso de residuos de cítricos puede traer ventajas socioeconómicas y ambientales
6989 como la reducción de “commodities” alimenticios; detención del crecimiento de la
6990 frontera agrícola para la instalación de plantaciones cítricas, deterioro del suelo y
6991 contaminación del agua; generación de insumos para biorrefinerías; así como la
6992 creación de tecnologías simples o convencionales para la producción de alimento
6993 destinado al ganado, fertilizantes orgánicos, biogás y combustibles ecológicos. De
6994 hecho, la agroindustria cítrica produce una cantidad importante de residuos en la
6995 elaboración de jugos, en donde la cáscara representa casi 50% de masa húmeda
6996 de la fruta; así, procesar y aprovechar este material orgánico representa ganancias
6997 económicas para la industria y los productores. Cabe señalar que existe una pérdida
6998 considerable de fruta por no cosecharla, de acuerdo con estimaciones de SIAP
6999 (2021), en Veracruz no se cosechan más de 23 mil toneladas de estas frutas (Figura
7000 3), materia prima que pudiera ser aprovechable para el manejo de residuos.

7001 Figura 3. Cantidad de residuos cítricos generados por la no cosecha



7002

7003 Fuente: Elaboración propia.

7004 El manejo de los cítricos involucra cuatro etapas principalmente: después de la
 7005 cosecha son transportados a la planta procesadora donde se remueven los residuos
 7006 para posteriormente lavar los frutos; el tercer paso consiste en la extracción del jugo
 7007 vía exprimido y centrifugado, el jugo es calentado para activar las enzimas

7008 pectinasas y transferido a los concentradores donde se adiciona ácido cítrico,
7009 enzimas y vitamina C con el fin de obtener la mejor calidad. Finalmente, el jugo es
7010 envasado en recipientes esterilizados y empacado para el consumo doméstico o
7011 exportación (Taghizadeh-Alisaraei *et al.*, 2017).

7012 El procesamiento de la naranja genera un volumen importante de subproductos que
7013 requieren ser tratados apropiadamente, si bien un porcentaje de estos es empleado
7014 como materia prima para otros procesos básicos y complejos, reportados por
7015 Mohsin *et al.* (2022); da Costa *et al.* (2022); Teigiserova *et al.* (2022); y De la Torre
7016 *et al.* (2019), es necesario contar con alternativas para evitar la generación de
7017 fuentes de contaminación ambiental, cumplir con las normas oficiales (NOM-061-
7018 SEMARNAT-2011, NOM-083-SEMARNAT-2003 Y NOM-092-SEMARNAT-2002)
7019 para su correcta disposición y generar nuevas cadenas de valor de ese subproducto
7020 a nivel regional.

7021 De esta manera, en los principales municipios productores como Álamo Temapache
7022 y Martínez de la Torre en el estado de Veracruz se encuentran instaladas
7023 empacadoras y procesadoras de jugo simple; procesadoras de jugo concentrado,
7024 de aceite esencial y de cáscara deshidratada. Sin embargo, el tratamiento de los
7025 subproductos es incipiente debido a que en las empresas jugueras que no
7026 deshidratan la cáscara de naranja, el subproducto del proceso es entonces un
7027 elemento que requiere de tratamiento y/o manejo especial para eliminarlo de las
7028 instalaciones.

7029 Tradicionalmente, los residuos o subproductos de cítricos procesados son
7030 incinerados o depositados en vertederos, sin embargo, es insuficiente y
7031 problemático en términos de impacto ambiental, costo energético para eliminar el
7032 contenido de humedad (si son sometidos a incineración) y el costo económico que
7033 implica su transporte hacia los vertederos. Solo una parte de los residuos
7034 procesados son empleados como complemento para alimentación animal y
7035 presentan la desventaja de contener un bajo nivel de proteína a pesar de su
7036 contenido de materia orgánica.

7037 La valorización de los residuos de cítricos procesados tiene un gran potencial para
7038 la transición a la bioeconomía, aunque el impacto negativo que tiene el
7039 procesamiento de los cítricos en el ambiente hace que los esquemas de valorización
7040 de los residuos o subproductos sean más importantes, recaen en la necesidad de
7041 mitigar el impacto ambiental negativo introduciendo esquemas de valorización verde
7042 que permitan integrar una plataforma de biorrefinería usando tecnología bioquímica
7043 como la fermentación y la digestión anaeróbica y han sido evaluadas como
7044 rentables en el aspecto económico y ambiental. En la mayoría de los casos, las
7045 tecnologías verdes están acopladas a un tratamiento hidrotérmico asociado a uso
7046 mínimo o nulo de productos químicos (Satari *et al.*, 2018).

7047 El bagazo, cáscara u *Orange Peel waste* (OPW) es el principal subproducto del
7048 procesamiento de la naranja, ²⁵ la composición de este residuo varía en relación con
7049 la región del cual provenga y del proceso de manufactura al que es sometido, pero
7050 normalmente representa 50% del peso total de la fruta y contiene cáscara,

7051 membranas y cantidades variables de semillas y jugos. Además de una escasa
7052 proporción de fruta de descarte entera por su alto contenido de agua y por ser un
7053 potencial contaminante del ambiente, la naranja genera un problema a nivel de
7054 plantas industriales (Mariana *et al.*, 2021). La composición básica del bagazo de
7055 naranja se muestra en la Tabla 3.

7056 Tabla 3. Análisis bromatológico efectuado a cáscaras de naranja de la región
7057 centro de Veracruz (AOAC, 1997)

Parámetro	Unidad	Valor
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

7058 Fuente: Elaboración propia.

7059 La composición de este subproducto es básicamente de carbohidratos solubles
7060 (azúcares simples) y estructurales (hemicelulosas, celulosas y pectinas) fácilmente
7061 fermentables en el rumen de rumiantes, ²⁵ al mismo tiempo el material posee una baja
7062 concentración proteica. Se considera un residuo de alto valor energético con

7063 algunas limitaciones para su aprovechamiento en fresco, debido al elevado
 7064 contenido de agua y a la variable aceptabilidad (en el caso de la alimentación
 7065 bovina).
 7066 Como subproducto regional es ampliamente abundante y de escasa utilización, en
 7067 el trabajo de Debemardi-Vázquez *et al.* (2020, 2017) plantean su valorización a
 7068 través del compostaje convencional de este subproducto y otros como los
 7069 procedentes de la agroindustria azucarera, tales como tlazole y bagazo de caña,
 7070 cachaza y cenizas obtenidas del proceso y mezclados con el subproducto de
 7071 naranja, sin embargo, pueden emplearse otros como pulpa y cascarilla de café,
 7072 cebada, arroz, coronas de piña, etc. Esta tecnología fue replicada en la región centro
 7073 de Veracruz con subproductos regionales para la producción de cítrico-composta
 7074 (Tablas 4 y 5).

7075 Tabla 4. Características químicas de la cítrico-composta (composición de
 7076 nutrientes y micronutrientes en base a las Normas Oficiales Mexicanas NMX-AA-
 7077 025-1984 y NOM-021-SEMARNAT-2000)

Variable	Valor
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
Fierro total (%)	0.22
Cobre total (%)	0.0021
Zinc total (%)	0.0109
Manganeso total (%)	0.0387

7078 Fuente: Elaboración propia.

7079 Tabla 5. Fraccionamiento de humus de la cítrico-composta (composición de nutrientes
7080 y micronutrientes en base a las Normas Oficiales Mexicanas NMX-AA-025-1984 y NOM-
7081 021-SEMARNAT-2000)

C.Total %	C.Total % (H+F)	C.Total % (H)	C.Total % (F)	Índice Humificación %
44.414	0.808	0.462	0.346	57.18

7082 Fuente: Elaboración propia.

7083 La incorporación de cáscara de naranja y subproductos provenientes de
7084 agroindustria de la caña de azúcar favorece el proceso de composteo integral. Si se
7085 consideran la situación ambiental actual y las condiciones tecnológicas, sociales y

7086 económicas de los productores de cítricos en las plantas procesadoras, el
7087 composteo es una opción viable para valorizar los subproductos que se obtienen de
7088 esta agroindustria. El producto final que se consigue cuenta con las características
7089 idóneas para ser empleado para mejorar el suelo en los campos de cultivo o para
7090 ser comercializado como sustituto de abonos de otras regiones.

7091 **Conclusiones**

7092 Ante un panorama mundial apremiante en cuanto a escasez de materias primas,
7093 energía, agua y su relación con fenómenos derivados de la no sostenibilidad, efecto
7094 invernadero y problemas socio ecológicos, el aprovechamiento óptimo de los
7095 recursos con diversos tipos de tecnologías (básicas, convencionales o de frontera)
7096 es de suma importancia para el desarrollo del sector agropecuario. En este trabajo
7097 se planteó el estado actual de la citricultura mediante herramientas de análisis
7098 espacial que permitieron mostrar visión global en la posibilidad de transitar a un
7099 manejo sostenible de la citricultura, así como el aprovechamiento de subproductos
7100 mediante el compostaje que existen en gran cantidad en las fábricas de jugo de
7101 frutas, en el mercado de consumo en fresco, incluso en las labores del cultivo de los
7102 cítricos, los cuales tienen potencial aprovechable para diversos usos.

7103 **Referencias**

- 7104 AOAC. (1997). *Official Methods of Analysis* (25th Edition). Washington, DC.:
7105 Association of Official Analytical Chemist.
- 7106 da Costa, J. S., Maranduba, H. L., de Sousa Castro, S., de Almeida Neto, J. A. y
7107 Rodrigues, L. B. (2022). Environmental performance of orange citrus waste

7108 as raw material for pectin and essential oil production. *Food and Bioproducts*
7109 *Processing*, 135, 165-177.

7110 Debernardi-Vázquez, T. D. J., Aguilar-Rivera, N. y Núñez-Pastrana, R. (2020).
7111 Composting of byproducts from the orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and
7112 sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) agroindustries. *Ingeniería e*
7113 *Investigación*, 40(3), 81-88.

7114 Debernardi-Vázquez, T. D. J., Cisneros, R. M. C., Guzmán, A. B. P., Martínez, F.
7115 R., Rivera, N. A. y González, J. M. (2017). Management of Orange (*Citrus*
7116 *sinensis*) wastes from agroindustrial activities using sustainable biodrying and
7117 composting processes. In *Agricultural Research Updates* (pp. 97-123). Nova
7118 Science Publishers, Inc.

7119 De la Torre, I., Martín-Domínguez, V., Acedos, M. G., Esteban, J., Santos, V. E. y
7120 Ladero, M. 2019. Utilisation/upgrading of orange peel waste from a biological
7121 biorefinery perspective. *Applied microbiology and biotechnology*, 103, 5975-
7122 5991.

7123 Eyring, V.; Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J. y Taylor,
7124 K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase
7125 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geosci. Model Dev.*, 9,
7126 1937-1958, doi:10.5194/gmd-9-1937-2016.

7127 FAOSTAT. (2021). Datos sobre alimentación y agricultura. Organización de las
7128 Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
7129 www.fao.org/faostat/es/#home

7130 Gómez Cruz, M. A., Gómez Tovar, L., Gómez Ochoa, B. G. y Hernández Carlos, A.
7131 (2016). Producción de naranja orgánica y agroecológica: difusión de la
7132 Tecnología a pequeños productores organizados en Veracruz, México. En
7133 *Ciências agrárias, indicadores e sistemas de produção sustentáveis*. Pedro
7134 Abreu y Vanessa da Fontoura (Coord.). Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.
7135 doi.org/10.22533/at.ed.007212911

7136 Lara y Bretón, E. y Cervantes Limón, D. (2014). Vulnerabilidad a plagas debido a
7137 factores agroalimentarios y socioeconómicos en tipos de citricultores en
7138 México. En *Huanglongbing y Psílido Asiático de los Cítricos: un acercamiento*
7139 *metodológico multidisciplinario*. Galindo-Mendoza, G., y Contreras Servín, C.
7140 Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

7141 Mariana, O. S., Alzate, C. y Ariel, C. (2021). Comparative environmental life cycle
7142 assessment of orange peel waste in present productive chains. *Journal of*
7143 *Cleaner Production*, 322, 128814. Mohsin, A., Hussain, M. H., Zaman, W. Q.,
7144 Mohsin, M. Z., Zhang, J., Liu, Z., & Guo, M. 2022. Advances in sustainable
7145 approaches utilizing orange peel waste to produce highly value-added
7146 bioproducts. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(8), 1284-1303.

7147 NAPPO. (2013). Normas Regionales sobre Medidas Fitosanitarias (NRMF).
7148 Medidas integradas para la movilización de material propagativo de cítricos,
7149 No. 16. Organización Norteamericana de Protección a las Plantas.
7150 www.nappo.org/application/files/91116/0762/4830/20201210_RSPM_16_201
7151 3-s-archivado_2020.pdf

- 7152 Olvera, L. (2014). Análisis Geográfico de la propagación y dispersión del
7153 Huanglongbing y el Psílido asiático de los cítricos en México y el mundo. En
7154 En Huanglongbing y Psílido Asiático de los Cítricos: un acercamiento
7155 metodológico multidisciplinario. Galindo-Mendoza, G., y Contreras Servín, C.
7156 (Coord.). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- 7157 Rivera, J. y Blanco, J. (2013). Cítricos, Rutas tecnológicas 2014-2018. Centro de
7158 Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.
- 7159 Ruiz C., J.A., Medina G., I. J., González A., H.E., Flores L.G., Ramírez O. C., Ortiz
7160 T., K. F., Byerly M. y R. A. Martínez P. (2013). Requerimientos
7161 agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP.
7162 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-
7163 CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de
7164 Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- 7165 SADER. (2018). Unidades Económicas Rurales Agrícolas. Secretaría de Agricultura
7166 y Desarrollo Rural. www.agricultura.gob.mx/proagro/listado-de-beneficiarios
- 7167 SADER. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 – Potencial Cítricos.
7168 Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
7169 [www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-](http://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813)
7170 [nacional-2017-2030-126813](http://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813)
- 7171 SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Cítricos. Secretaría
7172 de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

7173 [www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-](http://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813)
7174 [nacional-2017-2030-126813](http://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813)

7175 Satari B. y Karimi K. (2018). Citrus processing wastes: Enviromental impacts, recent
7176 advances, and future perspectives in total valorization. *Resour. Conserv. and*
7177 *Recy.* 129, 153-167.

7178 SENASICA. (2020). Plagas Reglamentadas de los cítricos. Servicio Nacional de
7179 Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.
7180 [www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-de-los-citricos-](http://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-de-los-citricos-110863)
7181 [110863](http://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-de-los-citricos-110863)

7182 SIAP. (2021). Producción Anual Agrícola - Producción agrícola. Servicio de
7183 Información Agroalimentaria y Pesquera. En
7184 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

7185 Taghizadeh-Alisaraei, A., Hosseini, S.H., Ghobadian, B. y Motevali, A. (2017).
7186 Biofuel production from citrus wastes: a feasibility study in Iran. *Renew.*
7187 *Sustainable Energy Rev.*, 69, 1100–1112.

7188 Teigiserova, D. A., Hamelin, L., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A. y Thomsen, M. (2022).
7189 Circular bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading
7190 ⁹¹ production from orange peel waste under current and future electricity mixes.
7191 *Science of the Total Environment*, 812, 152574.

7192

7193 **Capítulo 14. Áreas con potencial productivo ante el cambio climático. El caso**
7194 **del aguacate en Puebla, México**

7195 Eduardo Pérez-Sosa, Guadalupe Rebeca Granados-Ramírez, Miguel Ángel Saz S.
7196 y María Luz Hernández-Navarro

7197 **Resumen**

7198 La apertura de áreas nuevas para la producción de aguacate en México no cuentan
7199 con una zonificación que identifique aquellas de mayor aptitud, sobre todo bajo
7200 escenarios de cambio climático. La zonificación de cultivos mediante la planificación
7201 agrícola puede ser comparada, complementada o fortalecida con la incorporación
7202 de diversas variables o con métodos de ponderación diferentes. Con el fin de
7203 fortalecer la toma de decisiones para la planificación agrícola en la producción
7204 frutícola del aguacate, así como para futuras investigaciones al respecto, se debe
7205 crear una base de datos georreferenciada para las plantaciones de aguacate en
7206 Puebla que permita el contraste de los modelos que se generen. Este capítulo tiene
7207 como objetivo el evaluar el potencial productivo para el aguacate con base en sus
7208 requerimientos ambientales bajo un escenario actual y con cambio climático.
7209 Entiéndase el término potencial como las zonas que cuentan con condiciones
7210 favorables para el aguacate, pero que no están siendo aprovechadas actualmente,
7211 o bien las que podrían ser empleadas para la apertura de nuevas plantaciones,
7212 sobre todo aquellas que requieren insumos externos y en las que se tendría que
7213 prestar más atención para prevenir efectos negativos derivados del cambio
7214 climático.

7215 **Palabras clave:** Aguacate, zonificación, cambio climático, Puebla.

7216 **Introducción**

7217 El aguacate es un producto que presenta una demanda progresiva; se proyecta un
7218 aumento en su consumo a nivel mundial durante los próximos años, lo cual requerirá
7219 de un fortalecimiento a las plantaciones existentes y el establecimiento de nuevos
7220 sitios de producción. Sin embargo, la apertura de áreas nuevas sin una zonificación
7221 que identifique aquellas de mayor aptitud para el aguacate implicaría la sustitución
7222 de cultivos o el cambio de uso del suelo relacionados con una limitada planificación
7223 territorial. A nivel mundial, México es el principal productor y exportador de aguacate
7224 (*Persea americana* Mill.), estatus que ha mantenido desde hace varias décadas.
7225 Otros países productores que contribuyen a la producción total mundial son Perú,
7226 Chile, España, Sudáfrica y Kenia (Arias *et al.*, 2018; FAO, 2020). De acuerdo con
7227 los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], en 2021
7228 se reportaron en México más de 248 mil ha sembradas, de las cuales se obtuvieron
7229 aproximadamente 50 mil millones de pesos (SIAP, 2021). Por otro lado, México
7230 también es el país donde la ingesta es significativa, aproximadamente el consumo
7231 per cápita al año asciende a 8 kg; seguido de Estados Unidos con 3.6 kg y se espera
7232 un incremento importante en los países europeos y asiáticos (FAO, 2020).
7233 En México, los principales estados productores son Michoacán, Jalisco, México,
7234 Nayarit y Morelos. Puebla se posiciona en el séptimo sitio con más de 16 mil
7235 toneladas producidas; su explotación representa un importante ingreso económico
7236 para los productores de municipios como Quimixtlán, Tochimilco y Atlixco (SIAP,

7237 2021). Lo anterior motiva a los agricultores a sustituir sus cultivos o incrementar las
7238 superficies ocupadas con dicho frutal. En los estados productores del país se
7239 pretende aumentar las superficies cultivadas con aguacate; la estimación en la
7240 producción y consumo que proyectó ⁸⁰ la Secretaría de Agricultura, Ganadería y
7241 Desarrollo Rural, Pesca [SAGARPA] para 2030 sería de 67.2% (SAGARPA, 2017).
7242 Por tanto, es prioritario identificar a escala regional las áreas óptimas para el
7243 establecimiento de nuevas superficies destinadas al aguacate en los estados
7244 productores a fin de ampliar su frontera agrícola de forma mesurada.
7245 Debido a que el aguacate representa uno de los principales productos agrícolas con
7246 un aporte económico relevante, para los agricultores resulta atractiva la
7247 incorporación de plantaciones en sus parcelas o a través de la sustitución de sus
7248 cultivos actuales menos rentables. Si bien es cierto que la introducción del aguacate
7249 tiene efectos positivos como el aumento de ingresos económicos, tanto para los
7250 productores como para las regiones productoras, también ha implicado problemas
7251 ambientales como el cambio de uso del suelo de forestal a agrícola y el
7252 agravamiento de efectos negativos tales como el fomento al monocultivo, erosión
7253 de los recursos genéticos, dependencia de insumos químicos para la producción y
7254 la consecuente contaminación y degradación de los recursos.
7255 Aunado a lo anterior, cada vez es más aceptado que la agricultura será una de las
7256 principales actividades económicas que resienta los impactos del cambio climático.
7257 Esto implica que los problemas actuales que atañen a la agricultura se acrecienten
7258 o se atenúen. Desde hace décadas ya se han abordado algunos de los impactos en

7259 esta actividad para diferentes escenarios, ya sea mediante su expresión en el
7260 comportamiento fenológico de los cultivos o de manera indirecta en el
7261 desplazamiento de la frontera agrícola.

7262 Debido a lo señalado, este trabajo tiene como objetivo el evaluar el potencial
7263 productivo para el aguacate con base en sus requerimientos ambientales bajo un
7264 escenario actual y con cambio climático. De esta forma, se pretende proporcionar
7265 información tanto a las personas dedicadas a la investigación, como a los
7266 agricultores y tomadores de decisiones acerca de las áreas óptimas para las
7267 plantaciones de aguacate, aquellas que son potenciales (entiéndase el término
7268 potencial como esas zonas que cuentan con condiciones favorables para el
7269 aguacate, pero que no están siendo aprovechadas actualmente, o bien las que
7270 podrían ser empleadas para la apertura de nuevas plantaciones), cuáles requieren
7271 insumos externos y en las que se tendría que prestar más atención para prevenir
7272 efectos negativos producto del cambio climático.

7273 Además, se incentiva a la reflexión del proceso de producción actual; repensar el
7274 fortalecimiento e impulso de las plantaciones de aguacate en esta entidad, pero no
7275 bajo un contexto de producción tradicional dominado por el monocultivo que
7276 promueve la priorización comercial del producto y el aumento de la frontera agrícola
7277 sin considerar el deterioro de recursos, tanto ambientales como genéticos, hacia
7278 enfoques alternativos como el agroclimático donde se realiza la valoración de la
7279 aptitud agrícola local o regional, según las disponibilidades climáticas, esto con el

7280 fin de asesorar sobre el tipo de cultivos posibles y técnicas culturales adecuadas
7281 y así encaminarse a la formulación de una estrategia agrícola idónea y sostenible.

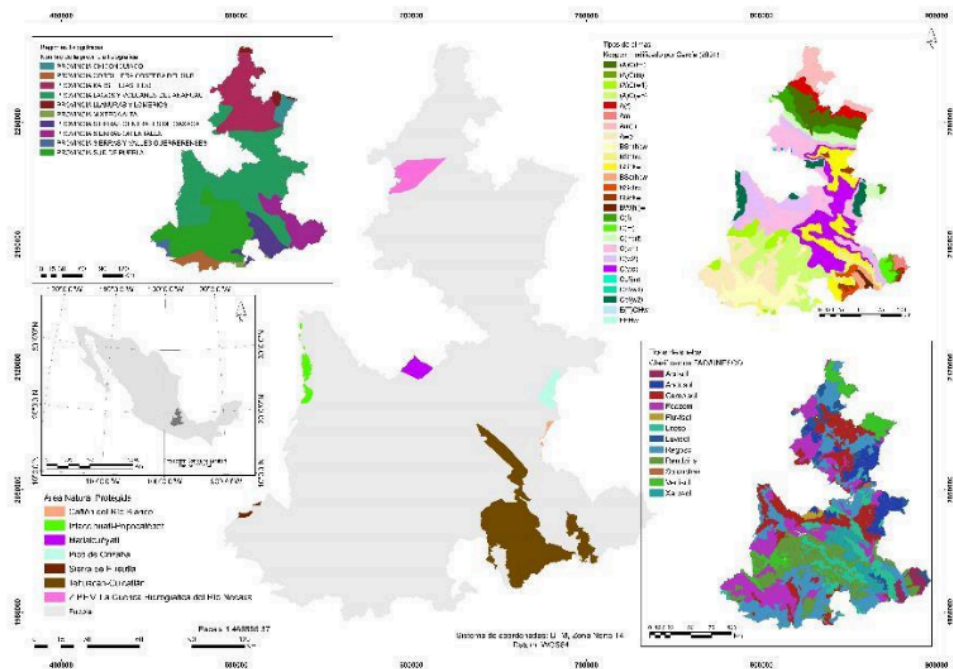
7282 **Panorama agrícola del aguacate en Puebla**

7283 El árbol de aguacate (*Persea americana*) pertenece a la familia numerosa de las
7284 Lauráceas cuyo origen de domesticación se remite a Mesoamérica. Las principales
7285 variedades botánicas cultivadas fueron domesticadas en esta región, lo que dio
7286 como resultado una diferenciación por ecotipos; de las regiones montañosas de
7287 México surgió la variedad mexicana (*var. drymifolia*); de las tierras altas de
7288 Guatemala la variedad guatemalteca (*var. guatemalensis*); de las tierras bajas de la
7289 costa de Guatemala la variedad antillana (*var. americana Mill.*), (Jardón-Barbolla *et*
7290 *al.*, 2011). Cada una posee particularidades que les permite la adaptación a variadas
7291 zonas y atributos distintivos como el tamaño, color y sabor. Como resultado de la
7292 hibridación entre estas han surgido las variedades comerciales Hass, Fuerte,
7293 Bacon, Edranol, Choquet, entre otras.

7294 Los tipos de climas a los que la planta ha sido introducida y adaptada abarca desde
7295 los cálidos, semicálidos, semisecos y templados. Los tipos de suelos que favorecen
7296 su cultivo son los andosoles y litosoles, aunque es sabido que dependiendo de la
7297 variedad se puede plantar en suelos con características menos asequibles. Los
7298 requerimientos ambientales de las tres principales variedades están relativamente
7299 bien identificados y, al igual que otros frutales, los dos factores que influyen en el
7300 crecimiento y desarrollo del aguacate son la temperatura y disponibilidad de agua.

7301 En Puebla, entidad localizada en la parte central de México existen las condiciones
 7302 climático-edáficas con potencial productivo. Su territorio está determinado
 7303 principalmente por la Sierra Madre Oriental y el Sistema Volcánico Transversal;
 7304 entre sus macizos montañosos se encuentran numerosos valles y amplias llanuras
 7305 categorizadas en provincias fisiográficas con diversas características edáficas, así
 7306 como una gama de climas que van de los cálidos a los fríos (Figura 1).

7307 Figura 1. Localización y características físico-geográficas de área de estudio



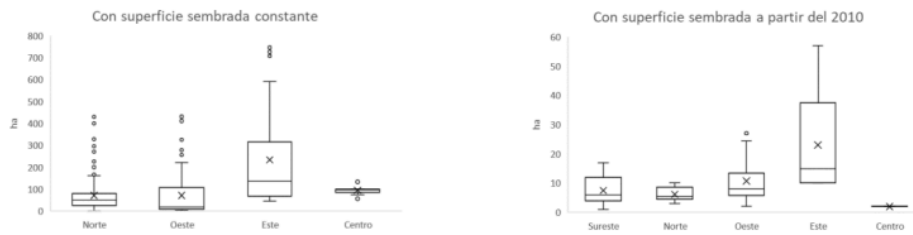
7308 Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2017a).

7309 El aguacate ocupa el noveno lugar por superficie sembrada en México, por debajo
 7310 de cultivos como el café, naranja, alfalfa verde, caña de azúcar y manzana que
 7311 superan las 100 mil hectáreas sembradas. Sin embargo, por producción y
 7312

7313 rendimiento se encuentra alejado de los primeros sitios. A pesar de lo anterior, es
7314 el octavo producto con un valor de producción superior a los 2 mil millones de pesos,
7315 cuyo precio medio rural es aproximado a los 8 mil pesos mexicanos por hectárea,
7316 lo cual sitúa al aguacate como un frutal de venta de primera mano aceptable, pero
7317 alejado de las cifras que se obtienen por productos como la cereza, vainilla, piñón
7318 o frambuesa (SIAP, 2021).

7319 Los municipios en la región este son los que reportan mayor superficie sembrada;
7320 en municipios al norte y oeste se registran valores atípicos que no superan las 500
7321 ha (Figura 2). En promedio, los municipios más productivos se localizan al este de
7322 la entidad, seguido de los del centro, oeste, norte y sureste, sin embargo, en estas
7323 dos últimas regiones las desviaciones estándar son menores, y para el caso de la
7324 región sureste se trata de una superficie sembrada reciente, por lo tanto, también lo
7325 es su producción (Figura 3). En Tochimilco (oeste), Quimixtlán (este), Atlixco
7326 (oeste), Tepexi (centro) y Zacapala (centro) se contribuye con más de 1000
7327 toneladas de producción. Existe una correlación positiva (0.85) entre la superficie
7328 sembrada y la producción; prácticamente los municipios que aportan mayor
7329 obtención del producto suelen tener una superficie sembrada más extensa. No
7330 obstante, en los municipios del centro, oeste y sureste sobresalen en términos de
7331 rendimiento (ton/ha).

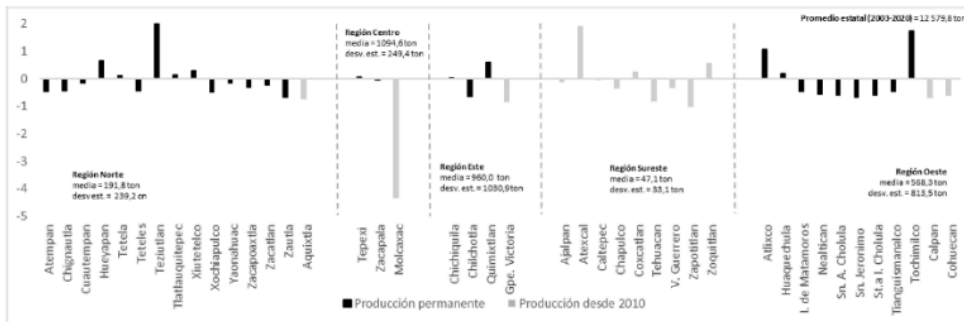
7332 Figura 2. Superficie sembrada con aguacate en Puebla (2003-2020)



7333

7334 Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2021).

7335 Figura 3. Anomalías de la producción de aguacate en Puebla (2003-2020)



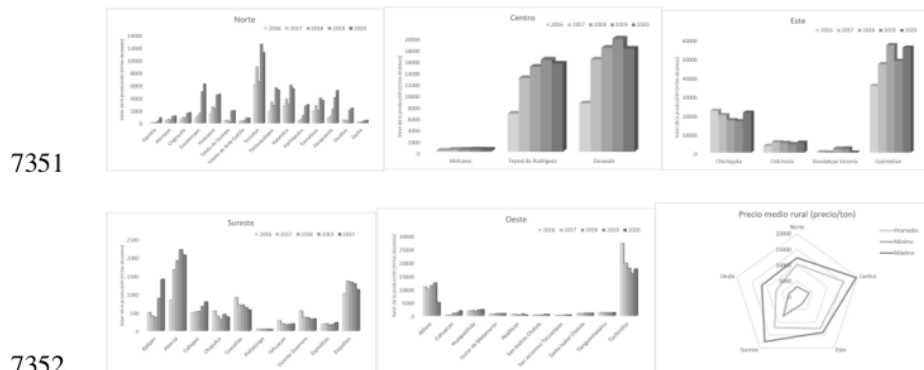
7336

7337 Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2021).

7338 En términos económicos, en los últimos cinco años la tendencia es positiva en
 7339 cuanto al valor de la producción en los municipios productores. No es posible
 7340 determinar una región donde en la mayoría de los municipios se alcancen valores
 7341 importantes; lo que sí es evidente es que en algunos de ellos los precios son
 7342 superiores a los del resto en la misma región (Figura 4). En este sentido, en
 7343 Quimixtlán se ha registrado el precio más alto en 2018, superior a los 50 millones
 7344 de pesos mexicanos. En la región central de la entidad, en dos de los tres municipios
 7345 productores, los precios alcanzados se acercan a los 20 millones de pesos; mientras
 7346 que el precio que se logra en Teziutlán al norte y Atlixco y Tochimilco en el oeste es
 7347 de 10 a 15 millones de pesos. En el resto de los municipios localizados en el norte,

7348 sureste y al oeste, los precios se encuentran entre los 200 mil y menos de 5 millones
7349 de pesos.

7350 Figura 4. Valor de la producción y precio medio rural del aguacate (2016-2020)



7353 Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2021).

7354 Al igual que el valor de la producción, el precio medio rural también es ascendente,
7355 el año 2014 fue cuando se alcanzó una cifra récord en promedio, llegando a los 34
7356 mil pesos por tonelada. Con excepción de la región oeste, el promedio del precio
7357 medio rural se encuentra por encima de los 10 mil pesos; los máximos se registraron
7358 en los municipios localizados en el centro y sureste, mientras que los mínimos
7359 sucedieron en el oeste y al norte (Figura 4).

7360 En resumen, en la región norte existen superficies sembradas desde el inicio del
7361 registro de los datos oficiales (año 2003) que se han mantenido relativamente
7362 constantes hasta el 2020, sin embargo, los valores medios están por debajo en
7363 comparación con las otras regiones; a partir del 2010, dos municipios de esta región
7364 comenzaron a sembrar aguacate en no más de 10 ha; aunque la mayoría de los
7365 municipios producen por debajo de la media regional, hay casos en los que la

7366 producción supera de manera positiva a la media; no es el caso de los rendimientos,
7367 de hecho, los valores más bajos suceden en esta región, a pesar de lo anterior el
7368 valor de la producción y el precio medio rural suelen ser similares a las de las otras
7369 regiones.

7370 En la región centro, la superficie sembrada y la producción media son los más bajos
7371 en comparación con las demás regiones, sin embargo, los rendimientos son los más
7372 altos, el valor de la producción se encuentra entre los mejores y el mayor precio
7373 medio rural se obtuvo aquí. La región este es la que mayor superficie sembrada
7374 destina al aguacate y su producción también es relevante, aunque con la mayor
7375 variación en relación con las otras zonas; los rendimientos son ligeramente
7376 superiores a los de la región norte, pero con menor variabilidad; en esta área se han
7377 logrado valores de producción y precios medios muy altos.

7378 La región sureste tiene superficie sembrada a partir del 2010, por lo que los valores
7379 en este ámbito son menores, así como la producción obtenida y su valor, sin
7380 embargo, el precio medio rural que se ha alcanzado es similar a la región centro y
7381 está por encima de la zona este. Por último, la región oeste es la segunda en
7382 superficie sembrada y producción; los rendimientos, aunque aceptables, son más
7383 variables en comparación con las otras regiones; los valores de producción pueden
7384 llegar a ser altos, sin embargo, el precio medio rural es el más bajo en contraste con
7385 las regiones restantes.

7386 **Metodología para la zonificación de cultivos mediante evaluación multicriterio**
7387 **y sistemas de información geográfica**

7388 En este trabajo se presenta una metodología que involucra aspectos de toma de
7389 decisiones de carácter espacial para la prospección de áreas óptimas para el
7390 establecimiento de plantaciones de aguacate. Se utilizaron criterios climáticos y
7391 edáficos para la construcción del modelo de evaluación multicriterio que se
7392 ponderaron por medio de una comparación pareada con el método Proceso
7393 Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) y posteriormente se ajustaron a
7394 funciones de valor asociadas con los rangos considerados como óptimos en el área
7395 de estudio. Toda la información se integró a un sistema de información geográfica
7396 donde se llevaron a cabo los análisis para la zonificación. Los resultados indican
7397 que los climas templados y cálidos son los ideales para cubrir las necesidades de
7398 agua y calor que requieren los árboles de aguacate.

7399 Para identificar las áreas óptimas se emplearon variables climáticas y edáficas;
7400 estas han sido utilizadas con fines de zonificación para el aguacate (García-Lozano
7401 *et al.*, 2013; Garrido-Ramírez *et al.*, 2013). La metodología utilizada comprendió
7402 aspectos de la evaluación multicriterio a través ² del ajuste de las variables a
7403 funciones y ponderaciones efectuadas por Procesos Analíticos Jerárquicos llevados
7404 a un sistema de información geográfica con base en la metodología propuesta por
7405 Malczewski (1999) y adaptada para diversos estudios (Sotelo-Ruiz *et al.*, 2016;
7406 González-Hernández *et al.*, 2017; Chivasa *et al.*, 2019).

7407 *Obtención y manejo de la información*

7408 Las temperaturas y precipitaciones mensuales en formato ráster a 900 x 900 m de
7409 resolución espacial se obtuvieron ² desde el Repositorio del Instituto de Ciencias de

7410 la *Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM (UNIATMOS)*, 2014a; 2014b; 2014c;
7411 2014d; 2014e; 2014f). La información utilizada fue sometida a un estricto control de
7412 calidad y tomó en cuenta el efecto de la topografía para la interpolación de las
7413 variables con el fin de ajustarlas a las condiciones del territorio mexicano
7414 (Fernández-Eguiarte *et al.*, 2015); mientras que las variables de profundidad y pH
7415 del suelo se adquirieron de la base de datos ² del INEGI (2013). Para esto se
7416 emplearon métodos de interpolación mediante la distancia inversa ponderada y se
7417 utilizó la misma resolución espacial que las variables climáticas. Para representar
7418 los factores que restringen de algún modo el establecimiento de las plantaciones de
7419 aguacate se utilizó la información de uso del suelo y vegetación (INEGI, 2017b),
7420 áreas naturales protegidas (SEMARNAT-CONANP, 2017), tipos de suelos (INEGI,
7421 2005) y erosión del suelo (INEGI, 2014).

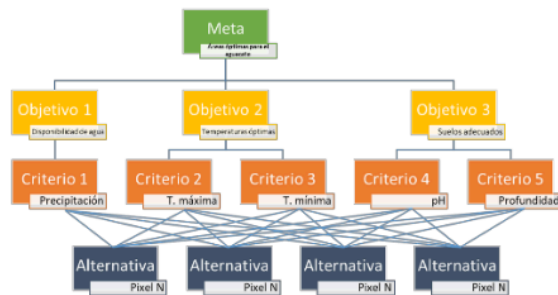
7422 ² *Etapas de análisis*

7423 La primera etapa consistió en la construcción de un modelo jerárquico de decisión,
7424 compuesto por una meta, objetivos, criterios y alternativas (Figura 5). En este caso,
7425 la meta fue encontrar las zonas óptimas para las plantaciones de aguacate en
7426 Puebla. Los objetivos corresponden a que en esas áreas se logre: 1) la
7427 disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades hídricas de los árboles de
7428 aguacate sin riego; 2) temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo de los
7429 árboles y frutos; 3) características de suelos adecuados para las plantaciones.

7430 Además, con el fin de proporcionar una evaluación completa del grado en que se
7431 pueden alcanzar los objetivos son necesarios los atributos o criterios. Los criterios

7432 corresponden a los valores promedio de las variables climáticas y edáficas
7433 asociadas con la aptitud para el aguacate. Estos criterios deben cumplir ciertas
7434 características: ser completos, operativos, no redundantes y mínimos (Pacheco y
7435 Contreras, 2008). Las alternativas de decisión son cada uno de los pixeles que
7436 conforman el área de estudio.

7437 Figura 5. Diagrama jerárquico de decisión AHP



7438

7439 Fuente: Elaboración propia.

7440 La importancia/peso de cada variable fue asignada mediante una comparación
7441 pareada por AHP en el software SuperDecisions® que utiliza una escala numérica
7442 que se corresponde con expresiones verbales. A partir de estas comparaciones, el
7443 software calcula el peso de cada variable mediante el álgebra de matrices. Para
7444 evaluar la congruencia de las comparaciones, el software ofrece un índice de
7445 consistencia, cuyo valor debe ser menor a 0.1. La toma de decisiones asociada con
7446 la relevancia de cada variable provino principalmente de la búsqueda bibliográfica y
7447 la consulta a 6 expertos, 3 investigadores y el resto entre productores y agricultores.
7448 En consecuencia, se consideraron los siguientes criterios generales: la precipitación
7449 y temperatura mínima son los elementos climáticos más relevantes para el

7450 aguacate; el exceso o déficit hídrico repercute en el desarrollo y crecimiento
7451 vegetativo del árbol, así como la polinización, la formación de frutos y el desarrollo
7452 de enfermedades (Gardiazabal, 2004; Coria-Avalos, 2009; Gutiérrez-Contreras *et*
7453 *al.*, 2010; Lucero-Pulido y Navarro-Ainza, 2013; Zapata-Guzmán *et al.*, 2018).
7454 Mientras que las bajas temperaturas causan daños a los órganos más tiernos como
7455 las flores, brotes y pequeños frutos, incluso pueden dañar permanentemente al
7456 árbol si se mantienen temperaturas por debajo de los 0°C, pero también son
7457 necesarias para la inducción de la floración (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010;
7458 Alcantar-Rocillo y Muñoz-Flores, 2012; Romero-Sánchez, 2012; Ruiz-Corral *et al.*,
7459 2013; Zapata-Guzmán *et al.*, 2018).

7460 El aguacate es considerado como un árbol que se adapta a gran diversidad de
7461 suelos en función de la variedad, pero requiere de aquellos con buen drenaje y
7462 profundidad. Los suelos de textura media, bien drenados, con pH de 5.5 a 7.5 y
7463 profundidad mayor a 1.5 metros, con contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, así
7464 como de elementos menores como magnesio, hierro y zinc son favorables para las
7465 plantaciones (Lucero-Pulido y Navarro-Ainza, 2013). En tanto que los andosoles y
7466 luvisoles son suelos adecuados para el aguacate (Coria-Avalos, 2009; Gutiérrez-
7467 Contreras *et al.*, 2010). El último criterio fue la temperatura máxima, si se presentan
7468 temperaturas muy altas y constantes se pueden alterar las etapas de floración y
7469 fructificación (Coria-Avalos, 2009; Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010; Ruiz-Corral *et*
7470 *al.*, 2013; Sarmiento-Sarmiento, 2018; Zapata-Guzmán *et al.*, 2018). ² Bajo esta
7471 lógica se realizó la comparación en pares y se obtuvieron los pesos de la Tabla 1.

7472 El valor del índice de consistencia fue de 0.049, lo cual indica la congruencia de las
7473 comparaciones.

7474 Tabla 1. Matriz de comparación de los criterios de clima y suelos mediante AHP en

7475 SuperDecisions

Criterios	Prec.	T.mín	T.máx	pH	Prof.	Peso
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

7476 Fuente: Elaboración propia.

7477 La segunda etapa residió en el ajuste de los criterios a las funciones. De acuerdo
7478 con Malczewski (1999), los objetivos implican la maximización o minimización de
7479 una función $f(x)$, donde x es un vector de atributos o variables de decisión asociadas
7480 a un objetivo. Los rangos de idoneidad edafoclimática para el aguacate se
7481 encuentran sintetizados en la tabla 2 y se establecieron con base en investigaciones
7482 previas (Gardiazabal, 2004; Gandolfo, 2008; Alcantar-Rocillo, 2009; Gutiérrez-
7483 Contreras *et al.*, 2010; Alcantar-Rocillo y Muñoz-Flores, 2012; Romero-Sánchez,
7484 2012; Ruiz-Corral *et al.*, 2013; Sarmiento-Sarmiento, 2018; SIAP, 2018; Zapata-
7485 Guzmán *et al.*, 2018). Estos rangos se emplearon para relacionar el ajuste que
7486 tendrá cada criterio en la función seleccionada asociados con los valores mínimos
7487 y máximos presentes en el área de estudio.

7488

Tabla 2. Criterios para el ajuste de funciones en el área de estudio

Criterios	Requerimientos	Valores		Parámetros			
	Óptimos	Mínimos	Máximos	X_{max}	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

7489 Fuente: Elaboración propia.

7490 Los valores de función fueron evaluados entre 0 y 1, donde 1 es el valor máximo de
 7491 aptitud (Figura 6). Para la precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima
 7492 y pH la curva ajustada fue la de campana (Ecuación 1) porque el comportamiento
 7493 de las variables, con respecto de la aptitud, en parte es creciente y decreciente.
 7494 Para la profundidad se empleó una función convexa creciente (Ecuación 2), debido
 7495 a que a mayor profundidad del suelo mejoran las condiciones para el aguacate.

$$7496 \quad v = e^{-\left(\frac{x-x_{max}}{\alpha}\right)^2} \quad (1)$$

7497 Donde:

7498 v: valor transformado del criterio

7499 e: exponencial base e

7500 x: valor original del criterio (capa de entrada ráster)

7501 x_{max} : valor máximo original del criterio (capa de entrada ráster)7502 α : amplitud de la curva.

7503 $v = 1 - e^{-\gamma x}$

7504 (2)

7505 Donde:

7506 v : valor transformado del criterio

7507 e : exponencial base e

7508 x : valor original del criterio (capa de entrada ráster)

7509 γ : parámetro de control (Ecuación 3):

7510
$$\gamma = - \frac{\log(\log(1.1 + 0.88(10 - S)))}{\log^2(x_{max})} \quad (3)$$

7511 S = saturación de la curva (curvatura)

7512 Tanto las ecuaciones y los valores del rango fueron integrados al sistema de
7513 información geográfica ArcMap10.5.1® con el fin de ² construir los mapas de los
7514 criterios estandarizados (Ecuación 4). La fase posterior de esta etapa consistió en
7515 la combinación lineal ponderada mediante la Ecuación 5, donde cada uno de los
7516 valores de los pixeles contiene una alternativa de decisión para la aptitud.

7517
$$v' = \frac{v - v^{min}}{v^{max} - v^{min}} \quad (4)$$

7518 Donde:

7519 v' : valor estandarizado del criterio

7520 v : valor transformado del criterio

7521 v^{min} : valor transformado mínimo

7522 v^{max} : valor transformado máximo

7523
$$a = \sum_1^i v'_i w_i \quad (5)$$

7524 Donde:

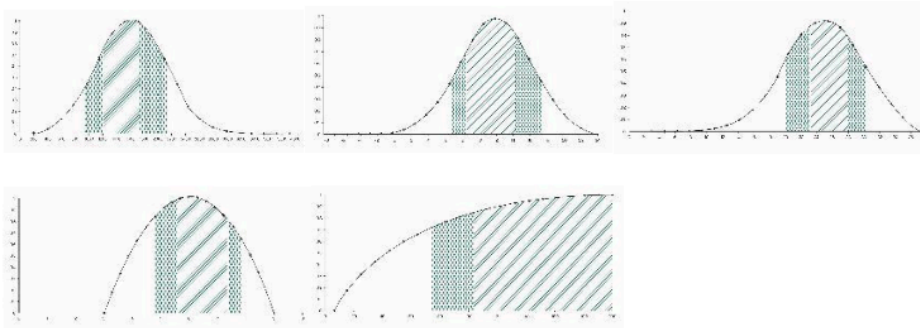
7525 a: valor que representa la aptitud para el aguacate

7526 v'_i : valor estandarizado del criterio i

7527 w_i : peso del criterio i

7528 Figura 6. Ajustes de los valores a funciones (curvas)

7529



7532 Fuente: Elaboración propia.

7533 Nota: De izquierda a derecha: precipitación, temperatura mínima, temperatura
7534 máxima, pH y profundidad del suelo. El área con achurado en diagonal representa
7535 las condiciones óptimas, mientras que el área con achurado en puntos simboliza las
7536 condiciones medias.

7537 ² Como resultado se obtiene un mapa de aptitud con valores del 0 al 1. En este caso
7538 se seleccionaron aquellos pixeles relacionados con las condiciones óptimas
7539 (valores entre el 0.8 y 1). Posteriormente se emplearon como un polígono de
7540 máscara los criterios de restricciones para las plantaciones de aguacate (Tabla 3).
7541 El resultado de lo anterior es el polígono de las áreas con condiciones óptimas para
7542 el aguacate en Puebla.

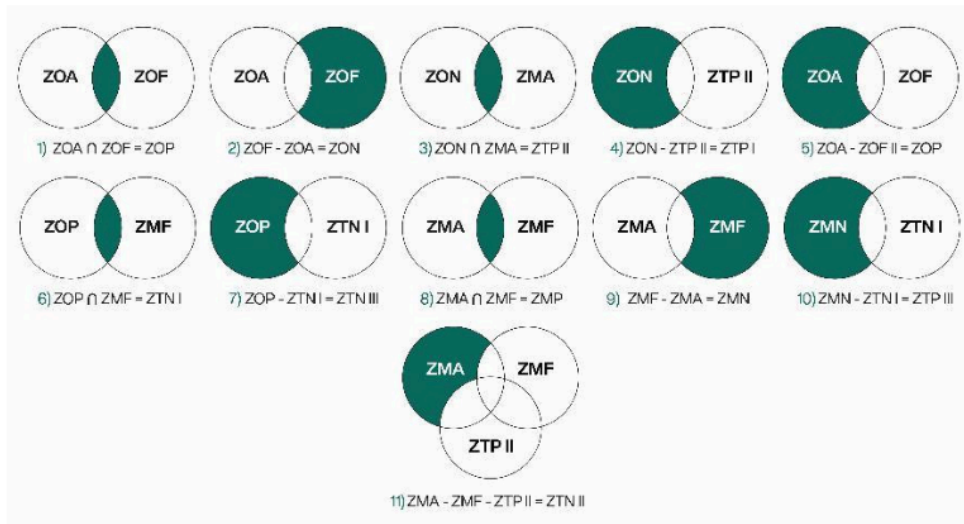
7543 Tabla 3. Restricciones para las plantaciones de aguacate

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 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.

7544 Fuente: Elaboración propia.

7545 La última etapa consistió en la zonificación bajo escenarios de cambio climático, por
7546 lo que se repitieron las fases anteriores sustituyendo las coberturas climáticas del
7547 escenario base con las del modelo de cambio climático. Una vez obtenidas ambas
7548 zonificaciones se realizó una serie de operaciones booleanas para la identificación
7549 de las áreas potenciales, aquellas que permanecerían, las que aumentarían su
7550 categoría y las que la disminuyen (Figura 7).

7551 Figura 7. Diagrama para la identificación de áreas potenciales para el aguacate
 7552 bajo un escenario actual y por cambio climático



7553

7554 Fuente: Elaboración propia.

7555 Del anterior diagrama se desprenden las siguientes consideraciones:

- 7556 1) de la intersección entre las zonas óptimas actuales (ZOA) y las zonas óptimas a
 7557 futuro (ZOF) se obtuvo el polígono denominado como zonas óptimas persistentes
 7558 (ZOP); se tratan de áreas óptimas actuales que permanecerían sin cambios;
- 7559 2) de la diferencia entre las ZOF y ZOA se identificó el polígono nombrado como
 7560 zonas óptimas nuevas (ZON). Estas áreas provienen de un inminente cambio de
 7561 categoría favorable, ya sea de condiciones medias o bajas;
- 7562 3) de la intersección entre las ZON y las zonas medias actuales (ZMA) se consiguió
 7563 el polígono con las zonas de transición positiva tipo II (ZTP II) que contiene las áreas
 7564 actuales medias que transitaron a óptimas en el futuro;

7565 4) de la diferencia entre las ZON y las ZTP II se obtuvieron las zonas de transición
7566 positiva tipo I (ZTP I), cuyas áreas en el escenario actual tienen condiciones bajas,
7567 pero bajo el escenario de cambio climático pasan a óptimas;

7568 5) de la diferencia entre ZOA y ZOF se consiguió el polígono denominado como
7569 zonas óptimas perdidas (ZOP). Estas áreas derivan de una transición desfavorable,
7570 puesto que contienen cambios de óptimos a medios o incluso bajos;

7571 6) de la intersección entre las ZOP y las zonas medias a futuro (ZMF) se identificó
7572 el polígono con las zonas de transición negativa tipo I (ZTN I), donde las áreas con
7573 condiciones óptimas transitaron a una categoría media;

7574 7) de la diferencia entre las ZOP y las ZTN I se reconocieron las zonas de transición
7575 negativa tipo III (ZTN III). En estas áreas sucederían los cambios más perjudiciales
7576 puesto que provienen de condiciones óptimas que a futuro serían bajas;

7577 8) de la intersección entre las ZMA y ZMF se obtuvieron las zonas medias
7578 persistentes (ZMP), es decir, las áreas medias actuales que perseverarían a futuro;

7579 9) de la diferencia entre las ZMF y las ZMA se consiguieron las zonas medias
7580 nuevas (ZMN), es decir, áreas con potencial medio a futuro que, o bien provienen
7581 de una categoría menor (baja) o viceversa;

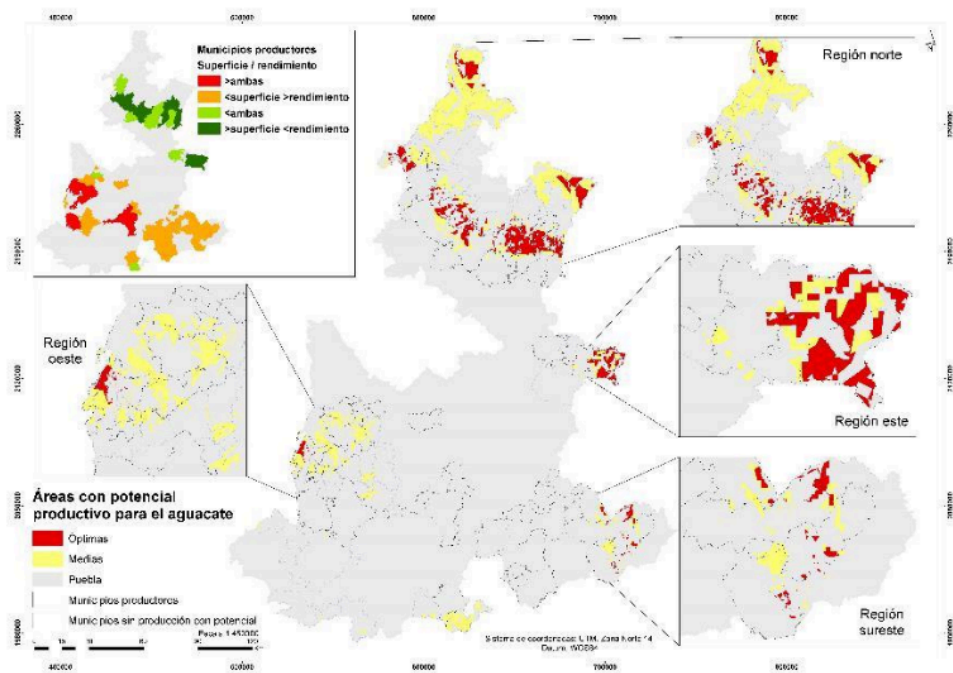
7582 10) de la diferencia entre las ZMN y las ZTN I se identificaron las zonas de transición
7583 positiva tipo III (ZTP III), cuyas áreas provienen de condiciones bajas en el escenario
7584 actual pero a futuro pasarían a ser medias;

7585 11) por último, de la diferencia entre las ZMA, las ZMF y las ZTP II se reconocieron
7586 las zonas de transición negativa tipo II (ZTN II), donde las áreas actuales contienen
7587 condiciones medias pero a futuro pasarían a ser bajas.

7588 **Distribución espacial de las áreas óptimas para el establecimiento de**
7589 **plantaciones. Replanteamientos y nuevas oportunidades**

7590 El área total de la superficie óptima para el aguacate en Puebla se aproxima a las
7591 85,300 ha, distribuidas en 4 regiones (Figura 8): la principal al norte del estado con
7592 una dirección noroeste-este en la Sierra Madre Oriental, abarca las subprovincias
7593 fisiográficas Lagos y Volcanes del Anáhuac, Carso Huasteco y Chiconquiaco donde
7594 se tienen principalmente climas bajo la clasificación de Köppen modificada por
7595 García (2001) del tipo C(m)(f), C(f), (A)C(fm), A(f) y Am(f); la segunda al este,
7596 insertada en la subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac con climas (A)C(fm),
7597 C(f), C(m)(f); la tercera región se localiza al sureste en la subprovincia de las Sierras
7598 Orientales donde los climas son (A)C(m), C(m) y C(w2); y la cuarta región es la del
7599 oeste en los Lagos y Volcanes del Anáhuac donde los climas son (A)C(w1) y C(w2).
7600 En estas mismas regiones también se encuentran zonas con condiciones por debajo
7601 de las óptimas que se han evaluado aquí como medias (valores entre 0.6 y 0.79),
7602 con una superficie total de aproximadamente 214,000 ha distribuidas en su mayoría
7603 al norte y oeste de Puebla.

7604 Figura 8. Áreas con potencial productivo para el aguacate en Puebla



7605

7606 Fuente: Elaboración propia.

7607 Del total de superficie óptima, 50 mil ha se distribuyen en municipios que producen
 7608 aguacate, siendo los de la región norte y este las de mayor proporción, y el caso
 7609 más extremo sucede al centro de la entidad. Las más de 35,000 ha con condiciones
 7610 óptimas restantes se encuentran en municipios que no tienen registro de superficie
 7611 sembrada con aguacate. En cuanto a las zonas con potencial productivo medio,
 7612 25% de ellas se localizan en municipios que en la actualidad producen aguacate,
 7613 principalmente al oeste y norte de la entidad. Una situación que resaltar es la
 7614 discrepancia entre las áreas con las condiciones óptimas para las plantaciones y la
 7615 relación entre la superficie sembrada y el rendimiento, según los datos promedio del
 7616 2003 al 2020 del SIAP (2021). En la figura 8 existe una clara diferencia; al norte y

7617 este, con valores por debajo del promedio o bien con mayor superficie, pero bajos
7618 rendimientos; y al oeste, centro, sur y sureste de la entidad con valores por encima
7619 del promedio o baja superficie sembrada, pero altos rendimientos, tal y como se ha
7620 constatado en el apartado de panorama agrícola en Puebla.

7621 Por un lado, municipios con valores por encima de la media en
7622 superficie/rendimiento localizados al sureste, centro y oeste de Puebla bajo el
7623 modelo de zonificación que presentan pocas áreas con condiciones óptimas y
7624 medias (las regiones del sureste y oeste). El resto de los municipios con valores por
7625 encima de la media en ambas variables o bien con datos de rendimientos altos, no
7626 tienen polígonos ni condiciones óptimas ni medias; en concreto se trata de la región
7627 centro y oeste. Lo anterior da pauta para inferir que los altos rendimientos que
7628 muestran los datos obtenidos se asociarían con el uso de insumos externos
7629 (sistemas de riego, fertilizantes, plaguicidas, etcétera), ya que municipios como
7630 Tochimilco, Tepexi, Zacapala, Atlixco, y principalmente Izúcar de Matamoros
7631 cuentan valores de producción altos, lo cual estaría relacionado con la capacidad
7632 de adquisición de dichos insumos.

7633 Por otra parte, el planteamiento lógico obedecería a que las áreas que contienen la
7634 mayoría de los polígonos que representan las zonas con condiciones óptimas para
7635 el aguacate coincidan con los datos favorables de superficie/rendimiento, sin
7636 embargo, los resultados señalan lo contrario. En este sentido, es probable que
7637 factores que intervienen en el rendimiento de los árboles y que no fueron
7638 considerados en el modelo, tales como la edad de las plantaciones, incidencia de

7639 plagas y enfermedades o el manejo del cultivo en general estén relacionados con
7640 los datos reportados por el SIAP como sucede principalmente al norte. En ambos
7641 casos es difícil comprobar las suposiciones planteadas debido a la ausencia de
7642 datos oficiales.

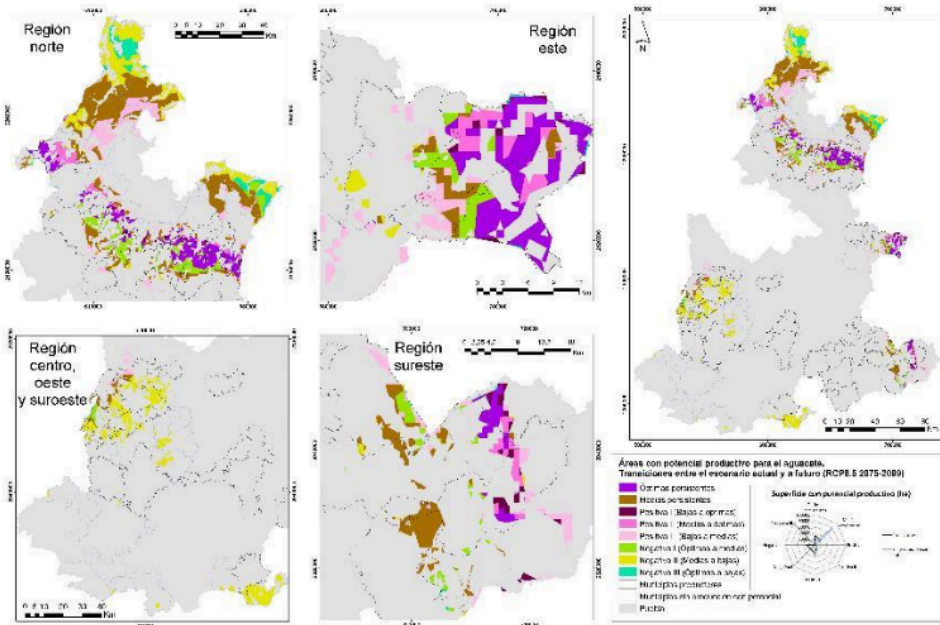
7643 Otro aspecto para considerar son las áreas que cuentan con condiciones óptimas o
7644 medias y que no están asociadas con los datos de producción; en este sentido,
7645 dichas áreas podrían ser tomadas en cuenta como áreas potenciales para el
7646 establecimiento de nuevas plantaciones. A pesar de que existen zonas al oeste y
7647 sureste con condiciones potenciales por debajo de las óptimas, es en los municipios
7648 más septentrionales de la región norte con climas más cálidos donde se distribuyen
7649 más áreas con potencial productivo.

7650 **Perspectivas a futuro. Cambios en los patrones de distribución de las áreas**
7651 **con potencial productivo**

7652 De inicio se puede reconocer en la figura 9 que habría mayores áreas con
7653 condiciones medias; si se conjugan con las áreas medias actuales podría significar
7654 que esta sería la categoría de potencial productivo dominante en un horizonte a
7655 largo plazo en Puebla. La superficie sembrada es menor que las áreas con potencial
7656 óptimo y medio actuales y a futuro (Figura 10). Las regiones norte, este y sureste
7657 que bajo el escenario actual tienen superficies potenciales óptimas y medias
7658 relevantes, bajo un horizonte lejano también contarían con superficies dentro de
7659 estas categorías, mientras que en la región oeste las superficies óptimas

7660 disminuirían y en la región centro prácticamente no parece que se distribuyan áreas
7661 con potencial óptimo y medio.

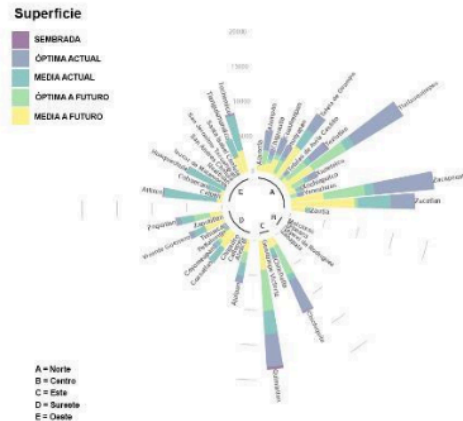
7662 Figura 9. Áreas con potencial productivo para el aguacate en Puebla y sus
7663 transiciones bajo el modelo ensamble MPI-ESM-LR. RCP85. Horizonte 2075-2099



7664

7665 Fuente: Elaboración propia.

7666 Figura 10. Superficies con potencial óptimo y medio actuales y a futuro



7667

7668 Fuente: Elaboración propia.

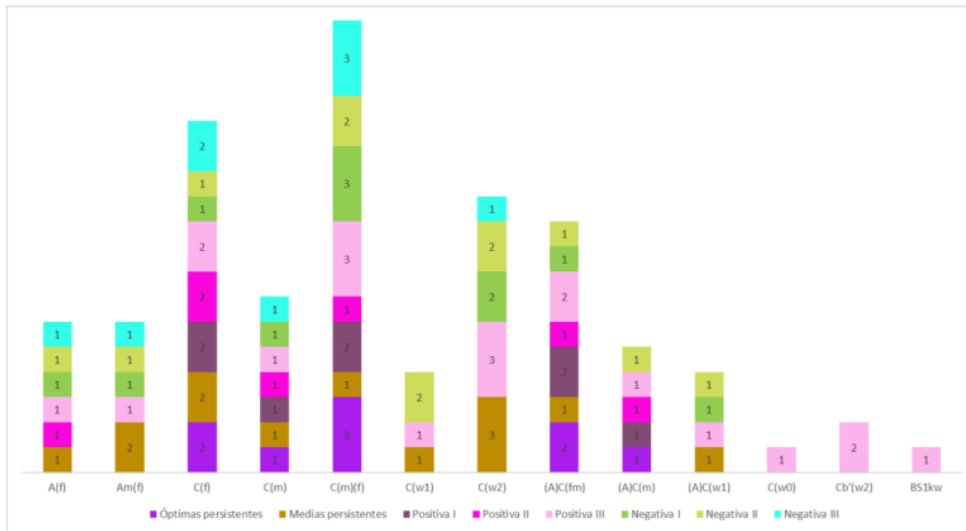
7669 Para el modelo y escenario de cambio climático en el horizonte de tiempo utilizado
 7670 en esta investigación, los resultados no muestran áreas óptimas y medias fuera de
 7671 las regiones identificadas en la zonificación bajo el escenario actual; esto es, que la
 7672 región norte, este, sureste y oeste contienen áreas potenciales incluso a largo plazo.
 7673 No obstante, existen sucesiones entre las categorías de aptitud que se ven
 7674 reflejadas espacialmente.

7675 Las áreas óptimas persistentes permanecerían en los climas templados, en
 7676 particular en el C(m)(f), así como en los semicálidos húmedos del grupo de los
 7677 templados como el (A)C(fm) y (A)C(m). Las medias persistentes estarían presentes
 7678 en la mayoría de los grupos climáticos asociados al potencial para el aguacate con
 7679 excepción del grupo (A)C(m) al sureste. Ahora bien, las transiciones positivas tipo I
 7680 tendrían lugar en los climas templados húmedos, donde no existen problemas de
 7681 déficit pluviométricos como C(f), C(m) y C(mf) y en los semicálidos húmedos del
 7682 grupo de los templados (A)C(fm) y (A)C(m).

7683 Por su parte, las transiciones positivas tipo II ocurrirían en el clima cálido húmedo
7684 A(f) al norte de la entidad, en los tres climas templados húmedos y en los dos
7685 semicálidos húmedos del grupo de los templados. Las transiciones positivas del tipo
7686 III sucederían en prácticamente todos los grupos climáticos que tienen potencial
7687 para el aguacate, incluso en climas donde no existe potencial actual como el
7688 templado subhúmedo C(w0), semifrío subhúmedo Cb'(w2) asociado a altitudes
7689 mayores cercanas a la región de los volcanes en el oeste y al Citlaltépetl al oeste y
7690 un semiárido templado con lluvias de verano BS1kw.

7691 En cuanto a las transiciones negativas tipo I, la más relevante sucedería en el clima
7692 C(m)(f) y en el resto de los grupos climáticos estaría presente con excepción del
7693 C(w1) y (A)C(m). Las transiciones negativas tipo II tendrían lugar en la mayoría de
7694 los grupos climáticos con potencial, con excepción del clima C(m) localizado en la
7695 región sureste. Por último, en los climas cálidos húmedos, templados húmedos y
7696 templado subhúmedo sucederían las transiciones negativas tipo III (Figura 11).

7697 Figura 11. Categorías de aptitud y sus transiciones por tipos de climas



7698

7699 Fuente: Elaboración propia.

7700 Las mayores transiciones sucederían en la región norte de Puebla. Las áreas
 7701 correspondientes a la franja óptima de dirección noroeste-este permanecerían;
 7702 aquellas zonas que se distribuyen al norte de las áreas persistentes cambiarían a
 7703 condiciones favorables (de medias a óptimas); mientras que al sur de dichas zonas
 7704 persistentes el patrón es distinto puesto que las áreas con condiciones óptimas
 7705 transitarían a condiciones medias que, en conjunción con las áreas medias
 7706 persistentes y las que cambiaron de condiciones bajas a medias, formarían una
 7707 franja de aptitud media. Por otro lado, en la parte más septentrional y noreste de la
 7708 región norte los cambios también serían relevantes: se conservarían las áreas con
 7709 condiciones medias e incluso algunas áreas bajas transitarían a condiciones
 7710 medias, sin embargo, los cambios desfavorables de condiciones óptimas a bajas y
 7711 medias a bajas serían evidentes. En este caso, los municipios sin producción con
 7712 potencial actual serían los menos favorecidos con esos cambios.

7713 Para la región este no solo permanecerían las áreas actuales óptimas y medias,
7714 sino que las transiciones de medias a óptimas y bajas a medias permitirían la
7715 conexión entre los polígonos de aptitud, formando regiones potenciales
7716 reconocibles para el aguacate. Una situación parecida a lo que ocurriría en la región
7717 este se encontraría en la región sureste con presencia de corredores de aptitud,
7718 pero también áreas aisladas con diversas condiciones de potencial productivo. En
7719 las regiones centro, sur, suroeste y oeste el escenario a futuro luce menos favorable
7720 que en el resto. Por un lado, los municipios que actualmente producen aguacate
7721 localizados en el centro, bajo el escenario planteado, no contendrían áreas donde
7722 sucediera una transición positiva; en la región sur, las áreas con condiciones medias
7723 cambiarían a bajas, al igual que en el suroeste. Mientras que, en la región oeste, las
7724 condiciones a futuro pasarían a ser medias puesto que las zonas óptimas actuales
7725 transitarían a una condición menor, aunado a las áreas medias que se mantendrían
7726 y aquellas que podrían aparecer gracias a la conversión de áreas bajas a medias,
7727 formándose una franja de aptitud asociada al clima C(w2). Sin embargo, la mayor
7728 parte de las áreas medias actuales distribuidas en esta región se convertirían en
7729 condiciones bajas para el aguacate. En los municipios que actualmente producen
7730 aguacate, la mayoría de los polígonos que contienen son aquellos donde las
7731 condiciones pasan de bajas a medias, seguido del cambio de medias a bajas y las
7732 áreas óptimas persistentes. En contraste, en los municipios que no producen
7733 aguacate, pero con condiciones potenciales actuales, serían los polígonos con las

7734 condiciones medias persistentes y la conversión de bajas a medias las que
7735 predominarían.

7736 **Discusión**

7737 Se debe tener presente que en este trabajo se habla de condiciones promedio y a
7738 una escala regional. Se trata entonces de un análisis prospectivo para esta entidad
7739 que identifica las áreas óptimas para el aguacate examinando las mejores
7740 condiciones climáticas y edáficas disponibles para que la inversión en insumos sea
7741 mínima. Como se ha mencionado, la precipitación y temperatura son los elementos
7742 más relevantes para el aguacate. Una situación similar la obtuvo Campos-Campos
7743 (2012) para su zonificación: de 37 variables ambientales diez de ellas tuvieron el
7744 mayor peso, de las cuales la temperatura, suelo y precipitación explicaron más de
7745 90% de la variación agroecológica. En contraste, Selim *et al.* (2018) obtuvieron que
7746 la profundidad y la permeabilidad del suelo fueron los factores relevantes en la
7747 localización de áreas adecuadas para el aguacate, mientras que la única limitante
7748 climática considerada en su estudio fueron las temperaturas mínimas. No obstante,
7749 incluso los autores advierten que son los factores climáticos los más importantes
7750 porque estos no pueden ser modificados por los humanos. En este tenor, las
7751 repercusiones en el aguacate por alteraciones en la temperatura y precipitación, así
7752 como la modificación de las zonas productoras continúan en estudio (Tapia-Vargas
7753 *et al.*, 2011; Álvarez-Bravo *et al.*, 2017).

7754 Por otra parte, la zonificación muestra que la aptitud para el aguacate se asocia con
7755 los climas templados y cálidos. Se hace notar que la mejor aptitud se encuentra en

7756 la región norte, sin embargo, es ahí donde se presentó la mayor sobreposición con
7757 lo que se denominó aquí como usos de suelo prioritario (ver Tabla 3) donde se
7758 restringe el cultivo. El hecho de que las necesidades ambientales requeridas por el
7759 aguacate se encuentren en los bosques templados supone un problema de uso del
7760 suelo, particularmente por la conversión de forestal a plantaciones de aguacate, tal
7761 y como lo han documentado en otras entidades (Bravo-Espinoza *et al.*, 2009;
7762 Garibay-Orozco y Bocco-Verdinelli, 2011; Segundo-Vivanco, 2018; Ayala-Montejo
7763 *et al.*, 2021).

7764 En el caso de Puebla, los municipios que tienen en su territorio áreas óptimas para
7765 las plantaciones y que producen aguacate actualmente como Teziutlán,
7766 Cuautempan, Quimixtlán y Chichiquila han perdido entre 39 y 177 ha de cobertura
7767 forestal de 2001 al 2019 de acuerdo con las cifras del Global Forest Watch (2020),
7768 situación que se puede agravar si se realizan aperturas sin planificación previa.

7769 Los resultados apuntan a que hay zonas con condiciones óptimas y medias que
7770 actualmente pueden ser aprovechadas para nuevas plantaciones, sin embargo, se
7771 tendrá que valorar la posible conversión de cultivos evitando el cambio a grandes
7772 extensiones de monocultivos o paisajes dominados por huertas de aguacate y de
7773 grandes productores; lo que puede ser más viable es limitar la superficie destinada
7774 para las plantaciones; se conoce que a mayor superficie sembrada más
7775 dependencia a paquetes tecnológicos para incrementar los rendimientos (Morales-
7776 Carrillo y Gamboa-Zatarain, 2010). En este tenor, Montiel-Aguirre *et al.*, (2008)
7777 indican que se requiere al menos 6.72 ha para la rentabilidad del aguacate y

7778 minimizar los costos unitarios para competir en el mercado nacional y el de
7779 exportación. Con relación a lo anterior, se deberá tener en cuenta que no toda la
7780 producción tiene que estar orientada a la exportación, pues el mercado nacional, la
7781 economía regional, local e incluso el autoconsumo tienen un rol importante.

7782 En cuanto a las áreas de aptitud bajo el escenario de cambio climático, es
7783 importante tener en cuenta que los resultados deben considerarse como
7784 aproximaciones a un escenario futuro. Los modelos del clima tienen diversas
7785 limitaciones para simular aspectos del mismo (Ortiz-Paniagua y Ortega-Gómez,
7786 2015), por lo que su proyección a horizontes futuros lejanos conlleva un grado de
7787 incertidumbre mayor. No obstante, son herramientas útiles para la prospección
7788 orientada hacia el aprovechamiento de recursos y riesgos y en la formulación de
7789 estrategias de adaptación. En este sentido, en investigaciones como las de Álvarez
7790 *et al.*, (2017) o Charre *et al.*, (2019), donde se alude que los cambios en la
7791 temperatura y precipitación repercutirían en la distribución espacial del aguacate
7792 bajo escenarios de cambio climático para México, proporcionan información sobre
7793 los impactos indirectos del cambio climático.

7794 Con base en lo anterior, en Puebla las áreas óptimas se restringirían al norte, este
7795 y sureste, y en regiones como la centro y oeste esas superficies con mejores
7796 condiciones para el aguacate se reducirían. Al respecto, se podría plantear si
7797 compensa el costo de la producción y los beneficios económicos que se obtendrían
7798 a futuro. En este aspecto, la producción de aguacate bajo condiciones medias se
7799 lleva a cabo actualmente, de hecho, los datos oficiales del SIAP indican que los

7800 municipios con mayores producciones y rendimientos se localizan al centro y oeste
7801 de Puebla, sin embargo, es probable que el costo económico se incremente.
7802 Franco-Sánchez *et al.*, (2018) indican que tan solo el gasto en alquiler de la tierra
7803 puede alcanzar los 30,000 pesos mexicanos, el uso de tractor entre 5,000 y 8,000
7804 pesos, el gasto en contratación de personal los primeros 3 años de la plantación es
7805 alrededor de los 10,000 pesos y, sobre todo, el uso de insumos químicos (como
7806 mínimo 30,000 pesos) ya representan un costo importante para la producción.
7807 Por lo anterior, además del enfoque agroclimático que se ha presentado en esta
7808 investigación, se puede incentivar como rutas alternativas de producción mediante
7809 sistemas agroforestales o sostenibles (Montiel-Aguirre *et al.*, 2008). Con la
7810 asociación de cultivos como en los sistemas agroforestales se mejora la fertilidad
7811 del suelo, se protege de la erosión, se favorece el control de plagas de manera
7812 natural y además se reduce la dependencia económica de un solo cultivo (Nataren-
7813 Velazquez *et al.*, 2020). Todo ello con el propósito de lograr el aprovechamiento
7814 mesurado de los recursos para mitigar los impactos negativos con el mínimo de
7815 insumos externos que represente un coste económico menor y que a la vez se
7816 contribuya con la demanda de este frutal.

7817 **Conclusiones**

7818 La superficie sembrada es menor que las áreas con potencial óptimo y medio
7819 actuales y a futuro, principalmente al norte, este, sureste y oeste. En el estado de
7820 Puebla se encuentran áreas con condiciones climáticas y de suelos suficientes para
7821 incentivar y fortalecer la producción del aguacate.

7822 En cuanto a la metodología utilizada puede robustecer a las que se han desarrollado
7823 para la zonificación de cultivos en vía de la planificación agrícola, además, puede
7824 ser comparada, complementada o fortalecida con la incorporación de otras variables
7825 o con métodos de ponderación diferentes. ² Con el fin de fortalecer la toma de
7826 decisiones para la planificación agrícola en este territorio y para futuras
7827 investigaciones, recomendamos la creación de una base de datos georreferenciada
7828 para las plantaciones de aguacate en Puebla que permita el contraste de los
7829 modelos que se generen.

7830 **Referencias**

- 7831 Alcantar-Rocillo, J. J., Muñoz-Flores, H. J. (2012). Factores limitantes climáticos y
7832 altitudinales. En G. T. V. Chávez-León, *Impacto del uso de suelo forestal a*
7833 *huertos de aguacate*. INIFAP, 75-80.
- 7834 Alcantar-Rocillo, J. J. (2009). Requerimientos agroecológicos. En V. M. Coria-
7835 Avalos (Ed.), *Tecnología para la producción de aguacate en México. Libro*
7836 *técnico. Núm. 8*. SAGARPA-INIFAP, 17-27.
- 7837 Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruíz-Corral, J. A., Medina-García, G. (2017).
7838 Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de
7839 aguacate Hass en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19),
7840 4035-4048. doi.org/10.29312/remexca.v0i19.671
- 7841 Arias, F., Montoya, C. y Velázquez, O. (2018). Dinámica del mercado mundial de
7842 aguacate. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (55), 22-35.

- 7843 Ayala-Montejo, D., Valdés-Velarde, E. y Romo-Lozano, J. L. (2021). Análisis y
7844 priorización de sistemas de producción asociadas al café y aguacate. *Revista*
7845 *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(3), 525-539.
- 7846 Bravo-Espinoza, M., Sánchez-Pérez, J., Vidales-Fernández, J. A., Sáenz-Reyes, J.
7847 T., Chávez-León, J. G., Madrigal-Huendo, S., Muñoz-Flores, H., Tapia-
7848 Vargas, L. M., Orozco-Gutiérrez, G., Alcántar-Rocillo, J., Vidales-Fernández,
7849 I. y Venegas-González, E. (2009). *Impactos ambientales y socioeconómicos*
7850 *del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán.*
7851 INIFAP.
- 7852 Campos-Campos, O. (2012). *Zonificación agroecológica del aguacate (Persea*
7853 *americana Mill. var. Hass.) en la cuenca del Río Duero* [Tesis Maestría,
7854 Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12258>
- 7855 Charre-Medellín, J. F., Mas, J. F. y Chang-Martínez, L. A. (2019). Áreas potenciales
7856 actuales y futuras de los cultivos de aguacate Hass en México utilizando el
7857 modelo Maxent en escenarios de cambio climático. *Revista UD y la*
7858 *Geomática*, (14), 26-33.
- 7859 Chivasa, W., Mutanga, O. y Biradar, C. (2019). Mapping land suitability for maize
7860 (Zea may L.) production using GIS and AHP technique in Zimbabwe. *South*
7861 *African Journal of Geomatics*, 8(2), 265-281.
- 7862 Coria-Avalos, V. M. (Ed.). (2009). *Tecnología para la producción de aguacate en*
7863 *México. Libro técnico. Núm. 8.* SAGARPA-INIFAP.

- 7864 FAO. (2020). *Las principales frutas tropicales. Análisis del mercado 2018*. FAO.
7865 www.fao.org/publications/card/es/c/CA5692ES/
- 7866 Fernández-Eguiarte, A., Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R., Conde-Álvarez,
7867 A. C. y Trejo-Vázquez, R. I. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio*
7868 *climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y*
7869 *Centroamérica*. UNAM-INECC.
- 7870 Franco-Sánchez, M. A., Leos-Rodríguez, J. A., Salas-González, J. M., Acosta-
7871 Ramos, M. y García-Munguía, A. (2018). Análisis de costos y competitividad
7872 en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de*
7873 *Ciencias Agrícolas*, 9(2), 391-403.
- 7874 Gandolfo, S. P. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento*
7875 *vegetativo, floración y desarrollo del fruto de aguacate [Tesis Doctoral,*
7876 *Universidad Politécnica de Valencia]*.
7877 <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3441/tesisUPV2868.pdf>
- 7878 García, E. (2001). *Climas (clasificación de Koppen, modificado por García)*.
7879 CONABIO.
- 7880 García-Lozano, J., Ríos-Gallego, G., Franco, G., Sandoval-Arana, A. P. y Vásquez-
7881 Gallo, L. A. (2013). Atlas: Zonificación de las tierras para el uso potencial del
7882 cultivo de aguacate c.v. Hass en Colombia. Medellín: CORPOICA.
- 7883 Gardiazabal, F. (2004). *Factores agronómicos a considerar en la implantación de*
7884 *un huerto de paltos*. 2º Seminario internacional de paltos, 1-17. Sociedad
7885 Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota. Obtenido de

- 7886 http://avocadosource.com/journals/2_seminario/2_seminario_gardiazabal_clima_suelo_y_agua_span.pdf
- 7887
- 7888 Garibay-Orozco, C. y Bocco-Verdinelli, G. (2011). *Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976-2005)*. INECC-SEMARNAT.
- 7889
- 7890 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.
- 7891
- 7892
- 7893
- 7894
- 7895
- 7896 Global Forest Watch. (27 de noviembre de 2020). *Tree cover lost in Puebla*. www.globalforestwatch.org
- 7897
- 7898 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.
- 7899
- 7900
- 7901
- 7902 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. *Interciencia*, 35(9), 647-653.
- 7903
- 7904
- 7905 INEGI. (2004). *Guía para la Interpretación de Cartografía. Edafología*. INEGI.
- 7906 INEGI. (2005). *Conjunto de datos edafológicos. Escala 1:1 000 000 serie I*. INEGI.
- 7907 [Owww.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267636](http://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267636)

- 7908 INEGI. (2013). *Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II*
7909 *(Continuo Nacional)*. INEGI.
7910 www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707
- 7911 INEGI. (2014). *Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1: 250 000 Serie I*
7912 *(Continuo Nacional)*. INEGI.
7913 www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825004223
- 7914 INEGI. (2017a). *Anuario estadístico y geográfico Puebla 2017*. INEGI.
- 7915 INEGI. (2017b). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y*
7916 *vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI*. INEGI.
7917 www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359
- 7918 Jardón-Barbolla, L. O., Alavez-Gómez, V., Méndez, A., Gaona, A., Wegier, A. L. y
7919 Piñero, D. (2011c). *Cuarto informe: Análisis para la determinación de los*
7920 *centros de origen, domesticación y diversidad genética del género Persea y*
7921 *la especie Persea americana (aguacate)*. UNAM-SEMARNAT-CONABIO.
- 7922 Lucero-Pulido, M. y Navarro-Ainza, J. A. (2013). *Requerimientos agroclimáticos del*
7923 *cultivo de aguacate. Desplegable para productores. Núm. 6. La Paz, B.C.S.*
7924 SAGARPA-INIFAP.
7925 [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3934/](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3934/CIRNO_010209142800048868.pdf?sequence=1)
7926 [CIRNO_010209142800048868.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3934/CIRNO_010209142800048868.pdf?sequence=1)
- 7927 Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley.

- 7928 Montiel-Aguirre, G., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A. y Uribe-Gómez, M.
7929 (2008). Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra*
7930 *Latinoamericana*, 26(1), 85-90.
- 7931 Morales-Carrillo, N. y Gamboa-Zatarain, T. (2010). El aguacate como eje de una
7932 estrategia de desarrollo regional en Nayarit. *Revista de Geografía Agrícola*,
7933 (44), 41-55.
- 7934 Nataren-Velazquez, J., Angel-Pérez, A., Megchún-García, J. V., Ramirez-Herrera,
7935 E. y Meneses-Marquez, I. (2020). Caracterización productiva del aguacate
7936 (*Persea americana*) en la zona de alta montaña Veracruz, México. *Revista*
7937 *Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6(12), 1406-1423.
7938 doi.org/10.5377/ribcc.v6i12.9941
- 7939 Ortiz-Paniagua, C. F. y Ortega-Gómez, A. M. (2015). *Agricultura y cambio climático*
7940 *en la región aguacatera del estado de Michoacán*. 20° Encuentro Nacional
7941 sobre Desarrollo Regional en México, 1-29. AMECIDER – CRIM, UNAM.
- 7942 Pacheco, J. F. y Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación*
7943 *multicriterio para programas y proyectos*. ONU-CEPAL.
- 7944 Romero-Sánchez, M. A. (2012). *Comportamiento fisiológico del aguacate (Persea*
7945 *americana mill.) Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima. [Tesis*
7946 *Maestría, Universidad Nacional de Colombia]*.
7947 <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9437>
- 7948 Ruiz-Corral, J. A., Medina-García, G., González-Acuña, I. J., Flores-López, H. E.,
7949 Ramírez-Ojeda, G., Ortiz-Trejo, C., Byerly M., K. F. y Martínez-Parra, R. A.

7950 (2013). Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Libro Técnico Número 3
7951 (Segunda ed.). INIFAP. Obtenido de
7952 <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/4515>
7953 SAGARPA. (2017). *Planeación agrícola nacional 2017-2030. Aguacate mexicano.*
7954 SAGARPA. [www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf)
7955 [Aguacate.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf)
7956 Sarmiento-Sarmiento, D. (2018). *El cultivo del aguacate en el sur peninsular.*
7957 *Jornadas Técnicas sobre Aguacate*, (pág. 185). España.
7958 [www.icia.es/icia/index.php?option=com_content&view=article&id=4577&Item](http://www.icia.es/icia/index.php?option=com_content&view=article&id=4577&Itemid=100284)
7959 [id=100284](http://www.icia.es/icia/index.php?option=com_content&view=article&id=4577&Itemid=100284)
7960 Segundo-Vivanco, A. (2018). *Análisis del proceso de expansión de la superficie*
7961 *cultivada con aguacate y su impacto en los recursos naturales del municipio*
7962 *de Tacámbaro, Michoacán, 1990-2016 [Tesis Maestría, El Colegio de la*
7963 *Frontera Norte-CICESE]*. <https://www.colef.mx/posgrado/tesis/20161310/>
7964 Selim, S., Koc-San, D., Selim, C. y San, B. T. (2018). Site selection for avocado
7965 cultivation using GIS and multi-criteria decision analyses: Case study of
7966 Antalya, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 450-459.
7967 doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.038.
7968 SEMARNAT-CONANP. (2017). *Áreas Naturales Protegidas Federales de México.*
7969 SEMARNAT-CONANP.

- 7970 SIAP. (2018). *Atlas agroalimentario 2012-2018*. Obtenido de Aguacate:
7971 https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-
7972 *Agroalimentario-2018*
- 7973 SIAP. (2021). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de
7974 Producción agrícola por entidad federativa. Cultivo Aguacate:
7975 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- 7976 Sotelo-Ruíz, E. D., Cruz-Bello, G. M., González-Hernández, A. y Moreno-Sánchez,
7977 F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis
7978 espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias*
7979 *Agrícolas*, 7(2), 401-412.
- 7980 Tapia-Vargas, L. M., Larios-Guzmán, A., Vidales-Fernández, I., Pedraza-Santos, M.
7981 E. y Barradas, V. L. (2011). Cambio climático en la zona aguacatera de
7982 Michoacán: análisis de la precipitación y temperatura a largo plazo. *Revista*
7983 *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (21), 325-335.
- 7984 UNIATMOS. (2014a). *Climatología de referencia a partir de la base WorldClim*
7985 *Global Climadate para el periodo 1950-2000. Precipitación (mm). Resolución*
7986 *espacial 30" x 30"*. Obtenido de
7987 [http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metad](http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/30374f42-0981-47b7-b6cd-314bef1ce7fb)
7988 [ata/30374f42-0981-47b7-b6cd-314bef1ce7fb](http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/30374f42-0981-47b7-b6cd-314bef1ce7fb)
- 7989 UNIATMOS. (2014b). *Climatología de referencia a partir de la base WorldClim*
7990 *Global Climadate para el periodo 1950-2000. Temperatura máxima (°C).*
7991 *Resolución espacial 30" x 30"*. Obtenido de

- 7992 [http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metad](http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/11d755e4-a11c-41d1-b1d8-2616d4e434e9)
- 7993 [ata/11d755e4-a11c-41d1-b1d8-2616d4e434e9](http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/11d755e4-a11c-41d1-b1d8-2616d4e434e9)
- 7994 UNIATMOS. (2014c). *Climatología de referencia a partir de la base WorldClim*
- 7995 *Global Climadate para el periodo 1950-2000. Temperatura mínima (°C).*
- 7996 *Resolución espacial 30" x 30".* Obtenido de
- 7997 [http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metad](http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/0e543362-ebb8-41ea-9573-76b4e768ecaf)
- 7998 [ata/0e543362-ebb8-41ea-9573-76b4e768ecaf](http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/0e543362-ebb8-41ea-9573-76b4e768ecaf)
- 7999 UNIATMOS. (2014d). *Modelo MPI-ESM-LR. RCP85. Horizonte 2075-2099.*
- 8000 *Precipitación (mm). Resolución espacial de 30" x 30".* Obtenido de
- 8001 [https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/15326e](https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/15326ebc-de11-478c-b7ef-847ee88435fa)
- 8002 [bc-de11-478c-b7ef-847ee88435fa](https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/15326ebc-de11-478c-b7ef-847ee88435fa)
- 8003 UNIATMOS. (2014e). *Modelo MPI-ESM-LR. RCP85. Horizonte 2075-2099.*
- 8004 *Temperatura máxima (°C). Resolución 30" x 30".* Obtenido de
- 8005 [https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/6baf74](https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/6baf7494-a311-46eb-8bb7-aa2a9bed9b80)
- 8006 [94-a311-46eb-8bb7-aa2a9bed9b80](https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/6baf7494-a311-46eb-8bb7-aa2a9bed9b80)
- 8007 UNIATMOS. (2014f). *Modelo MPI-ESM-LR. RCP85. Horizonte 20175-2099.*
- 8008 *Temperatura mínima (°C). Resolución espacial de 30" x 30".* Obtenido de
- 8009 [https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/285aa2](https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/285aa20b-eeae-4b1e-873f-4fa27af5c6f0)
- 8010 [0b-eeae-4b1e-873f-4fa27af5c6f0](https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/285aa20b-eeae-4b1e-873f-4fa27af5c6f0)
- 8011 Zapata-Guzmán, J. E., Tobón-Acevedo, J. D., Patiño-Tiria, H. I., Palacios, E. H.,
- 8012 Mejía-Córdoba, C. A., Marín-Zapata, H. D., Alcaraz-Machado, C. y Alcaraz-
- 8013 Guzmán, E. (2018). *El cultivo de aguacate Persea americana en el occidente*

8014 *de Antioquia*. Servicio Nacional de Aprendizaje-Centro Tecnológico, Turístico
8015 y Agroindustrial del Occidente Antioqueño.
8016

8017 **Sobre los autores**

8018 **Capítulo 1**

8019 Pablo Alberto Torres Lima, Doctor en Antropología, Universidad Autónoma
8020 Metropolitana, Xochimilco, México, ptorres@correo.xoc.uam.mx

8021 Juan Guillermo Cruz Castillo, Doctor en Ciencias Hortícolas, Universidad Autónoma
8022 Chapingo (CRUO), México, jcruz@chapingo.mx

8023 **Capítulo 2**

8024 Luis Ángel Barrera Guzmán, Doctor en Ciencias en Horticultura, Universidad
8025 Autónoma Chapingo, México, lbarrerag@chapingo.mx

8026 María Elena Galindo Tovar, Doctora en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales,
8027 Universidad Veracruzana, México, megalindo@uv.mx

8028 Humberto Mata Alejandro, Doctor en Ciencias Agropecuarias, Universidad
8029 Veracruzana, México, hmata@uv.mx

8030 Joaquín Murguía González, Doctorado en Ciencias, especialista en
8031 Agroecosistemas Tropicales, Universidad Veracruzana,
8032 México, jmurguia@uv.mx

8033 Héctor Tecumshé Mojica Zárate, Doctor en Ciencias en Innovación en Manejo de
8034 Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo, México,
8035 hmojicz@chapingo.mx

8036 **Capítulo 3**

8037 Helber Enrique Balaguera-López, Doctor en Fisiología Vegetal, Universidad
8038 Nacional de Colombia, Colombia, hebalagueral@unal.edu.co

8039 Stanislav Magnitskiy, Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de Colombia,
8040 Colombia, svmagnitskiy@unal.edu.co

8041 Joaquín Guillermo Ramírez-Gil, Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional
8042 de Colombia, Colombia, jgramireg@unal.edu.co

8043 Gerhard Fischer, Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia,
8044 Colombia, gersfischer@gmail.com

8045 **Capítulo 4**

8046 Laura A. Valbuena-Gaona, Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de
8047 Colombia, Colombia, lvalbuena@unal.edu.co

8048 María Isabel Munera-López, MBA. Consultora independiente, Colombia;
8049 isabelitalomu@gmail.com

8050 **Capítulo 5**

8051 Jorge Andrés Agustín, Doctor en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma
8052 Chapingo (CRUCO), México, jandresa@chapingo.mx

8053 **Capítulo 6**

8054 Luis L. Vázquez, Ingeniero Agrónomo, Centro Latinoamericano de Investigaciones
8055 Agroecológicas, Cuba, llvazquezmoreno@yahoo.es

8056 **Capítulo 7**

8057 María Del Refugio Castañeda Chávez, Doctora en Ciencia y Tecnología
8058 Ambiental, Instituto Tecnológico de Boca del Río, México,
8059 mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx

8060 **Capítulo 8**

8061 Ismael Quiroz Guerrero, Doctorado en Ciencias, especialista en Agroecosistemas

8062 Tropicales, Universidad Veracruzana, México, iquiroz@uv.mx

8063 **Capítulo 9**

8064 Tania Romero-Figueiras, Doctora en Ciencias Agropecuarias, Universidad

8065 Veracruzana, México, zs20000081@estudiantes.uv.mx

8066 Pablo Andrés-Meza, Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-

8067 Genética, Universidad Veracruzana, México, pandres@uv.mx

8068 Alejandro Espinosa-Calderón, Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos, Instituto

8069 Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México,

8070 espinoale@yahoo.com.mx

8071 Julio González-Cárdenas, Doctor en Ciencias en Biodiversidad y Conservación,

8072 Universidad Veracruzana, México, juliogonzalez@uv.mx

8073 Otto Leyva-Ovalle, Doctor en Genética, Universidad Veracruzana, México,

8074 oleyva@uv.mx

8075 Ricardo Serna-Lagunes, Doctor en Ciencias Agropecuarias, Universidad

8076 Veracruzana, México, rserna@uv.mx

8077 Julio Díaz-José, Doctor en Problemas Económico – Agroindustriales, Universidad

8078 Veracruzana, México,

8079 Miguel Cebada-Merino, Maestría en Horticultura Tropical, Universidad Veracruzana,

8080 México, mcebada@uv.mx

8081 María Galindo-Tovar, Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales,

8082 Universidad Veracruzana, México, megalindo@uv.mx

8083 Mauro Sierra-Macías, Ingeniero Agrónomo, Instituto Nacional de Investigaciones

8084 Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México, sierra.mauro@inifap.gob.mx

8085 Margarita Tadeo-Robledo, Doctora en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de

8086 México, México, tadeorobledo@yahoo.com

8087 **Capítulo 10**

8088 Gustavo Almaguer Vargas, Doctor en Ciencias en Fisiología Vegetal, Universidad

8089 Autónoma Chapingo, México, galmaguerv@chapingo.mx

8090 Viviana Carvajal Salazar, Doctora en Problemas Económico – Agroindustriales,

8091 Universidad Autónoma Chapingo, México, vcarvajals@chapingo.mx

8092 Alma Ayala Garay, Universidad Autónoma Chapingo, Doctora en Problemas

8093 Económico – Agroindustriales, México, ayalaalma@inifap.gob.mx

8094 **Capítulo 11**

8095 Roberto Carlos Mariano, Doctor en Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad

8096 Nacional de La Palma, Argentina, rcmariano@agro.unlpam.edu.ar

8097 Rocío Luján González, Doctora en Ciencias de la Administración, Universidad

8098 Nacional de La Palma, Argentina, rgonzalez@agro.unlpam.edu.ar

8099 Santiago Agustín Pérez, Doctor en Ciencias de la Administración, Universidad

8100 Nacional de La Palma, Argentina, sperez@agro.unlpam.edu.ar

8101 Santiago Ferro Moreno, Doctor en Ciencias Económica, Universidad Nacional de La

8102 Palma, Argentina, sferromoreno@agro.unlpam.edu.ar

8103 **Capítulo 12**

8104 Gisela Valdés Padilla, Doctora en Ciencias Sociales. Universidad de Guadalajara,
8105 México, gisela.valdes.padilla@gmail.com

8106 Mayra Karina Solís López, Doctora en Estrategias para el desarrollo Agrícola
8107 Regional, SECIHTI- Universidad de Guadalajara, México,
8108 mksl3hs@gmail.com

8109 María de Lourdes Flores López, Doctora en Antropología, SECIHTI-Universidad de
8110 Guadalajara, México, lflores@ciatej.mx

8111 **Capítulo 13**

8112 Luis Alberto Olvera Vargas, Doctor en Ciencias Ambientales, Centro de
8113 Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco,
8114 México, lolvera@ciatej.mx

8115 Noé Aguilar-Rivera, Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad Veracruzana,
8116 México, naguilar@uv.mx

8117 **Capítulo 14**

8118 Eduardo Pérez Sosa, Doctorante en Geografía, Universidad de Zaragoza, España,
8119 eduardo.perez7135@gmail.com

8120 Guadalupe Rebeca Granados-Ramírez, Doctora en Geografía, Universidad
8121 Nacional Autónoma de México, México, rebeca@geografia.unam.mx

8122 Miguel Ángel Saz, Doctor en Geografía, Universidad de Zaragoza, España,
8123 masaz@unizar.es

8124 María Luz Hernández-Navarro, Doctora en Geografía, Universidad de Zaragoza,
8125 España, mlhernan@unizar.es

Producción de frutales en cambio climático

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scielo.org.mx Internet	4429 palabras — 5%
2	tig.age-geografia.es Internet	616 palabras — 1%
3	colposdigital.colpos.mx:8080 Internet	593 palabras — 1%
4	repositorio.geotech.cu Internet	509 palabras — 1%
5	www.researchgate.net Internet	342 palabras — < 1%
6	d.documentop.com Internet	278 palabras — < 1%
7	somas.org.mx Internet	218 palabras — < 1%
8	www.gob.mx Internet	201 palabras — < 1%
9	"El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021 Crossref	171 palabras — < 1%
10	memoriasocla.agro.unlp.edu.ar Internet	

		156 palabras — < 1%
11	repositorio.chapingo.edu.mx:8080 Internet	137 palabras — < 1%
12	www.coursehero.com Internet	134 palabras — < 1%
13	es.scribd.com Internet	127 palabras — < 1%
14	documentop.com Internet	121 palabras — < 1%
15	dcsh.xoc.uam.mx Internet	116 palabras — < 1%
16	repositorio.catie.ac.cr Internet	113 palabras — < 1%
17	idoc.pub Internet	111 palabras — < 1%
18	www.indap.gob.cl Internet	111 palabras — < 1%
19	www.unlpam.edu.ar Internet	110 palabras — < 1%
20	hdl.handle.net Internet	109 palabras — < 1%
21	www.iaph.es Internet	108 palabras — < 1%
22	botanicaargentina.org.ar Internet	101 palabras — < 1%

23	revistas.reduc.edu.cu Internet	101 palabras — < 1%
24	era.ujat.mx Internet	92 palabras — < 1%
25	doczz.es Internet	91 palabras — < 1%
26	dspace.utb.edu.ec Internet	90 palabras — < 1%
27	es.statista.com Internet	84 palabras — < 1%
28	www.scielo.cl Internet	83 palabras — < 1%
29	Alejandro J. López Feldman, Danae Hernández Cortés. "Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina", El Trimestre Económico, 2016 Crossref	80 palabras — < 1%
30	asohofrucol.com.co Internet	79 palabras — < 1%
31	bosquedeniebla.com.mx Internet	79 palabras — < 1%
32	repositorio.uap.edu.pe Internet	76 palabras — < 1%
33	maldita.es Internet	75 palabras — < 1%
34	celia.agroeco.org Internet	71 palabras — < 1%

35	www.phytoma.com Internet	70 palabras — < 1%
36	boletinagrario.com Internet	69 palabras — < 1%
37	www.asohofrucol.com.co Internet	68 palabras — < 1%
38	1library.co Internet	67 palabras — < 1%
39	edoc.tips Internet	67 palabras — < 1%
40	ri-ng.uaq.mx Internet	65 palabras — < 1%
41	www.fronterad.com Internet	64 palabras — < 1%
42	repositorio.uaaan.mx Internet	63 palabras — < 1%
43	sired.udenar.edu.co Internet	62 palabras — < 1%
44	"América Latina y el Caribe en la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022 Crossref	61 palabras — < 1%
45	www.sagarpa.mx Internet	59 palabras — < 1%
46	docplayer.es Internet	56 palabras — < 1%

47	alimentacion.conahcyt.mx Internet	51 palabras — < 1%
48	pdffox.com Internet	51 palabras — < 1%
49	www.inecol.edu.mx Internet	50 palabras — < 1%
50	datospdf.com Internet	49 palabras — < 1%
51	ojs.unipamplona.edu.co Internet	48 palabras — < 1%
52	cienciasagricolas.inifap.gob.mx Internet	45 palabras — < 1%
53	revistacta.agrosavia.co Internet	44 palabras — < 1%
54	www.inforural.com.mx Internet	44 palabras — < 1%
55	www.rniu.buap.mx Internet	44 palabras — < 1%
56	pomaceas.utralca.cl Internet	43 palabras — < 1%
57	www.inia.uy Internet	43 palabras — < 1%
58	doaj.org Internet	41 palabras — < 1%
59	www.thefreelibrary.com Internet	39 palabras — < 1%

60	repositorio.unsch.edu.pe Internet	38 palabras — < 1%
61	www.ideam.gov.co Internet	37 palabras — < 1%
62	www.yumpu.com Internet	37 palabras — < 1%
63	www.intagri.com Internet	35 palabras — < 1%
64	Hamza Taoumi, Khadija Lahrech. "Economic, environmental and social efficiency and effectiveness development in the sustainable crop agricultural sector: A systematic in-depth analysis review", <i>Science of The Total Environment</i> , 2023 Crossref	34 palabras — < 1%
65	cec.chapingo.mx Internet	33 palabras — < 1%
66	www.ecured.cu Internet	33 palabras — < 1%
67	Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez. "Desastre compuesto: sequía y Covid-19 en Veracruz, México", <i>Interconectando Saberes</i> , 2022 Crossref	31 palabras — < 1%
68	cronica.diputados.gob.mx Internet	31 palabras — < 1%
69	sembrandocapacidades.fao.org.co Internet	31 palabras — < 1%
70	derechocannabico.com Internet	30 palabras — < 1%

71	www.ciatej.mx Internet	28 palabras — < 1%
72	investincolombia.com.co Internet	27 palabras — < 1%
73	centrogilbertobosques.senado.gob.mx Internet	26 palabras — < 1%
74	www.redalyc.org Internet	26 palabras — < 1%
75	Gustavo Adolfo Sánchez-Hernández, Ernesto Aceves-Ruiz, Angélica Aparicio-Juárez, Juan de Dios Guerrero-Rodríguez et al. "Fertilización química e inoculación con Azospirillum y hongos micorrízicos del cultivo de jitomate en invernadero", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2023 Crossref	25 palabras — < 1%
76	joseovidioflores.files.wordpress.com Internet	25 palabras — < 1%
77	www.porkcolombia.co Internet	25 palabras — < 1%
78	Clara R. Álvarez Chávez, Ana L. Bautista-Olivas, Ángel C. Sánchez-Mexia, Francisco Vargas-Serrano, Mayra Mendoza-Cariño. "EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE MICROGREENS EN CUARTOS DE CULTIVO A NIVEL DOMÉSTICO", Revista Fitotecnia Mexicana, 2024 Crossref	24 palabras — < 1%
79	www.scielo.org.co Internet	23 palabras — < 1%
80	revistas.udistrital.edu.co Internet	

		22 palabras — < 1%
81	sedici.unlp.edu.ar Internet	22 palabras — < 1%
82	doczz.com.br Internet	21 palabras — < 1%
83	noticiascubanas.com Internet	21 palabras — < 1%
84	www.agro.uba.ar Internet	21 palabras — < 1%
85	www.rmfm.smf.org.mx Internet	21 palabras — < 1%
86	Luis M. Hernández-Morales, Eliseo García-Pérez, José I. Cortés-Flores, Ángel Villegas-Monter, José A. Mora-Aguilera. "FERTILIZACIÓN INTEGRAL EN ÁRBOLES DE NARANJO 'MARRS' EN PRODUCCIÓN CON SÍNTOMAS DEVIRUS DE LA TRISTEZA DE LOS CÍTRICOS (VTC) Y HUANGLONGBING (HLB)", Revista Fitotecnia Mexicana, 2021 Crossref	20 palabras — < 1%
87	azm.ojs.inecol.mx Internet	20 palabras — < 1%
88	www.retailactual.com Internet	20 palabras — < 1%
89	en15dias.com Internet	19 palabras — < 1%
90	agroeco.org Internet	18 palabras — < 1%
91	eprints.qut.edu.au	

Internet

18 palabras — < 1%

92 repositorio.una.edu.ni
Internet

18 palabras — < 1%

93 www.eldiariodelapampa.com.ar
Internet

18 palabras — < 1%

94 "Klimaanpassung in Forschung und Politik",
Springer Science and Business Media LLC,
2017
Crossref

17 palabras — < 1%

95 cibnor.repositorioinstitucional.mx
Internet

17 palabras — < 1%

96 es.slideshare.net
Internet

17 palabras — < 1%

97 atlasapi2019.github.io
Internet

16 palabras — < 1%

98 core.ac.uk
Internet

16 palabras — < 1%

99 regeneratio.uci.ac.cr
Internet

16 palabras — < 1%

100 repositorio.umsa.bo
Internet

16 palabras — < 1%

101 Camacho García, Maria Ofelia Guadalupe. "La
Influencia de los Grupos de Interes
Empresariales en la Gestion de Instrumentos de Politica
Ambiental en Mexico, 1990-2010", El Colegio de Mexico, 2021
ProQuest

15 palabras — < 1%

102 cenamet.org.ar

Internet

15 palabras — < 1%

103 orgprints.org
Internet

15 palabras — < 1%

104 www.aguacatesdemexico.com.mx
Internet

15 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 15 PALABRAS