

1 *Original Article*

2 **Impacto de la radiación ultravioleta en la calidad del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.):**
3 **Mecanismos de resiliencia y estrategias de manejo sostenible**

4
5 **Impact of ultraviolet radiation on avocado (*Persea americana* Mill.) fruit quality: Resilience mecha-**
6 **nisms and sustainable management strategies**

7
8
9 **Steven Barrera¹✉^{ID}* y Edmundo Recalde¹✉^{ID}**

10 ¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra Ecuador; bsbarrera@pucesi.edu.ec, [https://or-](https://orcid.org/0009-0004-2488-9294)
11 [cid.org/0009-0004-2488-9294](https://orcid.org/0009-0004-2488-9294);

12 *Autor de correspondencia: bsbarrera@pucesi.edu.ec; +593981521881

13 Received:
14 Accepted:
15 Published:

16 **Resumen:** El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la radiación ultravioleta (UV)
17 sobre la calidad del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.), enfocándose en las respuestas fisiológicas
18 y bioquímicas de los cultivares ‘Hass’ y ‘Fuerte’ bajo dos niveles de exposición solar (exposición solar:
19 índice UV: 8–10 y sombra parcial: índice UV de 4–5). Para ello, se desarrolló un ensayo experimental en
20 el cantón Patate, Ecuador, complementado con una revisión bibliométrica sobre estrategias de mitigación
21 frente al estrés UV. La metodología incluyó un diseño factorial 2x2 completamente al azar, considerando
22 variedad y exposición solar (plena vs. parcial), con evaluación de polifenoles totales (PT), flavonoides
23 totales (FT), peroxidación lipídica (TBARS) y atributos organolépticos. Los frutos con exposición solar
24 plena mostraron una significativa acumulación de compuestos fenólicos (hasta 93,89 mg GA/100 g) y
25 flavonoides (68,76 mg QE/100 g), lo que evidencia un rol inductivo de la radiación UV en el metabolismo
26 secundario. Por otra parte, también se evidenció un aumento de productos de oxidación lipídica y una dis-
27 minución de la calidad sensorial, particularmente en textura y sabor. La revisión bibliométrica reveló un
28 crecimiento en la producción científica sobre radiación UV en frutales, pero con escasa atención al aguacate.
29 Se destacaron estrategias de manejo sostenible como mallas de sombreo, sistemas de enfriamiento evapo-
30 rativo y protectores solares (como el caolín), que han demostrado eficacia en mitigar el estrés térmico.

31 **Palabras clave:** Radiación UV, calidad del aguacate, compuestos fenólicos, estrés oxidativo, Manejo
32 sostenible de cultivos.

33 **Abstract:** This study aimed to evaluate the impact of ultraviolet (UV) radiation on avocado (*Persea*
34 *americana* Mill.) fruit quality, focusing on the physiological and biochemical responses of ‘Hass’ and
35 ‘Fuerte’ cultivars under varying levels of solar exposure. The research involved an experimental trial
36 conducted in Patate, Ecuador, complemented by a bibliometric review of mitigation strategies against
37 UV-induced stress. A 2x2 factorial completely randomized design was implemented, considering culti-
38 var and solar exposure (full vs. partial), and assessing total polyphenols (TP), total flavonoids (TF), lipid
39 peroxidation (TBARS), and organoleptic properties. Fruits under full solar exposure exhibited a signif-
40 icant increase in phenolic compounds (up to 93.89 mg GA/100 g) and flavonoids (68.76 mg QE/100 g),
41 indicating the role of UV radiation as a stimulus for secondary metabolism activation. However, an
42 increase in lipid oxidation products and a decrease in sensory quality, particularly in texture and flavor,
43 were also evident. The bibliometric analysis revealed a growing body of literature on UV radiation ef-
44 fects in fruit crops, though studies on avocado remain limited. Sustainable management practices such
45 as shading nets, evaporative canopy cooling systems, and protective films (e.g., kaolin) were highlighted
46 as effective strategies for mitigating thermal and UV stress.

47 **Keywords:** UV radiation, avocado quality, phenolic compounds, oxidative stress, sustainable crop man-
48 agement

49 **INTRODUCCIÓN**

50 El aguacate (*Persea americana* Mill.) es originario del centro y sur de México y es cultivado por el conte-
51 nido nutricional de sus frutos y por los beneficios para la salud humana, debido a que son fuente de nu-
52 trientes liposolubles o fitoquímicos como xantofila, carotenoides, fenoles y fitoesteroles (Ruiz-Aracil et al.,
53 2024).

54 De acuerdo con Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2024), en
55 2022 la producción mundial de aguacate alcanzó 8.978.275,2 t, de las cuales México aportó el 28.2 % de

56 la producción mundial, seguido de Colombia, Perú, República Dominicana y Kenia con un 12,2; 9,7; 8,2 y
57 5,1 % del total, mientras que Ecuador ocupó el puesto 30 con una producción de 26440 t.

58 Aunque la producción de aguacate ha experimentado un ligero incremento desde 2020, este cultivo, al igual
59 que otras especies frutales, enfrentan desafíos relacionados con el estrés ambiental, siendo los principales
60 el estrés térmico causado por la radiación solar y las temperaturas a nivel global, los cuales se han incre-
61 mentado en los últimos años debido a la intensificación del cambio climático, teniendo un impacto negativo
62 el desarrollo de los cultivos y la productividad y calidad de los frutos (Bhattacharjee et al., 2022; Neto et
63 al., 2024; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2024). Adicional-
64 mente, los cambios drásticos de temperatura pueden afectar gravemente la producción de especies frutales
65 perennes, como el aguacate, puesto que podrían forzar el desplazamiento del cultivo hacia otras latitudes
66 con condiciones edáficas menos adecuadas comprometiendo aún más su rendimiento (Garner & Lovatt,
67 2016).

68 La disminución de la capa de ozono ha permitido que una mayor cantidad de radiación ultravioleta (UV)
69 llegue a la superficie terrestre provocando limitaciones en la producción de los cultivos (Barnes et al., 2023).
70 El incremento en la radiación UV, por una parte, induce alteraciones en la tasa fotosintética y de transpira-
71 ción, provocando estrés en el crecimiento y el desarrollo de las plantas y, por otro lado, se manifiestan
72 cambios en la calidad del fruto y su valor comercial debido a la disminución del contenido de nutrientes y
73 antioxidantes, así como por daños directos a la piel, como quemaduras y manchas (Neto et al., 2024). Se
74 estima que el aumento de la UV podría contribuir con la reducción del rendimiento de los cultivos entre un
75 20 % y un 30 %, lo que le cuesta a la industria del aguacate entre 3 y 4.500 millones de dólares anuales
76 (García, 2021). Sin embargo, su efecto será proporcional a la intensidad y duración de la exposición a altas
77 temperaturas, lo que puede comprometer la salud y la viabilidad económica del cultivo (Neto et al., 2024).
78 El cambio climático global ha generado un creciente interés en la búsqueda de estrategias sostenibles para
79 la producción agrícola. Aunque existe preocupación por los efectos perjudiciales de la radiación UV, algu-
80 nos estudios sugieren que esta también podría tener impactos positivos en ciertos aspectos del desarrollo
81 de los cultivos, lo que abre nuevas oportunidades de investigación (Wargent & Jordan, 2013). No obstante,
82 a nivel mundial, los estudios sobre este tema aún son escasos, y en Ecuador no se han desarrollado investi-
83 gaciones que aborden específicamente la influencia de la radiación UV en el cultivo de aguacate. En este
84 contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de la radiación UV sobre la calidad

85 del fruto de aguacate en el cantón Patate. Asimismo, se incluye una revisión bibliométrica sobre el estado
86 actual del conocimiento relacionado con los posibles mecanismos de resiliencia y las estrategias de manejo
87 sostenible aplicables a este cultivo.

88 **MATERIALES Y MÉTODOS**

89 El estudio fue conducido en dos fases; una primera fase experimental en el cual se evaluó el contenido de
90 polifenoles y flavonoides totales en frutos de aguacate variedad Hass y Fuerte por efecto de la exposición
91 solar. En la segunda fase se hizo una revisión bibliométrica sobre las estrategias de manejo para mitigar los
92 efectos negativos de la radiación UV en la producción de aguacate.

93 **Fase experimental**

94 *Establecimiento del ensayo*

95 El estudio se llevó a cabo en una parcela experimental ubicada en el cantón Patate, provincia de Tungurahua
96 (Ecuador) en unidades de producción localizadas a 2300 msnm, con el objetivo de evaluar el efecto de la
97 exposición solar sobre las características el contenido de polifenoles y flavonoides totales, el grado de pe-
98 roxidación lipídica y las propiedades organolépticas de los frutos en árboles de aguacate (*Persea ameri-*
99 *cana*) de los cultivares 'Hass' y 'Fuerte', de cinco años de edad y en plena etapa de producción.

100 Para ello, cada árbol fue dividido en cuatro cuadrantes, de acuerdo con su exposición a la luz directa del
101 sol y se tomaron frutos que se desarrollaron bajo exposición plena a la luz solar (con radiación UV: ~200–
102 300 mW/m²; índice UV de 8–10+) y, por otra parte, se seleccionaron frutos desarrollados a exposición
103 parcial a la luz solar (con radiación UV: ~100 mW/m²; índice UV de 4–5).

104 Se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2×2, en el que los factores considerados
105 fueron el cultivar (Hass y Fuerte) y el nivel de exposición solar (plena y parcial), con tres repeticiones por
106 tratamiento. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 10 árboles, de los cuales los cinco árboles
107 centrales fueron utilizados para la recolección de datos.

108 El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto principal
109 de cada factor y su interacción. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de
110 Tukey para la comparación de medias con un nivel de significancia del 5 % usando el paquete estadístico
111 Statistix versión 10.0.

112 *Obtención del extracto*

113 En el laboratorio, el fruto de aguacate fue lavado con agua destilada para eliminar contaminantes superfi-
114 ciales, secado al aire a temperatura ambiente y conservado a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un ultracongelador BINDER. Pos-
115 teriormente, la pulpa fue liofilizada utilizando un equipo LABCONCO, molida en un mortero de porcelana
116 y tamizada a través de un tamiz No. 60 (serie de tamices estándar de EE. UU.) para obtener un polvo fino
117 con un tamaño de partícula inferior a $250\text{ }\mu\text{m}$. El polvo resultante fue almacenado en bolsas herméticas en
118 un ambiente seco y protegido de la luz hasta su análisis posterior.

119 Para la obtención del extracto, el polvo de pulpa fue macerado en metanol al 99,97 % dentro de un reci-
120 piente plástico estéril de 100 mL a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Parada Romina, Marisol y Marguet Emilio, 2019). El macerado
121 fue centrifugado a 14.900 rpm durante 5 minutos y se recolectó el sobrenadante. El disolvente fue evapo-
122 rado utilizando un horno BINDER ED de 240 L a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 4 horas, y el extracto fue ajustado a un
123 volumen final de 25 mL con agua Milli-Q, almacenándose posteriormente a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

124 *Cuantificación de polifenoles (PT) y flavonoides totales (FT)*

125 El contenido de PT y FT en frutos de los cultivares Hass y Fuerte fueron lavados con agua destilada y
126 almacenados a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un ultracongelador de la marca BINDER. Posteriormente, las muestras fueron
127 liofilizadas (Liofilizador LABCONCO). A continuación, las muestras fueron trituradas y tamizadas a través
128 de un tamiz (malla No. 60) para crear un polvo homogéneo con un tamaño de partícula menor de $250\text{ }\mu\text{m}$.
129 El polvo fue almacenado en bolsas herméticas en un área seca y protegida de la luz hasta su posterior
130 análisis.

131 Para cuantificar los PT se empleó el método colorimétrico Folin-Ciocalteu (Shraim et al., 2021). Se usó
132 ácido gálico (GA) como estándar de referencia para elaborar la curva de calibración. Se mezclaron 50 μL
133 del extracto obtenido con 100 μL de reactivo Folin-Ciocalteu 2N y se dejó reposar a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 5 min.
134 Se agregó 1 mL de Na_2CO_3 y se dejó reposar durante 2 h en la oscuridad hasta la aparición de una coloración
135 azul. Finalmente, se determinó la absorbancia de la solución a 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-
136 VIS (Thermo Scientific- Evolution 201). La ecuación 1 y la curva de calibración obtenida a partir del es-
137 tándar de AG, se utilizó para determinar el contenido de PT en la muestra.

138
$$PT = \frac{A_{760} - b_1}{m_1} \times Fac_1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

139 Donde:

140 FT: Polifenoles totales expresados en mg GA/g de pulpa de aguacate.

141 A_{760} : Absorbancia determinada a una longitud de onda de 760 nm.

142 m_1 : Pendiente de la curva de calibración (realizada con GA).

143 b_1 : Intercepto de la recta de regresión del calibrado con GA.

144 Fac_1 : El factor de dilución, determinado mediante el volumen de la alícuota de extracto recolectado, la cantidad de fruto utilizado y el volumen inicial del extracto.

146 La cuantificación de FT fue hecha mediante el método colorimétrico usando cloruro de aluminio y quercetina (QT) como estándar de referencia (Huang et al., 2018). Se mezclaron 250 μ L del extracto y 150 μ L de $NaNO_2$ al 5 % m/v y después de un período de incubación de 6 minutos, se añadieron 300 μ L de $AlCl_3$ al 10 % m/v. La mezcla se dejó reposar 5 min y se agregó 1 mL de NaOH 1 M completando un volumen de 5 mL con agua Milli-Q.

151 La cantidad de FT en la muestra se calculó mediante la ecuación 2, usando una curva de calibración derivada del estándar de QT.

$$153 \quad FT = \frac{A_{510} - b_2}{m_2} \times Fac_2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

154 Donde:

155 FT: Polifenoles totales expresados en mg QT/g de pulpa de aguacate.

156 A_{510} : Absorbancia seguida a 510 nm.

157 m_2 : Pendiente de la recta de regresión del calibrado con QT.

158 b_2 : Intercepto de la recta de regresión del calibrado con QT.

159 Fac_2 : El factor de dilución, determinado mediante el volumen de la alícuota de extracto recolectado, la cantidad de fruto utilizado y el volumen inicial del extracto.

161 *Grado de peroxidación lipídica*

162 La cuantificación de la peroxidación lipídica fue hecha siguiendo el método de Çakmak y Horst (1991), descrito por (Vásquez, 2012). Para cada tratamiento se prepararon extractos a partir de 0,75 g de pulpa de frutos de aguacate previamente liofilizada y pulverizada. Se añadió 1 mL de ácido tricloroacético (0,1 %) y la mezcla fue centrifugada a 10.000 rpm durante 5 min. Posteriormente, 0,3 mL del sobrenadante fueron transferidos a un tubo con 0,9 mL con una solución de ácido tiobarbitúrico (0,5 %) y ácido tricloroacético

167 (20 %). La mezcla fue colocada en baño de agua a 95 °C durante 30 min y se dejó enfriar en un baño de
 168 hielo para detener la reacción. Finalmente, la mezcla fue centrifugada a 10.000 rpm a 4 °C durante 5 min,
 169 utilizándose el sobrenadante para las evaluaciones. La cantidad de sustancias que reaccionan con el ácido
 170 tiobarbitúrico (TBARS) fue determinada mediante la absorbancia del líquido sobrenadante a 532 y 600 nm
 171 (espectrofotómetro Genesys 10UV). La concentración de TBARS, expresada en nmol/g, fue calculada me-
 172 diante la ecuación 3:

$$173 \quad TBARS = \frac{A_{532} - A_{600}}{\epsilon} \quad (\text{Ecuación 3})$$

174 *Análisis de las propiedades organolépticas del fruto de aguacate*

175 Para el análisis de las propiedades organolépticas del aguacate (sabor, olor, textura y color) se seleccionaron
 176 frutos frescos y homogéneo, los cuales fueron cortados en trozos para homogeneizar la evaluación.

177 Se realizó una evaluación organoléptica basada en atributos de sabor, olor, textura y color. La evaluación
 178 fue realizada por un panel entrenado de 20 jueces, quienes calificaron cada atributo utilizando una escala
 179 hedónica numérica de 1 a 10 (Tabla 1).

180 **Tabla 1.** Escala hedónica para la valoración de las propiedades organolépticas del fruto de aguacate

Pun- tuación	Sabor	Olor	Textura	Color
1-3	Muy desagradable, amargo o ácido intenso	Débil o con olores indeseables	Grumosa, fibrosa o seca	Apagado, pardeamiento evidente
4-6	Aceptable, con ligeros defectos	Moderado, ligeramente característico	Aceptable, con algo de irregularidad	Aceptable, ligeramente opaco
7-8	Buen sabor, equilibrado y característico	Agradable, fresco, típico del aguacate	Suave y cremosa	Típico, uniforme, atractivo
9-10	Excelente, muy agradable, sin defectos	Muy atractivo, limpio e intenso	Extremadamente suave, homogénea	Muy atractivo, vibrante y característico

181 *Análisis estadístico*

182 Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y las variables que mostraron diferencias significativas
 183 fueron compradas mediante prueba de medias según Tukey ($p < 0.05$).

184 **Fase de revisión bibliográfica**

185 *Fuente de los datos*

186 Con el fin de revisar la bibliografía publicada sobre las estrategias de manejo sostenible para mitigar los
187 efectos negativos de la radiación UV en la producción de aguacate se realizó un análisis bibliométrico en
188 la base de datos Scopus. De acuerdo con Chen et al. (2023), la información de la base de datos Scopus es
189 recopilada para crear un perfil de citación completo e interdisciplinario utilizando el programa de hoja de
190 cálculo Excel y la herramienta de diagramación de redes en VOSviewer (versión 1.6.18.0), R (versión
191 2022.02.2) (paquete Bibliometrix) y el software Publish and Perish (versión 8.2.394408118).

192 Para la selección de artículos se usaron los siguientes criterios de inclusión:

- 193 ✓ Estudios publicados entre 2000 y 2024;
- 194 ✓ Los estudios debían ser artículos de revistas científicas;
- 195 ✓ Los artículos debían estar escritos en el idioma inglés, español o portugués.

196 La estrategia de búsqueda incluyó las siguientes palabras clave:

197 Palabras clave en el título: "sunburn" OR "UV radiation" OR "sunblight" AND "Avocado" OR
198 "Polyphenol" OR "Flavonoids" OR "Lipid peroxidation" AND AÑO DE PUBLICACIÓN > 2000 AND
199 AÑO DE PUBLICACIÓN < 2024 AND (LIMITAR A (IDIOMAS, "English", "Spanish", "Portuguese").

200 Los datos fueron analizados usando el software Bibliometrics (R-Tool de R-Studio) combinado con Biblio-
201 shiny.

202 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

203 **Composición fitoquímica y propiedades organolépticas de fruto de aguacate**

204 El contenido de polifenoles totales, flavonoides totales y productos de peroxidación lipídica en frutos de
205 aguacate fue significativamente influenciado por la variedad y el nivel de exposición solar (Tabla 2). En
206 ambos cultivares evaluados (Hass y Fuerte), la plena exposición solar indujo un aumento en la concentra-
207 ción de compuestos fenólicos, alcanzando valores de 92,24 mg GA/100 g y 93,89 mg GA/100 g, respecti-
208 vamente. Asimismo, los niveles de flavonoides totales fueron más elevados bajo esta condición, con 61,84
209 mg QE/100 g en 'Hass' y 68,76 mg QE/100 g en 'Fuerte'. En contraste, los frutos expuestos parcialmente
210 al sol mostraron reducciones significativas en estos compuestos bioactivos, lo que sugiere que la radiación

211 solar, particularmente la fracción ultravioleta, actúa como un estímulo para la activación de rutas biosinté-
212 ticas asociadas al metabolismo secundario.

213 **Tabla 2.** Variación en el contenido de polifenoles totales, flavonoides totales y TBARS en frutos de aguacate variedad Hass y Fuerte por efecto de la exposición solar
214

Cultivar	Exposición solar	Polifenoles totales (mg GA/100g)	Flavonoides totales (mg QE/100g)	TBARS (nmol/g)
Hass	Plena exposición	92,24 ± a	61,84 ± b	1,82 ±
	Exposición parcial	73,74 ± c	55,80 ± c	0,99 ±
Fuerte	Plena exposición	93,89 ± a	68,76 ± a	1,87 ±
	Exposición parcial	79,92 ± b	59,81 ± bc	1,13 ±

215 Valores en una columna seguidos de letras diferentes mostraron diferencias significativas ($P < 0.01$).

216

217 Este hallazgo concuerda con investigaciones previas que destacan el papel de la radiación UV como un
218 inductor del metabolismo fenilpropanoide, al promover la expresión de genes como *PAL* (fenilalanina amino
219 liasa) y *CHS* (chalcona sintasa), responsables de la biosíntesis de compuestos fenólicos con propiedades
220 antioxidantes (Agati et al., 2012; Cisneros-Zevallos, 2003; Fu et al., 2021; Natarajan et al., 2024). Sin
221 embargo, este aumento en los metabolitos antioxidantes también fue acompañado por una intensificación
222 de los procesos oxidativos, evidenciada por el incremento significativo en los niveles de TBARS en frutos
223 expuestos completamente al sol. En particular, los valores de TBARS alcanzaron 1,82 nmol/g en ‘Hass’ y
224 1,87 nmol/g en ‘Fuerte’, en comparación con 0,99 y 1,13 nmol/g en los frutos con exposición parcial,
225 respectivamente. Este incremento sugiere una mayor generación de especies reactivas de oxígeno (ROS),
226 que no pudo ser completamente contrarrestada por los sistemas antioxidantes del fruto, resultando en un
227 mayor daño oxidativo a lípidos de membranas celulares en plantas sometidas a estrés por luz solar (Chouikh
228 et al., 2025; Keles & Oncel, 2002).

229 A pesar de los beneficios fitoquímicos observados, la exposición solar excesiva comprometió de manera
230 significativa la calidad sensorial del fruto (Tabla 3). Los frutos provenientes de árboles parcialmente som-
231 breados obtuvieron puntuaciones más altas en atributos organolépticos claves como sabor, olor y textura.

232 En la variedad ‘Hass’, los valores promedio de sabor y textura bajo sombra fueron de 8,02 y 8,42, respec-
 233 tivamente, mientras que en condiciones de sol pleno descendieron a 6,46 y 5,76. De manera similar, los
 234 frutos de la variedad ‘Fuerte’ presentaron una mejor aceptación sensorial cuando crecieron con menor in-
 235 cidencia solar, registrando puntuaciones de sabor y textura de 7,92 y 8,05, frente a 6,13 y 5,82 en condicio-
 236 nes de exposición directa.

237 **Tabla 3.** Efecto de la exposición solar sobre las características organolépticas de frutos de aguacate varie-
 238 dad Hass y Fuerte.

Cultivar	Exposición so- lar	Sabor	Olor	Textura	Color
Hass	Plena exposi- ción	6,46±0,47b	6,52±0,51b	5,76±0,84b	6,49±0,57a
	Exposición par- cial	8,02±0,25a	8,06±0,38a	8,42±0,55a	7,98±0,29b
Fuerte	Plena exposi- ción	6,13±0,50b	6,78±0,58b	5,82±0,79b	6,62±0,57a
	Exposición par- cial	7,92±0,50a	8,16±0,36a	8,05±0,52a	7,90±0,38b

239 Valores en una columna seguidos de letras diferentes mostraron diferencias significativas (P< 0.01).

240

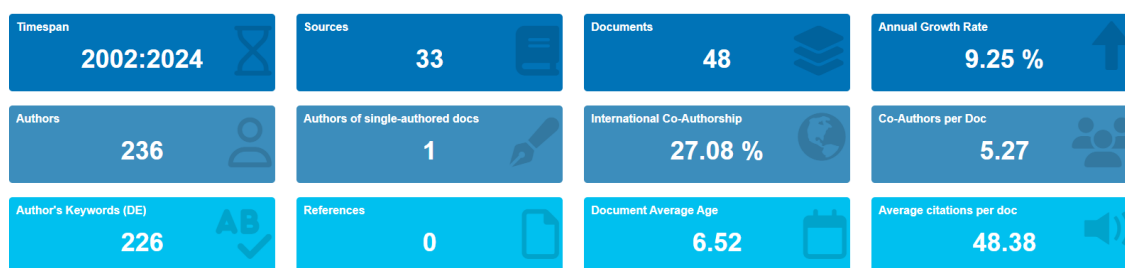
241 Estos resultados sugieren que, aunque la exposición solar pudo promover la acumulación de compuestos
 242 bioactivos beneficiosos desde el punto de vista nutricional, también induce procesos de degradación oxi-
 243 dativa que afectan negativamente la textura y el perfil sensorial del fruto. Esto puede atribuirse, en parte, a
 244 la oxidación de lípidos y proteínas estructurales, así como a la modificación de compuestos volátiles que
 245 intervienen en el aroma y el sabor (Chouikh et al., 2025). Estudios previos en aguacate Hass han reportado
 246 que la exposición excesiva a la luz solar está asociada con defectos externos e internos como pardeamiento,
 247 necrosis y pérdida de firmeza, lo cual, afecta la aceptabilidad del consumidor y reduce el valor comercial
 248 del fruto (Fischer et al., 2022).

249 En cuanto al atributo color, los frutos expuestos al sol pleno obtuvieron puntuaciones ligeramente superio-
250 res (6,49 en ‘Hass’ y 6,62 en ‘Fuerte’) que aquellos con sombra parcial, posiblemente debido a una apa-
251 riencia visual más intensa y uniforme asociada con la maduración inducida por la luz. No obstante, esta
252 ventaja estética no fue suficiente para compensar la pérdida de calidad en los demás atributos organolépti-
253 cos, especialmente en términos de textura y sabor.

254 En conjunto, los resultados del presente estudio evidencian un trade-off entre la calidad funcional y la
255 calidad sensorial del fruto de aguacate como consecuencia de la exposición solar. Si bien, el incremento de
256 metabolitos fenólicos bajo exposición lumínica puede ser deseable desde el punto de vista nutricional, su
257 asociación con el estrés oxidativo y la degradación sensorial debe ser considerada cuidadosamente en el
258 manejo agronómico y la selección de prácticas de cultivo orientadas a mercados de alta exigencia.

259 **Análisis bibliométrico**

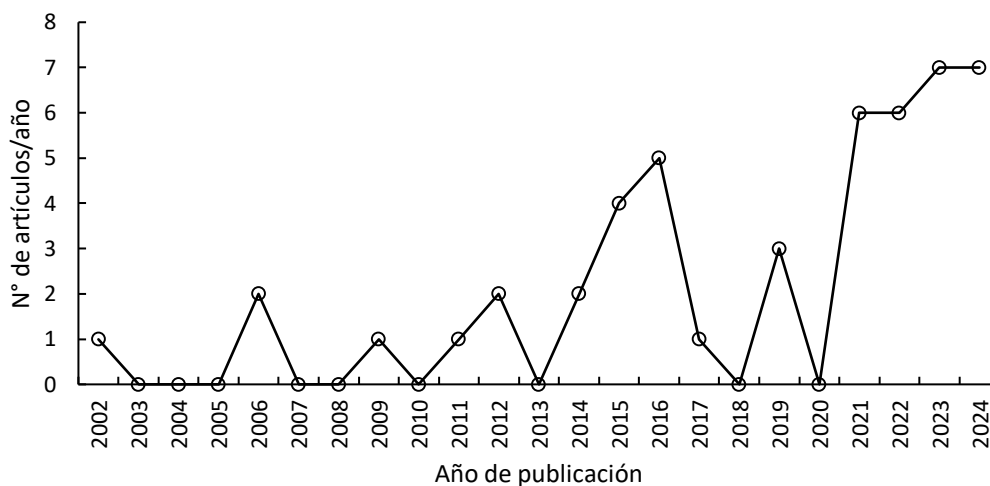
260 La Figura 1 muestra una visión global del interés científico en los efectos adversos de la radiación ultra-
261 violeta (UV) sobre la producción de especies frutales, incluido el aguacate (*P. americana*). Este análisis
262 bibliométrico inicial destaca un crecimiento progresivo en el número de publicaciones, lo cual refleja la
263 creciente preocupación por el aumento de la radiación UV-B en cultivos frutícolas. Este auge puede estar
264 relacionado con el reconocimiento del impacto de la radiación UV sobre aspectos fisiológicos, bioquímicos
265 y comerciales del fruto, incluyendo el estrés oxidativo, la calidad postcosecha y las pérdidas económicas
266 asociadas (Darré et al., 2022).



268 Figura 1. Datos generales sobre la producción general sobre efectos negativos de la radiación UV en la
269 producción de aguacate.

270 Adicionalmente, existe una **tendencia creciente en la publicación de estudios científicos** durante las úl-
271 timas dos décadas, con una aceleración notable a partir del año 2015 (Fig. 2). Esto coincide con el incre-
272 mento en la financiación de investigaciones asociadas al cambio climático y la agricultura sostenible, así

273 como con el desarrollo de tecnologías de mitigación, como cubiertas agrícolas, filtros UV, entre otros (Li-
274 pper et al., 2014; Tubiello, 2011). Estudios recientes han documentado los efectos fototóxicos de la UV-B
275 en frutos expuestos, incluyendo la inducción de peroxidación lipídica, disminución en calidad organolép-
276 tica y reducción del rendimiento comercial (Agati et al., 2012; Csapó et al., 2019; Durand et al., 2025).

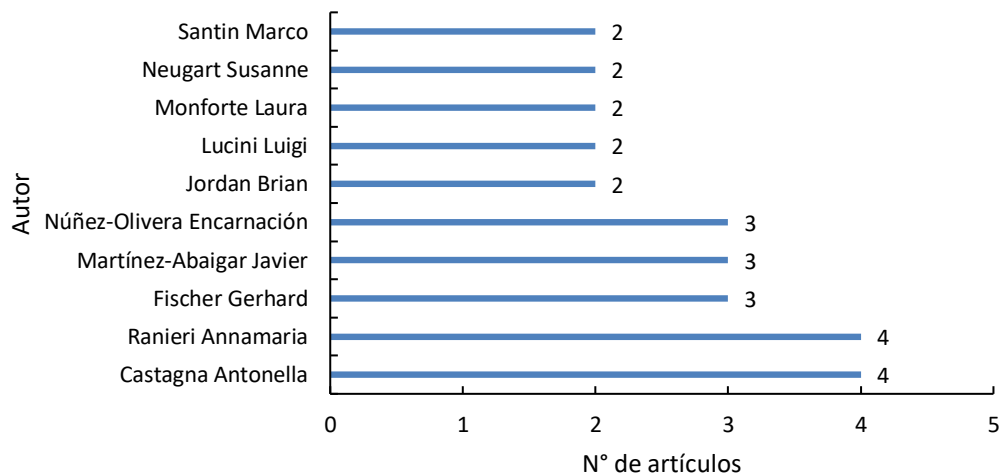


277

278 Figura 2. Producción científica relacionada con efectos negativos de la radiación UV en la producción de
279 aguacate durante el período 2002-2024.

280 La Figura 3 identifica a los principales investigadores que han contribuido significativamente a este campo
281 de estudio, destacándose investigadores como Castaña y Ranieri quienes, en los últimos años, han liderado
282 las investigaciones relacionadas con los efectos de la radiación solar en cultivos frutales, proponiendo mo-
283 delos explicativos sobre la activación del metabolismo secundario y la respuesta antioxidante del tejido
284 vegetal. Además, resaltan otros autores Martínez-Abaigar J., Jordan B., Fischer G. y Neugart S. quienes
285 han hecho aportes importantes relacionados con el efecto de la radiación ultravioleta sobre la fisiología y
286 calidad de algunas especies frutales y hortalizas.

287 Esto es reforzado por la producción científica por autor y el número de citas de sus artículos, lo cual los
288 consolida como referentes en el avance del conocimiento y el diseño de estrategias de mitigación de los
289 efectos de los altos niveles de irradiancia sobre la producción de cultivos frutales. Sin embargo, se observa,
290 que la mayor producción científica ha estado enfocada en cultivos como *Vitis vinifera*, *Prunus persica* y
291 algunos cultivos andinos, pero la información sobre el efecto de la luz UV sobre el fruto de aguacate es aún
292 escasa (Tabla 4).



293

294 Figura 3. Autores más relevantes con artículos publicados sobre tópicos relacionados con efectos negativos
 295 de la radiación UV en la producción de frutos.

296 Tabla 4. Número de artículos publicados por autor sobre los efectos negativos de la radiación UV en la
 297 producción de frutos.

Autor	Año	Título del artículo	Revista	Total de citas
Martínez-Abaigar Javier	2014	Solar ultraviolet radiation is necessary to enhance grapevine fruit ripening transcriptional and phenolic responses	BMC Plant Biology	129
Jordan Brian	2015	From UVR8 to flavonol synthase: UV-B-induced gene expression in Sauvignon Blanc grape berry	Plant Cell and Environment	114
Fischer Gerhard	2016	Ecophysiological aspects of fruit crops in the era of climate change. A review	Agronomía Colombiana	57
Castagna Antonella y Ranieri Annamaria	2016	Environmental factors correlated with the metabolite profile of <i>Vitis vinifera</i> cv. Pinot noir berry skins along a European latitudinal gradient	Journal of Agricultural and Food Chemistry	37
Fischer Gerhard	2022	Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review	Agronomía Colombiana	33
Castagna Antonella y Ranieri Annamaria	2019	Comparative “phenol-omics” and gene expression analyses in peach (<i>Prunus persica</i>) skin in response to different postharvest UV-B treatments	Plant Physiology and Biochemistry	32

Castagna Antonella y Ranieri Anna-maria	2021	Secondary metabolites and related genes in <i>Vitis vinifera</i> L. cv. Tempranillo grapes as influenced by ultraviolet radiation and berry development	Physiologia Plantarum	23
Neugart Susanne	2023	Nutritional and physiological effects of postharvest UV radiation on vegetables: a review	Journal of Agricultural and Food Chemistry	19
Fischer Gerhard	2022	Sunburn disorder in tropical and subtropical fruits. A review	Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas	12
Jordan Brian	2023	UV-B radiation induced the changes in the amount of amino acids, phenolics and aroma compounds in <i>Vitis vinifera</i> cv. <i>Pinot noir</i> berry under field conditions	Foods	4
Castagna Antonella y Ranieri Anna-maria	2022	Foliar and root comparative metabolomics and phenolic profiling of micro-tom tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) plants associated with a gene expression analysis in response to short daily UV treatments	Plants	3

298

299 El análisis bibliométrico muestra el creciente interés por comprender los efectos negativos causados por la
300 radiación UV en frutos, para intentar mitigar el impacto no solo desde el punto de vista fisiológico, sino
301 también económico. La radiación UV-B, aunque capaz de inducir respuestas bioquímicas beneficiosas
302 como el aumento de flavonoides, puede comprometer parámetros clave de calidad, tales como la textura,
303 el sabor y la vida útil postcosecha del fruto (Rodríguez-Carpena et al., 2011). Sin embargo, pocas investi-
304 gaciones han sido hechas para evaluar el efecto de la exposición a la radiación UV sobre la calidad del fruto
305 de aguacate. Hasta la fecha, solo existen pocas investigaciones sobre las estrategias usadas para mitigar el
306 efecto de las temperaturas, las cuales, pueden afectar la calidad del fruto (Tabla 5).

307 Tabla 5. Principales estrategias usadas para mitigar el efecto de las temperaturas

Objetivo	Principales resultados	Lugar	Referencia
Se evaluó el impacto de una malla de sombra al 60 % de alta densidad sobre la tempera-	Durante eventos de calor extremo, las parcelas con malla presentaron reducciones significativas en la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF), temperatura del aire y temperatura foliar, junto con aumentos del	Israel	Alon et al. (2022)

tura del dosel y el rendimiento de árboles maduros de aguacate ‘Pinkerton’ 94 %, 120 % y 13 % en asimilación de CO₂, conductancia estomática y concentración interna de CO₂, respectivamente. En días más frescos, la malla también redujo luz y temperatura, pero disminuyó la asimilación de CO₂ (-20 %), sin afectar la conductancia estomática (gs) y elevando la concentración interna de CO₂ subestomática (C_i) en un 10 %.

Se evaluó el efecto de enfriamiento del dosel de árboles de aguacate usando distintos tipos de aspersores, con diferentes caudales e instalaciones (aspersores de abanico, rotativos y por pulsos) sobre la temperatura foliar, el potencial hídrico del tallo, la acumulación de sales en las hojas, la supervivencia de frutos pequeños y el rendimiento final. El sistema logró reducir la temperatura foliar en aproximadamente 10 °C, disminuyendo significativamente el estrés hídrico de los árboles y aumentando los rendimientos entre un 8 y un 12 %. Es posible utilizar agua de baja calidad, aunque se requirieron ajustes para evitar daños por salinidad. Este método ofreció una solución relativamente simple y eficaz para mitigar el estrés térmico durante las olas de calor primaverales. Además, el sistema de enfriamiento evaporativo estuvo especialmente adaptado a condiciones de clima seco y ventoso, como las de zonas semiáridas y desérticas, reforzando su efectividad. Israel Lazare et al. (2022)

Se hizo una revisión sobre las estrategias de protección solar, enfocándose en la eficacia de distintos productos como caolín, dióxido de titanio y óxido de calcio para mitigar el estrés térmico en los árboles de aguacate. La aplicación de protectores solares ha demostrado reducir significativamente la temperatura de hojas y frutos, mejorando la eficiencia fotosintética y preservando la calidad del aguacate al evitar quemaduras solares y deshidratación. Sin embargo, es necesario optimizar el momento, la dosis y minimizar los residuos que puedan afectar la comercialización. Brasil Neto et al. (2024)

311 solar puede controlarse con mayor precisión (de Araújo et al., 2021). De acuerdo con Alon et al. (2022), el
312 uso de mallas de sombra podría reducir los síntomas de daño por calor, lo cual tiene un efecto directo sobre
313 la calidad del fruto de aguacate, puesto que la reducción de la temperatura foliar y del dosel limita el estrés
314 por calor, lo que disminuye la caída de frutos pequeños y mejora la retención de fruta, un factor clave para
315 el rendimiento final, además, contribuye a mejorar la eficiencia fotosintética durante condiciones extremas
316 que permite mantener la actividad metabólica, lo cual, se traduce en un mejor llenado de fruto, firmeza y
317 posiblemente contenido de aceites. Sin embargo, su implementación debe ser cuidadosamente gestionada
318 en cuanto a duración y estacionalidad para evitar efectos adversos en el crecimiento y la productividad a
319 largo plazo.

320 Por otra parte, de acuerdo con Lazare et al. (2022), el enfriamiento de la copa del árbol mediante el uso de
321 aspersores puede mitigar el daño causado por calor en cultivares de aguacate, especialmente en 'Hass',
322 puesto que al mejorar el estado hídrico del árbol, se favorece la translocación de nutrientes hacia el fruto y
323 reduce la aparición de desórdenes fisiológicos como lesiones corchosas en los sitios de abscisión, lo cual
324 favorece el desarrollo y la retención de los frutos, aumentando el rendimiento hasta 60 t/ha. Otro efecto
325 positivo de este sistema, es que a diferencia de las mallas sombra, el sistema de enfriamiento no interfiere
326 con la actividad de los polinizadores y permite el paso completo de la luz, lo que es beneficioso para el
327 metabolismo de la planta.

328 Por último, entre las estrategias más utilizadas está el uso de productos de protección contra el sol, tales
329 como el caolín, debido a sus propiedades fisicoquímicas, este forma una barrera física que refleja la radia-
330 ción solar, reduciendo así la temperatura de hojas y frutos. Además, es un material no abrasivo, no expan-
331 sivo, se dispersa fácilmente en agua y no reacciona químicamente en un amplio rango de pH (Neto et al.,
332 2024).

333 Los productos basados en caolín aplicados por pulverización en concentraciones del 3 al 5 %, han demos-
334 trado mitigar el estrés por calor, contribuyendo al mantenimiento de la salud de la planta en condiciones de
335 calor extremo, lo cual favorece la producción de frutos de alta calidad y menor incidencia de quemaduras
336 solares (Bernado et al., 2024; Glenn & Puterka, 2005; Kluge et al., 2002). Sin embargo, la remoción de los
337 residuos del fruto en postcosecha puede ser difícil, lo que afecta la aceptación comercial, especialmente en
338 mercados internacionales donde la apariencia es crítica (García et al., 2003).

339 Estudios recientes han demostrado que el uso de otros productos pueden servir como alternativa al caolín,
340 entre los que se incluyen, el dióxido de titanio (TiO₂) que tiene alta capacidad de reflejar luz ultravioleta,
341 protege del daño por radiación UV y ayuda a reducir la temperatura de las hojas, el óxido de calcio (CaO)
342 que actúa como el caolín cuando es aplicado en forma de suspensión, dado que forma una capa protectora
343 que reduce la incidencia de radiación solar directa (Neto et al., 2024). Estos productos han sido probados
344 en distintas etapas fenológicas (desde floración hasta fructificación), y también han sido eficaces para re-
345 ducir daños por estrés térmico.

346 Aunque los métodos de aplicación pueden variar de acuerdo con el producto, la forma de aplicación más
347 común del caolín y el dióxido de titanio es la aspersión foliar, dado que permiten una cobertura uniforme
348 de hojas y frutos. Las concentraciones varían entre 2 % y 8 %, dependiendo de las condiciones ambientales
349 y la etapa del cultivo (Gharaghani et al., 2023).

350 Aunque se ha observado una mejora en la calidad de frutos en cultivos como aguacate, cítricos, vides y
351 manzanos, es fundamental que los residuos puedan removerse fácilmente en postcosecha, sobre todo en
352 cultivos destinados a la exportación. Este aspecto es especialmente relevante en el aguacate, cuya demanda
353 internacional ha crecido notablemente por ser un alimento saludable y nutritivo (Abrafrutas, 2024).

354 **CONCLUSIÓN**

355 Los resultados del presente estudio demostraron que la exposición a radiación solar plena, y particularmente
356 a su componente ultravioleta, actúa como un factor abiótico modulador del metabolismo secundario en
357 frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.), induciendo una acumulación significativa de compuestos fe-
358 nólicos y flavonoides, conocidos por su alta capacidad antioxidante. Esta respuesta bioquímica sugiere un
359 mecanismo adaptativo del fruto frente al estrés fotooxidativo. No obstante, este aumento en la capacidad
360 antioxidante no fue suficiente para contrarrestar completamente el daño oxidativo generado, como se evi-
361 denció por los mayores niveles de peroxidación lipídica (TBARS) en frutos expuestos a radiación solar
362 directa.

363 Desde un enfoque agroalimentario, si bien el enriquecimiento fitoquímico puede representar un valor agre-
364 gado en términos de funcionalidad nutricional, los efectos adversos sobre atributos organolépticos clave
365 como la textura, el sabor y el aroma comprometen la aceptabilidad sensorial y, por ende, la calidad comer-
366 cial del fruto. Esto resalta un trade-off entre calidad funcional y sensorial, que debe ser considerado estra-
367 tégicamente en el diseño de sistemas productivos.

368 En este contexto, se vuelve imperativo incorporar prácticas de manejo sostenible como el uso de mallas de
369 sombreo, sistemas de enfriamiento por evaporación y protectores solares reflectantes (tales como caolín o
370 dióxido de titanio), los cuales han demostrado eficacia en mitigar los efectos deletéreos del estrés térmico
371 y lumínico. Estas estrategias, al integrarse adecuadamente al sistema de cultivo, permitirán no solo preser-
372 var la integridad fisiológica del fruto, sino también optimizar su calidad sensorial y prolongar su vida útil
373 postcosecha.

374 Finalmente, frente al creciente efecto del cambio climático, la implementación de tecnologías de manejo
375 adaptativo orientadas a reducir el impacto de la radiación UV se presenta como una condición *sine qua non*
376 para garantizar la sostenibilidad, rentabilidad y competitividad del cultivo de aguacate en regiones tropica-
377 les y subtropicales.

378 **AGRADECIMIENTOS**

379 Los autores expresan su agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y al programa
380 de Maestría en Agronomía, Mención Sanidad Vegetal por el apoyo brindado durante la realiza-
381 ción de la presente investigación.

382 **CONFLICTO DE INTERESES**

383 Los autores declaran no tener conflicto de intereses

384 **REFERENCIAS**

385 Abrafrutas. (2024). *A potencialidade da fruticultura brasileira: conquistas e perspectivas*. (Associação
386 Brasileira Dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados). [https://abrafrutas.org/2024/04/a-
387 potencialidade-da-fruticultura-brasileira-conquistas-e-perspectivas/](https://abrafrutas.org/2024/04/a-potencialidade-da-fruticultura-brasileira-conquistas-e-perspectivas/)

388 Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., & Tattini, M. (2012). Flavonoids as antioxidants in plants: Location
389 and functional significance. *Plant Science*, *196*, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.014>

390 Alon, E., Shapira, O., Azoulay-Shemer, T., & Rubinovich, L. (2022). Shading nets reduce canopy temper-
391 ature and improve photosynthetic performance in ‘Pinkerton’ avocado trees during extreme heat

392 events. *Agronomy*, 12, Artículo 1360. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061360>

393 Barnes, P. W., Robson, T. M., Zepp, R. G., Bornman, J. F., Jansen, M. A. K., Ossola, R., Wang, Q. W.,
394 Robinson, S. A., Foereid, B., Klekociuk, A. R., Martinez-Abaigar, J., Hou, W. C., Mackenzie, R., &
395 Paul, N. D. (2023). Interactive effects of changes in UV radiation and climate on terrestrial ecosystems,
396 biogeochemical cycles, and feedbacks to the climate system. In *Photochemical and Photobiological*
397 *Sciences* (Vol. 22, Issue 5). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/s43630-023-](https://doi.org/10.1007/s43630-023-00376-7)
398 [00376-7](https://doi.org/10.1007/s43630-023-00376-7)

399 Bernado, W. de P., Santos, A. R., Vale, E. M., Pireda, S., Correia, L. Z., DeSouza, G. A. R., Abreu, D. P.
400 de, Carvalho, L. K. O., Almeida, F. A., Baroni, D. F., Partelli, F. L., Bressan-Smith, R. H., Rakocevic,
401 M., Ramalho, J. C., Campostrini, E., & Rodrigues, W. P. (2024). UV-B reduction and excess: Man-
402 agement strategies regarding *Coffea* sp. crop. *Scientia Horticulturae*, 323, 112499.
403 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112499>

404 Bhattacharjee, P., Warang, O., Das, S., & Das, S. (2022). Impact of climate change on fruit crops: a review.
405 *Current World Environment*, 17(2), 319–330. <https://doi.org/10.12944/cwe.17.2.4>

406 Chouikh, A., Chenguel, A., & Ali, A. Ben. (2025). Understanding the Role of Free Radicals, Oxidative
407 Stress, and Antioxidants: A Comprehensive Review. *Letters in Applied NanoBioScience*, 14(2), 66.
408 <https://doi.org/10.33263/LIANBS142.066>

409 Cisneros-Zevallos, L. (2003). The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the
410 nutraceutical content and adding-value. *Concise Reviews and Hypotheses in Food Science*, 68(5),
411 1560–1565.

412 Csapó, J., Prokisch, J., Albert, C., & Sipos, P. (2019). Effect of UV light on food quality and safety. *Acta*
413 *Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 12(1), 21–41. <https://doi.org/10.2478/ausal-2019-0002>

- 414 Darré, M., Vicente, A. R., Cisneros-Zevallos, L., & Artés-Hernández, F. (2022). Postharvest ultraviolet
415 radiation in fruit and vegetables: applications and factors modulating its efficacy on bioactive com-
416 pounds and microbial growth. *Foods*, *11*, 653. <https://doi.org/10.3390/foods11050653>
- 417 de Araújo, H. S., Do Carmo, S. A., Dos Santos, N. C. B., Freitas, P. G. N., & Purquerio, L. F. V. (2021).
418 Effect of shading screens on the production and quality of ‘Smooth Cayenne’ pineapple. *Pesquisa*
419 *Agropecuaria Tropical*, *51*, 1–7. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v51169594>
- 420 Durand, E., Laguerre, M., Bourlieu-Lacanal, C., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2025). Navigating the com-
421 plexity of lipid oxidation and antioxidation: A review of evaluation methods and emerging approaches.
422 *Progress in Lipid Research*, *97*, 101317. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2024.101317>
- 423 Fischer, G., Orduz-Rodríguez, J. O., & Do Amarante, C. V. T. (2022). Sunburn disorder in tropical and
424 subtropical fruits. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *16*(3), e15703.
425 <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15703>
- 426 Fu, S., Xue, S., Chen, J., Shang, S., Xiao, H., Zang, Y., & Tang, X. (2021). Effects of different short-term
427 UV-B radiation intensities on metabolic characteristics of *Porphyra haitanensis*. *International Journal*
428 *of Molecular Sciences*, *22*, 2180. <https://doi.org/10.3390/ijms22042180>
- 429 Garcia, M. E., Berkett, L. P., & Bradshaw, T. (2003). Does surround ® have non-target impacts on new
430 england orchards? *Proceedings of the New England Fruit Meetings 2002–2003, Sturbridge, MA, USA,*
431 *8–9 January 2003*, 35–39.
- 432 Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2016). Physiological factors affecting flower and fruit abscission of “Hass”
433 avocado. *Scientia Horticulturae*, *199*, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.009>
- 434 Gharaghani, A., Javarzari, A. M., Rezaei, A., & Nejati, R. (2023). Kaolin spray improves growth, physio-
435 logical functions, yield, and nut quality of ‘Tardy Nonpareil’ almond under deficit irrigation regimens.

436 *Erwerbs-Obstbau*, 65(4), 989–1001. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00732-4>

437 Glenn, D. M., & Puterka, G. J. (2005). Particle Films: A new technology for agriculture. In J. Janick (Ed.),
438 *Horticultural Reviews* (Vol. 31, pp. 1–44). John Wiley & Sons, Inc.
439 <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch1>

440 Keles, Y., & Oncel, I. (2002). Response of antioxidative defence system to temperature and water stress
441 combinations in wheat seedlings. *Plant Science*, 163, 783–790.

442 Kluge, R. A., Jacomino, A. P., Martinez Ojeda, R., & Brackmann, A. (2002). Inibição do amadurecimento
443 de abacate com 1-metilciclopropeno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(7), 895–901.
444 <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2002000700001>

445 Lazare, S., Vitoshkin, H., Alchanatis, V., Reshef, G., Ziv, D., Simenski, E., & Dag, A. (2022). Canopy-
446 cooling systems applied on avocado trees to mitigate heatwaves damages. *Scientific Reports*, 12,
447 12563. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16839-3>

448 Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo,
449 A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N.,
450 Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., ... Torquebiau, E. F. (2014). Climate-smart agriculture for
451 food security. *Nature Climate Change*, 4(12), 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>

452 Natarajan, S., Kumar, R. V., Subbiah, M., Selvaraj, I. R., Mani, P. J. P. S., Murugan, S., & Allasamy, P.
453 (2024). Plant Responses to UV-B Radiation. *African Journal of Biological Sciences*, 6(8), 2238–2256.
454 <https://doi.org/10.33472/AFJBS.6.8.2024.2238-2256>

455 Neto, F. J. D., Carneiro, D. C. dos S., Silva, M. de S., Tecchio, M. A., Leonel, S., Pimentel Jr, A., Ono, E.
456 O., & Rodrigues, J. D. (2024). Sun protection as a strategy for managing heat stress in avocado trees.
457 *Plants*, 13, 2584. <https://doi.org/10.3390/plants13202854>

458 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Datos de cultivos*.
459 FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

460 Ruiz-Aracil, M. C., Valverde, J. M., Ilea, M. I. M., Valero, D., Castillo, S., & Guillén, F. (2024). Innovative
461 postharvest management for Hass avocado at the preclimacteric stage: a combined technology with
462 GABA and 1-MCP. *Foods*, *13*, Artículo N° 2485. <https://doi.org/10.3390/foods13162485>

463 Tubiello, F. N. (2011). Linking climate change financing and sustainability: implications for agriculture.
464 In *Linking climate change financing and sustainability: implications for agriculture*.
465 <https://www.fao.org/4/i2480e/i2480e00.pdf>

466 Wargent, J. J., & Jordan, B. R. (2013). From ozone depletion to agriculture: Understanding the role of UV
467 radiation in sustainable crop production. *New Phytologist*, *197*(4), 1058–1076.
468 <https://doi.org/10.1111/nph.12132>
469