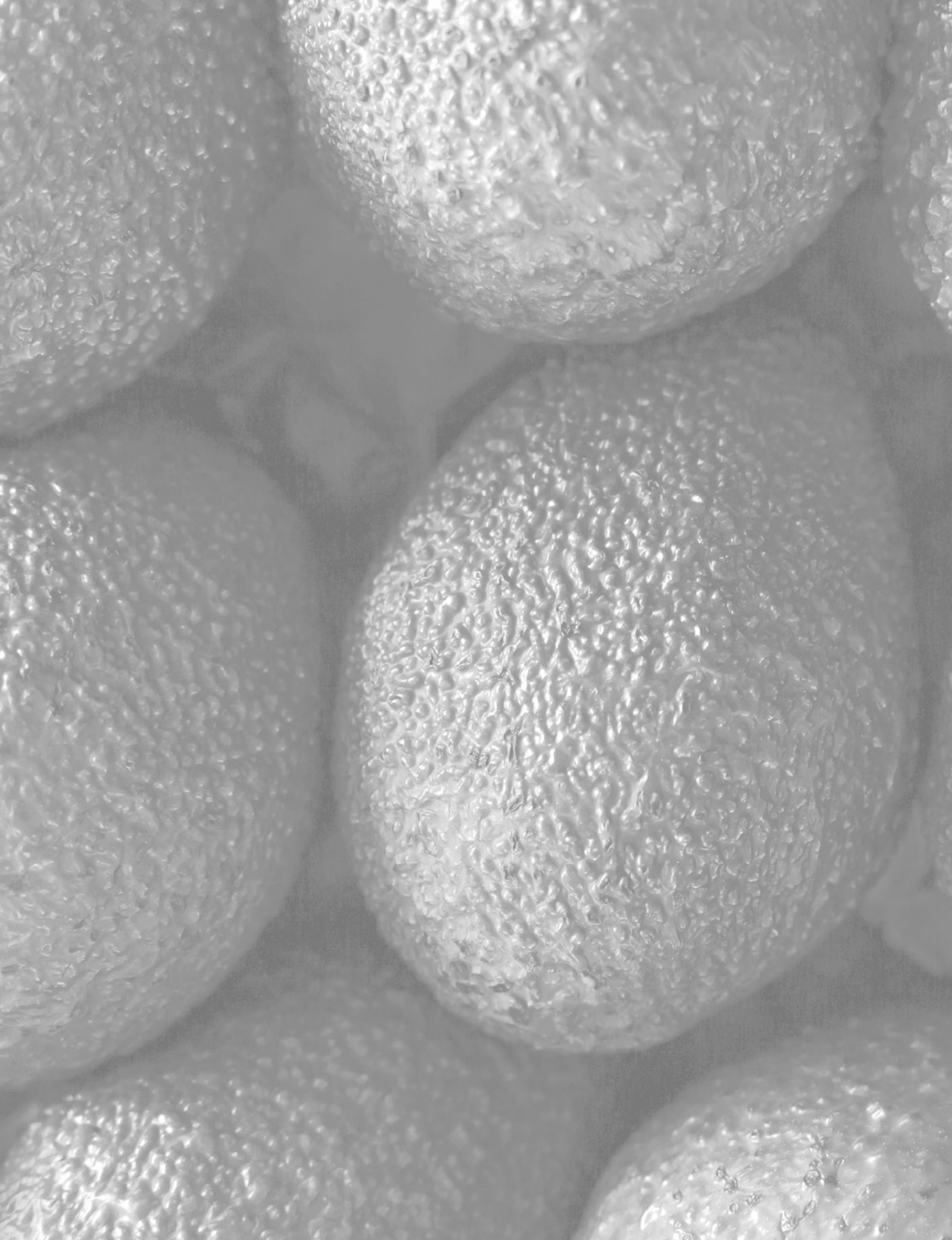
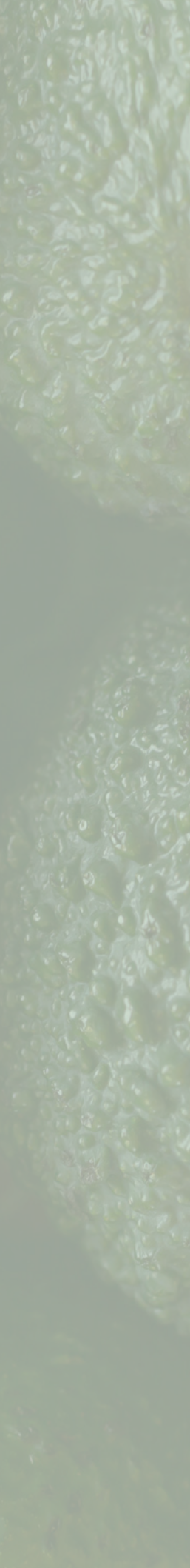


Modelo productivo para el cultivo de **aguacate Hass** en el departamento de Antioquia

Jorge Alonso **Bernal Estrada** • Ruby Alejandra **Loaiza Ruiz**
Danilo Augusto **Monsalve García** • Carlos Felipe **Barrera Sánchez**
Oscar de Jesús **Córdoba Gaona** • Álvaro de Jesús **Tamayo Vélez**
Ángela María **Castaño Marín** • Lucas Esteban **Cano Gallego**
Mauricio de Jesús **Londoño Bonilla** • Carolina **Zuluaga Mejía**
Arturo **Carabalí Muñoz** • Ana Milena **Caicedo Vallejo**
Claudia María **Holguín Aranzazu** • Pedro Pablo **Parra Giraldo**
Nancy Yohana **Grisales Vásquez** • Lilliana María **Hoyos Carvajal**
Pablo Emilio **Rodríguez Fonseca** • Iris Leidy **Soto Vega**
Jairo Alberto **Villamizar Gelvez** • Sara Isabel **Bedoya Ramírez**
Francy **Heredia**





Modelo productivo para el cultivo de **aguacate Hass** en el departamento de Antioquia

Mosquera • 2024

Modelo productivo para el cultivo de **aguacate Hass** en el departamento de Antioquia

Mosquera • 2024

Jorge Alonso **Bernal Estrada**

Ruby Alejandra **Loaiza Ruiz**

Danilo Augusto **Monsalve García**

Carlos Felipe **Barrera Sánchez**

Oscar de Jesús **Córdoba Gaona**

Álvaro de Jesús **Tamayo Vélez**

Ángela María **Castaño Marín**

Lucas Esteban **Cano Gallego**

Mauricio de Jesús **Londoño Bonilla**

Carolina **Zuluaga Mejía**

Arturo **Carabalí Muñoz**

Ana Milena **Caicedo Vallejo**

Claudia María **Holguín Aranzazu**

Pedro Pablo **Parra Giraldo**

Nancy Yohana **Grisales Vásquez**

Lilliana María **Hoyos Carvajal**

Pablo Emilio **Rodríguez Fonseca**

Iris Leidy **Soto Vega**

Jairo Alberto **Villamizar Gelvez**

Sara Isabel **Bedoya Ramírez**

Francy **Heredia**

Modelo productivo para el cultivo de aguacate Hass en el departamento de Antioquia.
Jorge Alonso Bernal Estrada [y otros veinte] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2024.

148 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN: 978-958-740-751-8

ISBN e-Book: 978-958-740-752-5

1. *Persea americana* 2. Cultivo 3. Recurso genético 4. Propagación vegetativa 5. Factor edáfico
6. Fisiología vegetal 7. Control de plagas 8. Control de enfermedades 9. Antioquia (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA

Centro de Investigación La Selva, kilómetro 7, vía Rionegro-Las Palmas,
sector Llanogrande. Rionegro, **Antioquia**. Código postal 054040, Colombia.

Centro de Investigación Palmira. Diagonal a la intersección de la carrera 36A con calle 23,
Palmira, **Valle del Cauca**. Código postal: 763533, Colombia.

Centro de Investigación La Suiza. Kilómetro 32 Vía al Mar, vereda Galápagos,
Rionegro-**Santander**. Código postal: 687511, Colombia.

Esta publicación es resultado de investigación del
proyecto **AgroAntioquiaExporta4.0**, ejecutado
por AGROSAVIA, en el marco del **Convenio
Interadministrativo n.º 4600015440 (ID 2158)**,
suscrito entre AGROSAVIA y la Gobernación de
Antioquia

Colección: Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Modelo Productivo

Fecha de recepción: 23 de noviembre de 2023

Fecha de evaluación: 2 de febrero de 2024

Fecha de aceptación: 16 de febrero de 2024

Publicado: septiembre de 2024

Preparación editorial:

Editorial AGROSAVIA editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Alejandro Ladino, Amalia

Tapiero Barreto y Nathalie De la Cuadra N.

Diseño y diagramación: Janduy Barreto Páez

Citación sugerida:

Bernal Estrada, J. A., Loaiza Ruiz, R. A., Monsalve García, D. A., Barrera Sánchez, C. F., Córdoba Gaona, O. J., Tamayo Vélez, A. J., Castaño Marín, A. M., Cano Gallego, L. E., Londoño Bonilla, M., Zuluaga Mejía, C., Arturo Carabalí Muñoz, A., Caicedo Vallejo, A. M., Holguín Aranzazu, C. M., Parra Giraldo, P. P., Grisales Vásquez, N. Y., Hoyos Carvajal, L. M., Rodríguez Fonseca, P. E., Soto Vega, I. L., Villamizar Gelvez, J. A., Bedoya Ramírez, S. I., & Heredia, F. (2024). *Modelo productivo para el cultivo de aguacate Hass en el departamento de Antioquia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7407525>

Cláusula de responsabilidad:

AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogida en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Línea de atención al cliente: 01800 012 1515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co

Tabla de contenido

Los autores	14
Introducción	19
Capítulo I	
Recurso genético y propagación de aguacate cv. Hass	22
Introducción	23
Recursos genéticos de aguacate	24
Genética de aguacate cv. Hass	24
Portainjertos comerciales	25
Avance sobre la identificación de portainjertos criollos en Antioquia	26
Efecto del portainjerto sobre aguacate cv. Hass	27
Propagación de aguacate cv. Hass	27
Normatividad para la propagación de material vegetal – Resolución ICA 0780006 de 2020	28
Huertos básicos de semilla sexual	29
Huertos básicos de semilla asexual	30
Propagación en vivero	30
Propagación con portainjertos sexuales	31
Portainjertos sexuales	31
Yemas cultivar comercial	33

Injertación	34
Injerto lateral	35
Propagación con portainjertos clonales	35
Método de Allesbeste	38

Capítulo II

Exigencias edafoclimáticas

para el desarrollo del cultivo

40

Introducción	41
Temperatura	42
Precipitación	45
Humedad relativa	46
Viento	47
Brillo solar	47
Altitud	48
Latitud	49
Requerimientos edáficos	49

Capítulo III

Manejo agronómico

52

Introducción	53
Selección del lote	54
Preparación del terreno	54
Trazado	54
Densidad de siembra	55
Ahoyado	57
Trasplante al campo	58

Plateo	59
Uso de coberturas (<i>mulching</i> o acolchado)	60
Podas	61
Exigencias nutricionales	64
Remoción	64
Manejo de la fertilización	67

Capítulo IV **Fisiología de la floración y producción** 70

Introducción	71
Fisiología de la floración	72
Fisiología de la producción	76
Fisiología del fruto	76
Características morfofisiológicas	78

Capítulo V **Manejo integrado de plagas de importancia económica y cuarentenaria** 80

Introducción	81
Insectos de importancia cuarentenaria: perforadores del fruto y las ramas de aguacate	82
Perforador y picudo de la semilla de aguacate	82
Polilla de la semilla de aguacate, perforador del fruto de aguacate	83
Insectos plaga de importancia económica	85
Monalonion, chinche del aguacate	86
Trips, trips de las flores	88
Marceño, marceño del fruto de aguacate, cucarrón marceño del aguacate	89

Capítulo VI

Enfermedades en el cultivo

del aguacate Hass en Antioquia

92

Introducción

93

Enfermedades más comunes en aguacate Hass
en Antioquia y organismos asociados

95

Enfermedades asociadas a raíces, madera y pedúnculos

95

Chancro de la madera, pudrición de pedúnculo
y pudrición de fruto (*Lasiodiplodia* y otros
Botryosphaeriales)

96

Pudrición de raíces (*Phytophthora* spp.)

97

Marchitez (*Verticillium* spp.)

99

Enfermedades principalmente en frutos
en pre y poscosecha

100

Antracnosis (*Colletotrichum* spp.)

100

Sarna (*Elsinoe perseae*)

101

Capítulo VII

Cosecha, poscosecha y agroindustria

del aguacate Hass en Colombia

104

Introducción

105

Momento óptimo de cosecha para conseguir fruta
de calidad y competir en el mercado

108

¿Qué busca el consumidor de aguacate?

108

¿Cómo se puede realizar un seguimiento
de frutos en las fincas?

110

Protocolo de exportación	111
Principales problemas de calidad del aguacate Hass y cómo mitigarlos	115
Valorización de fruta descartada en el mercado de exportación	116
Descarte de fruta por defectos externos	117
Proceso de transformación en fruta congelada	117

Capítulo VIII

Los costos para la producción de aguacate Hass en Antioquia 120

Introducción 121

Principales conceptos	122
Importancia de construir una estructura de costos de producción	123
Elementos de una estructura de costos	123
Organización de la información	124
Errores comunes al momento del registro de la información	124
Proyección de los costos de producción para Antioquia	125

Referencias 127

Lista de tablas

Tabla 1	Precipitación promedio multianual, periodo 1981 a 2010, para Antioquia	42
Tabla 2	Condiciones de temperaturas mínimas, óptimas y máximas para el cultivo de aguacate cv. Hass	43
Tabla 3	Características del fruto cv. Hass en siete localidades del departamento de Antioquia	43
Tabla 4	Distancias de siembra más utilizadas en el cultivo del aguacate Hass en Antioquia	56
Tabla 5	Requerimientos de nutrientes en diferentes niveles de producción	68
Tabla 6	Extracción de nutrientes de los principales elementos para obtener 20 toneladas	68
Tabla 7	Calidad del fruto de aguacate cv. Hass caracterizado según su peso y calibre para exportación	78
Tabla 8	Rango de composición de la pulpa al momento de cosecha como marcador de calidad en aguacate Hass	116

Lista de figuras

Figura 1	Código QR (Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate)	21
Figura 2	Esquema ilustrativo sobre la identidad genética, la calidad fisiológica y sanitaria que debe poseer una planta ideal de aguacate cv. Hass	28
Figura 3	Plántulas de aguacate propagadas en condiciones de vivero – Centro de Investigación La Selva (AGROSAVIA)	29
Figura 4	Portainjertos aguacate Hass	32
Figura 5	Desórdenes fisiológicos en patrones a partir de semilla de materiales criollos de aguacate	33
Figura 6	Injerto de púa terminal en patrones criollos de aguacate para la producción de plántulas injertas de aguacate cv. Hass	34
Figura 7	Injerto lateral en patrones criollos de aguacate para la producción de plántulas injertas de aguacate cv. Hass	35
Figura 8	Método de Brokaw para producción de portainjertos clonales de aguacate	36
Figura 9	Técnica Allesbeste adaptada de Brokaw para la microclonación de portainjertos de aguacate	39
Figura 10	Distribución de siembra de aguacate	55
Figura 11	Hoyos para la siembra de aguacate	58
Figura 12	Siembra de la planta en campo	59
Figura 13	Uso de cobertura (<i>mulch</i>) en huerto de aguacate cv. Hass	60
Figura 14	Uso de cobertura en huerto adulto de aguacate	61
Figura 15	Yemas vegetativas apicales en aguacate cv. Hass	61
Figura 16	Poda de formación en aguacate cv. Hass	62
Figura 17	Chupones que deben ser eliminados luego de la injertación	63

Figura 18	Copa de aguacate cv. Hass, con un tallo principal y ramas distribuidas espacialmente, luego de la poda de formación	63
Figura 19	Distribución de los ejes básicos de la copa luego del despunte	64
Figura 20	Poda de mantenimiento en árboles de aguacate cv. Hass en cultivos en producción	64
Figura 21	Injerto de corona o corteza	65
Figura 22	Remoción total de nutrientes en aguacate cv. Hass en varias localidades de Antioquia	67
Figura 23	Flor de aguacate cv. Hass	72
Figura 24	Flores femeninas y masculinas en una misma inflorescencia (traslape) en aguacate cv. Hass	73
Figura 25	Distribución de la floración de aguacate cv. Hass en cultivos comerciales en tres localidades del departamento de Antioquia	74
Figura 26	Registro de la floración de aguacate cv. Hass en cultivos comerciales en tres localidades en el departamento de Antioquia.	75
Figura 27	Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Valparaíso	77
Figura 28	Tendencia en el crecimiento del fruto de aguacate cv. Hass	79
Figura 29	Distribución porcentual de frutos de aguacate cv. Hass por calibres durante la cosecha principal y travesía en el departamento de Antioquia	79
Figura 30	Estados biológicos de <i>H. lauri</i>	82
Figura 31	Daño de alimentación y oviposición de <i>H. lauri</i>	83
Figura 32	Estados biológicos de <i>S. catenifer</i>	84
Figura 33	Daño de <i>S. catenifer</i>	85

Figura 34	<i>M. velenzageli</i>	86
Figura 35	Daño ocasionado por <i>M. velenzageli</i> en frutos de aguacate	87
Figura 36	Adulto del trips <i>F. gardeniae</i>	88
Figura 37	Daño ocasionado por trips en frutos de aguacate	88
Figura 38	Adultos de <i>A. pygidialis</i> sobre frutos de aguacate	90
Figura 39	Daños en madera en superficie en aguacate adulto	96
Figura 40	Daños en madera en zona de inserción de injerto en aguacate adulto	97
Figura 41	Detalle de signos y síntomas de la enfermedad	101
Figura 42	Síntomas del daño de <i>Elsinoe perseae</i> en frutos de aguacate	102
Figura 43	Dinámica de la exportación de aguacate Hass colombiano entre 2015 y 2022	106
Figura 44	Importaciones de aguacate cv. Hass colombiano entre 2021 y 2023	106
Figura 45	Apertura de nuevos mercados internacionales para la comercialización de aguacate Hass	107
Figura 46	Registro ante el ICA de predios habilitados para la comercialización de la fruta en mercados especiales	108
Figura 47	Frutos de aguacate cv. Hass con un desarrollo adecuado en campo	110
Figura 48	Marcación de frutos de aguacate Hass (sobre el pedúnculo) en unidades productivas para su identificación y seguimiento	111
Figura 49	Diagrama del proceso para obtención de pulpa ultracongelada de acuerdo con Valles Verdes	118

Los autores

Jorge Alonso Bernal Estrada

Correo: jbernal@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4392-0766>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), MSc en Horticultura de la Mississippi State University y doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín).

Ruby Alejandra Loaiza Ruiz

Correo: raloaiza@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0074-1186>

Ingeniera agrónoma, MSc en Fisiología Vegetal y estudiante del doctorado en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín).

Danilo Augusto Monsalve García

Correo: dmonsalveg@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2710-6302>

Ingeniero agrónomo y MSc en Ciencias Agrarias con énfasis en Genética y Mejoramiento Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia.

Carlos Felipe Barrera Sánchez

Correo: cfbarreras@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5015-2956>

Ingeniero agrónomo, doctor en Ciencias Agrarias y docente de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín); su maestría la realizó en Fitotecnia de la Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais (Brasil).

Oscar de Jesús Córdoba Gaona

Correo: ojcordobag@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2642-4146>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), MSc en Fitotecnia de la Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais (Brasil) y doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Actualmente es profesor y decano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín).

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez

Correo: atamayo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2765-742x>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), magíster en Suelos de la Universidad de Puerto Rico y doctor en Ciencias Agrarias en la Línea de Investigación de Fertilidad de Suelos y Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín).

Ángela María Castaño Marín

Correo: amcastano@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7190-9412>

Ingeniera agrónoma con conocimiento y experiencia en ecofisiología de cultivos y micrometeorología.

Lucas Esteban Cano Gallego

Correo: lcanog@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2819-9694>

Profesional en Agronomía y Zootecnia con maestría en Ciencias Agrarias y énfasis en Fisiología de la Producción Vegetal.

Mauricio de Jesús Londoño Bonilla

Correo: mlondonob@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0925-6630>

Administrador de empresas agropecuarias, especialista en Manejo Poscosecha de Frutas y Hortalizas (UCO) con maestría en Desarrollo Comunitario Sustentable (UNA, Costa Rica). Además, ha cursado diplomados en Docencia Universitaria y Metodologías de Investigación.

Carolina Zuluaga Mejía

Correo: czuluaga@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3890-0701>

Profesional en Ingeniería Agrícola con especialización y maestría en Gerencia de Proyectos.

Arturo Carabalí Muñoz

Correo: acarabali@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7623-3316>

Ingeniero agrónomo, MSc en Ciencias Biológicas y PhD en Ciencias-Biología con énfasis en Entomología Económica.

Ana Milena Caicedo Vallejo

Correo: ana.caicedo.vallejo@correounivalle.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2280-7270>

Ingeniera agrónoma con doctorado en Ciencias-Biología y énfasis en Entomología Económica. Actualmente es investigadora en horticultura en la Cooperación Internacional Brokaw Nursery LLC.

Claudia María Holguín Aranzazu

Correo: cholguin@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6498-3195>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Caldas (Colombia), con estudios de maestría en Entomología y doctorado en Nematología de Clemson University (Estados Unidos).

Pedro Pablo Parra Giraldo

Correo: pedro-pablo.parragiraldo@anses.fr

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8901-2187>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Realizó sus estudios doctorales en el Departamento de Botánica y Patología de Plantas de la Universidad de Purdue.

Nancy Yohana Grisales Vásquez

Correo: ngrisales@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1367-9158>

Reconocida por Colciencias como investigadora junior. Ingeniera agrónoma y máster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitopatología de la Universidad Nacional de Colombia.

Lilliana María Hoyos Carvajal

Correo: limhoyosca@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0980-5035>

Ingeniera agrónoma con maestría en Fitopatología y doctorado en Biología en el área de Manejo de Enfermedades. Actualmente es docente de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín).

Pablo Emilio **Rodríguez Fonseca**

Correo: prodriguezf@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4832-5771>

Investigador PhD asociado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), químico de alimentos con maestría y doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Iris Leidy **Soto Vega**

Correo: isoto@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2201-1830>

Ingeniera de alimentos con experiencia en áreas de investigación en ciencia y tecnología de alimentos.

Jairo Alberto **Villamizar Gelvez**

Correo: javillamizar@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-0931-2497>

Ingeniero ambiental con línea de profundización en Poscosecha de Frutas y Agroindustria.

Sara Isabel **Bedoya Ramírez**

Correo: sibedoyar@unal.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3371-8268>

Ingeniera agrónoma y estudiante del doctorado en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, (sede Medellín). Actualmente es coordinadora de Investigación y Desarrollo en Cartama.

Francy **Heredia**

Correo: experiencia@corpohass.com

Ingeniera Agrónoma, Especialista en Gerencia de Mercadeo, Marketing Digital y Comercio. Subdirectora de Relacionamento y Experiencia del Afiliado de la Corporación de Productores y Exportadores de Aguacate Hass de Colombia (Corpohass).





Introducción

El cultivo del aguacate Hass en el departamento de Antioquia, Colombia, ha experimentado una expansión significativa en la última década, con un **crecimiento del 150 %** en el área cultivada. Este aumento se debe a las diversas posibilidades de exportación del producto. Esta situación ha llevado a distribuir la producción en 51 de los 125 municipios del departamento, ubicados en cinco subregiones; las principales áreas sembradas se encuentran en el suroeste, oriente y norte, respectivamente, y los rendimientos más altos también se presentan en el mismo orden.

La geografía única de la región brinda un ambiente propicio para el cultivo de aguacate Hass. En Antioquia, las regiones de siembra se destacan por presentar un régimen bimodal de lluvias, con dos periodos de alta precipitación considerados húmedos y dos periodos de baja precipitación o secos durante el año. En un año tipo o neutro, el primer periodo de lluvias va de marzo a mayo, y el segundo, de septiembre a noviembre; el primer periodo seco va de junio a agosto, y el segundo, de diciembre a febrero.

Esta publicación se realiza con la colaboración de expertos en el cultivo y se basa en resultados de investigaciones de diversos actores, sumados a las experiencias locales de productores y asistentes técnicos. Su objetivo principal es brindar a los productores, profesionales del sector y otros actores de esta cadena productiva una herramienta fundamental para la toma de decisiones y el logro de una producción exitosa y sostenible de aguacate Hass en el departamento de Antioquia. Este documento pretende también servir como una guía práctica que permita a los productores, técnicos agrícolas y demás interesados en el cultivo aumentar la productividad y la sostenibilidad agronómica y financiera de este.

Los capítulos que componen este libro ofrecen una visión del cultivo como un todo y abordan temas determinantes para el éxito de esta agroindustria. En publicaciones anteriores, AGROSAVIA ha abordado temas puntuales como zonificación del cultivo, áreas geográficas y entornos ambientales, así como taxonomía y descripción botánica del cultivo, los cuales no serán tratados en este documento y pueden ser consultados en <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831> (Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate) (figura 1).

Figura 1. Código QR (Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate).



Esta publicación recopila temáticas concertadas con diversos actores de la cadena productiva que resultan relevantes para el desarrollo sostenible del cultivo de aguacate Hass en Antioquia. Los temas van desde la genética y los avances más relevantes en la propagación del aguacate hasta la descripción de las condiciones edafoclimáticas para el óptimo desarrollo del cultivo. También se exploran aspectos relacionados con prácticas de manejo sostenible del cultivo, manejo integrado de plagas y enfermedades, además de la cosecha, poscosecha y agroindustria de esta fruta. Finalmente, se dedica un capítulo especial para la evaluación de los costos de producción, aspecto que varía de acuerdo con múltiples variables y que se considera un elemento esencial para la toma de decisiones informadas.

Cada capítulo está diseñado para proporcionar un conocimiento que pueda ser considerado como una herramienta práctica y de aplicación directa en el campo, no solo por productores y asistentes técnicos o extensionistas agropecuarios, sino también por otras personas interesadas en esta cadena productiva. Se espera que esto contribuya al crecimiento sostenible de este sector de la producción agrícola en Antioquia.

En última instancia, esta publicación no solo es un compendio de conocimiento, es también un testimonio de la determinación y el compromiso de todos aquellos que trabajan incansablemente para impulsar la producción de aguacate Hass en Antioquia y arribar con un producto de alta calidad a los mercados nacionales e internacionales.

Capítulo I



Recurso genético y propagación de aguacate cv. Hass

Danilo Augusto **Monsalve García**
Carlos Felipe **Barrera Sánchez**
Oscar de Jesús **Córdoba Gaona**

INTRODUCCIÓN

En este capítulo, el lector podrá identificar los aspectos fundamentales para el reconocimiento de los atributos del recurso genético de aguacate, así como las diversas técnicas de propagación de árboles en vivero y campo para el establecimiento de plantaciones comerciales de aguacate, específicamente en el caso del cultivar (cv.) Hass. Lo anterior, bajo el entendimiento de que cada plántula, árbol o individuo está compuesto por dos entes biológicos que continuamente interactúan, a saber, portainjerto y copa.

RECURSOS GENÉTICOS DE AGUACATE

El aguacate Hass es una variedad particularmente popular y ampliamente cultivada de aguacate (*Persea americana* Mill.). Es un híbrido entre las razas guatemalteca y mexicana, pero se desconoce su proceso de mejoramiento genético (Schaffer et al., 2013); no obstante, el recurso genético del aguacate cv. Hass es esencial para el desarrollo y mejoramiento de nuevas variedades de aguacate.

GENÉTICA DE AGUACATE CV. HASS

A finales de la década de 1920, Rudolph Hass se dispuso a retirar el pequeño árbol de aguacate que había plantado en su huerta a las afueras de Pasadena (California), pues le había dado frutos oscuros, mezcla de negro con púrpura y piel rugosa, que causaban una impresión desagradable, como de podrido (Griswold, 1945); nada que ver con la cáscara verde brillante de los aguacates que acostumbraban a comer en California. Finalmente, fue convencido por Caulkins de que no lo hiciera. No se imaginaba que ese pequeño árbol se convertiría en la variedad de aguacate más difundida en el mundo. En 1935, Rudolph decidió patentar su aguacate como una nueva variedad, poniéndole su apellido (Stradley, 2004).

El aguacate es una planta diploide, lo que significa que tiene dos juegos de cromosomas. Su genoma está compuesto por aproximadamente 25.000 genes distribuidos en 12 cromosomas, que servirán no solo como base para avanzar en los estudios evolutivos, sino también como una herramienta importante para el desarrollo de

variedades élite con mayor calidad de fruta y rendimiento bajo estrés biótico y abiótico (Nath et al., 2022).

El aguacate cv. Hass posee una amplia adaptabilidad a las diferentes regiones donde se cultiva. Se ha descubierto que el genoma del aguacate contiene una alta proporción de secuencias repetitivas, tales como los retrotransposones, que son elementos genéticos móviles que pueden influir en la estabilidad y evolución del genoma. Los análisis genómicos han destacado claramente el origen híbrido del aguacate Hass, señalando sus razas progenitoras mexicanas y guatemaltecas. Se ha demostrado que contiene una introgresión guatemalteca en aproximadamente un tercio de su genoma (39 %), en un trasfondo racial mexicano (Rendón-Anaya et al., 2019).

Los mejoradores de aguacate, incluyendo el Hass, se ven enfrentados a numerosos retos: la dificultad de disponer de cruces controlados, un largo estado de inmadurez (lo que limita su mejoramiento) y las grandes extensiones de tierra necesarias para los experimentos. De hecho, el gran número de labores en el cultivo hacen que este sea un proceso caro. Desde el punto de vista biológico de los millones de flores producidas, solo una pequeña fracción da lugar a frutos que logran alcanzar la madurez, y de estos, una parte tiende a abortar y caer (Rincón Hernández et al., 2011); a pesar de esto, la polinización abierta y la hibridación, seguida de la selección de materiales promisorios en la progenie, ha sido el único método disponible para los mejoradores de aguacate (Ashworth et al., 2011). Desde el punto de

vista genético, el aguacatero es altamente heterocigótico, por lo que el comportamiento de las progenies resulta impredecible y los descendientes originados por un solo árbol son extremadamente variables (Lahav & Lavi, 2009).

Es importante señalar el alto riesgo al que están sujetos los cultivos de aguacate Hass, debido a la uniformidad de las poblaciones plantadas y a su alta vulnerabilidad potencial, relacionada con nuevas enfermedades o razas de patógenos. En el caso del aguacate cv. Hass, que se reproduce vegetativamente a través de injerto, se trata de una población con alto grado de uniformidad genética, equivalente a un clon.

PORTAINJERTOS COMERCIALES

Las semillas de aguacate tienen una alta variabilidad genética. Dos semillas del mismo árbol no tienen por qué tener el mismo genotipo, por lo tanto, se comportan de manera diferente en el campo. Así, la variedad frutal que esté injertada sobre estas semillas también tendrá un comportamiento diferente. Al agricultor productor de aguacates no le interesa tener variabilidad en su finca, ya que esto se traduce en árboles de diferente tamaño, con baja productividad y sin tolerancia a factores negativos.

La unidad productiva en los huertos comerciales de aguacate está constituida por el portainjerto y la variedad, los cuales tienen una gran cantidad de relaciones fisiológicas, en varios casos de fuerte demanda, lo que influye en su crecimiento y, finalmente, en la productividad de la unidad, que además es fuertemente afectada por el ambiente. El portainjerto, que

aporta la raíz, está en contacto directo con el suelo y es un componente esencial para que la unidad productiva se sostenga y nutra al árbol, tanto de agua como de minerales y otros compuestos (Estay et al., 2016).

Un portainjerto adecuado debe ser compatible con la variedad a injertar; esto significa que existe un estrecho contacto entre las zonas cambiales, con el fin de garantizar la expresión de los caracteres deseados en la variedad, así como la resistencia a enfermedades, condiciones de estrés y ambientes locales, pero también para mejorar los índices de rendimiento y calidad (Estay et al., 2016; Warschefsky et al., 2016). Los programas de mejoramiento genético de portainjerto de aguacate se han enfocado en materiales que puedan adaptarse a suelos con presencia de patógenos, alcalinos, falta de humedad, suelo de textura arcillosa, entre otros aspectos. También pueden tener atributos que le confieran mayor productividad, mayor eficiencia por área de copa, menor alternancia en la producción, mayor o menor absorción de nutrimentos del suelo, menor porte, adelanto de floración y de cosecha, mayor acumulación de aceite, así como mejoras en postcosecha y calidad de la fruta. La heredabilidad de los caracteres de resistencia en aguacate es generalmente baja, menos del 1 %. Por lo tanto, las plantas producidas a partir de semillas colectadas de árboles resistentes generalmente muestran poca resistencia (Menge, 2000).

Dentro los portainjertos disponibles en el mercado que se encuentran en el departamento de Antioquia se pueden mencionar por su importancia:

Dusa (Merensky 2): Patrón clonal de origen sudafricano, desarrollado por selección en Merensky Technological Services en Westfalia Estate, debido a su buena resistencia a *Phytophthora cinnamomi* (Botha, 1991). Fue obtenido de un árbol escape en un huerto fuertemente infestado con el patógeno. Además, presenta características como cierta tolerancia a la salinidad, sensibilidad a las bajas temperaturas, rápida entrada en producción y buena cosecha. Patentado en Estados Unidos y varios países con derechos de obtentor (Köhne, 2004).

Duke 7: Selección realizada en los años 60 en la Universidad de California Riverside por el doctor George A. Zentmyer, a partir de la variedad Duke de la raza mexicana (Zentmyer et al., 1988). Ha sido un portainjerto clonal estándar a nivel mundial por varios años. Es un patrón vigoroso, con buena tolerancia al frío, caracterizado por su mediana tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* y su tolerancia a *Phytophthora citricola*. Tiene una buena compatibilidad con las variedades injertadas, por lo que da origen a fruta de buen calibre. Es muy recomendada su propagación a través del método de etiolación (Téliz, 2000).

Bounty: Seleccionado en Sudáfrica por el Institute for Tropical and Subtropical Crops. Tiene resistencia a *Phytophthora cinnamomi* y es un material muy recomendado para ser establecido en suelos pobres, incluyendo suelos pesados con casos de inundación (Vidiella et al., 2015). Bounty presenta derecho de obtentor en Sudáfrica para 2004, al igual que en Australia en el 2015. Es un portainjerto con facilidad para

la propagación clonal, además de tener muy buena compatibilidad con la variedad Maluma (Vidiella et al., 2015).

AVANCE SOBRE LA IDENTIFICACIÓN DE PORTAINJERTOS CRIOLLOS EN ANTIOQUIA

En Colombia, actualmente se usan portainjertos criollos de origen desconocido, que en la mayoría de los casos son altamente susceptibles a las pudriciones radicales causadas principalmente por *Phytophthora* spp. (Rodríguez et al., 2009), y que constituyen su mayor limitante, pues causan incluso su pérdida o la muerte de árboles en campo. Antioquia no es ajena a esta situación. Los portainjertos de origen foráneo ofrecen una probable alternativa a mediano plazo; no obstante, no existen estudios que soporten atributos de adaptabilidad comprobada para las diversas condiciones edafoclimáticas del departamento, en las subregiones en las cuales se cultiva el aguacate cv. Hass.

Es por esto que existe una necesidad de avanzar con la identificación, selección y evaluación de portainjertos criollos, con origen y atributos conocidos, y con adaptabilidad comprobada a las condiciones ambientales del departamento.

Actualmente, AGROSAVIA ha avanzado en la identificación y evaluación de portainjertos criollos con origen conocido, colectados en diferentes municipios de Antioquia y caracterizados molecular (por microsatélites SSRs altamente polimórficos) y morfo-agronómicamente: cuentan con atributos de valor, como el incremento

de los parámetros de rendimiento (número de frutos y proporción de frutos para exportación) y bajos índices de pudriciones radicales; además, están siendo evaluados en 32 fincas del departamento, las cuales fungen como pruebas de observación para el registro ante el ICA. Lo anterior permitirá contar con portainjertos identificados y con adaptabilidad comprobada para la región.

EFECTO DEL PORTAINJERTO SOBRE AGUACATE CV. HASS

El efecto del portainjerto sobre la copa de aguacate cv. Hass ha sido ampliamente reportado en el mundo por los atributos que le confiere en cuanto a: parámetros productivos (Reyes et al., 2020), resistencia a enfermedades como la pudrición radical (Castillo-Argaez et al., 2021; Douhan et al., 2011; Ben-Ya'acov & Michelson, 1995) y plagas como *thrips*, desempeño en condiciones de sequía y otros factores abióticos (Acosta-Rangel et al., 2019).

Reyes et al. (2020) reportan en Antioquia que atributos como la altura de tallo, el número de frutos, la exclusión por bajo peso, así como la proporción de frutos para exportación y presencia de daños causados por *thrips* tuvieron estimativos de heredabilidad (obtenidos mediante marcadores SSRs) de 0,36; 0,45; 0,33; 0,37 y 0,34, respectivamente, los cuales son considerados altos y reflejan el efecto del componente genético del portainjerto en el desempeño de estos atributos sobre la copa cv. Hass. Esto significa que las funciones del portainjerto van más allá de las

clásicamente esperadas como el soporte del sistema radical y la resistencia a enfermedades del suelo, debido a la íntima relación que se presenta entre el portainjerto y la copa.

Aunque injertadas, las plantas cuyos portainjertos son obtenidos de semillas difieren unas de las otras en tamaño, productividad, calidad de frutos y tolerancia a factores bióticos y abióticos (Freire Alberti et al., 2018). Se recomienda que la selección de la planta donadora de semillas se haga en función de su vigor, productividad, calidad y adaptación a las condiciones climáticas locales, debido a la alta segregación genética de los portainjertos obtenidos a partir de semillas (Castro & Fassio, 2015). Esta situación se acentúa aún más en una plantación que posee portainjertos de origen desconocido, puesto que la diversidad genética es marcada y el efecto sobre la copa es altamente heterogéneo.

PROPAGACIÓN DE AGUACATE CV. HASS

La calidad del material vegetal es uno de los factores de mayor relevancia para el éxito del sistema productivo de aguacate cv. Hass. El cuidado en los detalles de cada una de las etapas en el proceso de propagación es fundamental para su obtención. En este segmento, se tratan aspectos sobre la normatividad ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), huertos básicos de semilla sexual y asexual, y métodos de propagación en vivero a partir de dos tendencias: la propagación de portainjertos sexuales y de portainjertos clonales.

NORMATIVIDAD PARA LA PROPAGACIÓN DE MATERIAL VEGETAL - RESOLUCIÓN ICA 0780006 DE 2020

En Colombia, el ICA emitió la resolución 0780006 (25 de noviembre de 2020) como reemplazo de la 3168 de 2015, “por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros y/o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación de frutales para la siembra en el país”. Esta resolución se emite con el propósito de realizar seguimiento y vigilancia sanitaria al material vegetal que los viveros distribuyen, obligándolos a comercializar material vegetal con identidad genética que proceda de lotes registrados, y que cumplan con todos los requisitos para producir semilla de alta calidad.

La sinergia entre los lineamientos propuestos para la producción de plántulas y la importancia de tener material de siembra con trazabilidad se refleja en el párrafo 4.1.12 de la resolución citada, el cual indica que: “si se trata de un vivero productor sin huerto básico, deberá relacionar la información del o de los huertos básicos que le suministran el material vegetal de propagación (asexual) y de semilla sexual, los cuales deberán estar debidamente registrados ante el ICA como viveros con huerto básico o huerto básico, o como productor de semilla seleccionada respectivamente”. Por ello, se hace obligatorio para todos los propagadores de material vegetal tener una fuente semillera registrada con materiales criollos o foráneos identificados, evaluados y certificados como patronaje,

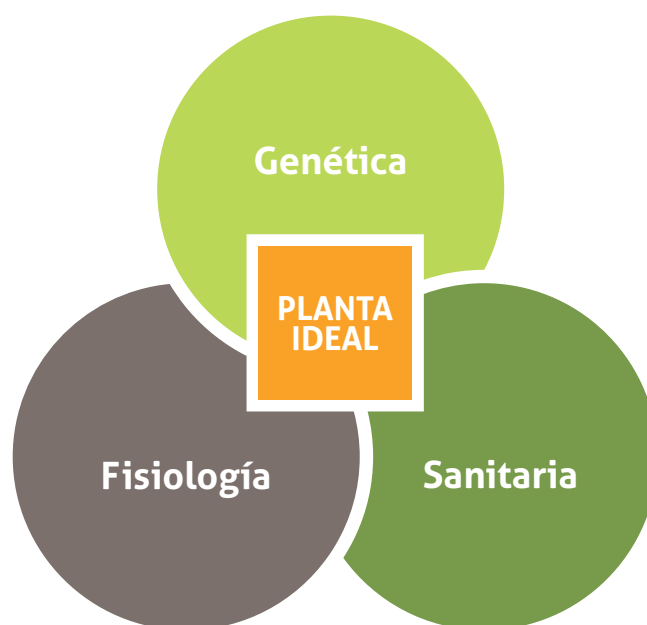
es decir, que la semilla, tanto sexual como asexual (yemas), provenga de lotes registrados ante el ICA.

Esto implica tener control y realizar un seguimiento sobre las materias primas necesarias para la propagación de material vegetal, es decir, sobre la semilla sexual y la semilla asexual (yema). Esto genera, además, el andamiaje sobre el cual puede ser posible una articulación lógica entre el huerto básico de semilla sexual para la propagación de portainjertos con identidad trazable y calidad fisiológica y sanitaria garantizada (antes y durante el proceso de propagación en vivero), y el proceso de propagación de semilla asexual en huertos con dedicación exclusiva a la producción de yemas que garanticen condiciones de vigor de la copa en vivero.

Respecto a la identidad genética, actualmente no existe ningún material para portainjerto registrado en el Registro Nacional de Cultivares (RNC) del ICA (figura 2).

Figura 2. Esquema ilustrativo sobre la identidad genética, la calidad fisiológica y sanitaria que debe poseer una planta ideal de aguacate cv. Hass

Fuente:
Elaboración propia



Con relación al nivel de calidad fisiológica, pocos viveros realizan seguimiento a aspectos como vigor, germinación o defectos morfológicos como raíces múltiples. Y, respecto al nivel de calidad sanitaria, se presentan graves problemas a causa de la desinfección inadecuada de los sustratos y la semilla. Este panorama ha venido cambiando gradualmente gracias a los esfuerzos de propagadores de material vegetal para adaptarse a los requerimientos normativos. A 2023, Colombia cuenta con 290 viveros para la producción de aguacate y pocos huertos básicos de semilla sexual registrados ante la resolución en vigencia (ICA, 2023).

Adicionalmente, el uso de semilla sexual debe estar soportada por portainjertos que estén en el Registro Nacional de Cultivares (RNC), según la Resolución 067516 de 2020, “por medio de la cual se establecen los requisitos para la inscripción de los cultivares en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales y se dictan otras disposiciones” (ICA, 2023).

El suministro de semillas en Colombia es deficiente, principalmente bajo el cumplimiento a cabalidad de la normativa ICA (figura 3).

Los aguacates denominados nativos o criollos concentran la producción de fruta en el primer semestre del año (Camero, 2011). En los últimos años y debido al incremento en las áreas de siembra, los aguacates antillanos productores de semilla no alcanzan a satisfacer las necesidades de los mercados, situación que ha incrementado los costos de producción. No obstante, esto incrementa los problemas



ya mencionados de heterogeneidad y alta mortalidad, debido a que en la mayoría de los casos esta semilla usada para portainjerto es de origen desconocido.

HUERTOS BÁSICOS DE SEMILLA SEXUAL

Un huerto básico de semilla sexual es el lugar donde se tienen árboles para la producción controlada y trazable de frutos para semilla, cuyo fin es la propagación de portainjertos, en este caso de aguacate.

Figura 3. Plántulas de aguacate propagadas en condiciones de vivero – Centro de Investigación La Selva (AGROSAVIA).

Fotos: Oscar Córdoba G.

De manera general, se deben cumplir tres requisitos según la normativa ICA: a) el huerto debe poseer un cerco perimetral o barrera física, y en lo posible estar lo más separado posible de plantaciones comerciales, con el fin de evitar la contaminación con polen externa al huerto; en caso de optar por una especie vegetal para la conformación de esta barrera, esta no debe estar constituida por las especies relacionadas en el anexo II de la Resolución ICA 12816 de 2019 (ICA, 2019; ICA, 2020); b) se debe contar con un sistema de identificación de plantas que indique la especie, la copa y el portainjerto (ICA, 2020), con el fin de que haga parte del sistema de trazabilidad de los materiales a propagar, y c) las herramientas y los vestuarios deben ser de uso exclusivo del huerto, con el fin de evitar contaminación de patógenos o plagas provenientes de fuentes externas (ICA, 2020). Asimismo, para estas plantaciones se debe contemplar un manejo agronómico más estricto a nivel sanitario con respecto a plantaciones convencionales o comerciales, puesto que se debe garantizar la calidad sanitaria de la semilla. En este sentido, el manejo sanitario basado en monitoreos debe impedir que se cosechen y comercialicen semillas con algún defecto sanitario, tales como perforaciones, manchas o pudriciones que puedan comprometer la integridad de la semilla. Se recomienda que los frutos para semilla sean cosechados directamente del árbol, en un estado de madurez fisiológica (mas no de consumo), y que se conserve la marcación del mismo en el momento de su cosecha y transporte.

HUERTOS BÁSICOS DE SEMILLA ASEXUAL

Un huerto yemero, banco de yemas o jardín clonal es el lugar donde se tienen los árboles élite de aguacate cv. Hass, sanos, libres de plagas y enfermedades, poco alternantes y productivos, a partir de los cuales se extraen varetas que proveen yemas de forma sostenible en la calidad y cantidad necesaria para iniciar el proceso de injertación (Vidiella et al., 2015; Vásquez Sampayo, 2017).

PROPAGACIÓN EN VIVERO

Los portainjertos de aguacate se pueden propagar a través de alguno de estos dos métodos principales: a través de semillas (portainjertos de plántulas) o por propagación vegetativa (portainjertos clonales). La producción de portainjertos de plántulas es muy fácil de operar y es relativamente económica. El principal inconveniente de estos portainjertos es su falta de uniformidad, debido a la alta variación genética.

La propagación por injertos en el cultivo de aguacate es el método más apropiado para establecer variedades comerciales seleccionadas de interés económico (Campos Rojas et al., 2012). Esta técnica se presentó como una alternativa para la producción de líneas resistentes a la pudrición de la raíz por *Phytophthora*; no obstante, en la actualidad, la injertación ofrece otras ventajas, como la modificación de la arquitectura del dosel (plantas enanas), el incremento en la producción, la reducción de la etapa juvenil (precocidad), la adaptación

de los cultivares a condiciones ambientales desfavorables (salinidad, déficit y exceso hídrico, etc.) y la resistencia a plagas y otras enfermedades (Ernst et al., 2013; Habibi et al., 2022).

PROPAGACIÓN CON PORTAINJERTOS SEXUALES

Los portainjertos de aguacate se pueden propagar a través de alguno de los dos métodos principales: a través de semillas (portainjertos de plántulas) o de propagación vegetativa (portainjertos clonales). La producción de portainjertos de plántulas es fácil de implementar y relativamente económica; no obstante, el principal inconveniente radica en la poca uniformidad de los portainjertos, debido a la alta variación genética de la semilla de aguacate (Cohen et al., 2023).

PORTAINJERTOS SEXUALES

Debido al bajo costo, el vigor del crecimiento de las plántulas y la facilidad de propagación, la mayoría de los países todavía usan semillas para producir portainjertos de aguacate a pesar de su variabilidad genética (Ben-Ya'acov & Michelson, 1995). No obstante, por ser el aguacate una especie de polinización cruzada y altamente heterocigótica, la progenie originada por semilla es muy variable con relación a las características morfológicas y biológicas de las plantas madre (Freire Alberti et al., 2018).

Debido a la alta segregación genética de los portainjertos obtenidos a partir de semilla, se recomienda que la selección de

los árboles donadores de semilla (fuentes semilleras) se haga en función de su vigor, productividad, buen estado fitosanitario, calidad y adaptación a las condiciones climáticas locales (Castro & Fassio, 2015; Cañas-Gutiérrez et al., 2015). En Colombia, la semilla generalmente se obtiene de “árboles plus” “criollos” seleccionados, originando portainjertos de plántulas intraraciales de medios hermanos de polinización abierta (PA) (Cañas-Gutiérrez et al., 2015; Cañas-Gutiérrez et al., 2022).

En Antioquia, existen cuatro zonas diferentes en las cuales se disponen árboles criollos que son utilizados como fuentes semilleras para la producción de portainjertos: oriente antioqueño - subregión páramo (Sonsón, Nariño, Abejorral y Betulia); oriente antioqueño - subregión altiplano (El Retiro, Marinilla, Rionegro, La Ceja, San Vicente, Angelópolis y Carmen de Viboral); suroeste antioqueño (Caramanta, Valparaíso y Santa Bárbara) y Urbá antioqueño (Mutatá) (Bedoya-Ramírez et al., 2023; Cañas-Gutiérrez et al., 2015). Es importante resaltar que, en general, el material genético empleado como patrones en Antioquia tiene una similitud genética del 33 % con el cultivar Hass, lo que favorece los procesos de injertación debido a la compatibilidad genética similar (Cañas-Gutiérrez et al., 2015).

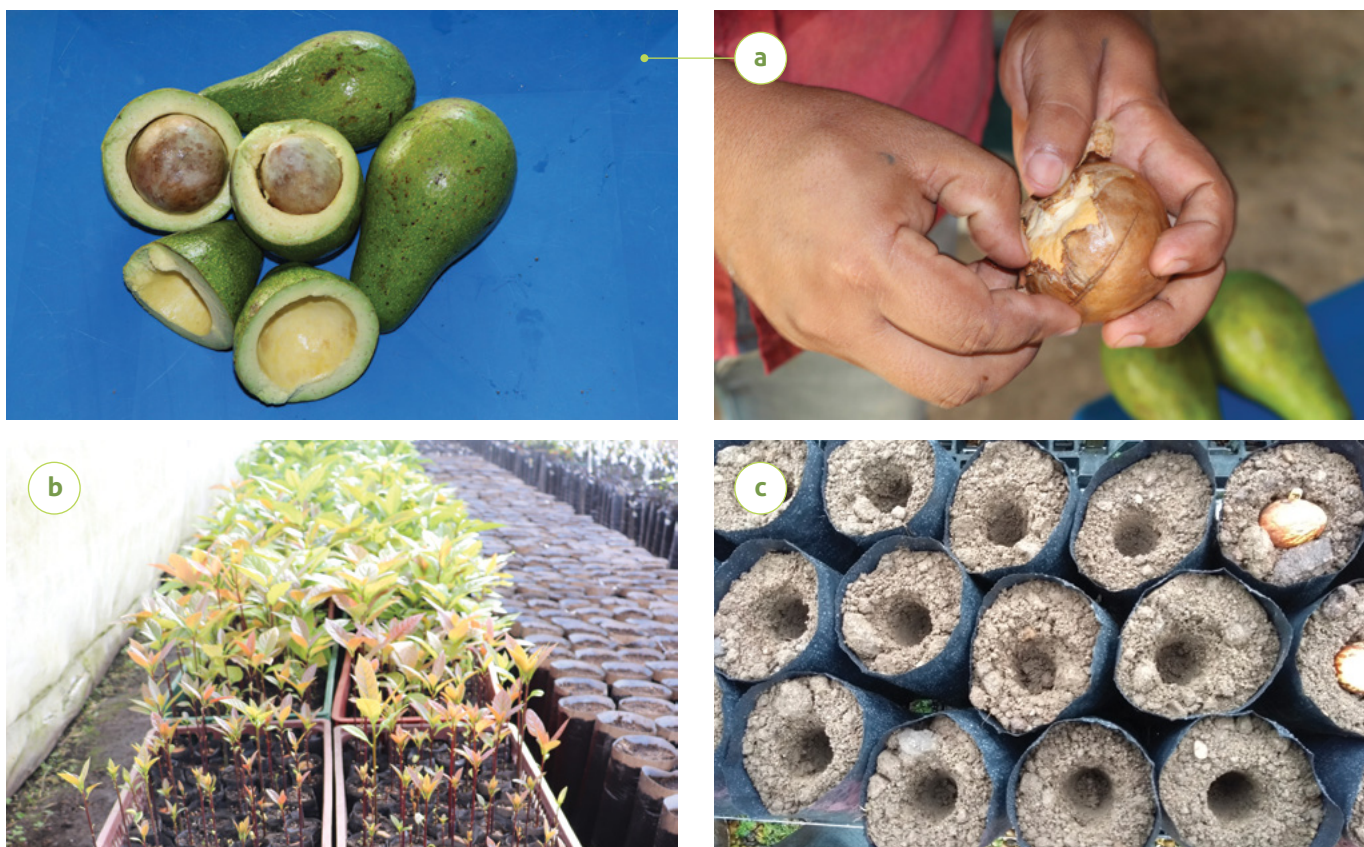
Los frutos se deben cosechar directamente del árbol cuando estén maduros (Ernst et al., 2013). En vivero, una vez extraída la semilla de los frutos, debe plantarse de forma inmediata en germinadores, pues, al ser una semilla recalcitrante, se puede producir una alta mortalidad si se permite

que las semillas se deshidraten (figura 4a). Debido a que la germinación de las semillas de aguacate es un proceso lento e irregular, sumado a la variabilidad de tamaños de la semilla, se recomienda hacer una clasificación por peso, agrupando las semillas por clase: clase I (de 40 g a 60 g.), clase II (de 60 g a 80 g.), clase III (de 80 g a 100 g) y clase IV (>100 g) (Mejía-Jaramillo et al., 2022). Las semillas se plantan con el extremo grande y plano hacia abajo. Los sustratos utilizados en cada vivero varían según la disponibilidad y el costo de los materiales; no obstante, se recomienda una mezcla en proporción 70:20:10 de suelo, arena y cascarilla de arroz, el cual debe ser desinfectado con Dazomet al 98 % (Mejía-Jaramillo et al., 2022).

Una vez germinadas (15 - 30 días) las semillas, por clase y homogeneidad de la germinación, se trasplantan a bolsas de polietileno calibre 12 (50 cm de alto y 15 cm de diámetro, con perforaciones) (figura 4b). Cuando los patrones tienen una altura de 40 a 60 cm, y un diámetro de tallo de 6 a 10 mm, generalmente de 3 a 4 meses después de la siembra, las plántulas están listas para la injertación (figura 4c) (Mejía-Jaramillo et al., 2022; Whitsell et al., 1989).

Durante el crecimiento y desarrollo de los portainjertos por semilla, se pueden presentar varios desórdenes fisiológicos que reducen la calidad de las plántulas e incrementan el descarte de material en vivero. Entre ellos, se encuentra la formación de tallos (figura 5a) y raíces múltiples (figura 5b).

Figura 4.
Portainjertos aguacate Hass.
a. Clasificación de semillas;
b. Siembra en bolsa;
c. Patrón criollo.
Fotos: Nilsen Sánchez



Tallos múltiples: El estudio anatómico del eje embrionario de semillas de aguacate en el cultivar Hass revela que los haces vasculares parten de un solo embrión, con la ramificación del epicótilo caracterizando la formación de tallos múltiple y no la poliembriónía (Chaves Souza et al., 2020). Como el aguacate tiene una sola semilla monoembriónica, se necesita una gran cantidad de frutos para la producción de portainjertos y este proceso encarece la implantación del huerto (Velho da Silveira et al., 2004).

Raíces múltiples: Una de las principales preocupaciones en los viveros productores de plántulas de aguacate es la gran cantidad de semillas que al germinar producen raíces múltiples, lo que genera un alto descarte como patrón y pérdidas económicas. Estudios realizados por Aranzazu (2019) indican que existe una mayor probabilidad de que una semilla presente raíces múltiples cuando estas son de menor tamaño.

YEMAS CULTIVAR COMERCIAL

La selección de un buen material de propagación es una de las tareas más importantes para el propagador. Las yemas deben ser de árboles seleccionados y representativos de la variedad escogida, procedentes de huertos especiales denominados huertos yemeros. Una yema se considera adecuada cuando se encuentra en un crecimiento terminal maduro y que está inactiva. Para ello, se deben seleccionar yemas terminales latentes con un color verde oscuro, con 3 a 4 yemas bien formadas (Whitsell et al., 1989; Amaguaya

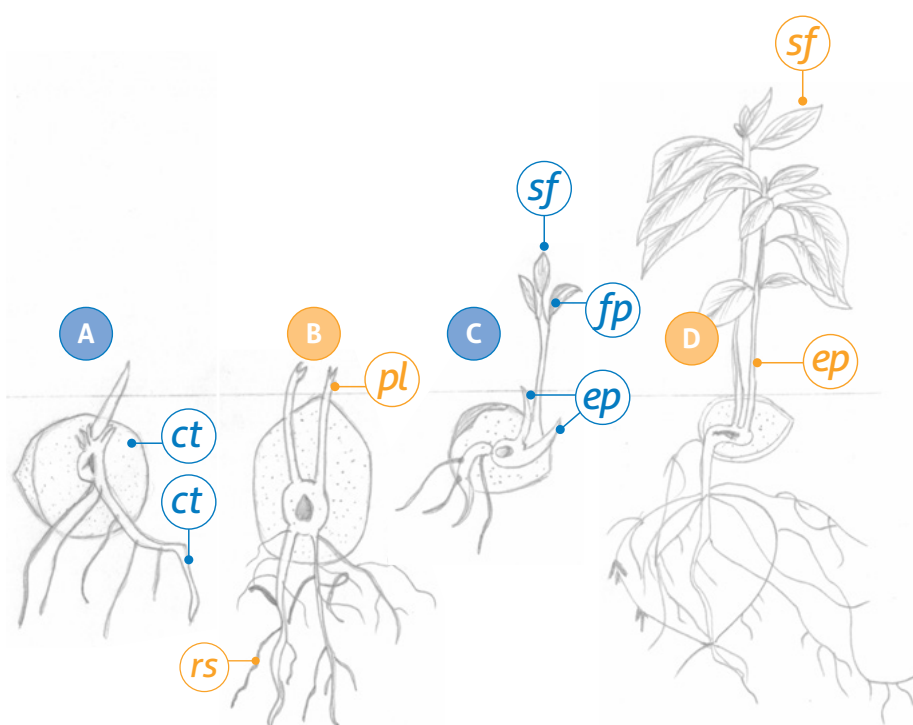


Figura 5. Desórdenes fisiológicos en patrones a partir de semilla de materiales criollos de aguacate.
a. Tallos múltiples;
b. Raíces múltiples.

Nota: Emergencia de plántulas de aguacate A, B, C y D que muestran la presencia de más de un tallo y una raíz principal por semilla: raíz primaria (rp); cotiledones (ct); raíces secundarias (rs); plúmula (pl); epicótilo (ep); hoja primaria (fp); segundo par de hojas (sf); Emergencia hipogea (línea discontinua). (Barra = 2 cm).

Fuente: Basada en Moraes et al. (2010), rediseñada por Isabella Sánchez.

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba Gaona

Colcha, 2019). La selección de las yemas se debe realizar el día anterior y se deben envolver inmediatamente en papel húmedo o colocarse en una bolsa de polietileno con un paño húmedo para reducir la pérdida de agua (Maradiaga, 2017).

INJERTACIÓN

Existen variaciones en el tamaño ideal para la injertación de un portainjerto de aguacate; no obstante, de forma general, esta práctica se debe realizar cuando los portainjertos hayan alcanzado una altura de entre los 40 y 60 cm, y un diámetro del tallo de entre 6 y 10 cm (Maradiaga, 2017; Mejía-Jaramillo et al., 2022).

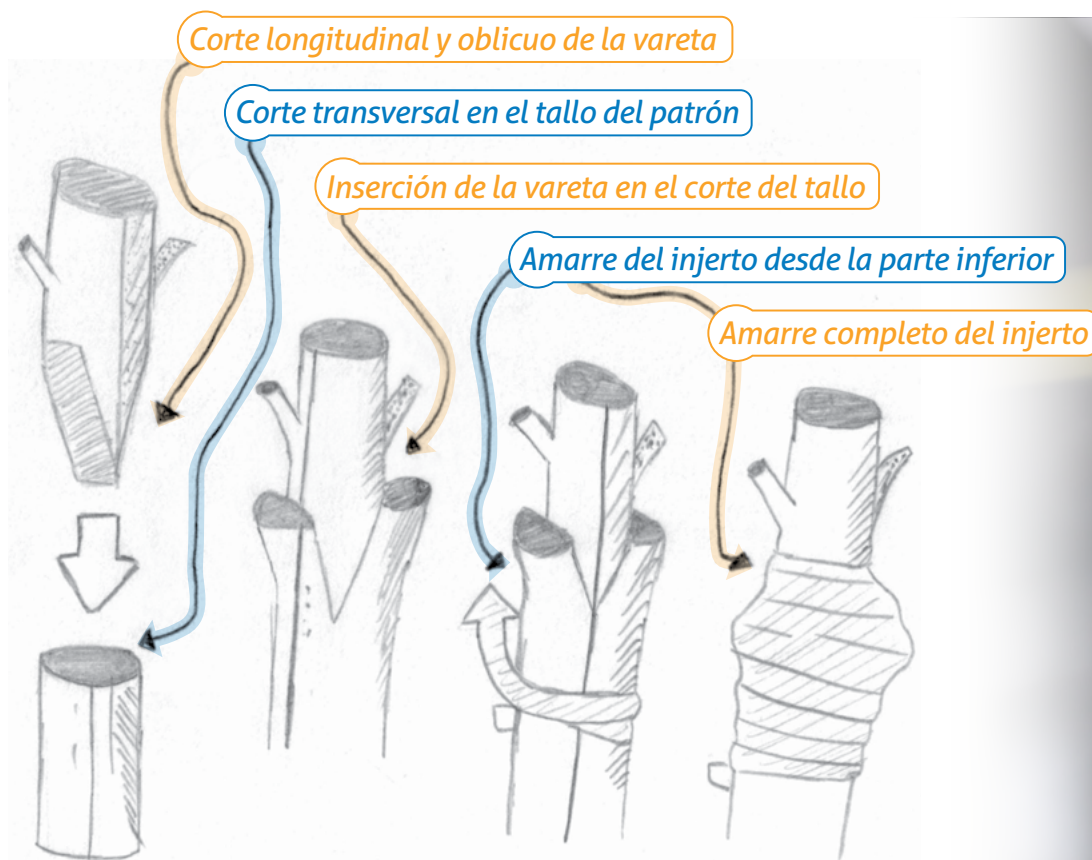
Injerto de púa terminal o hendidura simple: Es el método de propagación más utilizado en los viveros de aguacate en la actualidad. El método es rápido y la tasa de éxito es alta, ya que ambos lados del vástago suelen coincidir con el cambium de portainjertos de diámetro similar (Whitsell et al., 1989; Ernst et al., 2013) (figura 6).

El procedimiento consiste en hacer corte o despunte del portainjerto a una altura de entre 30 y 40 cm del nivel de la bolsa; posteriormente, se deben eliminar las hojas y ramas que estén cerca del punto de injertación, dejando solo de tres a cuatro hojas debajo del injerto.

Figura 6. Injerto de púa terminal en patrones criollos de aguacate para la producción de plántulas injertadas de aguacate cv. Hass.

Fuente: Ernst et al. (2013)

Foto: Oscar de Jesús Córdoba Gaona



Sobre el portainjerto se realiza un corte longitudinal de aproximadamente 3 cm. Paralelo a ello, se debe cortar la vareta (porta yemas) en forma de púa e insertarla en el corte hecho en el patrón, a modo de cuña, garantizando que coincidan los cortes. Se debe evitar hacer contacto con las superficies del corte, tanto del portainjerto como de la vareta, ya que esto puede afectar el prendimiento del injerto. Finalmente, se debe fijar la región de la unión del portainjerto/copa con una cinta y proteger el injerto con papel absorbente humedecido cubierto con una bolsa plástica, de modo que se evite la deshidratación de la púa o vareta; es importante que permanezca con la bolsa plástica y la cinta por cerca de 30 a 40 días, hasta la brotación de las varetas. Después de ese periodo, se deben retirar los brotes del portainjerto, realizar tratamientos fitosanitarios, conducir y climatizar (Freire Alberti et al., 2018).

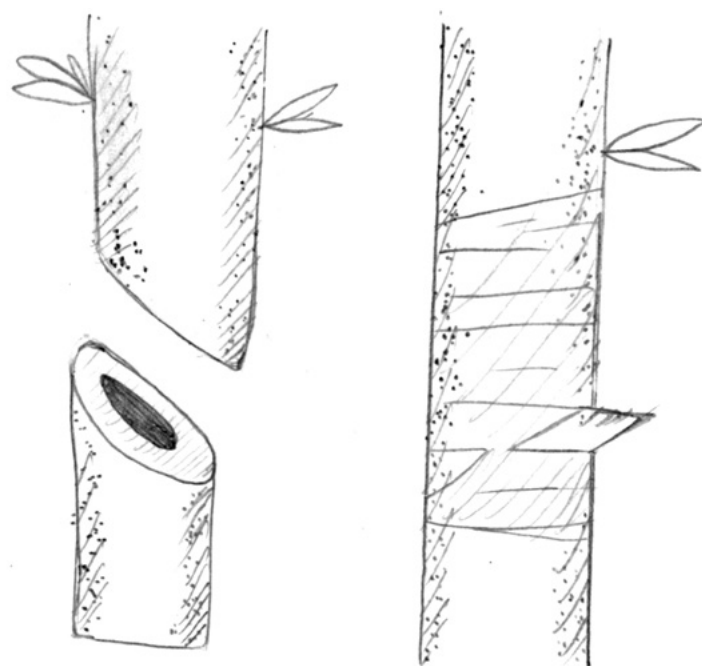
INJERTO LATERAL

El método es un poco más difícil que el injerto de hendidura, porque se deben hacer cortes largos y precisos, y hacer coincidir cuidadosamente el cambium del vástago y el patrón (Ernst et al., 2013). Se trata del injerto por el método ‘inglés’ o de ‘lengüeta’, el cual consiste en la eliminación del tallo del portainjerto por medio de un corte en bisel (figura 7); es el mismo tipo de corte realizado en la rama puntera de la planta madre (Freire Alberti et al., 2018).

PROPAGACIÓN CON PORTAINJERTOS CLONALES

Debido a la falta de uniformidad de los portainjertos a partir de semilla y la necesidad de superar varios limitantes, se impulsó la búsqueda de un método de propagación clonal que pueda producir plantas clonales que pertenecen a genotipos seleccionados, y que además de brindar una mayor productividad en el cultivar comercial presenten mayor tolerancia contra la pudrición radical causada por *Phytophthora* (Ernst et al., 2013; Freire Alberti et al., 2018). Existen dos técnicas para producir patrones clonales en aguacate: la primera, conocida como la técnica de Brokaw, y la segunda, como “Allesbeste” o técnica de acodo o micro-propagación de portainjertos de aguacate, adaptada de Brokaw (Ernst et al., 2013; Freire Alberti et al., 2018).

Figura 7. Injerto lateral en patrones criollos de aguacate para la producción de plántulas injertas de aguacate cv. Hass
Fuente: Isabella Sánchez



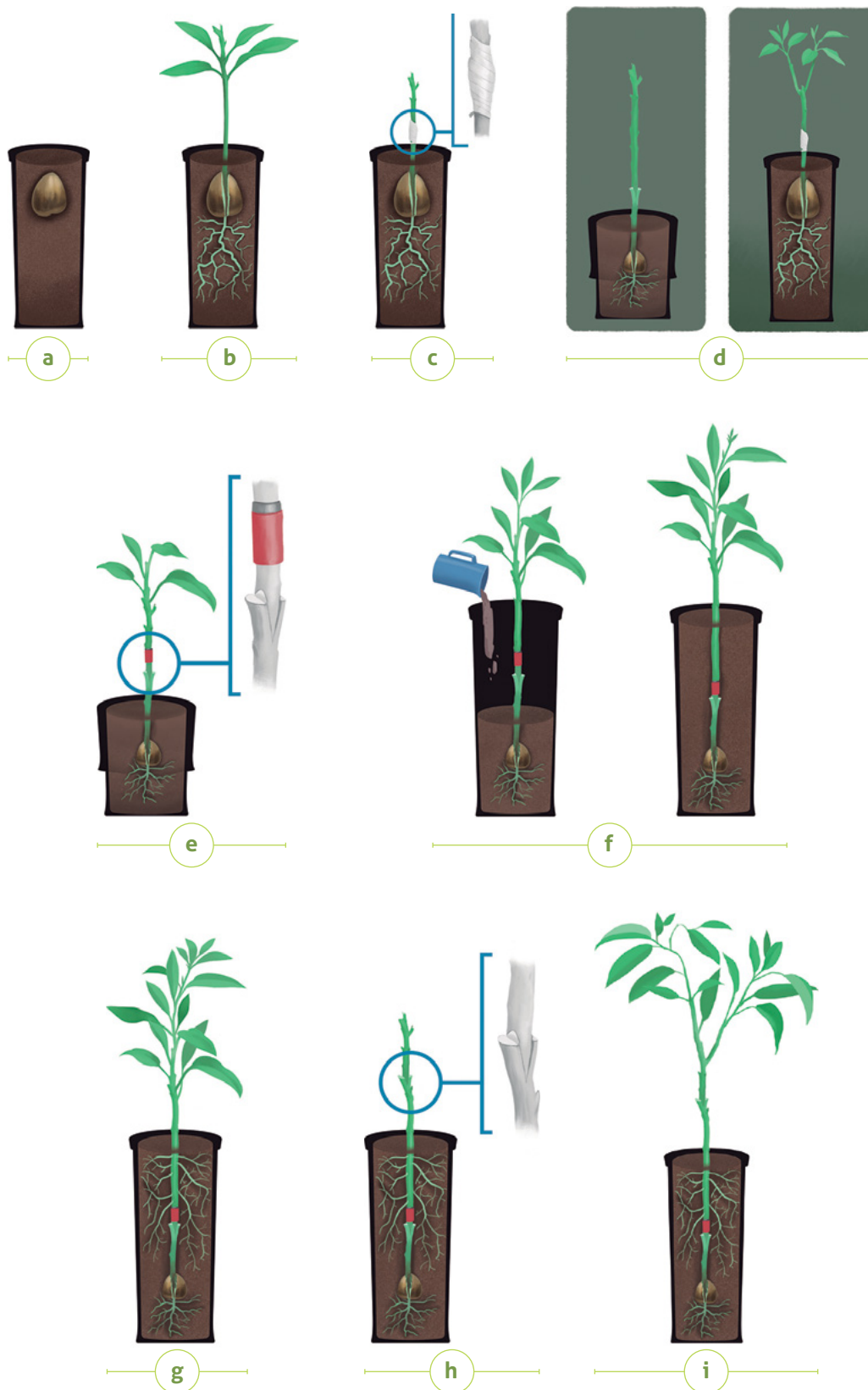


Figura 8. Método de Brokaw para producción de portainjertos clonales de aguacate.

a. Siembra de la semilla 'nodriza';
b. Planta lista para recibir el injerto;
c. Injerto del cultivar portainjerto seleccionado;
d. Brote etiolado en cámara oscura;
e. Anillado del brote etiolado;
f. Recubrimiento de la base del brote etiolado;
g. Emergencia de las raíces adventicias del brote etiolado;
h. Injerto del cv. Hass;
i. Plántula del cv. Hass en bolsa, lista para trasplante en campo.

Fuente: Adaptado de Freire Alberti et al. (2018).

Método de Brokaw: Este método es una modificación desarrollada por el vivero Brokaw a la técnica de Frolich y Platt en 1972, y actualmente es la técnica más utilizada para la producción de plántulas de aguacate (Freire Alberti et al., 2018).

Semilla nodriza: La semilla nodriza o semilla sexual es aquella que es extraída de un fruto de árboles semilleros, de igual forma que en patrones sexuales. La semilla se siembra aproximadamente a un tercio de la parte inferior de una bolsa de polietileno (300 × 70 mm), donde la parte superior se ha doblado hacia abajo sobre la mitad inferior de la bolsa (figura 8a).

Primer injerto - injertación del patrón comercial a clonar: Cuando se ha producido un crecimiento suficiente de la plántula a partir de la semilla nodriza, esta se injerta cerca de la superficie del suelo con una vareta o rama terminal, la cual es extraída de una planta madre del patrón deseado (ver patrones) (figura 8b). Para ello, se realiza un injerto de púa terminal o hendidura simple. Aproximadamente, entre los 15 y 30 días, se genera una brotación de las yemas y, entre los brotes a los que da origen, se selecciona el más fuerte y con mejor crecimiento. Posterior a ello, la plántula se coloca en la oscuridad para inducir el proceso de etiolación (figura 8d).

Etiolación: Es el desarrollo de plantas o partes de plantas en ausencia de luz que resulta en características tales como hojas pequeñas sin expandir, brotes alargados y falta de clorofila, es decir, una coloración amarillenta o blanquecina. Una vez la plántula ha alcanzado un crecimiento de una altura (30-40 cm) y un

diámetro deseado, la plántula se retira de la cámara de oscuridad.

Anillado: Transcurridos 15 días después de retirar las plántulas de la cámara de etiolación, se hace un anillado sobre el perímetro del tallo del brote del injerto y se aplica una mezcla de ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftaleno acético (ANA), con el fin de estimular la formación de raíces adventicias del portainjerto (brote). Posteriormente, por debajo del anillado, se coloca un anillo de metal o plástico, evento que sucede aproximadamente después de un año (figura 8e). A continuación, la bolsa se extiende en toda su longitud y se llena con sustrato húmedo (figura 8f). El anillo se contrae gradual y eventualmente mata a la planta madre procedente de la semilla “nodriza”, por lo general, dentro de 1 año, dejando el tallo enraizado como el nuevo portainjerto clonal (figura 8g, patrones enraizados).

Segundo injerto - injertación de la copa comercial (cv. Hass): Se emplean varetas portayemas del cultivar Hass como copa comercial. Esta se puede injertar en el tallo etiolado (patrón clonal) inmediatamente después de colocar el anillo de estrangulamiento y extender la bolsa, o se puede injertar posteriormente, después de que se hayan formado raíces a partir del tallo. La copa comercial Hass se injerta a una altura de 20 a 25 cm a través del método de púa terminal o hendidura simple (Freire Alberti et al., 2018).

Climatización: Se transportan las plantas para un local semisombreado. Después de 20 a 30 días, las plantas son colocadas al aire libre y trasplantadas en un

recipiente con capacidad de 12 litros para ser posteriormente plantadas en campo.

MÉTODO DE ALLESBESTE

El método de Allesbeste, de microclonación, fue desarrollado por Ernst en 1999 (a partir del método de Brokaw), para reducir costos en la producción de portainjertos clonales en aguacate y con la ventaja de producir varios patrones clonales a partir de una sola semilla nodriza (Freire Alberti et al., 2018).

El método de Allesbeste consiste, al igual que el método de Brokaw, en sembrar una semilla nodriza sobre la cual se realiza la injertación de púa terminal con una vareta del cultivar del portainjerto a ser clonado. Aproximadamente, entre los 15 y 30 días, se presenta la brotación de las yemas, originando nuevos brotes, de los cuales se seleccionan dos distantes, con buen crecimiento; las plántulas se llevan a las cámaras de oscuridad para inducir el proceso de etiolación (figura 9a). Cuando estos brotes alcanzan un largo de 20 a 30 cm, se retira la planta de la cámara de etiolamiento. De igual manera, se realiza una incisión perimetral en la base de cada uno de los dos brotes etiolados y se aplica una mezcla de ácido indolbutírico (AIB) y ácido naftaleno acético (ANA), con el fin de estimular la formación de raíces adventicias del portainjerto (brote). A diferencia del método de Brokaw, posterior al anillado y aplicación de AIB y ANA, la base de cada brote se cubre con un minicontenedor

plástico que contenga un sustrato estéril. Aproximadamente 8 semanas después, los brotes formarán raíces adventicias y estarán listos para ser injertados (púa terminal) con la copa comercial (cv. Hass).

Pasadas de 4 a 6 semanas del segundo injerto, los microclones estarán plenamente desarrollados, y cuando el injerto del cv. Hass tenga aproximadamente 5 cm de largo, se cortan ambos brotes de la planta 'nodriza' en la región, inmediatamente encima del primer injerto y debajo del minicontenedor (figura 9), para ser prontamente colocados en un recipiente con agua. Después de la separación, la plántula de la semilla 'madre' retorna para el cuarto de etiolación, donde se espera que ocurran nuevas brotaciones y se continúe con el proceso de microclonaje. Los microclones son almacenados en invernaderos con alta humedad relativa (85 %) y mantenidos bajo un sistema de fertirrigación; por ello, son generalmente vendidos directamente a los productores o a otros viveros. En caso de que no sean vendidos rápidamente, son trasplantados a bolsas plásticas para su posterior plantío en campo (figura 9). El proceso completo de obtención de la planta desde la semilla 'madre' hasta los microclones climatizados lleva cerca de 8 a 10 meses, más 4 a 6 meses adicionales hasta alcanzar el tamaño adecuado para su plantío definitivo en el campo. Entonces, se injertan con varetas de la variedad comercial por el método de púa terminal.



Figura 9. Técnica Allesbeste adaptada de Brokaw (Ernst, 1999; Ernst et al., 2013) para la microclonación de portainjertos de aguacate.

- a.** Siembra de la semilla 'nodriza';
- b.** Planta lista para injertación;
- c.** Injerto del cultivar portainjerto seleccionado;
- d.** Plántula con brotes etiolados;
- e.** Brotes envueltos por minicontenedores;
- f.** Enraizamiento de los brotes etiolados;
- g.** Injerto del cv. Hass;
- h.** Microclones desarrollados;
- i.** Separación de los microclones de la planta 'nodriza';
- j.** Microclones listos para la comercialización;
- k.** Microclon trasplantado para bolsa plástica, y
- l.** Planta injertada lista para el trasplante en campo.

Fuente: Adaptado de Freire Alberti et al. (2018).

Capítulo II



Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez
Ángela María Castaño Marín
Jorge Alonso Bernal Estrada
Lucas Esteban Cano Gallego
Mauricio de Jesús Londoño Bonilla

INTRODUCCIÓN

La diversidad de climas en Colombia se debe a su ubicación geográfica en la zona intertropical y a su sistema montañoso. La oferta de radiación solar, precipitación, temperatura del aire y humedad relativa está estrechamente relacionada con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), los vientos alisios y la orografía. En el trópico, la temperatura media del aire disminuye en cerca de 0,65 °C por 100 m de aumento en la altitud (Jaramillo-Robledo, 2018), por lo que las variaciones de la temperatura no están sujetas a las estaciones, sino a los cambios en altitud.

El departamento de Antioquia, situado en la región noroccidental de Colombia, tiene una notable diversidad climática a lo largo de las subregiones en donde se cultiva el aguacate cv. Hass. En el norte, el clima cálido tropical presenta temperaturas que van desde los 24 °C hasta los 30 °C, con una temporada de lluvias que generalmente ocurre entre los meses de abril y noviembre. En el oriente, las temperaturas oscilan entre 18 °C y 24 °C. El suroeste se caracteriza por temperaturas que fluctúan entre 22 °C y 28 °C, con lluvias que supera los 3.000 mm. En la región de occidente, las temperaturas varían entre 25 °C y 30 °C. Finalmente, en el Valle de Aburrá, el clima templado de montaña se traduce en temperaturas que oscilan entre 15 °C y 24 °C. Las últimas cuatro subregiones presentan históricamente dos temporadas de mayor precipitación: entre marzo y mayo, y entre septiembre y noviembre. En la tabla 1, se muestra el promedio mínimo y máximo de la precipitación anual con su respectivo coeficiente de variación. Nótese el amplio rango de precipitación, debido a las contrastantes condiciones topográficas y geográficas de los municipios que las componen, lo cual hace posible una gran oferta climática para el aguacate cv. Hass.

Tabla 1. Precipitación promedio multianual, periodo 1981 a 2010, para Antioquia

Subregión	Precipitación (mm) año			
	Promedio	Máximo	Mínimo	cv.
Oriente	3.328	5.070	1.594	0,21
Norte	3.046	4.920	1.332	0,23
Suroeste	2.690	4.870	1.700	0,20
Valle de Aburrá	2.098	3.181	1.444	0,17
Total	231	54.896	37.349	487.455
<i>Fuente: Ideam (s. f.)</i>				

TEMPERATURA

El aguacate cv. Hass de origen guatemalteco (con cierto porcentaje de genes de la raza mexicana), se adapta muy bien a las tierras altas del trópico, análogas a los lugares donde ocurrió su desarrollo evolutivo y no en las zonas bajas, donde prevalecen circunstancias ambientales muy disímiles a las de su centro de origen (Galán Sauco, 1990). De las tres razas, la mexicana está más adaptada a climas más fríos y puede tolerar temperaturas de hasta 2,2 °C, pero tiene una temperatura óptima de 5 a 17 °C; la raza guatemalteca se adapta a condiciones subtropicales con una temperatura óptima de 4 a 19 °C; mientras que la antillana se adapta a temperaturas de 18 a 26 °C (Avilán et al., 1992). Para el amarre del fruto del aguacate cv. Hass, se requieren temperaturas en un rango mínimo que oscila entre 20 y 25 °C y un máximo de 28 a 33 °C (Whiley & Wiston, 1987). El mayor amarre de frutos de aguacate ocurre con temperaturas entre 20 y 25° C, mientras que una temperatura superior a 28 °C provoca la abscisión de flores individuales (Lovatt, 1990).

Benacchio Scotton (1982) menciona que los umbrales para el crecimiento del cultivo de aguacate Hass están entre los 10 y los 35° C (tabla 2); sin embargo, se estima que el rango de temperatura para aguacate Hass en condiciones del trópico alto colombiano está entre los 14 y los 27° C; en cambio, temperaturas por debajo de los 10 °C provocan daños por frío en distintos órganos de la planta, cuando se presentan de forma recurrente; temperaturas inferiores a los 15 °C o superiores a los 40 °C provocan una disminución de hasta un 33 % de la tasa fotosintética, en comparación con las obtenidas en temperaturas óptimas; además, causan daños en la fecundación y el cuajado del fruto.

De acuerdo con Salazar-García et al. (2005), la temperatura influye sobre la duración de las fases fenológicas del cultivo y puede acortar o alargar el periodo de cosecha. Trabajos de investigación realizados por Bernal Estrada (2016) determinaron que el peso del fruto era influenciado por la temperatura y, por ende, por la altitud del cultivo, con una masa que varía entre 156,12 g a 1.340 m s. n. m. y 215,18 g a 2.140 m s. n. m. (tabla 3).

Tabla 2. Condiciones de temperaturas mínimas, óptimas y máximas para el cultivo de aguacate cv. Hass

Condición	Temperatura en OC			Fuente
	Mínima	Máxima	Óptima	
Temperatura crítica	10			Zamet, 1990
Temperatura de zona radicular	5			Körner & Paulsen, 2024
Umbrales para el crecimiento y desarrollo	10		35	Benacchio Scotton, 1982
Resistencia a frío cv. Hass	-1,1			Gardiazábal, 1990
Temperatura nocturna	>10			Körner & Paulsen, 2024
Requerimiento estacional	Invierno >4		Verano >31	Körner & Paulsen, 2024
Amarre del fruto		20 a 25		
Amarre del fruto cv. Hass	12 a 17		28 a 33	
Absición de flores			>28	
Detrimento de la polinización			>32	
Reducción en el cuajado de frutos	<10 noche		<20 día	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Características del fruto cv. Hass en siete localidades del departamento de Antioquia

Localidad	Altura (m s. n. m.)	Peso fruto (g)	Pulpa (%)	Semilla (%)	Cáscara (%)	*DP (cm)	**DE (cm)	Relación (DP/DE)
Támesis	1.340	156,12	63,05	20,87	16,08	8,36	6,41	1,30
Venecia PB	1.510	156,21	63,48	20,77	15,75	8,42	6,65	1,27
Venecia SC	1.770	190,49	67,89	17,65	14,47	8,92	7,05	1,28
Jericó	1.900	182,09	64,71	20,70	14,6	8,77	6,91	1,27
Marinilla	2.087	189,55	67,05	18,54	14,42	8,54	6,81	1,25
Rionegro	2.140	215,18	69,51	18,62	11,87	9,04	7,06	1,26
Entrerríos	2.420	193,06	70,61	16,11	13,28	8,56	6,78	1,26

Fuente: Elaboración propia – *DP: diámetro polar **DE: diámetro ecuatorial

Temperaturas máximas observadas en algunas localidades del departamento con aguacate cv. Hass, como es el caso de Támesis, pueden alcanzar los 32,25 °C, las cuales son consideradas por Anguiano et al., (2007) como marginales y podrían tener un impacto en el rendimiento y calidad de la fruta en comparación con otras localidades.

Existen muchas evidencias sobre el efecto que tiene la temperatura en el desarrollo de los árboles de aguacate cv. Hass, así como en el rendimiento, la producción, el peso promedio de los frutos, la forma, la calidad externa e interna, entre otros. De acuerdo con Bernal Estrada (2016), las frutas obtenidas de cultivos establecidos en ambientes fríos (2.420 m s. n. m.) tienden a

ser más redondas y menos rugosas que las frutas obtenidas bajo condiciones cálidas, que suelen ser más alargadas y con mayor rugosidad en su corteza.

La temperatura también ejerce una influencia en el tiempo que transcurre desde la floración hasta la cosecha. En este sentido, en un estudio realizado por Bernal Estrada (2016), en cuatro localidades del departamento de Antioquia (Colombia), se encontró que el periodo entre la floración y la cosecha variaba según el ambiente en el que se desarrollaba el cultivo: en sitios a 1.340 m s. n. m., con una temperatura media anual de 20 °C, este periodo fue de 8 a 9 meses; los frutos de los árboles sembrados a 1.900 m, con temperatura de 18° C, se cosecharon de 10 a 11 meses después de la anthesis; para los cultivos establecidos en altitudes de 2.180 m y temperaturas de 17 °C, este tiempo fue de 11 a 12 meses, y, finalmente, en regiones con temperatura media anual de 14,7 °C a 2.420 m s. n. m., duró entre 12 y 13 meses. De igual manera, Díaz Díez y Bernal Estrada (2017) reportaron que el tiempo transcurrido desde el cuajamiento hasta la cosecha en cultivos de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia tiende a ser mayor, debido a la mayor altitud de las fincas.

En árboles de aguacate cv. Hass, el aumento de la temperatura en zonas muy bajas genera una pérdida de agua por mayor transpiración foliar y bajo tales condiciones este cultivar no logra aclimatarse; esta situación no se presenta en ambientes con menores temperaturas, donde los árboles crecen y producen con una adecuada respuesta.

El efecto de la temperatura sobre la calidad de la fruta en este cultivar también fue reportada por Bernal Estrada (2016), quien encontró que, en zonas por encima de los 1.770 m s. n. m., el porcentaje de pulpa fluctuó entre 64 y 70 % (similar a lo reportado por Newett et al. (2007), quienes mencionan que el aguacate cv. Hass tiene entre un 66 y 70 % de pulpa aprovechable); mientras que, en ambientes por debajo de esta altitud, los frutos tuvieron porcentajes de pulpa más bajos (aproximadamente 63 %). El mismo estudio encontró que los porcentajes de semilla y cáscara fueron mayores en los frutos donde el contenido de pulpa fue menor, y viceversa. La mayor respuesta en calidad de fruto cosechado (peso del fruto, % de pulpa, % de semilla, % de cáscara y aceptación por análisis sensorial) se presentó en ambientes de menor temperatura en las zonas altas tropicales y, contrariamente, las más bajas calidades se encontraron en los ambientes de mayor temperatura, en las zonas medias tropicales. El peso promedio de los frutos obtenidos en las localidades por encima de los 2.000 m s. n. m. fue superior a los 190 g, catalogado dentro de este estudio como de categoría “extra” (mayor de 180 g). Además, se pudo constatar que por debajo de los 1.770 m s. n. m. se obtuvieron no solo frutos de menor tamaño, sino con menores contenidos de pulpa aprovechable, tanto para consumo en fresco como para la agroindustria, es decir, que al aumentar la temperatura promedio, se disminuyó el porcentaje de pulpa en los frutos. De otra parte, se comprobó que los frutos procedentes de ambientes más frescos (localidades

a mayor altura) tuvieron un mayor porcentaje de unidades de categoría extra, y que, contrariamente, al aumentar la temperatura promedio, disminuyó el porcentaje de frutos de esta calidad.

Por otra parte, los ácidos grasos insaturados (favorables para la salud humana), en frutos cosechados de árboles plantados en alturas mayores sobre el nivel del mar, demuestran un efecto de la temperatura sobre la calidad interna de la fruta. Por el contrario, los ácidos grasos saturados se reducen a medida que los cultivos se plantan en cotas más altas, lo cual coincide con lo indicado por White y Weber (2003), quienes aseguran que dentro de los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre el perfil de ácidos grasos está la temperatura ambiental, que al aumentar incrementa a su vez la proporción de ácidos grasos saturados a expensas de los insaturados.

Pero no solo la temperatura ambiental afecta el desarrollo, la productividad, el rendimiento y la calidad de la fruta en árboles de aguacate Hass en Antioquia; se ha encontrado que las temperaturas del suelo óptimas para el crecimiento de las raíces en el aguacate Hass se encuentra entre los 14 y los 18 °C, y que por encima o por debajo de este intervalo se afecta el desarrollo del sistema radical; sin embargo, para la zona productiva en la región Andina colombiana, el suelo presenta una condición *buffer*, con tendencia a que, cuando hay temperaturas altas en el ambiente, el suelo se mantiene a temperaturas bajas y viceversa (Bernal Estrada, 2016; FAO, 1999; Salazar-García et al., 2008).

PRECIPITACIÓN

Los requisitos de agua son bajos durante la etapa de receso del crecimiento vegetativo; sus niveles aumentan de moderados a altos durante la floración y permanecen en niveles moderados durante la mayor parte de la temporada de crecimiento, excepto durante la caída de frutos y al comenzar los flujos de crecimiento vegetativo (en esta etapa los requerimientos son más altos) (Wolstenholme, 2015).

Con respecto a los requerimientos hídricos, se reporta que a nivel mundial el cultivo tiene un buen comportamiento entre 665 a 2.000 mm/año de precipitación; sin embargo, bajo las condiciones del trópico alto colombiano, el mejor comportamiento del aguacate cv. Hass se encuentra en un rango de entre los 1.800 a los 3.000 mm/año. Precipitaciones por debajo de los 1.500 mm/año provocan caída de hojas, flores y frutos, debido a la disminución en la disponibilidad de agua en el suelo; por encima de los 3.000 mm/año, pueden causar reducción en el desarrollo de los árboles por asfixia radicular y reducir los rendimientos; además, si estos volúmenes de agua se combinan con la presencia de granizadas, provocan la caída de flores y frutos (Benacchio Scotton, 1982; Bernal & Díaz, 2008; Galán Sauco, 1990; Gandolfo Wiederhold, 2008; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).

El concepto de requerimiento hídrico varía de acuerdo con las etapas de crecimiento fenológico (Whiley et al., 1988). Al respecto, Avilán et al. (2007) mencionan que la ocurrencia de los flujos vegetativos está relacionada con los meses de mayor

precipitación. Además, Whiley (1990) manifiesta que en zonas donde un descenso en la temperatura no es suficiente para lograr una detención completa del crecimiento vegetativo, como en las regiones productoras de aguacate cv. Hass del departamento, un déficit hídrico de pequeña duración (de 1 a 2 meses) es favorable para la inducción floral.

La distribución de las precipitaciones en las zonas de producción del aguacate Hass en Antioquia muestra un comportamiento de tipo bimodal, más bajas en los periodos de diciembre a marzo, y de junio a agosto, y altas en los meses de abril y mayo, así como de septiembre a noviembre, cubriendo los requerimientos hídricos del cultivo. Esta situación genera dos épocas de cosecha que coinciden con los meses de menor precipitación, las cuales se denominan cosecha principal, que ocurre en los meses de menor régimen de lluvias, y la traviesa, en la otra época seca del año.

Es frecuente que en las zonas productoras la precipitación sobrepase el óptimo requerido por el cultivo, lo que implica realizar drenajes en los lotes productivos, pues las raíces de esta especie son más propensas a problemas radicales que cualquier otro árbol frutal; es por ello que, además, necesita de suelos excepcionalmente bien drenados (Avilán et al., 1992). Contrariamente, en las épocas secas, cuando no se cubre el requerimiento hídrico, se deben hacer prácticas de riego (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020; Jaramillo-Robledo & Chaves-Córdoba, 2000; Rondón Salas et al, 2020).

El manejo del agua en un cultivo es un factor influyente en su producción. Se han realizado diversas investigaciones enfocadas en el estudio de los requerimientos hídricos del cultivo de aguacate.

HUMEDAD RELATIVA

El aguacate se adapta a condiciones húmedas y semihúmedas con claras diferencias entre las estaciones húmeda y seca. La humedad relativa ideal para los aguacates, según Baíza Avelar (2003), está entre 60 y 70 %, aunque algunos cultivares, como el Hass, pueden soportar hasta el 80 %. Este aspecto afecta tanto la calidad del fruto, como la salud general de los órganos aéreos del árbol. En hojas, ramas y frutos, la alta humedad relativa favorece el crecimiento de enfermedades fúngicas; por otro lado, la humedad relativa por debajo del mínimo necesario provoca el cierre de estomas, lo que resulta en deshidratación y ausencia de fotosíntesis.

En este sentido, al aguacate Hass presenta valores favorables de humedad relativa entre 50 % y 80 %; por debajo de 50 % provoca la muerte por desecación del polen, y por encima del 80 % aumenta la incidencia de enfermedades, principalmente fúngicas (Bernal & Díaz, 2008; Galán Sauco, 1990; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).

En la mayoría de las zonas de producción de aguacate Hass en Antioquia, ubicadas desde el norte hasta el suroeste del departamento, se encuentran porcentajes de humedad relativa que oscilan desde el 72 % hasta valores superiores al 90 %, sin

que existan limitaciones en la producción y rendimiento de los cultivos; sin embargo, esta situación genera condiciones muy restrictivas por la proliferación de algunas plagas y enfermedades que se ven favorecidas bajo tales circunstancias (Rondón Salas et al., 2020).

VIENTO

El viento es un factor muy importante porque las ramas de aguacate son muy frágiles y se rompen fácilmente. Por lo tanto, es necesario contar con buena protección natural contra el viento o establecer una buena barrera cortavientos, preferentemente un año antes del establecimiento de la plantación. El viento no debe ser constante y no debe alcanzar velocidades superiores a los 20 km/h. Cuando sopla el viento, las ramas se rompen, las flores y los frutos caen, y las hojas y los brotes de los árboles se queman. La deshidratación por la presencia del viento impide la fecundación y la formación de los frutos (Avilán et al., 1992).

Bartoli (2008) afirma que vientos fuertes, por encima de 6 m/s, inhiben la polinización y la fructificación, lo cual causa fuertes daños y caída de ramas, flores y frutos; además, provoca perjuicios por fricción entre frutos y ramas. Los vientos secos lesionan el estigma y entorpecen el vuelo de los agentes polinizadores; además, provocan deshidratación y aborto de frutos pequeños. Vientos huracanados pueden causar el volcamiento de los árboles, ya que el sistema radicular del aguacate es susceptible a este fenómeno.

BRILLO SOLAR

Dado que el brillo solar se considera una expresión de la radiación solar directa recibida diariamente, en los trópicos se presenta muy poca variación estacional durante del año, en comparación con las latitudes altas, donde en los largos días de verano se presenta una mayor radiación solar diaria que la recibida en los trópicos, que se ve amortiguada por las nubes y el vapor de agua transportado por el aire a través de la reflexión y la absorción. Por lo anterior, la radiación no es una limitante para el crecimiento del aguacate en los trópicos; por el contrario, puede haber afectaciones en el desarrollo de los cultivos en épocas y zonas de mucha nubosidad y humedad relativa ambiental, así como en áreas sombreadas por vegetación o montañas (Paull & Duarte, 2011).

Por otra parte, el rango óptimo de radiación solar para este cultivo está entre 4 y 5,5 horas/día; por debajo de ese intervalo se reduce el crecimiento vegetativo, así como el número y la longitud de los brotes, el área foliar y la actividad fotosintética (Bernal Estrada, 2016); mientras que, por encima de este, hay riesgo de quemaduras en frutos y ramas (golpe de sol) (Galán Sauco, 1990; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). En Antioquia, para aguacate Hass se reportan valores de BS que fluctúan entre 5,24 horas por día, o 1.912,6 horas por año, y 6,4 horas/día, es decir 2.336 horas en un año, los cuales están acordes con lo recomendado por Gaillard y Godefroy (1995), quienes señalan que los aguacates se desarrollan bien

en regiones con alrededor de 2.000 horas de luz solar al año. Cabe destacar que en zonas subtropicales, como las áreas de producción de California en Estados Unidos e Israel, reciben entre 3.000 y 3.500 horas de luz solar al año, debido principalmente a los largos días de verano.

A pesar de que los valores de BS reportados en Antioquia para esta especie están dentro de los requerimientos del cultivo, es importante recalcar que las ramas de aguacate que están demasiado sombreadas son improductivas, lo que resalta la importancia de utilizar técnicas de poda adecuadas y manejar la densidad de plantación. Por otro lado, la plena exposición a la luz solar es muy beneficiosa para la plantación; sin embargo, un exceso de luz produce quemaduras en ramas, hojas, frutos, e incluso en los troncos de árboles jóvenes (Bárcenas et al., 2002).

ALTITUD

Las tres razas se adaptan a diferentes altitudes de la siguiente manera: la variedad mexicana se adapta a altitudes superiores a los 2.000 m s. n. m. (piso térmico frío); la raza guatemalteca tiene un rango de altitud adaptable entre 800 y 2400 m s. n. m. (piso térmico frío moderado a moderado) y, finalmente, la variedad Antillana tiene un rango adaptativo de 0 a 800 m s. n. m., lo que corresponde a un piso térmico cálido. Los híbridos entre estas razas muestran una gama más amplia de adaptación (Avilán et al., 1992).

La altura a la que se encuentra un huerto afecta directamente el peso de la fruta: son mayores los pesos en cuanto mayor

es la altura sobre el nivel del mar. Rionegro (214,16 g; el más pesado) y Entrerriós (205,22 g) fueron las localidades donde se encontraron frutos con un peso medio superior a los 200 g. En Támesis se identificó un peso promedio de 143,09 g, y fue la región que ofreció frutos de menor peso. Esto se encuentra en consonancia con los hallazgos de Tapia et al. (2007), quienes afirman que, en climas templados subhúmedos, propios del sector de Entrerriós, los frutos tienden a obtener mayor peso fresco y mayor peso de pulpa. También concluyen que los frutos presentan menor peso fresco y menor peso de pulpa en climas semicálidos subhúmedos. Un estudio realizado por Díaz-Díez y Bernal Estrada (2017), para varias localidades del departamento de Antioquia, mostró una tendencia similar: se encontraron frutos más grandes en zonas por encima de los 2.280 m s. n. m. En ese sentido, las frutas cosechadas en ambientes más fríos (mayores alturas) se caracterizaron por un mayor peso de la fruta; es decir, a medida que aumentó la temperatura promedio, disminuyó el peso promedio del fruto, observándose el efecto ambiental.

En Antioquia se ha detectado que, en alturas por encima de 1.770 m., la fracción de pulpa varía entre 64 y 70 %, mientras que por debajo de esta altitud las fracciones de pulpa son menores (alrededor de 63 %); esta característica también refleja que, en ambientes por debajo de los 1.770 m, no solo se producen frutos de menor tamaño, sino que la calidad de estos también disminuye, ya que tienen un menor contenido de pulpa aprovechable.

En general, los predios de mayor altitud producen frutos más grandes, lo que se traduce en mayor peso, diámetro y contenido de pulpa, y menor contenido de piel y semillas. Para una adecuada producción de aguacate, el tamaño del fruto tiene una enorme importancia económica y al mismo tiempo, considerando la calidad interna, el contenido de aceite también tiene una relevancia significativa. Se ha encontrado que el contenido de aceite en los aguacates depende en gran medida de la producción y el tamaño de la fruta; de manera que, a mayor tamaño, mayor contenido de aceite (Lahav & Whiley, 2007).

LATITUD

Las tres razas de aguacate se originan en su totalidad en latitudes tropicales de América Central, por lo que el árbol se describe comúnmente como una especie tropical. Tanto el ecotipo mexicano como el guatemalteco son nativos de las selvas y las zonas montañosas, también conocidas como las “tierras altas tropicales”. Ambos se adaptan a diferentes grados y a muchas regiones subtropicales cálidas o frías; es decir, cuando la latitud norte o sur supera los 23 grados. Los cultivares de estos dos ecotipos, especialmente aquellos con predominio de genes guatemaltecos y que contienen al menos algunos genes mexicanos, no solo son la base de la industria subtropical del aguacate, sino también las de las zonas industrial subtropical y tropical de las tierras altas de países como México, Guatemala, Kenia, Colombia (Wolstenholme, 2015).

Se ha sugerido que el ecotipo mexicano es nativo de las tierras altas entre los

paralelos de latitud 19° y 24°, en el límite entre las tierras altas subtropicales y subtropicales (Storey et al., 1986). Los aguacates guatemaltecos silvestres se encuentran en las tierras altas muy tropicales entre los 14° y los 16° de latitud norte. El ecotipo más tropical de todos es el antillano, que se extiende entre los 8° y los 15° de latitud norte en las tierras bajas del Pacífico (Wolstenholme, 2015).

Por lo tanto, se considera que el hábitat natural de los aguacates silvestres antillanos oscila entre los 8° y los 24°, que van desde el nivel del mar hasta los 1500 m. En contraste, los aguacates se cultivan comercialmente desde los 40° de latitud norte en la costa del Mar Negro, en la región de Batoum, y hasta los 39° de latitud sur en la Bahía de Plenty, en la Isla del Norte de Nueva Zelanda. A pesar del origen tropical de los aguacates, los cultivos de aguacate crecen al norte y al sur hasta los 43° de latitud (Wolstenholme, 2015).

A pesar de que los valores reportados para aguacate cv. Hass en el mundo hacen referencia a su desarrollo adecuado en condiciones latitudinales entre los 14° y 16° N y S, este presenta muy buena respuesta en condiciones del trópico alto colombiano (4° a 10° N), lo cual demuestra el poder adaptativo del cultivar (Díaz Díez, 2020).

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

En algunos municipios productores de aguacate cv. Hass en Antioquia, se presentan condiciones edáficas de mal drenaje sub y superficial, lo que obliga a los agricultores a realizar zanjas de drenaje para evitar el exceso de agua y el daño a las raíces.

El aguacate, como especie, posee raíces superficiales muy ramificadas y presentes en los primeros 60 cm del perfil del suelo; por lo tanto, son muy susceptibles a la pudrición y asfixia, y, en ese sentido, requiere suelos de texturas franca, franco-arenosa o franco-limosa. Suelos con porcentajes de arcilla superiores al 35 % no son recomendables para el establecimiento del cultivo de aguacate Hass, como los de las clases texturales franco-arcillosas y las franco-arcillo-limosas (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). En las zonas de producción dentro del departamento, la mayoría de los suelos presenta profundidades efectivas adecuadas para el desarrollo del cultivo de aguacate cv. Hass en Antioquia, las cuales permiten un buen anclaje del sistema radical del cultivo (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

La profundidad efectiva en la cual se presenta el mejor desarrollo de las raíces del árbol se ubica en un rango de entre 60 y 100 cm; por debajo de 60 cm se produce muy poco desarrollo del sistema radical (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). La pendiente óptima está por debajo del 12 %; sin embargo, estas condiciones no son comunes en las zonas productoras del departamento, ya que la mayoría de las fincas se encuentran en pendientes muy superiores a las óptimas, superando en algunos casos el 40 % (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020). En tales condiciones topográficas, existe como limitante la erosión y la remoción laminar, lo que pone en riesgo la sostenibilidad y la sustentabilidad del cultivo; por estas circunstancias, se recomienda

realizar el trazado de la plantación, siguiendo curvas a nivel, preferiblemente en tresbolillo y, una vez se ha establecido el cultivo, establecer un terraceo, para evitar las pérdidas de suelo y facilitar las prácticas de cultivo (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

El cultivo requiere suelos en rangos que van desde los bien drenados hasta los moderadamente bien drenados; suelos en condiciones de anegación por periodos superiores a 24 h provocan asfixia radical (FAO, 1999, 2017). En términos generales, los suelos donde se encuentran los cultivos de aguacate Hass en Antioquia son moderadamente bien drenados en todo el perfil. En algunos casos, se reportan lotes de cultivo con buen drenaje hasta los 60 cm, pero en horizontes más profundos son moderadamente mal drenados, donde se acumulan elementos precipitados como el calcio, el hierro y el azufre (Osorio, 2014). Por esta situación, y por otras mencionadas anteriormente, los agricultores recurren al drenaje mediante zanjas dentro de los lotes (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

Los contenidos de materia orgánica, bajo las condiciones de cultivo en Colombia, se encuentran en un rango entre el 10 % y el 22 %, los cuales se consideran óptimos. Contenidos menores que el 2 % no son deseables, dada la función de la MO como fuente y sumidero de nutrientes (Bernal & Díaz, 2008; Jaramillo-Robles & Chaves-Córdoba, 2000; FAO, 2017).

Las plantas de aguacate cv. Hass crecen adecuadamente en suelos con un rango de acidez entre 5,5 a 6,0; por encima de 6,0 se

reduce la disponibilidad de los elementos menores, causando desordenes en el desarrollo foliar de los árboles; cuando el pH está por debajo de 5,5, se presentan efectos tóxicos, debido a la alta saturación con aluminio. Cabe destacar que esta especie es bastante susceptible a la presencia de sales en el suelo, especialmente al sodio, a causa de las cuales se presentan síntomas de toxicidad y posterior muerte de las plantas (FAO, 1997, 1999, 2017; Jaramillo-Robledo & Chaves-Córdoba, 2000; Salazar-García et al., 2008).

En la actualidad, algunos suelos en los que se produce aguacate cuentan con un pH cercano a 5,3, que está por debajo del valor mínimo recomendado; en esta circunstancia específica, los agricultores acuden a la práctica de la aplicación de enmiendas (encalado), con el fin de obtener una mayor disponibilidad de elementos nutritivos para la planta; dada la condición *buffer* de algunos suelos, esta situación puede ser momentánea y, por tal razón, esta práctica debe ser periódica (al menos dos veces al año durante la vida del cultivo), para lograr el mayor potencial productivo de la planta (Rondón Salas et al., 2020).

Los rangos asociados a las variables anteriormente descritas no deben ser considerados como absolutos. Muchas de las

condiciones definidas no limitan de manera independiente el establecimiento del cultivo. De hecho, la interacción de muchas de estas variables son las causantes del éxito o del fracaso de las plantaciones comerciales. Además, algunos de los indicadores explicados tienen mayor importancia que otros sobre el cultivo y pueden ser mejorados con prácticas de manejo agronómico adecuadas. En este sentido, el factor pendiente, por sí mismo, puede llegar a tener efectos compuestos sobre otros, como la fertilidad, el drenaje o la erosión, por mencionar algunos de los aspectos involucrados; así, la pendiente puede ser manejada con la elaboración de terrazas, la erosión se puede disminuir con coberturas y el drenaje se puede corregir con zanjas de escorrentía o de infiltración.

Las zonas potenciales en cada región aumentan o disminuyen de acuerdo con la variable que se considere limitante; por lo tanto, habrá zonas consideradas como altamente potenciales, en las cuales el número de factores limitantes sea mínimo, o áreas con potencial limitado, por tener más de una cantidad significativa de variables; estas últimas necesitan mayor inversión económica inicial y de mantenimiento para el manejo y la producción exitosa del cultivo (Rondón Salas et al., 2020).

Capítulo III





Manejo agronómico

Jorge Alonso Bernal Estrada
Álvaro de Jesús Tamayo Vélez
Lucas Esteban Cano Gallego
Angela María Castaño Marín
Mauricio Londoño Bonilla

INTRODUCCIÓN

La mayor manifestación económica aprovechable de una planta perenne como el aguacate cv. Hass depende no solo de las condiciones edafoclimáticas, sino también de las prácticas agronómicas que se ejecuten a partir de su establecimiento en campo (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020). Prácticas iniciales inadecuadas ejecutadas desde la instalación del huerto son muy difíciles de corregir posteriormente (Bernal Estrada & Díaz-Díez, 2020). En la fase de la instalación de un huerto de aguacate se deben considerar, entre otros factores, los siguientes: la selección del lote, la preparación del terreno, el trazado, la densidad de plantación, el ahoyado y el trasplante al campo (Calderón Alcaraz, 1983; Kramer et al., 1982).

Una vez establecido el cultivo, se deben seguir una serie de prácticas de manejo agronómico que buscan maximizar el potencial productivo de la planta, de acuerdo con la oferta ambiental de los sitios de siembra. Dentro de estas prácticas se destacan: el plateo, el uso de coberturas, la nutrición y fertilización, el manejo de arvenses, los sistemas de riego y drenaje, el manejo integrado de plagas y enfermedades, y las prácticas de cosecha, poscosecha y agroindustria. En este capítulo se mencionan algunas de las más importantes (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

SELECCIÓN DEL LOTE

La selección del sitio donde se planea establecer un cultivo de aguacate cv. Hass es supremamente importante, pues, por ser esta una especie perenne con una vida útil de más de 10 años, una buena ubicación del área de siembra será la base para un buen manejo, rendimiento y longevidad superior. El terreno para la siembra debe estar situado cerca de rutas de transporte que faciliten el movimiento de insumos, materiales y frutos que, además, permitan la coordinación y el seguimiento de las actividades agrícolas. Asimismo, debe tener suficiente agua en calidad y cantidad durante todo el año para las diferentes labores agronómicas que demanden este recurso dentro del cultivo (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

Para seleccionar el terreno en el que se planea establecer un cultivo de aguacate, se deben excluir áreas que puedan afectar cuencas y microcuencas de fuentes hídricas (nacimientos, quebradas, ríos, reservorios, entre otros), así como áreas cubiertas por bosques de protección para la conservación o vegetación en peligro de extinción. El terreno más adecuado para el cultivo del aguacate es la topografía ondulada, con pendientes menores que el 30 %, ya que valores superiores dificultan la implementación de medidas de manejo agronómico (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

PREPARACIÓN DEL TERRENO

La preparación adecuada del suelo antes de la siembra es una medida importante para el buen crecimiento de las plantas. Cuando hay capas pesadas o duras,

conocidas como “hardpan”, es necesario romperlas, para facilitar el drenaje y la aireación del suelo. No se recomienda plantar sin un buen drenaje interno y externo (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

La agricultura de labranza mínima o reducida es una práctica muy recomendada, la cual se ha vuelto común en algunas áreas de producción en el departamento de Antioquia para el cultivo de aguacate cv. Hass. Para realizar esta labor, la vegetación existente en el lote de siembra debe cortarse o sobrepastorearse, y, una vez aparezca el rebrote, aplicar un herbicida (preferiblemente sistémico) en cada sitio de siembra, especialmente cuando se trata de gramíneas agresivas. Luego, se realiza el trazado de la parcela con un azadón u otra herramienta adecuada, se retira la vegetación y se pica el suelo adyacente en un radio de un metro desde el centro del lugar de plantación. Aunque se han demostrado las bondades de la labranza mínima para la conservación del suelo, en algunas zonas productoras del país se ha confirmado que un subsolado y un posterior rastrillado del suelo beneficia el desarrollo y crecimiento de los árboles en el campo (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

TRAZADO

El trazado de un lote para aguacate se realiza de 45 a 60 días antes de la siembra, y consiste en marcar los puntos de plantación, utilizando para ello estacas y herramientas para remover el suelo y la cal en cada sitio, según la densidad de siembra (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).



El diseño del huerto está determinado principalmente por la topografía del terreno y por la dirección del recorrido del sol, de tal forma que se garantice que los árboles no proyecten sombras entre sí, ya sea que estén plantados en cuadro o en tresbolillo (triángulo) (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

La forma como las plantas se distribuyen a lo largo de un lote de siembra depende de factores topográficos, edáficos y climáticos. El aguacate cv. Hass en Antioquia se cultiva en aquellos lugares en los que la topografía es de ondulada a quebrada, y rara vez plana, por lo que el sistema más adecuado para la conservación del suelo sería siguiendo curvas de nivel (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

Los patrones de plantación pueden ser en cuadro o en tresbolillo, dependiendo de la inclinación del terreno. Generalmente, se recomienda la siembra en tresbolillo para parcelas con pendientes superiores al 20 %

(figura 10a), cuyo sistema permite plantar un 15 % más de árboles por unidad de superficie, en comparación con el de cuadro. En parcelas con topografía plana lo más recomendable es plantar en cuadro (figura 10b) (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

DENSIDAD DE SIEMBRA

La cantidad de plantas que se pueden cultivar por unidad de área se conoce como densidad de siembra, y está influenciada por una serie de variables que incluyen la arquitectura de la planta, la variedad, la pendiente, las propiedades físicas y químicas del suelo, la humedad relativa (HR) y la luminosidad, así como otros factores (Whiley, 2007). Uno de los mayores problemas que afectan a la industria mundial de esta especie es el tamaño de los árboles, por lo que es necesario diseñar huertos altamente productivos, con fruta de calidad de exportación y árboles manejables a corto y mediano plazo (Stassen et al., 1999).

Figura 10. Distribución de siembra de aguacate.
a. En triángulo o tresbolillo;
b. En cuadro.

Fotos: Jorge Bernal E.

Tabla 4. Distancias de siembra más utilizadas en el cultivo del aguacate Hass en Antioquia

Distancia (m)		Densidad de siembra (plantas/ha)	
Entre plantas	Entre surcos	Cuadro o rectángulo	Tresbolillo o triángulo
10	10	100	115
9	9	123	142
8	10	125	144
8	8	156	180
7	7	225	260
5	7	285	328
6	6	289	334
5	6	333	385
5	5	400	462

Fuente: Elaboración propia

La densidad de siembra determina, en gran medida, el tiempo que tarda la copa en madurar por completo y lograr la máxima absorción de luz. En este sentido, existen numerosas opciones para la densidad de plantación y el diseño del huerto en una situación ambiental dada, cuya elección debe ser un balance entre lo más simple y lo más complejo, de acuerdo con las posibilidades de manejo y mantenimiento del huerto (Whiley, 2007).

El uso de distancias de siembra amplias, utilizadas antiguamente, da como resultado árboles más grandes, con costos de cosecha más altos y rendimientos más bajos en los primeros años del huerto. Por lo anterior, en Antioquia, las densidades de siembra de aguacate Hass han cambiado y se utilizan distancias que proporcionan una mayor población de plantas por área de cultivo. En la tabla 4, se puede ver la evolución de las distancias de siembra en el tiempo, siendo las más utilizadas las de 7 × 7, 5 × 7, 6 × 6, 5 × 6 y 5 × 5 m; distancias mayores a las anteriormente descritas

no son recomendables, por su alto costo productivo inicial y por la tardanza en alcanzar el punto de equilibrio comercial.

El diseño de la mayoría de los huertos modernos de aguacate utiliza densidades de siembra de 9 × 7 m (159 árboles/ha) a 6 × 4 m (416 árboles/ha), donde la topografía, el cultivar, los sistemas de poda y la conducción se han convertido en los factores clave para la determinación del espaciamiento entre los árboles y el diseño del huerto. En los últimos años, en Colombia se han establecido huertos a diferentes densidades de siembra, especialmente aquellas denominadas altas densidades, que han ocasionado problemas de alta incidencia de plagas y enfermedades, así como sobrecostos en la mano de obra, determinados por el uso intensivo de la práctica de poda (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

En recientes investigaciones, realizadas en Antioquia para aguacate Hass (Cano-Gallego et al, 2023b), se encontró que distancias de siembra de 6 × 5 m (333 árboles/ha) y 5 × 5 m (400 árboles/ha)

mostraron diferencias significativas en un mayor número de frutos por árbol (353 y 293, respectivamente), así como un mayor rendimiento productivo (19 y 20 t/ha, respectivamente), al compararlas con distancias mayores de 7×7 m (204 árboles/ha) y 6×6 m (278 árboles/ha), y menores a las mencionadas de 4×4 m (625 árboles/ha) y de $3,5 \times 3,5$ m (816 árboles/ha). Esto hace evidente la preferencia de distancias de siembra un poco más densas para nuestros huertos, lo que permite optimizar las labores agrícolas, además de mantener estructuras con mayor capacidad productiva y frutos de mayor tamaño. Sin embargo, es necesario utilizar estrategias de manejo para controlar el tamaño final de los árboles, una vez han ocupado su espacio designado, con el fin de evitar traslapes y pérdida de copas productivas, lo que obliga a realizar podas más frecuentes que las necesarias para huertos menos densos (opinión de los autores).

Las densidades más altas requieren un manejo y formación de árboles temprano, por lo que es necesario podar los árboles hasta que ocupen el espacio asignado, con el objetivo de mantener la forma, la altura, la transmisión de luz y el acceso al huerto, y así garantizar una productividad continua (Stassen et al., 1999).

En Colombia, el establecimiento de huertos de alta y ultra alta densidad, especialmente con cultivares de Hass para exportación, está sujeto a una serie de restricciones (también en la corte y raleo de árboles) por diversas razones. La mayoría de nuestras áreas de cultivo tienen condiciones climáticas que limitan este tipo de

sistema de siembra, con alta humedad relativa (80 % o más), altas precipitaciones (1.800 mm o más por año) y alta prevalencia de plagas y enfermedades, favorecidos por este tipo de sistema. De manera similar, bajo condiciones tropicales sin periodos fríos, los árboles colombianos tienen un crecimiento permanente de flujos vegetativos mezclados con flujos reproductivos, por lo que se requiere un manejo continuo. Además, dado el origen volcánico de los suelos colombianos con una fertilidad de moderada a alta y con contenidos altos de materia orgánica, esta situación provoca que los árboles sean más exuberantes en su follaje, por lo que se hacen necesarias podas durante el año, lo que a su vez puede representar un aumento en los costos de producción (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

En este caso, se debe considerar una relación costo-beneficio, teniendo en cuenta el valor de la mano de obra en términos de productividad esperada, y con el fin de determinar la implementación de esta práctica. Por lo tanto, ante la falta de información disponible para respaldar esta actividad, los huertos de aguacate de alta y ultra alta densidad deben evaluarse mediante investigación antes de establecer cultivos comerciales (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

AHOYADO

El ahoyado es una labor que debe realizarse un mes antes de la siembra y radica en hacer huecos en los espacios previamente señalizados. Las dimensiones más utilizadas para siembra de aguacate cv. Hass van desde 40 hasta 80 cm de diámetro, por

40 hasta 80 cm de profundidad (figura 11) (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

En suelos muy sueltos, es posible aplicar una práctica que radica en romper y picar de forma profunda el punto de siembra con una herramienta adecuada, con el fin de dejar preparada un área de 90 cm de diámetro y 50 cm de profundidad (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

En los hoyos o en el sitio donde se picó el suelo, se procede a depositar e incorporar entre 2 y 5 kg de materia orgánica seca y compostada, y se adicionan 500 g de cal agrícola o dolomítica, y 250 g de roca fosfórica y suelo negro. Por otra parte, la inoculación de las raíces del aguacate en el momento de la siembra, con un inóculo de micorrizas vesículo arbusculares (50 a 100 g/planta), aumenta considerablemente el desarrollo de las plantas, lo que favorece su nutrición (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

TRASPLANTE AL CAMPO

Este trabajo se realiza de 1 a 2 semanas después del inicio de la temporada de lluvias, alrededor de 180 a 200 días después del trasplante a la bolsa. En el momento de la siembra, en la parcela, las plántulas tienen una altura de 60 a 120 cm. Cuando las raíces están dobladas, el árbol debe ser descartado (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

En el sistema de ahoyado tradicional, la planta se coloca sin bolsa en el hueco y sin perturbar el suelo alrededor de las raíces. Luego, el hoyo se llena con tierra preparada, como se mencionó anteriormente, y se presiona para extraer el exceso de aire.



Figura 11. Hoyos para la siembra de aguacate.

- a.** Hoyo con forma circular;
- b.** Hoyo con forma rectangular.

Fotos: Jorge Bernal E.



Figura 12. Siembra de la planta en campo.
a. Preparación del árbol injerto para su siembra;
b. Retirada de la bolsa sin disturbar el suelo;
c. Siembra del árbol en el hoyo y apisonado del suelo alrededor;
d. Árbol sembrado en montículo, 30 cm por encima del nivel del suelo;
e. Aspecto general de un árbol dos meses después de sembrado.
Fotos: Álvaro Tamayo V.

La planta debe establecerse en un montículo por encima de los 30 cm del suelo, para evitar el encharcamiento y la posterior pudrición (figura 12) (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

PLATEO

Esta práctica tiene como objetivo eliminar la competencia con otras especies alrededor del tronco del árbol y estabilizar la zona. El área del plateo debe estar libre

de vegetación y tener un diámetro de al menos 140 cm. Este trabajo debe realizarse antes de plantar el cultivo en el campo. Una vez establecido el cultivo, los plateos deben ser desyerbados a mano o con productos químicos (Bernal Estrada y Díaz Díez, 2020).

USO DE COBERTURAS (*MULCHING* O ACOLCHADO)

El aguacate, por ser originario de los bosques nubosos de las tierras altas y bajas de México y Centroamérica, se ha adaptado a suelos ricos en materia orgánica, lo que le otorga un sustrato bien aireado, rico en microbios, con una alta capacidad de retención de agua. En esas condiciones, se forman densas capas de finas raíces “alimentadoras” que les permiten utilizar los nutrientes liberados por la descomposición de la vegetación y absorber agua para satisfacer las necesidades del árbol (Whiley, 2007). La zona de hojarasca

orgánica también proporciona un efecto amortiguador entre la interfaz aire/suelo; además, reduce los efectos de los cambios atmosféricos en el entorno de las raíces y las protege de la deshidratación y los grandes cambios de temperatura (Gregoriou & Rajkumar, 1984) (figura 13).

La domesticación del aguacate introdujo el árbol a través de sistemas de monocultivo que dependen de fertilizantes y pesticidas para reducir los costos de producción. Por esta razón, se hace necesaria la presencia de altos niveles de materia orgánica en el suelo para inhibir la actividad de *Phytophthora cinamomi*, causante de la pudrición de la raíz (Broadbent & Baker, 1974; Pegg & Whiley, 1987); sin embargo, los beneficios del uso de coberturas (*mulch* o acolchado) en aguacate Hass no se limitan al control de enfermedades de la raíz: diversos estudios han demostrado que su uso brinda beneficios adicionales, al aumentar el número y el peso promedio de frutos por planta, así como el rendimiento por hectárea (Wolstenholme et al., 1998).

Un material adecuado para utilizar como acolchado en un árbol de aguacate debe tener una proporción de carbono: nitrógeno (C:N), en un rango de 25 a 100:1, para evitar su agotamiento severo, a causa del uso del aserrín como cobertura, cuya relación C:N alcanza 400-500:1 (Wolstenholme et al., 1998). En Colombia, en nuestras condiciones de cultivo, se han demostrado ampliamente los beneficios de amontonar alrededor de la base de los árboles las desyerbas mecánicas realizadas en las calles del cultivo para formar el *mulch* o acolchado (Nieves Gómez, 2018).

Figura 13. Uso de cobertura (*mulch*) en huerto de aguacate cv. Hass.
Foto: Jorge Bernal E.



Por otra parte, anualmente una buena cantidad de los elementos nutritivos que son tomados por las plantas retornan al suelo a través de la descomposición de sus hojas, de los residuos de las podas y la abscisión de órganos, entre otros. En este sentido, se ha cuantificado que la hojarasca que el cultivo genera en una hectárea aporta aproximadamente de 3 a 8 t/ha/año de materia orgánica al suelo, lo que en promedio equivale a aplicar en el cultivo 2 bultos de urea, 2,5 bultos de cal dolomítica, 30 kg de potasio y 5 kg de fósforo/ha/año (figura 14) (Tamayo, 2016).

PODAS

Antes de empezar a podar, es recomendable estudiar detenidamente el mecanismo fisiológico que regula el crecimiento de una planta de aguacate. Los aguacates tienen brotes terminales y laterales, y no todos tienen la misma probabilidad de convertirse en brotes vegetativos. El crecimiento vegetativo se produce principalmente a partir de las yemas apicales (figura 15). Una parte significativa de las yemas axilares se corta, mientras que la otra parte permanece latente. La poda de un aguacate es una opción que se debe abordar con precaución y de manera racional para que los resultados sean positivos. Además, esta práctica depende de la variedad, el vigor y el crecimiento del árbol, así como de las condiciones climáticas y del suelo.

Poda de formación

La poda de formación consiste en el corte de ramas para controlar el crecimiento, favorecer la aparición de nuevos



Figura 14



Figura 15

Figura 14. Uso de cobertura en huerto adulto de aguacate.

Foto: Alvaro Tamayo V.

Figura 15. Yemas vegetativas apicales en aguacate cv. Hass.

Foto: Lucas Cano G.

Figura 16. Poda de formación en aguacate cv. Hass. **a.** Despunte de la yema terminal para estimular el crecimiento lateral; **b.** Distribución de las ramas con forma equilibrada.

Fotos: Cristian Domínguez



brotos y dotar a la planta de una estructura equilibrada para aumentar su superficie productiva (figura 16). Esta práctica se debe realizar tanto en vivero como en el campo (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

Cabe señalar que, tanto en vivero como en los primeros años de cultivo, es necesario cortar los brotes o retoños (deschupone) que crecen por debajo del sitio de injerto (figura 17), ya que son más vigorosos que la variedad injertada; por lo tanto, si no se eliminan, eventualmente crecerán más rápido y podrían sobrepasar a la copa

a través de la competencia (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

En cuanto a la poda de formación, Lynce-Duque (2011) señala que en condiciones tropicales la arquitectura ideal del árbol es con forma de copa, con un tronco principal, cuatro tallos distribuidos espacialmente en el dosel y un espacio central para permitir la entrada de luz a la totalidad de la copa desde su base (figura 18).

Tres meses después de trasplantar los árboles al campo, se seleccionan los ejes básicos, los cuales se distribuyen entre los cuatro puntos cardinales y que servirán como tallos principales (figura 19). La finalidad de la poda es favorecer la formación lateral de los árboles a partir de estos cuatro ejes, con emisión continua de brotes hacia la parte exterior de la copa y una base estructural bien formada (Lynce-Duque, 2011).

Poda de mantenimiento

La poda de mantenimiento consiste en la eliminación de ramas enfermas o afectadas por insectos, brotes muertos o inactivos, y ramas que ya hayan producido flores o frutos (típicamente las que nacen dentro de la copa y compiten por los nutrientes), que pueden ser fuente de patógenos y afectar partes esenciales del árbol, incluidos los frutos (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

La poda debe hacerse de forma leve y frecuente, con el objetivo de minimizar el crecimiento asimétrico del árbol y mantenerlo a una altura adecuada, según el suelo y el clima. Para esto, es recomendable cortar las ramas que compiten entre sí,

incluyendo el descope de árboles en producción, que consiste en quitar la parte terminal de las plantas para que no superen el 70 % del espacio entre estas. Por lo tanto, los árboles que estén separados por 7 m deben mantenerse a una altura de no más de 4,9 m (figura 20) (Bernal Estrada y Díaz Díez, 2020).

Poda de renovación, cambio de copa y reconversión

Cuando las copas de los árboles de un huerto han crecido más allá de su distancia de plantación y las ramas de los árboles están entrelazadas, es necesario utilizar técnicas específicas de poda para mantener las distancias, de tal manera que se permitan una iluminación y circulación de aire adecuadas de los árboles, para así maximizar la producción (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

Cuando los árboles sean poco productivos o se tenga un material de mala calidad comercial, que no cumple con las necesidades específicas, se utiliza una poda que consiste en el cambio de copa. En estas situaciones, se recurre a la poda de renovación, que consiste en cortar las ramas que forman la copa del árbol para favorecer el crecimiento de una nueva o renovarla mediante injertos, a través del uso de variedades mejoradas o variedades locales conocidas por su aceptación en el mercado. En esta práctica, se cortan las ramas principales del árbol, dejando solo un tronco principal a 1,5 m de altura, y dejando que el árbol crezca y se renueve; también es posible realizar esta poda en hileras intercaladas o haciendo podas



Figura 17



Figura 18

laterales, cortando solo el 50 % del árbol entre las filas, para luego hacerlo en la otra mitad, una vez lograda la producción (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020).

La poda de reconversión es una variación de la poda de renovación que consiste en cortar los troncos de los árboles a una altura de aproximadamente 1,5 metros, para posteriormente realizar injertos de

Figura 17. Chupones que deben ser eliminados luego de la injertación.

Foto: Cristian Domínguez

Figura 18. Copa de aguacate cv. Hass, con un tallo principal y ramas distribuidas espacialmente, luego de la poda de formación.

Foto: Cristian Domínguez

Figura 19



Figura 20



Figura 19. Distribución de los ejes básicos de la copa luego del despunte.
Foto: Cristian Domínguez

Figura 20. Poda de mantenimiento en árboles de aguacate cv. Hass en cultivos en producción.
Foto: Jorge Bernal E.

corona de la variedad deseada (figura 21). Este procedimiento por lo general se lleva a cabo en cultivos viejos, usualmente plantados en bajas densidades (10×10 m, 100 árboles/ha, o 12×12 m, 70 árboles/ha) (Bernal y Díaz, 2020).

EXIGENCIAS NUTRICIONALES

La fertilización es un método importante en el cultivo del aguacate, y tiene como objetivo aumentar la concentración de nutrientes en la solución del suelo cuando estos no están presentes en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de la planta. Dado que el sistema de raíces del árbol de aguacate no es muy ramificado y no tiene pelos absorbentes, es necesario que el suelo tenga una gran cantidad de nutrientes fácilmente disponibles. Estudios realizados en diferentes regiones del mundo muestran que los aguacates responden positivamente a la fertilización, especialmente al nitrógeno (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020; Córdoba et al., 2024).

REMOCIÓN

Durante muchos años, la rentabilidad del cultivo de aguacate se ha medido en términos de producción total de frutos por árbol o por hectárea; sin embargo, este parámetro se ha vuelto menos importante debido a la globalización del mercado. Actualmente, factores como la fecha de cosecha, el tamaño de la fruta y la calidad (tanto externa como interna) se consideran factores claves en el éxito de la comercialización del aguacate (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).



Figura 21. Injerto de corona o corteza.
a. Inserción de la yema en púa entre la corteza y la madera del patrón;
b. Amarre de las yemas injertadas;
c. Impermeabilización con vinilo de la zona expuesta del patrón;
d. Tutorado de los brotes “prendidos” del injerto;
e. Crecimiento de la variedad injertada;
f. Árbol adulto producto de la injertación.
Fotos: Lucas Cano G.

La información sobre el aporte de nutrientes al cultivo de aguacate en cada región es importante para determinar el manejo de la fertilización adecuada para producir frutos del tamaño y la calidad requeridos (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001; Cano-Gallego et al., 2023b).

De acuerdo con Mejía (2022), para garantizar que las contribuciones de los nutrientes se realicen en el instante oportuno y de manera equitativa, de acuerdo con el papel que estos ejerzan en cada etapa fenológica, es necesario conocer la dinámica de concentración y de acumulación de los nutrientes en el fruto. El suministro de elementos nutritivos debe ser constante y durante todo el desarrollo del fruto, considerando que la acumulación de la mayoría de los nutrientes se incrementa a partir del cuajamiento, como respuesta al aumento de la materia seca (Mejía, 2022).

Un estudio reciente, llevado a cabo por Mejía (2022), indicó que, entre los elementos mayores, los más requeridos en el fruto de aguacate Hass son el K, N y S, que fueron los que más se removieron; en cuanto a los elementos menores, el Fe y el B fueron los más removidos, lo cual concuerda con los trabajos realizados por Tamayo et al. (2018). Estos resultados son el punto de partida para la elaboración de planes nutricionales y para el establecimiento de las cantidades de cada elemento nutriente para suplir las necesidades del fruto.

Un estudio realizado por Tamayo et al. (2018) determinó la composición de nutrientes de diversos tejidos del fruto (epidermis,

pulpa, cáscara y semillas) y la cantidad de nutrientes removidos de aguacate cv. Hass en la cosecha. En ese sentido, se encontró que los tejidos de la fruta diferían en la cantidad de nutrientes removidos; la diferencia en la cantidad de nutrientes absorbidos por los tejidos se debe a las proporciones de cada estructura en el fruto. La pulpa presentó una mayor cantidad de nutrientes removidos, mientras que la epidermis presentó valores intermedios. La mayor remoción de pulpa se debió a que gran parte de la biomasa del fruto correspondía a este tejido. La testa fue el tejido con menor cantidad de nutrientes removidos, lo cual coincide con lo reportado por Mellado-Vásquez et al. (2015) en aguacate cv. Méndez, en el sur de Jalisco (México). El orden de remoción de nutrimentos por reestructura en la fruta fue pulpa, seguido de semillas, epidermis y testa (Tamayo et al., 2018).

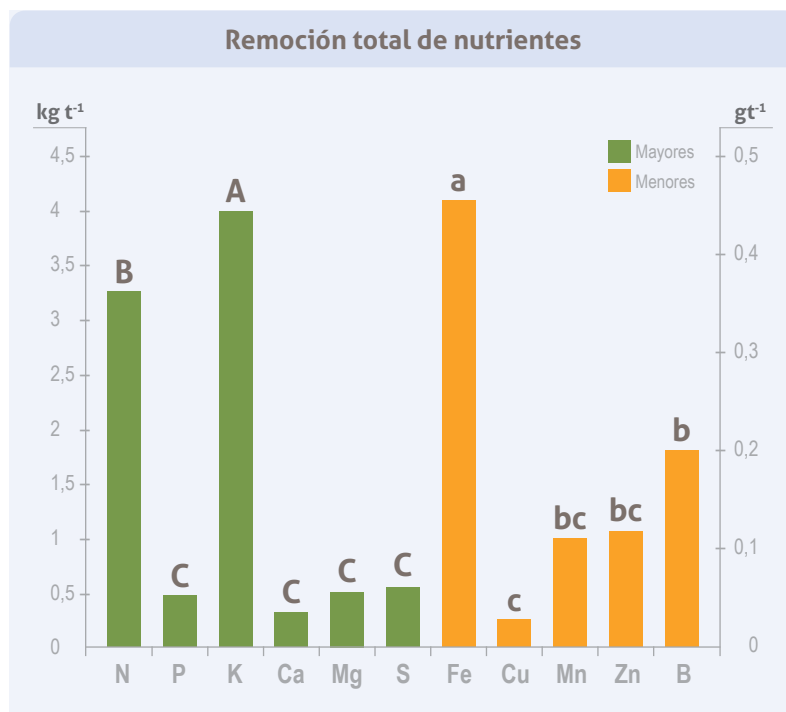
La remoción completa de macronutrientes por aguacate cv. Hass en kg t^{-1} es mayor para K (4), N (3,3) y P (0,48). Los elementos menores removidos fueron principalmente Fe y B (0,45 y 0,2 g t^{-1} , respectivamente). Los elementos más extraídos en todos los tejidos fueron K, N y S. El nutriente con mayor concentración en los cuatro tejidos fue el K, seguido del N. El orden de remoción total de nutrientes por tonelada de fruta fresca es $\text{K} > \text{N} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ (figura 22) (Tamayo et al., 2018).

La extracción de elementos por parte de las plantas (como el N y el K) agota las

reservas naturales del suelo, por lo que se debe realizar la fertilización, no solo para nutrir la planta, sino también para mantener el nivel de fertilidad de la zona radicular necesaria para el crecimiento del árbol (Tamayo et al., 2018).

En la tabla 5, se observan los requerimientos nutricionales calculados por una tonelada de fruta fresca y las cantidades proyectadas para una producción tentativa de 10, 20 y 30 t/ha de fruta (Tamayo et al., 2018).

Si suponemos un rendimiento de 20 tha^{-1} , tendríamos una extracción de 80 kg de K, como elemento simple, que al convertirse en K_2O , nos daría 96 kg ha^{-1} de potasio y, por factor de eficiencia, tendríamos que aplicar 192 kg ha^{-1} (tabla 5); de manera similar, se muestran los valores para nitrógeno, azufre, calcio y fósforo (tabla 6). En el caso del potasio, si utilizamos cloruro de potasio (KCl), necesitaríamos aplicar 320 kg ha^{-1} ; o, si utilizamos sulfato de potasio (K_2SO_4), necesitaríamos aplicar 384 kg. Por otra parte, para el nitrógeno, si utilizamos la urea, tendríamos que aplicar 287 kg ha^{-1} , y para la fertilización con fósforo, si utilizamos como fuente el fosfato diamónico (DAP), se deberían aplicar 478 kg ha^{-1} . Las cantidades anteriormente descritas deben dividirse en el número de árboles por hectárea y, además, fraccionarse por lo menos cuatro veces por año, las cuales deben coincidir con los periodos lluviosos, que implican adecuada humedad en el suelo.



MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN

Para un adecuado manejo nutricional del cultivo de aguacate se deben seguir algunas recomendaciones básicas. En ese sentido, en el establecimiento se recomienda aplicar enmiendas simples o compuestas de calcio, magnesio, fósforo, azufre y silicio. Estas aplicaciones deben ser suficientes para alcanzar contenidos de calcio en el suelo del orden de 4,5-6,0 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$, y de magnesio, entre 2,0-2,5 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$, con un pH superior a 5,0 para neutralizar el aluminio. Igualmente, en este periodo se debe aplicar suficiente fósforo para mejorar su disponibilidad; es decir, cuando alcance valores de 0,1 mg PL^{-1} o 20 mg kg^{-1} Bray II (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

Figura 22. Remoción total de nutrientes en aguacate cv. Hass en varias localidades de Antioquia.

Fuente: Tamayo et al. (2018)

Para un cultivo en producción, el suelo debe contener de 30-40 mgkg⁻¹ de fósforo. En este caso, se pueden usar como fuentes el DAP, el fosfato monoamónico (MAP),

roca fosfórica o abonos compuestos ricos en fósforo. Es fundamental, además, aplicar micorrizas y solubilizadores de fósforo, especialmente cuando se aplican rocas fosfóricas (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

Durante toda la etapa de desarrollo (primeros 3 años), se deben aplicar cada 30, 45 o 60 días suficientes nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo, en dosis crecientes el primer, segundo y tercer año. Cuando el árbol ya esté en periodo productivo, a partir del cuarto año, hay que tener en cuenta lo que el cultivo extrae por la cosecha de los frutos de los elementos como N, K, S, Zn y B (Tamayo Vélez & Osorio Vega, 2020).

En términos generales, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones: existen diferencias importantes en la remoción de nutrientes entre cultivares. La remoción de nutrientes está relacionada con los contenidos de aceite en la fruta y los porcentajes de materia seca. Un programa apropiado de fertilización para el aguacate debe incluir análisis de la composición nutricional del fruto, así como del contenido nutricional del suelo y del follaje, con el fin de estimar de forma más precisa los requerimientos nutricionales del árbol o del huerto; igualmente, información relacionada con la remoción de nutrientes sobre la cosecha, que es importante para implementar un programa de fertilización balanceado, así como recomendaciones de fertilización por sitio específico para cada cultivar.

Tabla 5. Requerimientos de nutrientes en diferentes niveles de producción

Elemento	Producción de fruta (t)			
	1	10	20	30
	Cantidad removida (kg t ⁻¹)			
K	4,00	40,0	80,0	120,0
N	3,30	33,0	66,0	99,0
S	0,56	5,6	11,2	16,8
Mg	0,51	5,1	10,2	15,3
Ca	0,31	3,1	6,2	9,3
P	0,48	4,8	9,6	14,4
Fe	0,45	4,5	9,0	12,5
B	0,20	2,0	4,0	6,0
Zn	0,11	1,1	1,2	3,3
Mn	0,01	0,1	0,2	0,3
Cu	0,03	0,3	0,6	0,9

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de Tamayo et al. (2018)

Tabla 6. Extracción de nutrientes de los principales elementos para obtener 20 toneladas

Elemento	20 t	Con factor eficiencia
	(kg t ⁻¹)	
K ₂ O	96	192
N	66	132
S	11	22
MgO	17	34
CaO	9	17
P ₂ O ₅	22	220

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de Tamayo et al. (2018)



Capítulo IV



Fisiología de la floración y producción

Oscar de Jesús Córdoba Gaona
Lucas Esteban Cano Gallego
Ruby Alejandra Loaiza Ruíz
Angela María Castaño Marín

INTRODUCCIÓN

La floración y la fructificación pueden considerarse como el objetivo final del desarrollo vegetal en su sentido más amplio, tanto biológico como agrícola (Goldschmidt & Sadka, 2021). En este sentido, la investigación sobre fisiología reproductiva y productiva ha dado como resultado el desarrollo de estrategias comerciales para entender y en lo posible manipular la floración de cultivos de frutas tropicales y subtropicales. El aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass es un cultivo importante, tanto para las regiones tropicales como subtropicales, y en especial para Colombia; sin embargo, se dispone de poca información sobre su fisiología reproductiva, a través de la cual sea posible entender la biología floral del cv. Hass como una herramienta para desarrollar estrategias de manejo de campo y optimizar los procesos de polinización y cuajamiento de frutos, tales como modificar la época e intensidad de floración para escapar de condiciones ambientales limitantes, cambiar la temporada de cosecha para evitar picos estacionales y minimizar la alternancia productiva del cultivo (Salazar-García & Lovatt, 1999).

FISIOLOGÍA DE LA FLORACIÓN

El crecimiento reproductivo del cv. Hass, en el departamento de Antioquia, ocurre después de un periodo de reposo del árbol, el cual se presenta dos veces al año. La primera floración se presenta entre agosto y septiembre, y da origen a la cosecha traviesa; mientras que la segunda floración (enero y marzo), origina la cosecha principal (Bernal Estrada & Díaz Díez, 2020). No obstante, la intensidad y duración de la floración en el cv. Hass puede variar, en respuesta a factores ambientales comunes en las áreas de cultivo como la duración del día, la altura sobre el nivel del mar, la temperatura y la radiación (Davenport, 1986).

El árbol de aguacate se caracteriza por presentar un mecanismo de sincronización que alterna la funcionalidad de sexos en las flores, lo que da posibilidad de cruzamiento; este fenómeno es conocido como dicogamia (Davenport, 1986). En este sentido, la flor de aguacate se abre dos veces separadas por un periodo nocturno: la primera vez como hembra funcional (flores en estado femenino) y la segunda como macho funcional (flores en estado masculino).

Flores en estado femenino (figura 23a): Los nueve estambres funcionales se reflejan hacia afuera contra el perianto y el pistilo se mantiene erguido con la superficie estigmática receptiva al polen; no hay dehiscencia de anteras en ningún momento durante la primera apertura. Al final del periodo de apertura, el perianto se vuelve a cerrar herméticamente y permanece cerrado durante la noche (Davenport, 1986).



Flores en estado masculino (figura 23b): Los tres estambres interiores están erguidos junto al pistilo, mientras que los seis exteriores destacan en un ángulo de aproximadamente 45°. La superficie estigmática del pistilo puede comenzar a secarse y oscurecerse antes o durante esta apertura, lo que indica que el pistilo no está receptivo durante la segunda apertura (Davenport, 1986).

A partir de esta alternancia reproductiva, en 1923, Stout clasificó los árboles de aguacate de acuerdo con su floración en dos clases: los tipos A y los tipos B (Davenport, 1986). En los tipos A, a los cuales pertenece

Figura 23. Flor de aguacate cv. Hass.
a. En estado funcional femenino;
b. En estado funcional masculino.

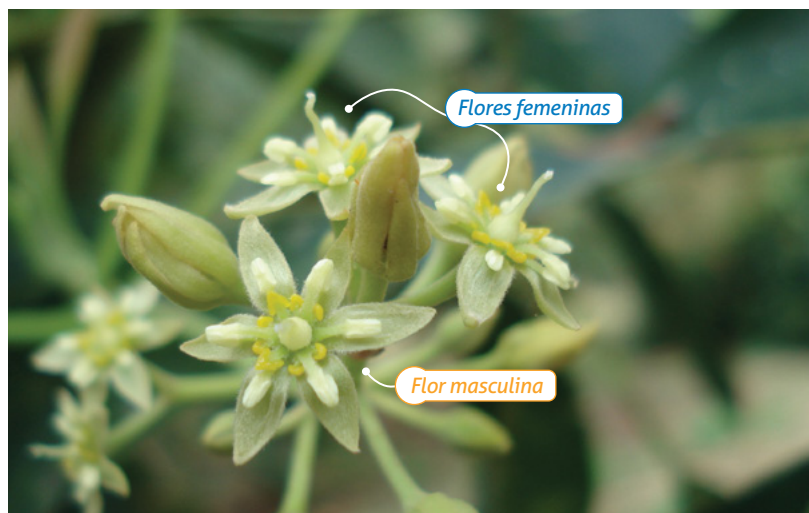
Foto: Oscar de Jesús Córdoba Gaona y Ruby Alejandra Loaiza Ruíz

el aguacate cv. Hass, la apertura de flores femeninas funcionales se da durante las horas de la mañana, se cierran cerca del mediodía y se vuelven a abrir en el estadio masculino funcional después del mediodía del día siguiente. Lo contrario ocurre con los cultivares tipo B. En estos, la primera apertura de la flor femenina ocurre por la tarde, y la segunda apertura, en flor masculina, ocurre en la mañana del día siguiente (Davenport, 1986; Salazar-García, 2000; Salazar-García et al., 2015).

Observaciones realizadas por los autores permitieron documentar la biología floral del aguacate cv. Hass en tres localidades del departamento de Antioquia, a través de tres pisos altitudinales: Valparaíso (1.500 m s. n. m.), Rionegro (2.100 m s. n. m.) y Sonsón (2.500 m s. n. m.), y se identificó que la sincronización floral de aguacates tipo A no ocurre con tal exactitud en el cv. Hass en este departamento. Bajo estas condiciones, el cv. Hass puede presentar flores en estado funcional femenino y masculino en el mismo racimo, favoreciendo el proceso de polinización (figura 24).

Figura 24. Flores femeninas y masculinas en una misma inflorescencia (traslape) en aguacate cv. Hass.

Foto: Oscar de Jesús Córdoba Gaona



Otra característica de la floración tipo A que presenta variación respecto a la altitud donde se desarrolla el cultivo de aguacate cv. Hass está relacionada con la funcionalidad de sexos en las flores, separadas por un periodo nocturno. En este sentido, aunque esto se evidenció en las tres localidades (Valparaíso, Rionegro y Sonsón), donde las flores son funcionales femeninas en horas de la mañana y abren funcionales en horas de la tarde del día siguiente (figura 25); en las localidades de Valparaíso (1.500 m s. n. m.) y Rionegro (2.100 m s. n. m.) se observó un patrón en la biología floral diferente. En estas dos localidades, algunas flores que abren de forma funcional en la mañana se tornaron funcionales masculinas en horas de la tarde y finalmente cerraron entre las 2 y las 3 p. m. (figura 25).

En la localidad de Valparaíso, las flores femeninas abren entre las 8:00 y las 11:00 a. m., y la transición a masculinas ocurre entre las 10:00 a. m. y las 4:00 p. m. (cuatro horas después), después se cierran a las 5:00 p. m. En la localidad de Rionegro, las flores femeninas abren entre las 9:00 y 10:00 a. m., y pasan a estados masculinos entre las 2:00 y 3:00 p. m. del mismo día, presentando un cierre total a las 5:00 p. m. En Sonsón no se registraron flores femeninas con transición a masculina durante el mismo día (figura 25 y 26).

La dicogamia sincronizada en aguacate se considera como una estrategia reproductiva de la especie para asegurar la transmisión efectiva del polen entre individuos, lo cual obliga a los insectos a visitar las flores en las fases en las que se

divide la apertura de la flor (Cabezas et al., 2003). De esta manera, el cambio alternado de sexo en las flores evolucionó para favorecer la polinización cruzada y de esta forma aseguró la heterogeneidad de la especie (Romero Sánchez, 2012).

De acuerdo con Davenport (1986), la naturaleza sincrónicamente dicógama en las flores de aguacate es extremadamente sensible a las condiciones ambientales. En condiciones climáticas óptimas, la apertura floral diaria es uniforme y notablemente predecible. No obstante, la floración del aguacate es bastante sensible a la temperatura. Días fríos o nublados hacen que la floración se retrase y sea irregular. De igual forma, el clima lluvioso afecta la regularidad, la continuidad y la secuencia de la floración. A pesar de lo anterior, no se tienen estudios sistemáticos y en profundidad para determinar el efecto del ambiente a través de altitudes sobre el comportamiento de la floración

del aguacate cv. Hass, aparte de observaciones casuales.

En la localidad de Valparaíso, las flores femeninas abren entre las 08:00 a. m. y 11:00 a. m., y la transición a masculinas ocurre entre las 10:00 a. m. y las 4:00 p. m. horas (cuatro horas después), para cerrarse a las 5:00 p. m. En la localidad de Rionegro, las flores femeninas abren entre las 09:00 a. m. y las 10:00 a. m., y pasan a estados masculinos entre las 2:00 p. m. y las 3:00 p. m. del mismo día, con un cierre total a las 5:00 p. m. (figura 26). En Sonsón no se registraron flores femeninas con transición a masculina durante el mismo día. De acuerdo con lo anterior, la apertura floral se da de forma anticipada en localidades con mayor temperatura asociada a la altitud, como lo es la localidad Valparaíso ($>30^{\circ}\text{C}$), seguido de Rionegro (25 y 30°C), y finalmente en Sonsón (20 a 25°C), con una diferencia hasta de tres horas en el inicio de la apertura floral (figura 26).

Figura 25. Distribución de la floración de aguacate cv. Hass en cultivos comerciales en tres localidades del departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia

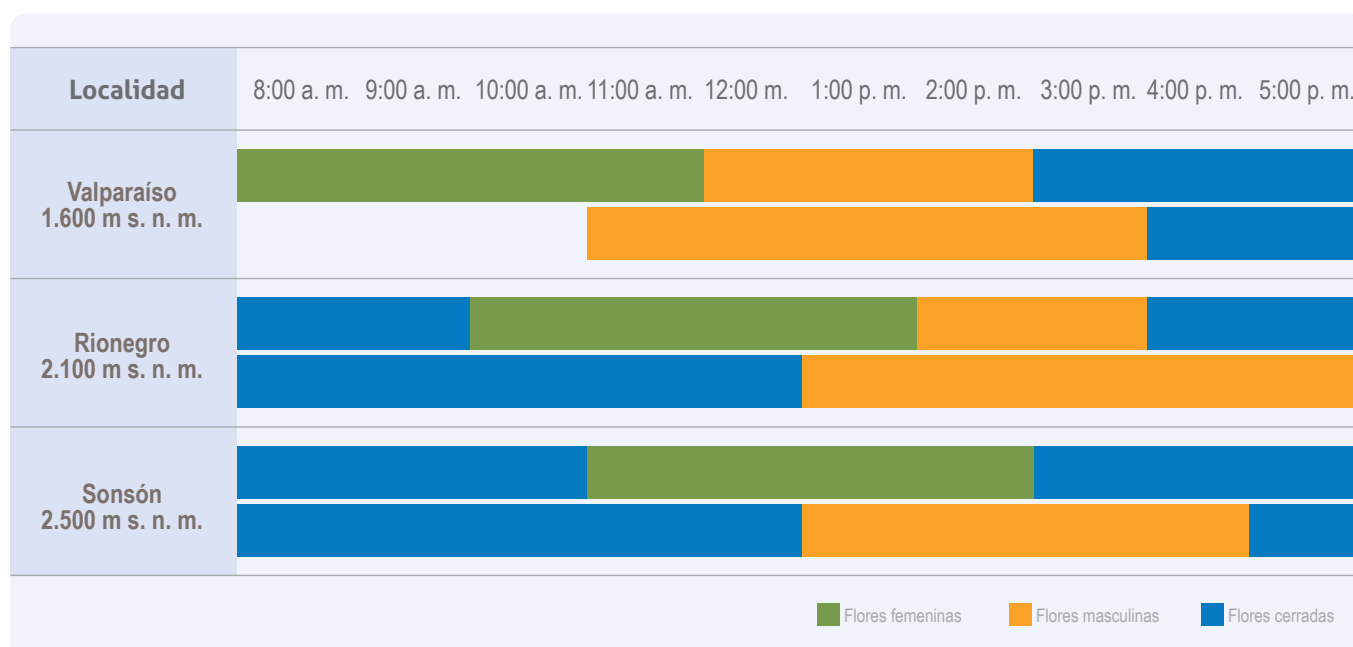


Figura 26. Registro de la floración de aguacate cv. Hass en cultivos comerciales en tres localidades en el departamento de Antioquia.

Fotos: Ruby Loaiza, Lucas Cano, Oscar Córdoba y Ángela Castaño

Comportamientos similares han sido reportados por Carabalí-Muñoz et al. (2016) para cultivos comerciales de aguacate cv. Hass en los departamentos de Antioquia, Cauca y Tolima. Estos autores encontraron que las flores en la fase femenina se abrieron en el periodo comprendido entre las 8:00 a. m. y las 3:00 p. m., y en estado masculino entre las 12:00 m. y las 4:00 p. m., con un traslape de tres horas, tanto en la fase masculina como en la femenina, con lo cual se demuestra que la sincronización en la floración de aguacate en condiciones de trópico alto tampoco exhibe un comportamiento tan sincronizado.

Localidad	Hora del día		
	8:00 a 11:00 a. m.	11:00 a.m. a 2:00 p. m.	Después de 2:00 p. m.
Valparaíso 1.500 m s. n. m.			
Rionegro 2.100 m s. n. m.			
Sonsón 2.500 m s. n. m.			

FISIOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN

Debido a los altos estándares de calidad que se deben tener para el mercado de fruta a nivel internacional, se ha hecho necesario conocer el comportamiento (fisiología) productivo de las características de los árboles de aguacate cv. Hass en condiciones intertropicales (Bernal Estrada, 2016). Garrido-Ramírez et al. (2018) afirman que aguacate cv. Hass presenta un óptimo de temperatura entre los 18 y 25 °C, donde las temperaturas máximas no superan los 35 °C y las temperaturas mínimas no se encuentran por debajo de 13 °C; mientras que Bernal Estrada y Díaz Díez (2020) reportan para aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia, Colombia, que los mayores rendimientos del cultivo se dieron en huertos entre los 1.800 y 2.200 m s. n. m. No obstante, en los últimos años se ha observado un incremento de áreas sembradas por encima de los 2.200 m s. n. m. y por debajo de los 1.800 m s. n. m.

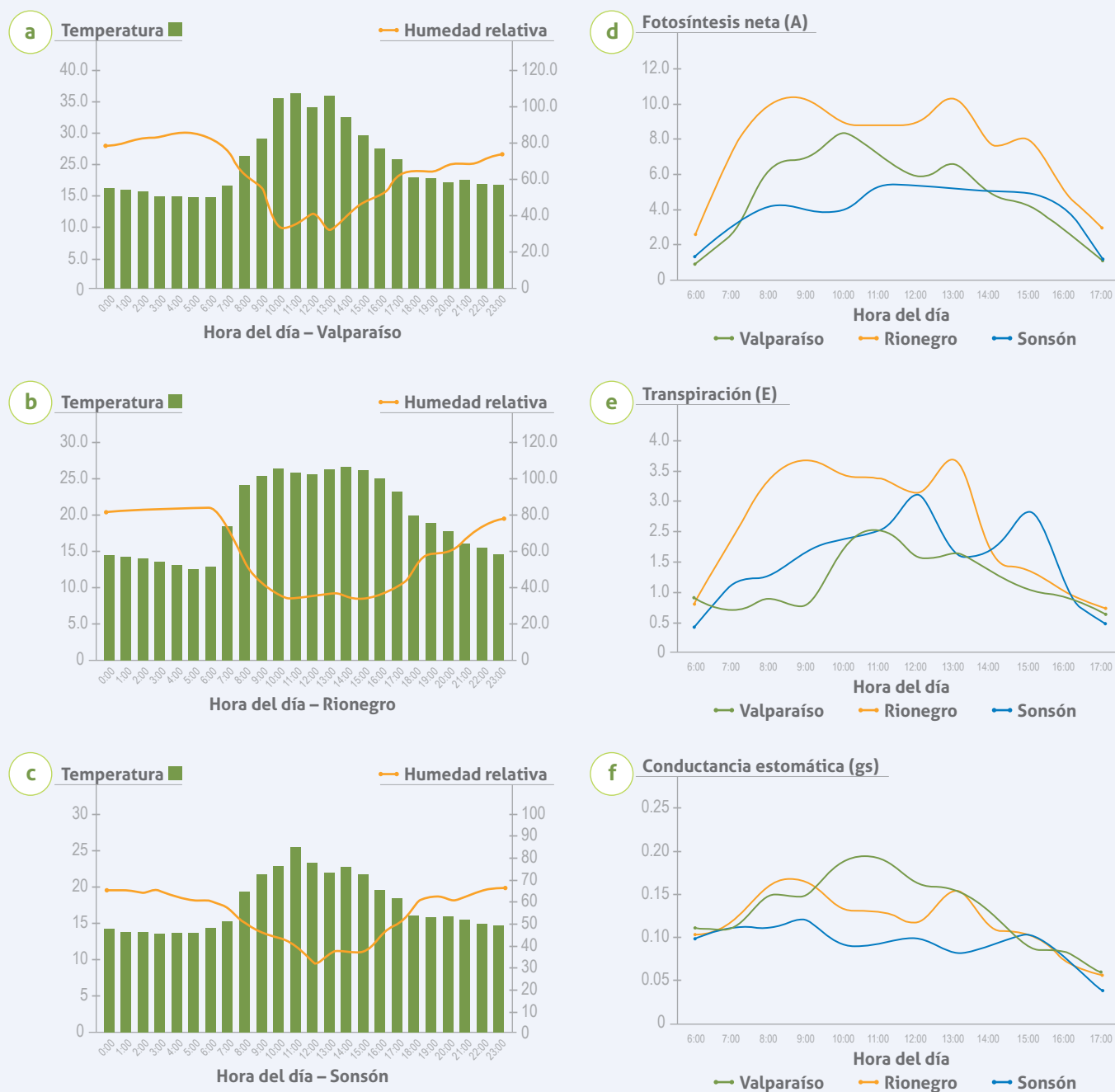
Observaciones realizadas por los autores permitieron determinar el comportamiento fisiológico de árboles de aguacate cv. Hass en tres localidades del departamento de Antioquia, a través de tres pisos altitudinales: Valparaíso (1.500 m s. n. m.), Rionegro (2.100 m s. n. m.) y Sonsón (2.500 m s. n. m.). En estas localidades se registró el comportamiento diario de las variables del intercambio gaseoso: fotosíntesis neta, transpiración y conductancia estomática en hojas de aguacate cv. Hass (figura 27).

La mayor capacidad de fijación de carbono se presenta en la localidad de Rionegro, y la menor en Sonsón, con tasas que pueden alcanzar los 10 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

en Rionegro, y valores bajos cercanos a los 5 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en Sonsón. Valparaíso registró valores medios hasta de 8 $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (figura 27b.). Con respecto a la transpiración, la tasa de intercambio de agua con la atmósfera fue menor en Valparaíso (figura 27d.), lo cual está asociado a una mayor temperatura entre las tres localidades (figura 27). Las hojas, como estrategia de mitigación de pérdidas excesivas de agua, reducen la apertura estomática (conductancia) (figura 27d), lo cual explica la menor fotosíntesis (figura 27a) en esta localidad. Por el contrario, la localidad de Rionegro presenta una mayor fotosíntesis, derivada de una mayor transpiración (capacidad de intercambio gaseoso) y una menor resistencia a la pérdida de agua (conductancia). Estos resultados explican en parte lo expuesto por Bernal Estrada & Díaz Díez (2020), quienes indican que el mejor comportamiento productivo del cv. Hass se obtiene entre los 1.800 y 2.200 m s. n. m.

FISIOLOGÍA DEL FRUTO

Durante el desarrollo del fruto del aguacate cv. Hass existen diversos factores que influyen en su morfología; entre ellos, la selección del patrón, las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico son los que favorecen frutos con calidad para la exportación (Cano-Gallego et al., 2023a). Dependiendo del mercado al cual vaya dirigido, los requerimientos de peso por fruto varían; este parámetro es conocido como calibre (tabla 7). Los principales mercados a los cuales van dirigidos son: Europa y Canadá, Estados Unidos, Japón, China y Corea (FAO, 2017).



El fruto de aguacate presenta una tasa acelerada de intercambio gaseoso, producto de la respiración y del carbono fijado; un buen suministro de agua y nutrientes es indispensable para el crecimiento del fruto. La acumulación de materia seca de la pulpa (MSP) es el indicador de

Figura 27. Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en: **a.** Valparaíso, **b.** Rionegro, y **c.** Sonsón. Variación diaria de las variables de intercambio gaseoso: **d.** Fotosíntesis, **e.** Transpiración y **f.** Conductancia estomática.

Fuente: Elaboración propia

madurez más utilizado para la cosecha del cv. Hass; este porcentaje varía de acuerdo con la duración de poscosecha que se requiera para su comercialización (está entre el 22 % y el 28 %). La MSP está relacionada con el acopio de aceites, los cuales tienen unas cualidades favorables para las características organolépticas del fruto

(Cano-Gallego et al., 2023a). Según Cano Gallego et al., (2023b), la relación entre el crecimiento morfológico (longitud y diámetro) y la materia seca (semilla y pulpa) tienen un comportamiento ascendente durante todo el desarrollo, lo que evidencia una tendencia doble sigmoide, que alcanza el punto óptimo de cosecha al llegar al mes nueve de desarrollo (figura 28).

Observaciones realizadas por los autores indican que el calibre del fruto es favorecido por las condiciones climáticas predominantes durante los meses de febrero a diciembre (meses más cálidos), los cuales para el departamento de Antioquia están asociados a la cosecha principal (71 % de la producción de año); por su parte, el calibre de los frutos desarrollados durante la cosecha traviesa (29 % de la producción del año) presentan menores valores. En concordancia con lo anterior, según el estándar de comercialización para Europa y Canadá, durante la cosecha principal se registra el mayor porcentaje de frutos para los calibres del 14 al 10; por su parte, durante la cosecha traviesa se presentan porcentajes superiores de los calibres del 22 al 32 (figura 29).

CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLOGÍAS

El conocimiento de las características morfofisiologías en los árboles frutales ha sido considerado relevante para entender su respuesta a los diferentes ambientes y su capacidad de adaptación y producción ante una oferta climática variante (Tuberosa et al., 2002). En Antioquia, el cultivo de aguacate cv. Hass se ha venido desarrollando

Tabla 7. Calidad del fruto de aguacate cv. Hass caracterizado según su peso y calibre para exportación			
Países	Calibre	Peso (g)	
		Mín.	Máx.
Europa y Canadá	Descarte	0	80
	Industrial	80,1	94
	32	94,1	135
	30	135,1	149
	28	149,1	160
	26	160,1	170
	24	170,1	181
	22	181,1	200
	20	200,1	217
	18	217,1	249
	16	249,1	284
	14	284,1	600
Estados Unidos	32	331	mas
	36	301	330
	40	266	300
	60	206	265
	48	171	205
	70	151	170
	84	120	150
Japón, China y Korea	20	266	310
	24	206	265
	30	171	205
	35	150	170
Fuente: Elaborado a partir de Cano-Gallego et al. (2023a)			

a través de una oferta ambiental diversa, modificada principalmente por la elevación altitudinal donde es estable el cultivo, con rangos entre los 1.500 y los 2.500 m s. n. m. A partir de la anterior información, los autores realizaron la caracterización morfológica de hojas de aguacate cv. Hass a través de cortes histológicos.

En cuanto a la histología de tallo, en la localidad de Valparaíso, este órgano se caracteriza por presentar un mayor parénquima cortical, tejido asociado con acumulación de agua, y menor espesor en el tejido floemático (transporte de foto asimilados). Por el contrario, en la localidad de Sonsón, el tallo presenta mayor parénquima de reserva, el cual es importante como parte de las estrategias de adaptación de las plantas a ambientes fríos; así como el menor espesor de células del xilema, importantes en el movimiento de agua. A nivel de la hoja, en la localidad de Valparaíso, estos órganos se caracterizan por presentar una mayor área del xilema, tejido responsable del transporte de agua desde la raíz hasta las hojas, como respuesta a una mayor demanda de agua, determinada por un ambiente con mayor temperatura. A nivel estomático, las hojas de aguacate cv. Hass varían dependiendo del piso altitudinal, con una mayor densidad estomática en relación con una menor altura, no obstante, los estomas son más pequeños; mientras que, a mayor altitud, la respuesta es inversa, una menor densidad de estomas, pero estomas de mayor tamaño.

Figura 28

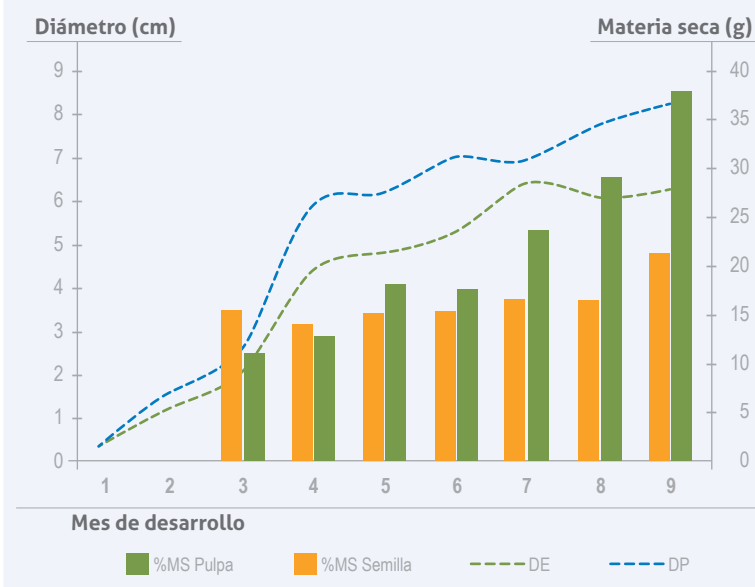


Figura 29

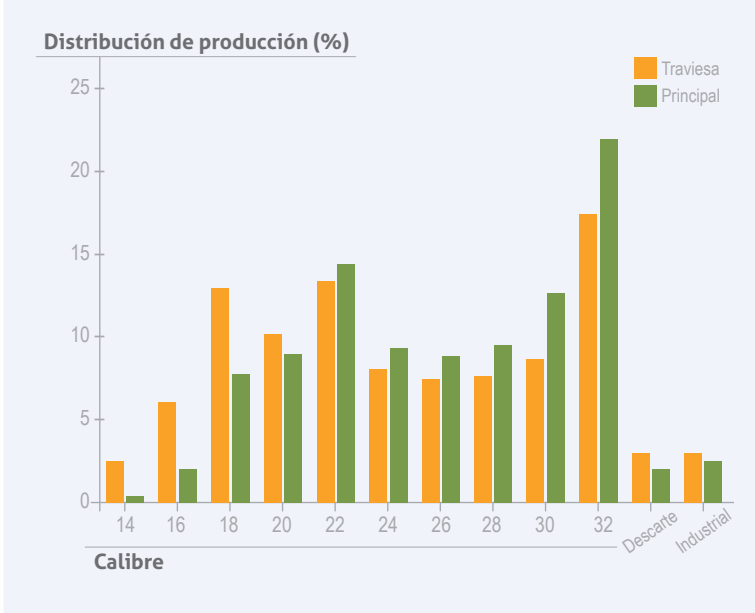


Figura 28. Tendencia en el crecimiento del fruto de aguacate cv. Hass en función del diámetro ecuatorial (DE); el diámetro polar (DP); la materia seca de la pulpa (MSP) y la materia seca de la semilla (MSS).

Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Distribución porcentual de frutos de aguacate cv. Hass por calibres durante la cosecha principal y travesía en el departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V



Manejo integrado de plagas de importancia económica y cuarentenaria

Arturo Carabalí Muñoz
Ana Milena Caicedo Vallejo
Claudia María Holguín Aranzazu

INTRODUCCIÓN

Stenoma catenifer Walsingham, *Heilipus lauri* Boheman y *Heilipus trifasciatus* Fabricius son plagas cuarentenarias bajo control oficial en Colombia, pues afectan la producción, la calidad y la comercialización de fruta en el país y el mundo (Carabalí Muñoz et al., 2020). Otros insectos como *Astaena pygidialis* Kirsch, *Monalonia velezangeli* Carvalho & Costa y *Frankliniella gardeniae* Moulton son no cuarentenarias y afectan la calidad de los frutos. Estas especies, tanto cuarentenarias como no cuarentenarias, se encuentran en todas las zonas productoras de aguacate del país y afectan diferentes genotipos. Se estima que *A. pygidialis*, *M. velezangeli*, *F. gardeniae*, *H. lauri* y *S. catenifer* pueden ocasionar pérdidas superiores al 50 %. En el caso de *H. trifasciatus*, se desconoce su impacto en la producción (Canacuan Nasamuez & Carabalí, 2019).

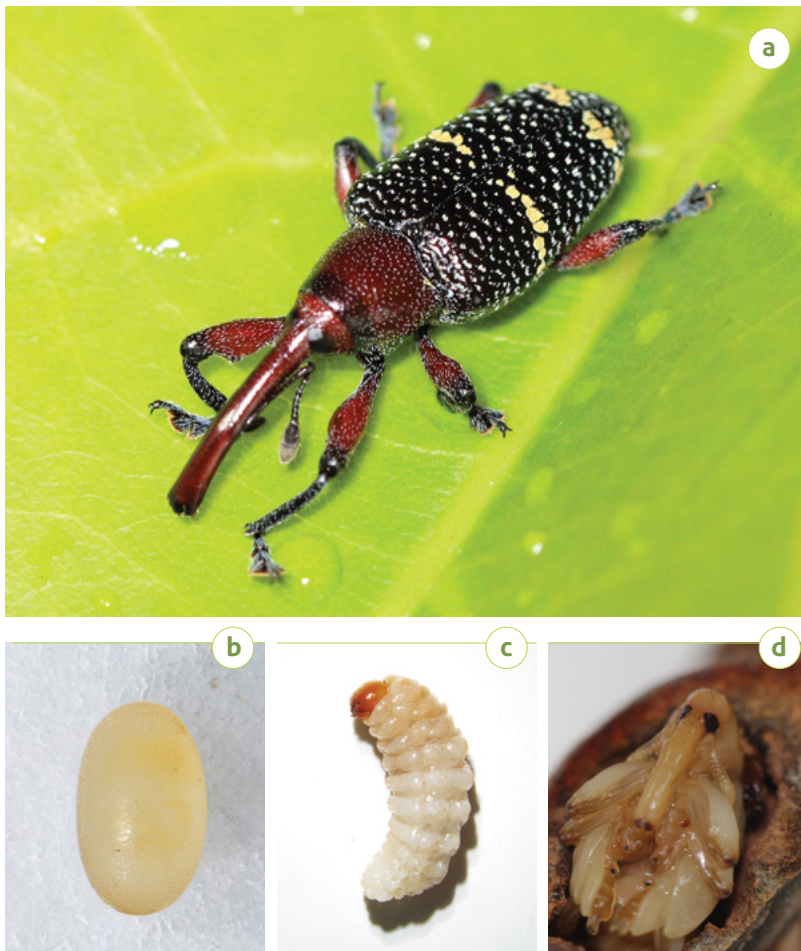
Dirigida a asistentes técnicos y productores, esta publicación proporciona información detallada sobre las principales características y el manejo de estos insectos. En el documento se describe el proceso de monitoreo y se proponen estrategias de gestión con el fin de reducir sus poblaciones en las diversas zonas productoras de aguacate del país. El objetivo es mejorar la calidad de la fruta y fortalecer su posicionamiento en el mercado internacional.

INSECTOS DE IMPORTANCIA CUARENTENARIA: PERFORADORES DEL FRUTO Y LAS RAMAS DE AGUACATE

Los perforadores del fruto son un complejo de insectos que se alimenta de las ramas, la pulpa y la semilla de distintos genotipos de aguacate y están distribuidos en todas las zonas productoras del país (Carabalí Muñoz, 2014; Hoyos & Giraldo, 1984). *H. lauri* y *S. catenifer* son cuarentenarias y de importancia económica, pues ocasionan pérdidas superiores al 60 % cuando no se controlan (Carabalí, 2011; Orjuela, 2011; Carabalí M. et al., 2021).

Figura 30. Estados biológicos de *H. lauri*. **a.** Adulto; **b.** Huevo; **c.** Larva; **d.** Pupa.

Fotos: Arturo Carabalí y Doris Canacuan



Nombre común

Perforador y picudo de la semilla de aguacate.

Nombre científico: *Heilipus lauri*

Boheman (Coleoptera: Curculionidae).

Morfología y ciclo de vida: Los adultos de *H. lauri* (figura 30a) miden entre 14 y 17 mm de longitud, son de color negro o café brillante y tienen dos pares de manchas amarillo ocre que se extienden de lado a lado en sus élitros. La hembra oviposita bajo la epidermis de los frutos realizando una abertura en forma de medialuna para depositar uno o dos huevos. Los huevos son ovales, miden 1 mm de largo y cambian de color durante su desarrollo (figura 30b). La larva recién emergida comienza su trayecto hacia la semilla, donde se alimenta y pasa por cuatro instares larvales. Adopta una forma curculioniforme y ápoda, con una cabeza de color café oscuro (figura 30c). Durante el último instar, la larva construye la cámara pupal y se transforma en pupa (tipo exarata), con forma ovalada y color blanco cremoso (figura 30d).

El ciclo biológico desde el huevo hasta el adulto tiene una duración promedio de 76,14 días (a una temperatura de $17^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del $75\% \pm 8\%$). El huevo eclosiona en 12,70 días, las larvas tienen una duración de 48,68 días, y la etapa pupal dura 14,76 días (Díaz et al., 2017).

Descripción del daño: El daño causado por la larva y el adulto de *H. lauri* está íntimamente ligado a la disponibilidad de frutos de aguacate de diferentes genotipos

y cultivares, como el Hass. La hembra realiza orificios circulares en el fruto para depositar los huevos y los cubre con residuos de la fruta (figura 31). Las larvas recién eclosionadas comienzan a moverse a través de la pulpa hasta alcanzar la semilla, donde se introducen para alimentarse. Se pueden encontrar una o dos larvas por semilla, una en cada cotiledón. Durante el último instar larval, la larva construye la cámara de pupación, donde permanece hasta su emergencia como adulto y sale a través de un orificio que crea con ayuda de sus mandíbulas (Díaz et al., 2017).

Los adultos prefieren frutos de 3 a 4 cm de diámetro del estrato medio y superior del árbol. Sin embargo, en condiciones de alta infestación se encuentran frutos con daño en diferentes estados fenológicos (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2012; Carabalí Muñoz, 2014; Carabalí Muñoz et al., 2021).

Monitoreo: Se sugiere realizar un monitoreo de los frutos afectados debido a la eficiencia y efectividad de esta estrategia. El método se fundamenta en la observación de la presencia o ausencia de frutos con síntomas de daño. Se recomienda implementar un programa que se base en el monitoreo directo y periódico de los árboles utilizando el “Reconocimiento del daño” en los frutos para identificar tempranamente los lugares con mayor cantidad de frutos afectados (focos y patrones de agregación), lo que permitirá llevar a cabo un manejo localizado o focalizado (Carabalí Muñoz et al., 2021).



Figura 31. Daño de alimentación y oviposición de *H. lauri*

Foto: Arturo Carabalí

Manejo: Es crucial determinar la distribución espacial del daño en los frutos y las poblaciones del insecto, y reconocer el alcance del daño. Estas son medidas claves para el manejo y la reducción de las poblaciones afectadas (Carabalí Muñoz et al., 2021). La estrategia más eficaz y sostenible con el medio ambiente consiste en la remoción o entierro de los frutos con síntomas de daño de forma periódica (semanalmente), lo cual puede llevarse a cabo en forma simultánea con otras labores del cultivo (Carabalí Muñoz et al., 2021).

Nombre común

Polilla de la semilla de aguacate,
perforador del fruto de aguacate.

Nombre científico: *Stenoma catenifer*
Walsingham (Lepidoptera: Depressariidae).

Morfología y ciclo de vida: *S. catenifer* es una polilla de hábitos nocturnos y crepusculares, con una envergadura que oscila

Figura 32. Estados biológicos de *S. catenifer*. **a.** Adulto; **b.** Huevo; **c.** Larva; **d.** Pupa.

Fotos: Doris Canacuan y Arturo Carabalí

entre 18 y 25 mm (con las alas extendidas). Su color varía desde un amarillo pálido hasta patrones de grises en la etapa madura. Las alas anteriores exhiben 25 puntos negros que forman una “S” extendida (figura 32a). Los huevos, de color verde claro, son depositados individualmente o en grupos, sobre ramas, la epidermis de los frutos, el pedúnculo y en la unión entre el pedúnculo y el fruto (figura 32b). *S. catenifer* atraviesa cinco estados larvales; en el primer instar el individuo adquiere color crema claro en el dorso y violeta claro en la región ventral; mientras que en el quinto instar, el dorso se torna violeta oscuro y el

abdomen adquiere un tono azul turquesa (figura 32c). Durante esta fase, las larvas abandonan los frutos y las ramas, se entieren en el suelo a una profundidad de 0,5 a 2 cm y forman una pupa tipo obtecta de color café (figura 32d). Tras completar este proceso, emergen como adultos (Carabalí Muñoz et al., 2021).

La duración promedio de *S. catenifer* desde huevo hasta adulto es de 61 días (a una temperatura de $17^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del $75\% \pm 8\%$). El periodo de incubación del huevo es de nueve días, mientras que la duración del periodo larval es de 26 días en promedio y la etapa pupal dura 20 días (Carabalí Muñoz et al., 2021).



Descripción del daño: *S. catenifer* oviposita en las ramas, el pedúnculo y el fruto de diferentes genotipos y cultivares de *P. americana*. El daño es causado por las larvas cuando se alimentan de la pulpa y la semilla del fruto. Las larvas recién eclosionadas perforan la epidermis del fruto y provocan una secreción blanquecina de savia cristalizada y pequeños montículos que se asemejan a aserrín fino, de color café. Posteriormente, la larva se adentra en el fruto hasta alcanzar la semilla, donde excava galerías de forma irregular y de color oscuro. En la superficie externa del fruto, cerca del orificio de entrada, se pueden observar residuos de excremento adheridos a la epidermis (figura 33a). Además de infestar frutos en diferentes etapas de desarrollo, esta plaga también afecta las ramas laterales durante los periodos vegetativos y de floración (figura 33b) (Carabalí, 2020; Carabalí M., 2011).



Figura 33. Daño de *S. catenifer*. **a.** Daño en frutos; **b.** Daño en ramas.

Fotos: Doris Canacuan y Arturo Carabalí

Monitoreo: Se recomienda realizar monitoreos periódicos de ramas y frutos durante el desarrollo del estado fenológico de fructificación del cultivo. Al igual que con las poblaciones de *H. lauri*, para *S. catenifer* se recomienda la implementación del método de monitoreo directo, denominado “Reconocimiento del daño” en frutos y ramas para determinar tempranamente los sitios con mayor concentración del daño (“focos”) (Carabalí Muñoz et al., 2021).

Manejo: Se recomienda remover frutos y ramas con síntomas de daño del árbol y suelo, disponerlos en fosas y enterrados a una profundidad no inferior a un metro (Carabalí et al., 2021).

INSECTOS PLAGA DE IMPORTANCIA ECONÓMICA

Los insectos plaga de importancia económica son aquellos que provocan daños al cultivo, cuando se alimentan de diferentes estructuras de la planta como frutos, hojas, tallos o ramas, lo que resulta en una disminución del rendimiento y la calidad de la fruta. Específicamente, el chinche del aguacate (*Monalonion velezangeli*), el trips de las flores (*Frankliniella gardeniae*) y el escarabajo marceño (*Astaena pygidialis*) causan daños en los frutos del aguacate y en otras partes de la planta, como flores y ramas, con lo cual ocasionan pérdidas superiores al 40 %. Además, el deterioro que provocan en la fruta afecta su calidad y su comercialización (Carabalí et al., 2021).

Nombre común

Monalonion, chinche del aguacate.

Nombre científico: *Monalonion velezangeli* Carvalho y Costa.

Morfología y ciclo de vida: Los adultos son de color rojizo con manchas de color negro en la parte terminal de las alas anteriores (Carvalho, 1988). Poseen una cabeza negra brillante con un pico alargado y una franja blanca en el fémur posterior (figura 34). Las hembras son más grandes que los machos: alcanzan una longitud de entre 10 y 12 mm, mientras que los machos miden entre 9 y 10 mm. Las ninfas presentan un color anaranjado con franjas rojas en las antenas, cabeza,

patas y abdomen (figura 34). Los huevos son transparentes y alargados, con dos filamentos que sobresalen en uno de sus extremos (Londoño Zuluaga & Vargas M., 2010). El ciclo de vida, desde el huevo hasta el adulto, tiene una duración aproximada de 50 días a una temperatura de 18 °C y una humedad relativa del 70 % (Londoño Zuluaga, 2020).

Descripción del daño: Monalonion causa daños en los brotes vegetativos, las flores, las inflorescencias y los frutos de aguacate. En los frutos, el insecto produce pequeños círculos de consistencia aceitosa, de color café oscuro. En los daños iniciales, se observa un abultamiento de estas manchas similar a una viruela. A medida

Figura 34.
M. velezangeli.
a. Adulto sobre
hoja de aguacate;
b. Ninfa sobre
hoja de aguacate.

Fotos: Ovidio
Montoya y
Claudia Holguín



que el daño avanza, las manchas se tornan color negro y, ocasionalmente, forman un exudado blanco sobre las heridas (figura 35). En las inflorescencias, el daño reciente se caracteriza por presentar los mismos círculos que en los frutos, con un exudado rojizo alrededor de las heridas (Londoño Zuluaga, 2020).

Monitoreo: Se recomienda monitorear las áreas del cultivo con sombra y alta presencia de ramas, ya que estas condiciones favorecen la presencia del insecto en el cultivo. Es esencial iniciar el monitoreo desde el inicio de la floración e inspeccionar los estratos medio y alto del árbol para detectar síntomas de daños recientes (Londoño Zuluaga, 2020; Torres et al., 2012).

Manejo integrado: Como medida preventiva, mantener distancias de siembra que permitan un flujo de aire continuo ayuda a mantener las poblaciones de la plaga en niveles bajos. Además, la eliminación de estructuras como ramas que contienen huevos a través de podas sanitarias contribuye a reducir las poblaciones del insecto (Torres et al., 2012). La aplicación de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y extractos de plantas comerciales son métodos eficaces para combatir la plaga. Sin embargo, en casos de daños avanzados y altos niveles de infestación, se recomienda el uso de insecticidas bajo la supervisión directa de un ingeniero agrónomo (Carabalí Muñoz et al., 2021).



Figura 35. Daño ocasionado por *M. velenageli* en frutos de aguacate.
a. Daño en fruto pequeño;
b. Daño avanzado en fruto grande.
Fotos: Claudia Holguín

Nombre común

Trips, trips de las flores.

Nombre científico: *Frankliniella gardeniae* Moulton.

Morfología y ciclo de vida: El trips de las flores es un insecto diminuto, con una longitud máxima de 1,5 mm. Se caracteriza por su color amarillo, su forma alargada y la presencia de pequeños pelos en el borde de las alas en su estado adulto (figura 36). Las larvas también son de color amarillo pálido, de menor tamaño que los adultos y carecen de alas (Varón Devia, 2020). La duración de los estados de desarrollo de *F. gardeniae* es desconocida específicamente para el aguacate. Sin embargo, para trips en general, se reporta una duración aproximada de 20 días, durante los cuales pasa

por los estadios de huevo, dos instares larvales, pupa y adulto (Varón Devia, 2020).

Descripción del daño: La larva y el adulto raspan el tejido vegetal al alimentarse, principalmente de los botones florales e inflorescencias. Este método de alimentación provoca cicatrices en los frutos que se manifiestan como protuberancias alargadas, similares a venas brotadas (figura 37). Este daño no afecta la pulpa, pero afecta la calidad del fruto y, por ende, su comercialización. El daño ocasionado por trips también puede ocasionar la caída de las flores e inhibir la fecundación (Varón Devia, 2020).

Monitoreo: Se recomienda monitorear la presencia de trips desde el comienzo de la floración golpeando suavemente las inflorescencias sobre una superficie blanca

Figura 36. Adulto del trips *F. gardeniae*.

Foto: John Díaz-Montaña

Figura 37. Daño ocasionado por trips en frutos de aguacate.

Foto: Claudia Holguín

Figura 36



Figura 37



y contando luego los insectos que caigan sobre ella. El uso de una lupa facilita la identificación de los trips (Varón Devia, 2020). Además, las trampas azules con pegamento valvulina #125 también resultan útiles para detectar la presencia de la plaga (Varón Devia, 2020).

Manejo integrado: Se debe evitar la presencia de malezas de la familia Asteraceae (compuestas) como *Bidens pilosa* (papunga o amor seco), ya que estas plantas actúan como hospedantes de la plaga (Varón Devia, 2020). En el inicio de la floración, se recomienda la aplicación de hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, así como la aspersión de extractos de ají, cebolla, ajo y sustancias minerales como azufre y sulfocalcico (Varón Devia, 2020). En casos de poblaciones altas o en áreas del cultivo con alta presión de la plaga, se aconseja la aplicación de moléculas químicas específicas para el control de la plaga. Se deben tener en cuenta los periodos de carencia de las moléculas que se van a aplicar (Carabalí Muñoz et al., 2021).

Nombre común:

Marceño, marceño del fruto de aguacate, cucarrón marceño del aguacate.

Nombre científico: *Astaena pygidialis* Kirsch.

Morfología y ciclo de vida: Los adultos de *A. pygidialis* tienen una longitud aproximada de 1 cm, son de color café oscuro,

tienen el cuerpo alargado y las patas medias y posteriores más largas que el cuerpo (Palacio Villa, 2010). Las hembras son de color café brillante, mientras que los machos tienen el cuerpo opaco y son ligeramente más pequeños que las hembras (figura 38). Los estados inmaduros presentan una cabeza amarilla de forma cilíndrica y son de color crema pálido, con patas del mismo color. Miden entre 3 y 15 mm de longitud dependiendo del instar. Las larvas tienen una apertura anal en forma de “Y” y un patrón transversal de setas en la palidia (parte posterior del abdomen) (Palacio Villa, 2010). Los estados de desarrollo de *A. pygidialis* incluyen huevo, larva (3 instares), pupa y adulto. Todos estos estadios viven en el suelo asociados a malezas y otras plantas hospedantes, mientras que los adultos emergen del suelo y se alimentan de las hojas y frutos de aguacate (Holguín & Mira, 2021) y de plantas como el frijol (Bran, 2005).

Descripción del daño: El daño causado por *A. pygidialis* en el aguacate es ocasionado por los adultos cuando se alimentan de la epidermis de frutos con un diámetro de 2 a 4 cm, lo cual genera un raspado que, al cicatrizar, adquiere un color café claro (figura 38). Con el crecimiento del fruto, estas lesiones adquieren una apariencia corchosa. Aunque este daño no afecta la pulpa, sí compromete la calidad de la fruta y, por ende, su comercialización. Además, en hojas tiernas, este insecto causa esqueletización (Carabalí et al., 2021; Holguín & Mira, 2021; Londoño Zuluaga, 2020).

Monitoreo: Con la llegada de las lluvias en marzo comienza la emergencia de los adultos de la plaga. Por esta razón, en esta época se debe iniciar el monitoreo del insecto. Dentro de un cultivo de aguacate, los lotes con mayor daño suelen estar ubicados cerca de bosques, carreteras o pastos, por lo que se recomienda poner trampas de luz en los bordes de estos lotes (Carabalí et al., 2021; Holguín & Neita, 2019; Londoño Zuluaga, 2020). Además, en estos

mismos lotes se sugiere realizar el monitoreo del daño causado por la plaga. La identificación visual de daños recientes en frutos y hojas indica la presencia de la plaga en el cultivo (Carabalí Muñoz et al., 2021).

Manejo: Los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* pueden ser utilizados para reducir poblaciones de *A. pygidialis* y otros escarabajos marceños. Se recomienda realizar aplicación al suelo y al follaje de la planta.



Figura 38. Adultos de *A. pygidialis* sobre frutos de aguacate. **a.** Hembra; **b.** Macho.

Fotos: Claudia Holguín y Rosa Mira



Capítulo VI





Enfermedades en el cultivo del aguacate Hass en Antioquia

Nancy Yohana **Grisales Vásquez**
Pedro Pablo **Parra Giraldo**
Lilliana María **Hoyos Carvajal**

INTRODUCCIÓN

Abordar y gestionar las enfermedades del cultivo de aguacate es crucial para mantener una industria sostenible y rentable. Esto implica implementar estrategias de manejo integrado, algunas de las cuales se mencionan en los capítulos de este libro.

En el caso específico del aguacate, debido a las particularidades de su sistema radicular, es fundamental utilizar material vegetal de procedencia conocida. Esto permite seleccionar materiales resistentes o tolerantes a enfermedades. Sin embargo, actualmente se emplea semilla o material de siembra proveniente de huertos (lo que se denomina “semilla de agricultor”) debido a la falta de provisión o regulación de semillas certificadas o registradas para aguacate en el país hasta la fecha (según la Resolución 3168 del 7 de septiembre de 2015)¹. Las labores de saneamiento adecuado en huertos, como las podas de formación y fitosanitarias son esenciales e incluyen prácticas agrícolas recomendadas, tales como el cerramiento de lotes con una única entrada controlada mediante pediluvios. Además, es importante contar con información detallada que incluya la población, la edad de la plantación y las aplicaciones de productos recientes, junto con los periodos de reingreso correspondientes (Londoño et al., 2014).

¹ **Semilla certificada:** Proviene de semilla básica o registrada sometida a un proceso de certificación con control de generaciones y origen. Cumple con requisitos establecidos por normativas para esta categoría.

Semilla registrada: Producida a partir de semilla básica, es sometida a un proceso de certificación que garantiza pureza e identidad genética conocida. Cumple con requisitos establecidos por normativas para esta categoría.

En el ámbito del control de patógenos, se han propuesto múltiples estrategias de manejo cuya integración es sugerida por diversos autores, como Ramírez Gil (2013), específicamente en el contexto del cultivo de aguacate, para asegurar su eficacia a lo largo del tiempo. Estas estrategias pueden ser ajustadas conforme avanza el conocimiento sobre los agentes causales de las enfermedades. En líneas generales, dichas estrategias están dentro de las usuales para cultivos, comenzando por el favorecimiento de la planta y su productividad (mediante fertilización, enmiendas biológicas y materiales de siembra); posteriormente, aspectos de organización social como la delimitación de áreas de siembra, zonas de cultivo y estructuras normativas se vuelven fundamentales. Asimismo, la aplicación de productos en fitoprotección debe considerar los lineamientos del caso, los cuales incluyen la rotación de productos fitosanitarios siguiendo las directrices del Comité de Acción contra la Resistencia a los Fungicidas (FRAC), el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Organismo Regional de Protección Fitosanitaria (ONPF), así como las directrices del Codex Alimentarius (Van der Meulen, 2019). También es crucial considerar las regulaciones de los países importadores de la fruta con respecto a los límites máximos de residuos (LMR), los cuales influyen en el uso de estos insumos. El empleo de estrategias en el marco de la productividad, tales como los promotores del crecimiento microbiano, inductores de resistencia y microorganismos, complementa las prácticas agrícolas para fortalecer la salud de las plantas.

En el caso específico de este cultivo, las enfermedades pueden imponer limitaciones significativas tanto en las etapas de producción como en las de poscosecha, e incluyen la disminución del rendimiento, la pérdida de calidad y los daños sancionados durante la poscosecha, lo que lleva al subsiguiente incremento de los costos de producción (Fernández Pons, 2013). Según autores como Ramírez-Gil y Peterson (2019), los microorganismos causantes de enfermedades más frecuentes del aguacate en Antioquia, reportados en la literatura científica, son: *Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora palmivora*, *Verticillium* sp., *Lasiodiplodia theobromae*, *Colletotrichum gloeosporioides sensu lato* y *Pestalotia* sp. Además, Tamayo Molano (2020) menciona otras enfermedades de importancia para Colombia, como *Armillaria* spp., *Rosellinia* spp., *Elsinoe perseae*, *Pseudocercospora purpurea*, *Rhizopus stoloniformis*, *Botryodiplodia*, *Dothiorella* sp., y reporta a *Cylindrocladium* sp. como agente causal de una enfermedad emergente.

Es importante señalar que otras especies de Hypocreales son reportadas con mayor frecuencia en los diagnósticos, tales como *Cylindrocarpon* spp. y especies cercanas a *Fusarium* spp. o *Neocosmospora* spp. Desde el punto de vista taxonómico, en Antioquia, salvo en el caso de *Phytophthora* spp., la identificación de especies permanece incierta.

Para ofrecer respuestas adecuadas sobre manejo, epidemiología y sostenibilidad, es necesario mejorar la resolución en la identificación taxonómica. Esto permite realizar diagnósticos precisos en un menor tiempo en el contexto de la producción de aguacate. En la actualidad, la globalización y el movimiento de material vegetal y de siembra hacen que el conocimiento sobre los agentes causales deba ser validado y ajustado.

Para las aproximaciones morfológicas iniciales, es fundamental seguir las metodologías establecidas por las normas internacionales de taxonomía y las subcomisiones para géneros específicos (Turland et al., 2017). En el caso de la filogenia, la identificación precisa de la mayoría de los microorganismos implica la utilización de secuencias de varios genes de *barcoding*, respaldada por análisis filogenéticos robustos que consideren la concatenación de dichas secuencias. Estas metodologías, combinadas con pruebas de patogenicidad, permiten discernir con mayor precisión entre patógenos y organismos asociados a lesiones. Por lo tanto, las especies mencionadas en los hongos son referencias de otras regiones o de literatura no convencional, pues como se menciona inicialmente, es necesario ampliar el marco de conocimiento en identidad y diagnóstico.

Tener certeza sobre los agentes causales de enfermedades tiene implicaciones cuarentenarias en países exportadores y receptores, y, sobre todo, permite establecer pautas de manejo y estrategias en mejoramiento genético y epidemiología. En este

texto se mencionan algunos de estos patógenos, como microorganismos asociados al cultivo o a tejidos de este, y se presentan las principales enfermedades que causan, así como su sintomatología.

ENFERMEDADES MÁS COMUNES EN AGUACATE HASS EN ANTIOQUIA Y ORGANISMOS ASOCIADOS

A continuación, se mencionan enfermedades reportadas en aguacate Hass en Antioquia en función del órgano de la planta que atacan. Se realiza una descripción de algunos de los patógenos que causan pudriciones de madera, así como aquellos que provocan marchitez y daños en los frutos.

ENFERMEDADES ASOCIADAS A RAÍCES, MADERA Y PEDÚNCULOS

En esta primera parte se abordarán las pudriciones de raíces, tronco y ramas causadas comúnmente por *Lasiodiplodia* spp. y otros *Botryosphaerales*, así como diversas especies de *Phytophthora* spp. y *Verticillium* spp. Además, es importante mencionar otros patógenos significativos como *Fusarium* spp., *Neofusicoccum* spp., *Cylindrocladium* spp. y *Cylindrocarpon* spp., los cuales son encontrados frecuentemente en árboles enfermos en Antioquia. Estos patógenos comparten características comunes, como la dispersión en el suelo o a través de material vegetal contaminado, lo que sugiere la necesidad de implementar prácticas de manejo para contener o excluir la enfermedad.

Figura 39. Daños en madera en superficie en aguacate adulto.

Foto: Yohana Grisales



Una vez detectados los síntomas de estos patógenos, es crucial tener en cuenta que por su naturaleza sistémica, estos patógenos afectan los haces vasculares, ya sea en las raíces o en el tallo, como se observa en las figuras 39 y 40. Además, estos patógenos actúan como agentes predisponentes de otras enfermedades o desórdenes fisiológicos. Posteriormente, es posible que otros patógenos, como *Colletotrichum* spp., o en asociación con el agente causal primario, favorezcan el ataque debido al debilitamiento del árbol (De Souza et al., 2017).

Cuando los patógenos afectan los tejidos de los haces vasculares, la sistemía o el movimiento de fungicidas queda limitado, lo que reduce su efectividad. Por ende, en estos casos, las medidas preventivas son las más eficaces. También es importante considerar las estructuras de supervivencia del patógeno, así como hospederos alternos.

Chancro de la madera, pudrición de pedúnculo y pudrición de fruto (*Lasiodiplodia* y otros *Botryosphaeriales*)

Se han identificado doce especies patógenas de *Botryosphaeriales* en aguacate: *Botryosphaeria dothidea*, *Botryosphaeria obtusa*, *Botryosphaeria rhodina*, *Diplodia mutila*, *Diplodia pseudoseriata*, *Diplodia seriata*, *Dothiorella iberica*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Neofusicoccum australe*, *Neofusicoccum luteum*, *Neofusicoccum nonquaesitum* y *Neofusicoccum parvum*. Estas especies de hongos, en muchos casos, presentan similitudes en síntomas y micromorfología cuando son observados en laboratorio. Están asociadas a daños como chancros y pudriciones localizadas, como necrosis de haces vasculares en el pedúnculo y en el fruto, así como necrosis superficiales y profundas de la madera. Entre los agentes implicados se encuentran *Colletotrichum* spp., *Thyronectria pseudotrichia*, *Phomopsis perseae*, *Pestalotiopsis clavispora* y *Pestalotiopsis versicolor* (Valencia et al., 2019).

A la fecha, en Antioquia, se han detectado algunos de estos hongos en el cultivo de aguacate; sin embargo, no se ha establecido su identidad hasta la especie.

Síntomas: Este grupo de hongos muestra afinidad por los tejidos vasculares, lo que afecta el transporte de agua y nutrientes a través del xilema y la translocación de asimilados por el floema. Como

consecuencia, se produce debilitamiento y descomposición del tejido leñoso, lo que puede provocar el marchitamiento y la muerte descendente de las ramas (Eskalen et al., 2013). Esta condición también puede afectar la acumulación y disponibilidad de las reservas necesarias para la producción de frutos, que se encuentran principalmente en el tronco y las ramas (Chanderbali et al., 2015). Además, estos hongos presentan infecciones latentes al actuar como endófitos comunes, que se activan una vez que el ambiente es favorable para el patógeno (Garibaldi et al., 2012; Liang et al., 2021; Qiu et al., 2020; Valencia et al., 2019).

Estudios realizados por Hopkirk et al. (1994) y Prusky y Keen (1993) indican que a medida que la fruta madura, hay una disminución en las concentraciones de dieno antifúngico, un componente preformado del aguacate, lo que aumenta la susceptibilidad de la fruta a la infección por estos y otros agentes causales de enfermedad. En el caso de la fruta, la pudrición comienza en el punto de inserción del pedúnculo, y los síntomas de estos daños son visibles una vez que la fruta alcanza la madurez para el consumo. El síntoma inicial es un ablandamiento de la zona de unión del pedúnculo y el fruto, seguido por la aparición de manchas marrones de forma irregular y la presencia de micelio, que coloniza rápidamente el fruto (Garibaldi et al., 2012; Valencia et al., 2019).

Manejo: Debe enfocarse en prácticas culturales destinadas a limitar la diseminación de los patógenos, incluyendo la



Figura 40. Daños en madera en zona de inserción de injerto en aguacate adulto.

Foto: Yohana Grisales

plantación de material de vivero sano, la selección de sitios de bajo riesgo donde no se haya presentado el problema y la prevención del riego excesivo. Además, la aplicación efectiva de fungicidas podría ayudar a reducir el desarrollo de chancros en las ramas y la muerte descendente (Valencia et al., 2019).

Pudrición de raíces (*Phytophthora* spp.)

Phytophthora spp. es un oomiceto que abarca diversas especies, como patógenos de aguacate, entre las que se incluyen *Phytophthora cinnamomi* var. *cinnamomi*, *Phytophthora citricola* y *Phytophthora heveae* (Ramírez Gil, 2013). Al ser un oomiceto y no un hongo, tiene particularidades en su pared celular (celulosa) y estructuras

de propagación (oosporas) y resistencia (clamidoporas) que hacen que su manejo y etiología puedan ser diferentes a otros agentes causales de pudrición de raíces, como hongos o nematodos. Puede sobrevivir hasta 6 años en el suelo sin sus hospederos (Zentmyer, 1984). Además, diversas especies de *Phytophthora* pueden parasitar plantas en ecosistemas nativos, plantas ornamentales y plantas cultivadas, lo que le confiere un amplio rango de hospederos y lo convierte en uno de los patógenos que más impactan en la agricultura. Este patógeno puede afectar desde la etapa de vivero hasta plantaciones en plena producción. Se dispersa a través del agua o del suelo e infecta principalmente raíces jóvenes, aunque también puede infectar raíces adultas (Stovold & Dirou, 2004). Por lo tanto, la alta humedad en el suelo o las siembras en puntos de drenaje favorecen la infección (Castaño Zapata & Leal, 2018; Ramírez Gil, 2013). En Colombia, se han reportado pérdidas entre el 30 % y el 50 % de los árboles en etapa de vivero y durante los dos primeros años del cultivo (Tamayo, 2016).

Síntomas: El patógeno es necrótrofo, es decir, degrada tejido, principalmente los haces vasculares. Por lo tanto, entre los principales síntomas se encuentran amarillamiento, retraso del crecimiento, defoliación y muerte de ramas. Finalmente, se observa una podredumbre a nivel del cuello y en las raíces. En campo, los síntomas comúnmente se observan en focos en las zonas más húmedas o anegadas de los cultivos: los árboles detienen su crecimiento y las hojas se observan más pequeñas

y pálidas (Ramírez Gil, 2013; Romero & Villeda, 2020).

Manejo: La enfermedad, que afecta el sistema radicular y provoca múltiples síntomas que provocan la muerte de la planta y ocasionan pérdidas económicas significativas, requiere una gestión integral, según Darvas et al. (1984), Faber et al. (2023), Stovold y Dirou (2004) y Tamayo Molano (2020). Esta gestión implica el favorecimiento del vigor de la planta, el manejo de los microorganismos patogénicos del suelo mediante regulación biológica y el eventual uso de moléculas específicas para oomicetos, así como el empleo de patrones y yemas con origen conocido y tratados. Además, se aconseja evitar el exceso de fertilizantes y mantener una adecuada gestión de la humedad del suelo para favorecer el crecimiento del cultivo.

Una vez que aparecen los primeros síntomas de la enfermedad y se producen pérdidas de unidades productivas en edades tempranas, se recomienda su erradicación inmediata y su eliminación del campo para evitar la diseminación del patógeno oomiceto. No se aconseja realizar resiembras en áreas infectadas por *Phytophthora* spp. En árboles adultos, se suelen realizar podas intensivas y aplicar pintura de diferentes colores a base de cal con el fin de eliminar quirúrgicamente las partes afectadas. Estas medidas son efectivas cuando el patógeno no ha invadido profundamente los haces vasculares, pero pueden resultar ineficaces si la enfermedad ha avanzado significativamente y el patógeno ha desarrollado estructuras de

resistencia en el interior de los tejidos. A pesar de que se puedan observar rebrotes y una posible recuperación inicial, las unidades productivas afectadas pueden presentar problemas de baja fructificación o calidad, y eventualmente pueden experimentar una reincidencia de los síntomas. No existen estudios de seguimiento a largo plazo con metodologías reproducibles que confirmen la efectividad de estas medidas para las condiciones específicas de Antioquia. Tampoco se ha demostrado la efectividad a largo plazo de la aplicación de fungicidas como metalaxil o fosfitos, ya que estas prácticas de gestión resultan ineficaces a largo plazo, a pesar de mostrar resultados aparentemente satisfactorios en períodos cortos (Ramírez-Gil, 2013).

Marchitez (*Verticillium* spp.)

Verticillium se transmite a través del suelo y puede sobrevivir en él mediante estructuras de reposo melanizadas, como microesclerocios, clamidosporas o micelios en reposo. Dependiendo de la especie, estas estructuras pueden permanecer viables durante al menos 14 años e, incluso, hasta 20 años (Faber et al., 2023; Haberman et al., 2020; Inderbitzin & Subbarao, 2014). En el aguacate causa marchitez debido a que afecta el sistema vascular del árbol. Este género comprende 10 especies, pero tiene cientos de hospederos y aún se discute su identificación precisa (Inderbitzin & Subbarao, 2014). Es importante destacar que en el aguacate, específicamente, no existen estudios epidemiológicos y poblacionales en el mundo. *Verticillium* puede

tener un hábito endofítico, ser avirulento y luego volverse virulento en tejidos. Por esta razón, es posible que se transmita a través de tejidos asintomáticos (Stovold & Dirou, 2004). Puede ingresar a la planta a través de la raíz y ascender por el xilema, lo que restringe el paso del agua o los nutrientes hacia la copa (Zhang et al., 2022).

Síntomas: El patógeno causa amarillamiento generalizado con flacidez de las hojas, que posteriormente se tornan oscuras y mueren. Al avanzar la enfermedad, el árbol muere y las raíces se necrosan por completo (Haberman et al., 2020; Ramírez Gil, 2013; Zentmyer, 1984). Es de anotar que algunos de estos síntomas son inespecíficos y comunes a otros agentes involucrados en pudriciones de madera.

Manejo: El daño causado por *Verticillium* spp. resulta difícil de controlar debido a la facilidad de propagación del patógeno, su capacidad de supervivencia en el suelo y su amplio rango de hospederos (Haberman et al., 2020). El manejo de esta enfermedad es similar al de *Phytophthora* spp., ya que ambos poseen estructuras de reposo y son patógenos que atacan el sistema vascular de la planta. Por lo tanto, es necesario reducir las fuentes de inóculo. Hasta hace algún tiempo, la fumigación de suelos fue una medida eficaz, pero esta práctica se ha dejado de lado debido a sus consecuencias ambientales y a las restricciones de uso de ciertas moléculas (Faber et al., 2023; Inderbitzin & Subbarao, 2014; Tamayo Molano, 2020).

ENFERMEDADES PRINCIPALMENTE EN FRUTOS EN PRE Y POSCOSECHA

Siempre se menciona en este punto a *Colletotrichum* spp., el cual es un organismo de fácil aislamiento en laboratorio y de rápido crecimiento en condiciones *in vitro*. Sin embargo, es importante señalar que hay otros patógenos involucrados que están relacionados con Botryosphaeriales y *Pestalotia* spp. (*Pestalotiopsis* spp., *Pseudopestalotiopsis* spp., *Neopestalotiopsis* spp., *Seiridium* spp., *Monochaetia* spp., *Seimatosporium* spp., *Discosia* spp., *Bartalinia* spp., *Truncatella* spp., *Zetiasplozna* spp. y *Broomella* spp.) (Liu et al., 2019).

Antracnosis (*Colletotrichum* spp.)

Las especies de *Colletotrichum* spp. son patógenos fúngicos importantes debido a su amplia gama de huéspedes, razón por la cual son de importancia económica en todas las zonas productoras de aguacate en Colombia (Guevara-Suárez et al., 2022). En Valle del Cauca, Cobo Núñez (2017) realizó identificaciones utilizando herramientas moleculares y encontró varias especies de *Colletotrichum* asociadas a frutos y causantes de patogenicidad en aguacate, incluyendo *Colletotrichum fruticola*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum kahawae* subsp. *ciggaro*, *Colletotrichum siamense*, *Colletotrichum tropicale* y otras no identificadas. Este complejo de hongos se dispersa bajo condiciones favorables y puede atacar de inmediato. Sin embargo, si encuentra condiciones desfavorables, puede permanecer latente bajo la epidermis como una infección quiescente con mínima actividad (Fuentes-Aragón et al., 2020). Esto puede ocurrir en cualquier momento desde el cuajado de la fruta hasta la recolección. El patógeno se propaga a través de la salpicadura del agua, las semillas y esquejes utilizados para la propagación de las plantas, así como por el aire. El proceso de maduración de la fruta y las temperaturas cercanas a los 24 °C favorecen la expresión de los síntomas, lo que hace que el patógeno sea más problemático en la fase de poscosecha (Faber et al., 2023).

Síntomas: Los síntomas de la enfermedad pueden manifestarse en diversas partes de la planta, y son más prominentes en los frutos durante la fase de poscosecha. En las ramas, el patógeno provoca la formación de chancros, mientras que en las hojas se observan manchas angulosas que inicialmente son amarillas y luego se tornan marrones. Estas manchas pueden extenderse considerablemente y causar defoliación prematura. En los brotes nuevos, se desarrollan lesiones marrones o violáceas que pueden resultar en la necrosis de los tejidos. Las lesiones en el pedúnculo son necróticas y alargadas.

En los frutos, el patógeno genera lesiones oscuras y circulares, que comienzan como pequeñas manchas en la epidermis (<1 mm). Estas lesiones, al madurar, se vuelven más oscuras y profundas, extendiéndose hacia la pulpa y provocando pudrición (Fuentes-Aragón et al., 2020; Tamayo Molano, 2020). Previamente a la aparición de estas lesiones, se observa agrietamiento de la epidermis en los nódulos del aguacate Hass,

acompañado de abundante esporulación, que se evidencia como manchas de color salmón, indicativas de la presencia de esporas. En casos graves, los frutos pueden caer en etapas tempranas de desarrollo.

Las lesiones causadas por *Colletotricum* en aguacate pueden presentar variaciones en su tonalidad, así como halos de colores marrones que se distribuyen de forma concéntrica alrededor del punto de la lesión. Pueden ser de tipo corchoso, más blandas que el mesocarpio, o en ocasiones un poco más rígidas. Estas lesiones pueden aparecer de forma aislada en diferentes frutos o de manera combinada en un mismo punto de inoculación (Cobo Núñez, 2017). Los daños resultantes reducen la calidad de la fruta y la vuelven inapropiada para la exportación (figura 41) (Fuentes-Aragón et al., 2020).



Figura 41. Detalle de signos y síntomas de la enfermedad.

- a.** Conidias de *Colletotricum* spp. observadas en la superficie de un fruto de aguacate a 500X;
- b.** Esporulación de *Colletotricum* spp. sobre frutos de aguacate maduro.

Foto: Yohana Grisales

Manejo: Según Stovold y Dirou (2004) y Faber et al. (2023), la principal práctica para controlar esta enfermedad es el manejo cultural, que incluye la eliminación de tejidos afectados mediante la poda de ramas muertas u órganos afectados y la recolección de frutos sobremaduros que permanezcan en el árbol al inicio de la cosecha.

El daño mecánico favorece el desarrollo de las infecciones, por lo tanto, las buenas prácticas de recolección y procesamiento de la fruta son primordiales. Sin embargo, como se ha explicado, este patógeno se encuentra en los tejidos desde estados iniciales de desarrollo del fruto, por lo que el uso de fungicidas con actividad sobre este hongo es parte de las intervenciones comunes, incluso desde la floración. Es importante tener en cuenta que este organismo pierde sensibilidad a las moléculas de forma muy rápida debido a su plasticidad genética y metabólica. Por lo tanto, prácticas como la nutrición, el uso de microorganismos controladores biológicos en aplicaciones inundativas y la inducción de resistencia son fundamentales. Además, es importante resaltar que las unidades productivas deben establecerse bajo programas de zonificación del cultivo, es decir, deben ubicarse en zonas donde los factores que puedan favorecer el crecimiento del hongo se reduzcan al máximo (Dowling et al., 2020).

Sarna (*Elsinoe perseae*)

La sarna del aguacate, causada por el hongo *Elsinoe perseae* (basionimo: *Sphaceloma perseae*), afecta los frutos, las hojas y las ramas jóvenes. Los informes técnicos nacionales denominan al agente causal de la sarna o síntomas similares como *E. perseae*, pero la certeza de su identidad no es completa (Fan et al., 2017).

Esta enfermedad se manifiesta mediante la formación de costras, las cuales pueden causar la caída prematura de la fruta y, especialmente, reducir su valor en el mercado. Según Ávila-Quezada et al. (2003), la enfermedad se desarrolla en condiciones donde la humedad relativa sea superior al 30 %. La alta presencia de trips, junto con condiciones óptimas de temperatura y precipitación, favorecen la propagación de la enfermedad y el desarrollo de la infección (Ávila-Quezada et al., 2003; Marroquín-Pimentel, 1999).

Síntomas: Las lesiones se presentan como manchas de color café, de formas irregulares y de aspecto corchoso (figura 42). Estas pueden cubrir una parte o la totalidad del fruto, pero son exclusivas de la piel y no avanzan hacia la pulpa. En las ramas, el patógeno causa agrietamiento (Fan et al., 2017; Marroquín-Pimentel, 1999; Tamayo Molano, 2020).

Manejo: Según Marroquín-Pimentel (1999) y Tamayo Molano (2020), el manejo debe centrarse en prácticas culturales basadas en la recolección de frutos enfermos y caídos, las cuales pueden reducir la fuente de inóculo primario.

Como conclusiones se puede afirmar que la implementación de estrategias de manejo integrado para controlar las enfermedades del aguacate debe centrarse en el mantenimiento del estado fisiológico adecuado de la planta y posteriormente otras concernientes a la sanidad vegetal. En primera medida se incluyen prácticas agrícolas como el uso de material vegetal sano, el manejo de la humedad del suelo y la aplicación adecuada de fertilizantes. En segunda línea se deben implementar estrategias de control específicas para cada enfermedad que integren diversos métodos, ya que los estudios han demostrado que una o pocas de ellas no son efectivas a largo plazo.

También es fundamental identificar con precisión patógenos para obtener un diagnóstico preciso y un manejo efectivo de las enfermedades. Esto incluye el uso de métodos morfológicos y filogenéticos, así como pruebas de patogenicidad en casos de investigación. Se requiere investigación continua para desarrollar nuevas estrategias de manejo y entender mejor la epidemiología y la resistencia de los patógenos a los tratamientos.



Figura 42. Síntomas del daño de *Elsinoe perseae* en frutos de aguacate.

Foto: Yohana Grisales



Capítulo VII





Cosecha, poscosecha y agroindustria del Aguacate Hass en Colombia

Pablo Emilio **Rodríguez Fonseca**
Iris Leidy **Soto Vega**
Jairo Alberto **Villamizar Gelvez**
Sara Isabel **Bedoya Ramírez**
Francy **Heredia**

INTRODUCCIÓN

Este capítulo ofrece un análisis de las dinámicas del mercado del aguacate Hass producido en Colombia y se basa en datos y análisis realizados por la Corporación de Productores y Exportadores de Aguacate Hass de Colombia (Corpohass) como parte de sus esfuerzos por fortalecer la cadena de valor en el país. En este apartado se resumen los resultados de varios proyectos de investigación llevados a cabo por AGROSAVIA desde 2014 hasta 2023, los cuales se realizaron en diferentes regiones del país con el respaldo financiero de importantes fuentes como el Sistema General de Regalías (SGR) en Antioquia y Cauca y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Se han sintetizado los principales hallazgos de estas investigaciones para ofrecer un enfoque técnico aplicable en el departamento de Antioquia y otras regiones productoras con el objetivo de obtener fruta de alta calidad para competir en los mercados internacionales y posicionar el sello “origen Colombia”.

Además, se presentan alternativas para la valorización de los descartes, lo cual beneficia a toda la cadena de valor con la inclusión de productos de alta calidad y valor agregado en diversos mercados internacionales. Esto no solo aumenta la calidad de la fruta destinada al mercado de frutas frescas, sino que también aporta a la reducción de pérdidas poscosecha y se propone alternativas de generación de valor agregado, lo cual beneficia la economía nacional.

Colombia ha experimentado un crecimiento exponencial en el mercado internacional de aguacate desde 2015, con su punto más alto en 2022 (figura 43). Sin embargo, en el último año se ha observado una reducción en la oferta de fruta debido a las fuertes temporadas de lluvias en el país y a la creciente competencia en el mercado internacional, especialmente por parte de Perú, que se está destacando por la calidad de su fruta. Esta situación ha impactado negativamente en los precios ofrecidos para la fruta colombiana.

Por lo tanto, el país se ha consolidado en la exportación suministrando fruta a diferentes mercados internacionales, principalmente a la Unión Europea. Además de este mercado, para 2022 se tuvo una participación del 18,33 % en envíos a Estados Unidos con respecto al total de las importaciones de aguacate (figura 44).

Figura 43.
Dinámica de la exportación de aguacate Hass colombiano entre 2015 y 2023.

Fuente: Corpohass (2023)

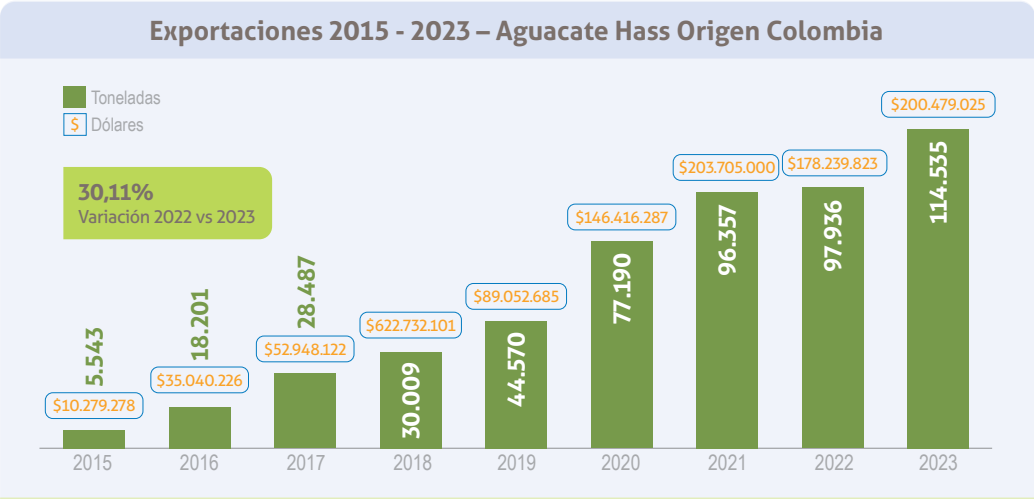
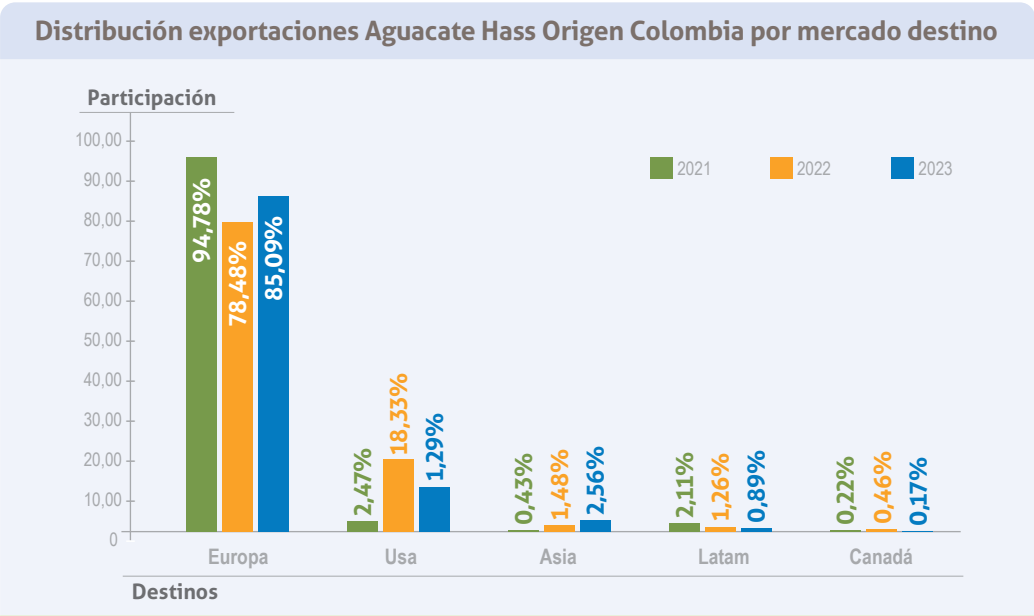


Figura 44.
Importaciones de aguacate cv. Hass colombiano entre 2021 y 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en Corpohass (2023)



Mercados abiertos – Aguacate Hass Origen Colombia



En la figura 45 se muestran los destinos de la fruta con el sello “origen Colombia”. En verde oscuro están resaltados aquellos destinos que requieren el registro del predio exportador por parte de nuestros productores, así como certificaciones como Global GAP. Los países resaltados en verde claro representan mercados especiales a los cuales se accede con una habilitación previa por parte del ICA. Por último, los países subrayados en gris representan mercados que aún no comercializan la fruta colombiana.

La figura 46 presenta el consolidado de predios registrados ante el ICA como unidades productivas de aguacate Hass, así como aquellos que, distribuidos en todo el país, están habilitados para la comercialización en los mercados especiales a través del Plan Operativo de Trabajo.

El consumo de aguacate Hass en diferentes mercados está en aumento, con el mercado norteamericano registrado como el de mayor consumo, seguido de Japón, la Unión Europea y el Reino Unido. La demanda de aguacate por parte de la población latina asentada en Estados Unidos ha incrementado el consumo per cápita: pasó de 1,2 kg en 2013 a 3,8 kg durante 2022.

Figura 45.
Apertura de nuevos mercados internacionales para la comercialización de aguacate Hass.
Fuente: Elaboración propia con base en Corpohass (2023)

MOMENTO ÓPTIMO DE COSECHA
PARA CONSEGUIR FRUTA DE
CALIDAD Y COMPETIR EN EL
MERCADO

En Colombia, dada la diversidad de pisos térmicos, es crucial adoptar prácticas de cosecha centradas en la calidad en las distintas zonas productivas. El mercado internacional está cada vez más interesado en el aguacate Hass debido a su contenido de nutrientes y compuestos bioactivos. Además, los consumidores buscan atributos sensoriales como una alta cremosidad, un sabor distintivo, un tiempo de maduración adecuado para el consumo y un bajo porcentaje de daños internos (pudriciones y pardeamientos). En Colombia, dada la diversidad de pisos térmicos, es crucial adoptar prácticas de cosecha centradas en

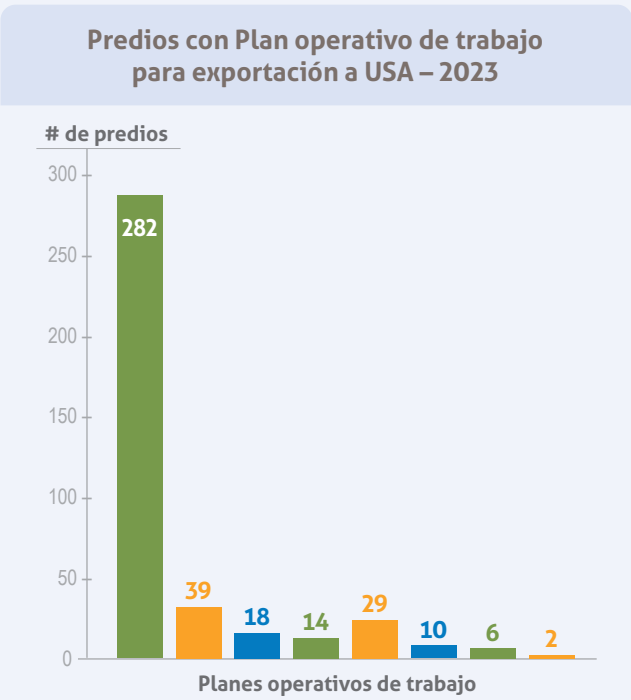
la calidad en las distintas zonas productivas; por estas razones, es fundamental que los productores cosechen en el momento oportuno, ya que la fruta con un bajo nivel de desarrollo puede perjudicar la reputación del sello “origen Colombia” en los mercados internacionales. En esta sección, se proponen procedimientos prácticos que, dependiendo de la ubicación (altitud y temperatura ambiente), permiten focalizar la cosecha según criterios de alta calidad para satisfacer las demandas del mercado.

¿QUÉ BUSCA EL CONSUMIDOR
DE AGUACATE?

Internacionalmente, los consumidores buscan el aguacate Hass por varias razones, entre ellas su sabor, su valor nutritivo

Figura 46.
Registro ante el
ICA de predios
habilitados para la
comercialización
de la fruta
en mercados
especiales.
Fuente: Elaboración
propia con base en
Corpohass (2023)

Departamento	Área	Predios
Antioquia	12.201,78	1.872
Boyacá	35,92	15
Caldas	6.956,15	297
Caquetá	33	1
Cauca	340,20	142
Chocó	5	1
Cundinamarca	309,28	69
Huila	926,14	232
Nariño	146,54	107
Norte De Santander	5,65	4
Quindío	2.411,09	70
Risaralda	2.037,08	211
Santander	37,05	11
Tolima	1.669,70	313
Valle Del Cauca	4.966,21	173
Total general	32.132,21	3.533



y su compatibilidad con regímenes dietéticos saludables. Los frutos presentan una variedad de nutrientes esenciales como potasio, sodio, magnesio, vitamina, vitamina, fitoquímicos y ácidos grasos monoin-saturados que ayudan a promover perfiles lipídicos saludables que contribuyen a mantener la salud cardiovascular (Dreher et al., 2021).

El aguacate Hass también es apetecido por su pulpa cremosa y su sabor superior con respecto al de las otras variedades. En términos de preferencia, se busca que el fruto no presente daños internos (pudriciones y pardeamientos) y que madure adecuadamente (ablandándose de manera apropiada en un corto periodo después de ser recolectado). Los trastornos en la pulpa pueden estar influenciados por factores tanto previos como posteriores a la cosecha (Escobar et al., 2021). Por lo tanto, Colombia debe centrarse en cumplir con estas expectativas para poder competir en diversos mercados, especialmente con fruta de alta calidad.

En Colombia, la producción de aguacate Hass se extiende por diversos pisos térmicos y altitudes (1.600-2.500 m s. n. m.). La variación de temperaturas ambientales en diferentes altitudes provoca acumulación diferencial de sólidos en el fruto durante su desarrollo. Por ejemplo, en zonas de baja altitud (1.600-1.700 m s. n. m.) con temperaturas anuales promedio de 18 °C y mínimas de 15 °C, la acumulación de materia seca (MS) es más rápida. Alrededor de

150 días después de alcanzar 2 cm de diámetro ecuatorial, el fruto puede alcanzar un contenido de MS del 23 %. A medida que aumenta la altitud (1.800-1.900 m s. n. m.) y disminuye la temperatura, el tiempo de desarrollo se extiende a 168 días para alcanzar el mismo contenido de MS. En zonas a mayor altitud (>2.400 m s. n. m.) con temperaturas medias anuales de 15 °C y mínimas de 8 °C, el fruto necesita aproximadamente 197 días de desarrollo para alcanzar el 23 % de MS (Rodríguez & Villamizar, 2023).

Por lo tanto, para que la fruta llegue al mercado de destino con buena calidad (con bajo porcentaje de fruta dañada, baja severidad de los daños, buen sabor y textura cremosa), se requieren tiempos de desarrollo adecuados para lograr una composición de sólidos que garantice el ablandamiento de toda la fruta durante la maduración controlada, así como para reducir las pudriciones y el pardeamiento de la pulpa. En las zonas de bajas altitudes (1.600-1.900 m s. n. m.), los frutos deben ser cosechados después de 212 días de desarrollo. Además, deben monitorearse aquellos que hayan alcanzado un diámetro ecuatorial de al menos 2 cm. Para altitudes mayores (1.900-2.500 m s. n. m.), el tiempo recomendado es de un mínimo de 230 días (figura 47). Dado que los productores utilizan la MS como indicador de cosecha, los valores para altitudes bajas deben ser de al menos 28 %, y para altitudes superiores a 1.900 m s. n. m., de al menos 26 % en MS (Rodríguez et al., 2023).



Figura 47. Frutos de aguacate cv. Hass con un desarrollo adecuado en campo.

Foto: Pablo Rodríguez F.

¿CÓMO SE PUEDE REALIZAR UN SEGUIMIENTO DE FRUTOS EN LAS FINCAS?

Para realizar un seguimiento hasta la cosecha y garantizar la calidad de la fruta, se pueden seguir los siguientes pasos con el fin de competir en los mercados nacionales e internacionales:

- a. Determinar altitud y temperatura de la unidad productiva.
- b. Marcar alrededor de 100 frutos de aguacate Hass por hectárea (los frutos se marcan cuando alcanzan un diámetro de 2 cm en la zona ecuatorial). Además, en un cuaderno o computador se deben empezar a registrar los días desde este momento hasta la cosecha.
- c. Para realizar las marcas se utilizan tiras de plástico o cinta plástica de colores vistosos que permitan su identificación en campo (rojo, amarillo, azul, etc.) (figura 48).
- d. La marcación se realiza sobre la base del pedúnculo sin ejercer mucha fuerza para evitar el aborto del fruto. Además, se seleccionan los frutos del torso medio del árbol que no estén expuestos al sol.
- e. A partir de la fecha de marcado se cuentan 190 días (desarrollo). Se debe ser muy riguroso con el seguimiento de los tiempos.
- f. Cuando los frutos alcanzan 190 días, se debe realizar una prueba de MS sobre 10 frutos por hectárea (se recomienda seguir el protocolo para determinar la MS por horno microondas en AGROSAVIA) (Astudillo & Rodríguez, 2019).
- g. Se debe monitorear el contenido de MS y tener en cuenta que si el fruto estuvo entre 1.600 y 1.800 m s. n. m. se requerirán mínimo 212 días para que los frutos se desarrollen. Si la plantación está por encima de los 1900 m s. n. m., se debe esperar hasta que el fruto supere los 230 días de desarrollo.

El seguimiento de frutos en campo es importante para que el productor pueda asegurar fruta de buena calidad. Con esto, en la fruta disminuyen considerablemente los daños internos de la pulpa y mejora el perfil sensorial y los atributos de

calidad que le dan valor agregado en los mercados internacionales (Rodríguez et al., 2023).

PROTOCOLO DE EXPORTACIÓN

La exportación de aguacate Hass desde Colombia hacia mercados internacionales requiere un estricto cumplimiento de requisitos y especificaciones para satisfacer los estándares de calidad del destino, como Estados Unidos, Europa, Japón u otros. A continuación, se describen las etapas de exportación.

a) Cumplimiento de los requisitos normativos

Todo predio exportador debe cumplir con la Resolución ICA 824 de 2022, la cual establece los requisitos para el registro de lugares de producción, exportadores y emparadoras de vegetales frescos ante el ICA. Es crucial revisar esta resolución si se tienen predios cercanos al vencimiento del registro para garantizar el cumplimiento de la normativa vigente en caso de exportación. Además, se requiere la aplicación de otras normas como GLOBALG.A.P versión 5.4.1 GFS, General Responsibility Assignment Software Patterns (GRASP), Rainforest Alliance y Sedex Member Ethical Trade Audit (SMETA). Estas normas están orientadas a la conservación del ambiente, así como a la protección del trabajador y el consumidor, con lo cual facilitan un lenguaje universal para garantizar la calidad del producto.

b) Muestreos para análisis de residualidad de pesticidas

Previo a la cosecha, el productor debe garantizar que la fruta cumpla con la normativa y respete los LMR realizando un muestreo de residualidad de pesticidas en su cultivo, el cual se basa principalmente en los siguientes pasos:

- **Recolección de información:** Se deberá realizar una revisión de los agroquímicos aplicados en el cultivo con el fin de darle seguimiento a la labor, lo cual permitirá garantizar la calidad de la información y los resultados. Cada productor deberá tener una lista de las labores agronómicas realizadas en su predio para facilitar el proceso de certificación y garantizar así la calidad de exportación.



Figura 48. Marcación de frutos de aguacate Hass (sobre el pedúnculo) en unidades productivas para su identificación y seguimiento.

Foto: Jairo Villamizar G.

- **Frecuencia:** El análisis de LMR se debe realizar de manera previa a cada una de las cosechas programadas (en Colombia se hacen dos muestreos anuales: en la cosecha principal y en la cosecha secundaria).
- **Metodología:** El muestreo debe realizarse de manera aleatoria en cada uno de los lotes de los predios que se van a cosechar. En cada uno de ellos se deberá coleccionar un total de 2 kg por muestra o, en su defecto, 10 frutas de aproximadamente 170 gramos. Posterior a la colecta, se procederá a realizar su almacenamiento en una bolsa limpia o barrera protectora que impida algún tipo de contaminación cruzada con el fin de evitar errores en los análisis. Una vez tomada la muestra, el productor no puede hacer aplicaciones de productos de síntesis química, pues esto podrá alterar los resultados en destino. Si el productor presenta algún tipo de eventualidad, esta debe comunicarse al técnico asignado para evaluar el manejo que se le dará al cultivo durante el proceso de cosecha. Es importante mencionar que el compromiso del productor siempre será acatar las indicaciones del profesional encargado.
- **Envío de muestras:** Una vez colectada, la muestra debe ser enviada al laboratorio en la caja de cartón perforada para permitir la circulación del aire al interior. Esta muestra debe ir debidamente identificada y con las especificaciones del análisis que se desea realizar. Los laboratorios a los cuales se enviará la muestra para el análisis deberán estar acreditados por la autoridad competente.
- **Metodología de análisis:** Cromatografía líquida acoplada a masas o cromatografía de gases acoplada a masas o según el laboratorio.

Es importante mencionar que todos los productos aplicados en los predios deberán estar permitidos por entidades como la Unión Europea y el ICA.

c) Cosecha

Se deberá garantizar que la fruta esté completamente seca. Se espera que la noche anterior a la cosecha de los predios no se haya presentado precipitación, y que el día designado para la cosecha sea soleado y seco, pues estas condiciones permitirán una mejor vida en anaquel y disminuirán la probabilidad de que el fruto desarrolle lenticelosis o algún tipo de enfermedad en etapa de maduración, como pudrición del pedúnculo o antracnosis.

La fruta cosechada deberá pasar por un proceso de inspección, el cual debe ser realizado tanto en el árbol como en el área de poscosecha con el fin de eliminar fruta afectada por las principales plagas cuarentenarias: *H. lauri*, *H. trifasciatus* y *S. catenifer*. Se pueden conservar aquellos frutos que presenten daños permitidos por el mercado de destino; por ejemplo, daños de baja severidad ocasionados por trips.

d) Transporte terrestre en camiones

Tras la cosecha y el proceso de selección, la fruta debe ser enviada a la empaadora lo más pronto posible respetando el plazo de 24 horas o la programación de recibo en planta. Mantener un máximo de 48 horas entre la cosecha y el almacenamiento refrigerado es esencial para asegurar la maduración y la calidad en el destino. El vehículo de transporte debe ser higiénico y preferiblemente contar con una carpa blanca. Asimismo, debe garantizar la circulación de oxígeno mediante aberturas en la estructura para optimizar las condiciones de transporte y conservación de la fruta. Se recomienda transportarla durante las horas de la tarde o en horarios nocturnos para evitar el deterioro de la fruta.

e) Acondicionamiento en empresas empacadoras

La inocuidad debe garantizarse con rigurosidad, para lo cual se debe inspeccionar diariamente la higiene de la línea de empaque. Además, para mantener las certificaciones, se deben registrar a diario actividades, asistencia e ingresos en las instalaciones. Algunos de los principales registros solicitados según los certificados y las normativas son:

- Registro de verificación de las condiciones del vehículo.
- Registro de la información de trazabilidad de la fruta.
- Registro de limpieza y desinfección de cada zona.
- Registro de verificación de las condiciones operacionales, por ejemplo, condiciones que puedan afectar el inicio de proceso, como presencia de plagas en la planta, equipos en mal funcionamiento, novedades en infraestructura, entre otros.
- Registro de seguimiento y aplicación de la Resolución 2674 de 2013 relativa a los planes de trabajo para exportación de vegetales en fresco (ICA) de acuerdo con el mercado al que se va a exportar.

Inspección de entrada: Al recibir la fruta es esencial realizar un muestreo. Para esto, se tomarán aleatoriamente 100 frutos por productor (en tres puntos del vehículo) y se evaluarán daños por plagas y físicos, además de verificar el valor de MS (24 a 28 %). Adicionalmente, se deben inspeccionar el vehículo y las canastillas en el descargue para verificar que la fruta no tenga signos evidentes de contaminación química, física o biológica, como olores extraños, objetos extraños y plagas, como roedores.

Lavado de fruta: Tras la descarga en la planta de empaque, se lavará la fruta y se aplicará fungicida mediante inmersión o aspersión. Es crucial confirmar que el producto utilizado cumpla con los límites máximos de residuos establecidos en el país destino y en Colombia de acuerdo con la Resolución 2906 de 2007 y el Codex Alimentarius.

Clasificación de los frutos: Los frutos serán dispuestos en la línea de selección y se descartarán aquellos que no cumplan con los requisitos visuales de calidad, como daños físicos, golpe de sol, marceño, monalunion, roña o fumagina. Se acordará con el cliente un porcentaje de aceptación. Usualmente, se aceptarán frutos con un daño externo menor a 10 % que no afecte la pulpa (por ejemplo, trips o lenticelosis), clasificados dentro de la categoría II. Aquellos que superen el 10 % pero no lleguen al 50 % se orientarán al mercado nacional, mientras que los que superen el 50 % se devolverán al productor.

Según la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE, por sus siglas en inglés) y el Codex Alimentarius (2013), las categorías de frutas de aguacate se clasifican de la siguiente manera:

- *Categoría I:* defectos en fruta que no excedan 4 cm².
- *Categoría II:* defectos en fruta que no excedan 6 cm².

El porcentaje de tolerancia de los defectos se acordará con el cliente y, si es el caso, se devolverá la fruta.

Empaque de fruta en cajas de cartón o canastillas de plástico de acuerdo con calibres: Las cajas deben llevar etiquetas con el registro ICA del productor y su diseño debe garantizar que circule el aire para que se estabilice la temperatura en el interior de los cuartos fríos y durante el almacenamiento (enfriamiento). Las cajas de empaque pueden tener un peso de 4 kg a 10 kg.

Paletizado (agrupación de empaques en estibas): Las estibas deben someterse a tratamiento fitosanitario para eliminar posibles contaminantes. La madera debe provenir de cultivos certificados por el ICA. Un pallet puede contener 274 cajas de 4 kg o 112 cajas de 10 kg. Para empaques de 10 kg, se pueden disponer 120 cajas en un pallet.

Pre-enfriamiento: Si se dispone de un sistema de pre-enfriamiento, se debe dejar el producto durante 6 horas para llevar la temperatura de la pulpa del fruto a 4 °C. Después de este tiempo, los frutos se almacenan en los cuartos fríos.

Almacenamiento refrigerado: Se deberán almacenar los frutos a temperaturas entre 5 y 7 °C en racks o en recipientes de un solo nivel. Paralelamente, se deberá llevar a cabo la gestión de inventario de acuerdo con el método “Primeros en Entrar, Primeros en Salir” (PEPS). La verificación de la temperatura de la pulpa por pallet utilizando un termómetro de punzón es esencial. Se deben tomar muestras en la parte superior, media e inferior para asegurar un enfriamiento uniforme. Si el envío no es inmediato, la fruta puede permanecer hasta 5 días en almacenamiento refrigerado antes de su envío. Este procedimiento garantiza la calidad y frescura de la fruta durante el transporte y la entrega.

Transporte terrestre refrigerado a puerto: Se debe revisar el vehículo (con sistema de refrigeración o Thermo King) para garantizar condiciones óptimas de higiene y limpieza. Para monitorear la temperatura durante el transporte, se ubican termo-registros o “loggers” en tres lugares del vehículo. Asimismo, el transporte debe ser directo de la empacadora al puerto.

Transporte marítimo a mercado internacional: se lleva a cabo bajo condiciones controladas de temperatura, dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) y garantizando los siguientes valores: temperatura de 6 °C; 6 % de CO₂; 4 % de O₂ y humedad relativa > 80 %. La maduración se realiza en los mercados de destino siguiendo los protocolos de las exportadoras (los cuales dependen del mercado de destino).

PRINCIPALES PROBLEMAS DE CALIDAD DEL AGUACATE HASS Y CÓMO MITIGARLOS

En zonas productivas de Colombia (<1.700 m s. n. m.), las frutas se cosechan al menos 170 días después de alcanzar los 2 cm de diámetro. Al evaluar la calidad interna (ablandamiento, desórdenes internos y calidad sensorial), se ha encontrado una alta incidencia (> 60 %) y severidad (20 % - 100 %) de daños internos en más de la mitad de los frutos, con daños que cubren hasta el 100 % de la pulpa. Los daños principales son pardeamientos de haces vasculares y pudriciones pedunculares. Esto se debe a que el fruto tarda hasta 13 días en ablandarse, por lo cual es más rápido el deterioro del fruto que el ablandamiento de la pulpa en el momento en que se pone a madurar para el consumo (Rodríguez et al., 2023).

Si el tiempo de desarrollo de los frutos es igual o mayor a 212 días (después de haber alcanzado los 2 cm de diámetro ecuatorial) en zonas con altitudes inferiores a 1.700 m s. n. m., el fruto se ablanda en menos de 8 días tras madurar para el consumo humano. De esta manera, se logra reducir la incidencia de daños al 25 % y estos no superan el 7 % del área de la pulpa, lo cual reduce el desperdicio de producto una vez madurado y aumenta la satisfacción del consumidor por la compra de esta fruta (Rodríguez et al., 2023).

Además de la reducción de daños, el incremento en el tiempo de desarrollo mejora la calidad sensorial. A corto tiempo de desarrollo (<170 días), los frutos son muy fibrosos, tienen una textura dura, sensación astringente y sabores herbales (similar al aguacate criollo inmaduro), lo que genera rechazo por parte del consumidor. Al aumentar el tiempo de desarrollo, la textura es cremosa, más fundente (el aguacate se derrite en la boca como chocolate) y tiene sensaciones agradables a avellana (típico del aguacate colombiano) y coco.

Se ha encontrado que el tiempo de desarrollo de la fruta está relacionado con el contenido de ácidos grasos (dependiendo de la altitud y las temperaturas de desarrollo) y minerales. Los tiempos cortos de desarrollo llevan a un alto contenido de minerales en la pulpa y un bajo contenido de ácidos grasos insaturados (linoleico, palmítico, oleico), mientras que si se prolonga el tiempo de desarrollo se logra un mejor balance de minerales y un aumento del contenido de ácidos grasos (linoleico, palmítico, oleico) (Rodríguez et al., 2023).

En frutos producidos a baja altitud, los ácidos palmítico y palmitoleico se acumulan en mayor cantidad que en altitudes mayores a 1.900 m s. n. m., donde el ácido oleico se acumula en mayor proporción debido a las bajas temperaturas de desarrollo. Estos compuestos se pueden observar en el fruto en estado verde o en el momento de la cosecha, y ayudan a guiar al productor para producir frutos con mayor calidad. Los valores en la tabla 8 pueden

tomarse como referencia para una adecuada cosecha de frutos.

Los productores pueden adoptar el seguimiento del tiempo de desarrollo de los frutos de aguacate Hass partiendo de un tamaño de 2 cm de diámetro ecuatorial (cuajado) y realizar un seguimiento de los días hasta alcanzar los 212 días para altitudes entre 1.600 y 1.900 m s. n. m., y 230 días para altitudes entre 1.900 y 2.500 m s. n. m. (Rodríguez & Villamizar, 2023).

**VALORIZACIÓN DE FRUTA
DESCARTADA EN EL MERCADO
DE EXPORTACIÓN**

Con el aumento de la producción de aguacate Hass en Colombia, se observa un incremento en la cantidad de fruta que no se exporta debido a que no cumple con los criterios de apariencia requeridos para el mercado de fruta fresca en el mercado internacional; por ejemplo, los defectos generados por plagas como trips y marceños. Esto ocasiona problemas de desperdicio

Tabla 8. Calidad del fruto de aguacate cv. Hass caracterizado según su peso y calibre para exportación		
Componente	Mínimo	Máximo
Boro (mg/Kg) para altitud entre 1.900-2.500 m s. n. m.	48	55
Boro (mg/Kg) para altitud entre 1.600-1.800 m s. n. m.	29	38
Nitrógeno (%)	0.70	0.80
Ácido palmitoleico para altitud entre 1.600-1.800 m s. n. m. (g/100g)	7	11
Ácido palmitoleico para altitud entre 1.900-2.500 m s. n. m. (g/100g)	3	6
Ácido palmítico para altitud entre 1.600-1.800 m s. n. m. (g/100g)	15	22
Ácido palmítico para altitud entre 1.900-2.500 m s. n. m. (g/100g)	8	12
Ácido oleico para altitud entre 1.600-1800 m s. n. m. (g/100g)	21	26
Ácido oleico para altitud entre 1.900-2500 m s. n. m. (g/100g)	33	40
Fuente: Elaboración propia con base en Escobar et al. (2021), Rodríguez et al. (2018) y Rodríguez et al. (2023)		

de la fruta o bajos ingresos para los productores, ya que su distribución como fruta fresca en el mercado nacional no garantiza un alto valor agregado. Por estas razones, en este apartado del libro se proporciona un contexto del problema de descarte de fruta en el país y se presentan alternativas para agregarles valor a estos descartes y convertirlos en productos transformados de alta calidad y demandados por mercados internacionales. Se ofrecen algunos ejemplos de procesos llevados a cabo en Antioquia, una región pionera con un alto tejido empresarial, que, a través de procesos industriales, logra valorizar una cantidad importante de la fruta que no se exporta en el país.

DESCARTE DE FRUTA POR DEFECTOS EXTERNOS

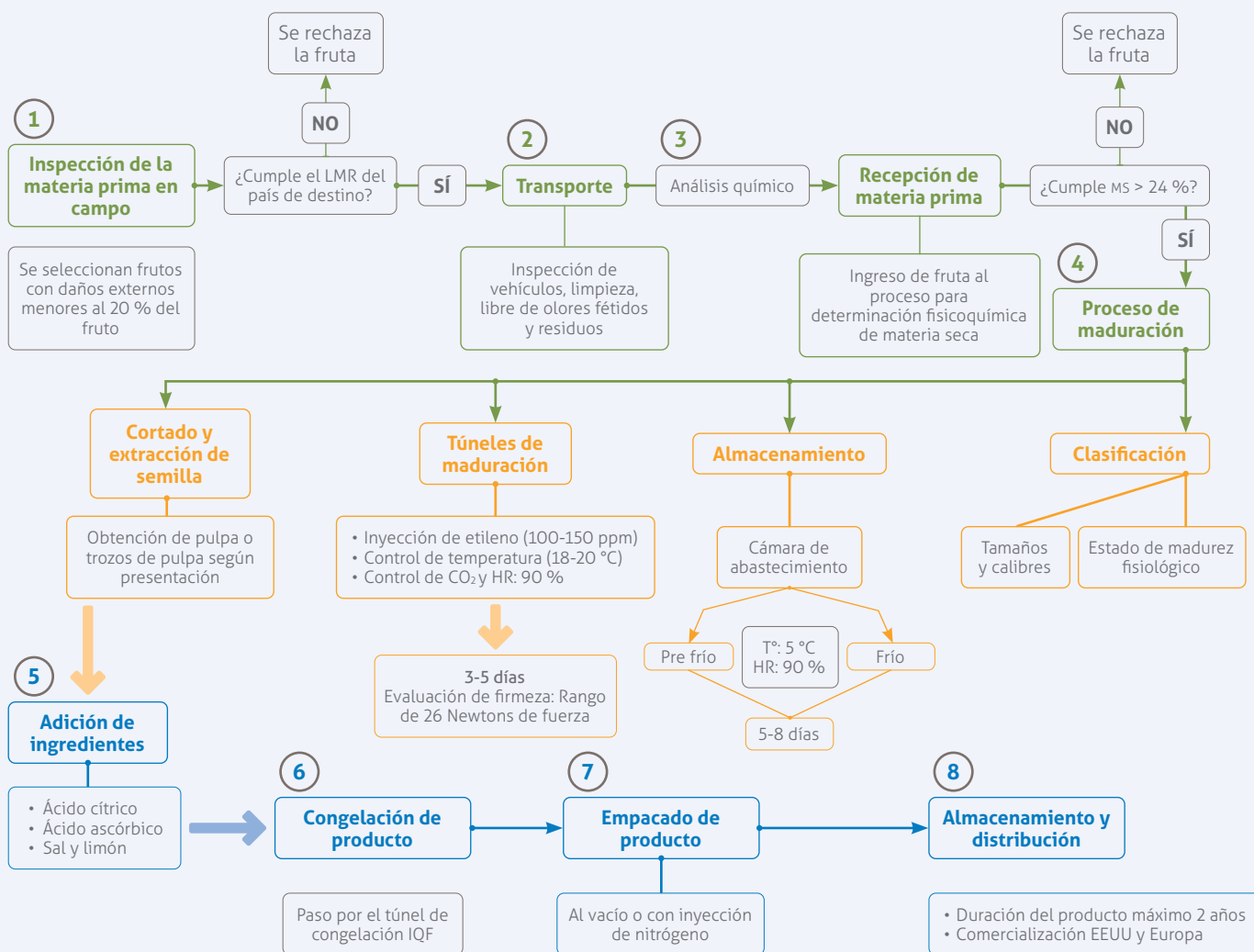
La variabilidad en el volumen de descarte de exportación del aguacate Hass depende de la región productora. En Antioquia, región con alta tecnificación, se exporta entre el 90 y el 95 % de la producción, mientras que en Cauca se exporta un promedio del 50 %. Tolima registra un 70 % de exportación, Valle del Cauca un 83 %, y Eje Cafetero un 85 %. Estas diferencias están relacionadas con la implementación del monocultivo en Antioquia, Eje Cafetero y Valle, en contraste con la aplicación del asocio de cultivos en Tolima y Cauca (por ejemplo, café y plátano). Además, altitudes inferiores a 1.900 m s. n. m en Tolima y Cauca generan una mayor presión de plagas y enfermedades con respecto a altitudes por encima de los 1.800 m s. n. m de regiones como Antioquia y el Eje Cafetero.

La fruta suele descartarse por ser de calibre pequeño (peso menor a 80 g) o presentar lenticelosis y daños por insectos (trips, marceño, etc.). Esta fruta de descarte pierde precio en relación con la fruta de exportación, razón por la cual se queda en el campo o en las empacadoras y empresas de transformación realizan procesos de aprovisionamiento para obtener productos transformados a partir de esta fruta. Si el proceso productivo se realizó con buenas prácticas agrícolas y de poscosecha, se pueden desarrollar productos de alta calidad debido a que el aguacate es altamente demandado por sus beneficios y atributos sensoriales. Con base en esta información, a continuación se presentan algunos ejemplos de procesos de agregación de valor para transformar los descartes en pulpa de calidad congelada, macerada o guacamole, entre otros productos que pueden destinarse al mercado nacional y de exportación.

PROCESO DE TRANSFORMACIÓN EN FRUTA CONGELADA

Esta información se recopiló a través de entrevistas con la empresa Valles Verdes, ubicada en Guarne, Antioquia. La empresa recibe fruta de todo el país y lleva a cabo un proceso de transformación para generar un producto con características especiales ajustadas a las diversas exigencias de los clientes y así obtener pulpa de alto valor agregado en empaques al vacío. En el proceso se emplea la tecnología de congelación ultrarrápida, que permite congelar el agua libre contenida en la pulpa en un corto periodo formando cristales

muy pequeños para preservar la textura y calidad del producto. De esta manera, el producto puede conservarse congelado durante largos períodos (hasta 2 años). El diagrama del proceso realizado por Valles Verdes se presenta en la figura 49.



PULPA Y GUACAMOLE

La información relacionada con estos dos productos se obtuvo mediante una entrevista realizada a la Empresa Terravocado, ubicada en Medellín (Antioquia), especializada en la generación de productos de alto valor agregado a partir de aguacate Hass. La empresa aprovecha los descartes debido a sus propiedades nutricionales y desarrolla productos alimenticios funcionales como pulpa de aguacate y guacamole, los cuales son comercializados tanto en mercados internacionales como nacionales. A continuación, se resume el proceso:

Figura 49. Diagrama del proceso para obtención de pulpa ultracongelada de acuerdo con Valles Verdes.

Fuente: Elaboración propia

- **Recepción:** El aguacate Hass debe exhibir un grado de madurez comercial ($MS > 23 \%$) evaluado en el momento de su ingreso para ajustar variables de tiempo o temperatura. Para esto, se emplea un muestreo de acuerdo con las normas ISO 874 y NTC 756 y se categoriza la fruta en verde, pintona, madura o sobremadura. El estado óptimo para el procesamiento es cuando la fruta está blanda al tacto.
- **Selección y clasificación:** La fruta debe estar libre de mohos en el pedúnculo (antracnosis), así como de daños físicos (cortes) y químicos (presencia de agroquímicos en la superficie) que puedan comprometer la inocuidad del producto. Para el pago al productor, se clasifica según el tamaño de la fruta: jumbo (> 250 g), extra (250-180 g), primera (179-130 g) e industrial (129-80 g). Además, la clasificación por tamaño ayuda a minimizar la variabilidad en la maduración. Después de la maduración en cuartos controlados, se verifica el grado de madurez de acuerdo con la carta de color.
- **Limpieza y desinfección:** El lavado se realiza mediante inmersión en tanques específicos. Se dispone de un tanque para la limpieza con agua y jabón, otro tanque para el enjuague y un último tanque para la desinfección en el cual se utiliza ácido peracético de grado alimentario a una concentración de 80 ppm.
- **Pesado:** Se realiza en una báscula por lote de fruta que cumpla con los requisitos de selección y clasificación externos.
- **Cortado:** Se realiza de forma manual con la ayuda de un cuchillo para partir el fruto verticalmente comenzando desde el pedúnculo y retirándolo junto con la semilla.
- **Despulpado:** Consiste en retirar la cáscara del fruto y aprovechar la pulpa.
- **Inspección de Calidad:** Se examina la pulpa para evitar presencia de mohos (indicios de olor a vinagre o fermento), pardeamientos (coloración marrón), adherencia entre pulpa y semilla o zonas endurecidas. La detección de tales aspectos resulta en el rechazo completo del fruto.
- **Mezclado:** Es necesario para homogenizar la pulpa e incorporarle aditivos que permitan mejorar la conservación y calidad de la pulpa o guacamole que se obtendrá como producto final.
- **Dosificación y empaque:** Consiste en pesar la cantidad de pulpa por empaque o envase para su distribución final. El envase o empaque debe estar previamente rotulado o etiquetado.
- **Sellado:** A través de una máquina selladora se cierra el envase o el empaque del producto para evitar que se deteriore por el ambiente u otras variables.
- **Conservación:** El producto se dispone en canastillas con separadores y se conserva en congelación.

Capítulo VIII





Los costos para la producción de aguacate Hass en Antioquia

Mauricio de Jesús Londoño Bonilla
Jorge Alonso Bernal Estrada
Carolina Zuluaga Mejía

INTRODUCCIÓN

Los costos de producción del aguacate Hass representan la evaluación atribuida al conjunto de recursos necesarios para producir una fruta destinada a los mercados internacionales que satisfaga las necesidades de los clientes en términos de calidad, cantidad y seguridad en el suministro. Esto, por supuesto, garantiza la oferta de un producto de alta calidad y permite la comercialización de la fruta con una rentabilidad óptima.

Conocer los costos de producción permite tomar decisiones informadas desde el punto de vista económico, administrativo y de mercado. Es esencial que los pequeños y medianos productores puedan llevar a cabo el registro, la planificación y la interpretación de sus costos de producción de acuerdo con sus necesidades, las características específicas de cada región y el tamaño de sus propiedades.

Para establecer la estructura de costos en la producción de aguacate Hass destinado a la exportación en Antioquia, es crucial planificar y mantener un orden al registrar las labores, los insumos, el material de siembra, los costos de asistencia técnica, los análisis de laboratorio, la mano de obra, entre otros aspectos. Sin embargo, resulta determinante analizar todas las variables que se relacionan con estos costos, las cuales varían según diversas condiciones socioeconómicas en cada subregión, las condiciones ambientales, el tamaño de las explotaciones y el nivel tecnológico de cada sistema productivo.

PRINCIPALES CONCEPTOS

- **Mano de obra:** Esfuerzo físico y mental, directo o indirecto, que se aplica durante la elaboración de un bien, como las labores de producción, administración, ventas, entre otras.
- **Maquinaria y equipo:** Todas las máquinas, herramientas y equipos empleados en la producción que facilitan el proceso y lo hacen más seguro. Dependiendo de su uso, puede cargarse a los costos su valor total o un valor por depreciación y mantenimiento.
- **Costos directos:** Gastos en los que incurre la empresa cuando produce un bien en particular. La pieza fundamental de los costos directos es la materia prima.
- **Costos indirectos:** Gastos que no guardan relación directa con el bien que se obtiene al final del proceso de producción, pero son necesarios para el funcionamiento del negocio. Por ejemplo, el local para la comercialización de los bienes o servicios, las oficinas y los depósitos están contemplados como un costo indirecto.
- **Costos fijos:** Gastos que no tendrán variación alguna durante el proceso de producción, sin importar la cantidad producida, como el costo del arriendo.
- **Costos variables:** Gastos que variarán de acuerdo con las cantidades producidas. Es decir, si la cantidad producida aumenta o disminuye, los costos variables también aumentan o disminuyen.
- **Costo total:** Suma total de todos los costos implicados en la producción del ciclo del cultivo.
- **Costo unitario:** Costo equivalente a una unidad producida, que se obtiene de dividir el costo total en la cantidad producida. Por ejemplo, lo que costó producir un kilo de semilla de arroz o un colino de plátano.
- **Ingresos:** Dinero que se obtiene normalmente de la venta de la producción.
- **Precio:** Valor que se le asigna a un producto, el cual debe cubrir los costos unitarios de producción y la ganancia.
- **Ganancia y pérdida:** Lo obtenido de la venta después de descontar el costo de producción y el costo de venta. Si el resultado es positivo, significa ganancia, si es cero o negativo, se traduce en pérdidas.
- **Relación costo beneficio:** Determina la ganancia o pérdida al dividir el total de los ingresos sobre el total de los costos. Si el resultado es mayor que 1 (por ejemplo, 1,5), hay ganancia y por cada peso obtenido se obtiene un 0,5 adicional. Si el resultado es menor a 1, significa que el beneficio no alcanza a cubrir los costos de producción y hay pérdidas económicas.
- **Rentabilidad:** Relación del capital invertido y los ingresos obtenidos luego de realizar las ventas. Representa las ganancias o pérdidas en forma porcentual.

- **Rendimiento:** Producción obtenida de acuerdo con el área utilizada.
- **Inversión inicial:** Son los recursos necesarios antes de iniciar la actividad productiva, cuya inversión puede amortizarse en varios periodos, como invernaderos, semilleros, sistemas de riego, entre otros. Se diferencian de los costos de producción, ya que estos últimos consideran únicamente lo necesario para el ciclo productivo en evaluación, mientras que la inversión inicial debe estar lista para iniciar el proceso productivo. En el caso de maquinaria, herramientas, equipo o infraestructura utilizada en varios ciclos, en los costos de producción se incluye una parte del valor total de la inversión inicial como depreciación y otra parte como mantenimiento.
- **Valor agregado:** Valor adicional de la semilla por sus características especiales, como ser producida por pequeños productores o resguardos, ser semilla nativa o criolla, entre otras.
- **Trazabilidad:** Seguimiento a todo el proceso de producción, que permite revisar qué insumos, labores y demás han intervenido en el proceso de producción.

IMPORTANCIA DE CONSTRUIR UNA ESTRUCTURA DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

Contar con una comprensión clara de la estructura de los costos de producción facilita la toma de decisiones informadas de acuerdo con la inversión realizada. Además, permite establecer un precio de venta que se ajuste a esos costos y la rentabilidad esperada con el fin de evaluar las pérdidas o ganancias obtenidas durante el ejercicio productivo.

Los costos de producción también permiten controlar los costos reales en comparación con los costos predeterminados o proyectados para diferentes etapas productivas, así como las variaciones financieras que puedan surgir durante el proceso. Finalmente, estas estructuras pueden ser utilizadas como instrumentos eficientes de planificación y control, y contribuir a la optimización de los procesos para alcanzar una buena rentabilidad y sostenibilidad financiera y administrativa en las fincas productoras de aguacate Hass.

ELEMENTOS DE UNA ESTRUCTURA DE COSTOS

Una estructura de costos debe incluir tres elementos esenciales para realizar un análisis completo. En primer lugar, el registro de la información es fundamental para elaborar esta estructura y debe contener detalles, descripciones, cantidades, tiempos y mano de obra necesaria para el desarrollo de todas las actividades del sistema productivo. Para ello, es necesario tomar nota de todas las labores relacionadas con el cultivo, los insumos y la mano de obra requerida.

Es necesario registrar la información en un libro, diario, cuaderno de campo o una base de datos de Excel. Para garantizar la trazabilidad de los costos de producción, se recomienda incluir la fecha de cada registro y tener claridad sobre las cantidades de cada insumo, material y mano de obra para cada labor. En este sentido, es relevante contar con la asesoría de expertos en cada tema. Además, se deben registrar otras tareas adicionales, como análisis de suelo y agua y costo de asistencia técnica, entre otras actividades. Cuanto más precisos sean los datos registrados, más cercanas a la realidad serán las estructuras de costos obtenidas por cada productor.

Además de registrar la información, se deben conservar recibos, facturas y, en general, los soportes de todas las compras relacionadas con el cultivo. Se deben especificar las cantidades, presentaciones y unidades de medida, así como el pago de jornales, asesorías y otros costos derivados del proceso de comercialización de la fruta.

ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Es importante organizar la información por categorías separadas, como mano de obra, insumos, herramientas y maquinaria, combustibles, asesorías, servicios técnicos y tecnológicos, entre otros, de manera que su consulta sea más fácil; estos costos de producción se dividen por fases o etapas de la producción.

Para calcular la materia prima, se deben considerar todos los valores relacionados y las cantidades, así como el transporte, los seguros, los impuestos, etc. La mano de obra se mide por el tiempo dedicado a la realización de la labor, lo cual define la unidad y el valor de esas unidades. Otros costos se pueden calcular teniendo en cuenta arriendos, alquiler de maquinaria, costos de mantenimiento, depreciación de equipos, entre otros.

ERRORES COMUNES AL MOMENTO DEL REGISTRO DE LA INFORMACIÓN

Puede ocurrir que se registre dos o más veces la misma información o que se incluya un costo específico que ya estaba cubierto por el costo global; por lo tanto, se debe tener especial cuidado al registrar este tipo de costos para evitar la posibilidad de doble contabilidad. También es común incurrir en sobre o subestimaciones de costos para alguna actividad y registrar una cantidad y valor mayor o menor de lo que realmente se utilizó. Por lo tanto, es crucial llevar un registro riguroso y periódico de todos los costos de producción, incluyendo cantidades, precios y fechas, lo que permite disponer de información

real y actualizada. Es importante evitar incluir elementos no pertinentes y solo registrar los costos de producción estrictamente asociados al predio productor.

Un error común es calcular sin considerar la depreciación o la vida útil esperada del activo que funciona y contribuye directamente a la producción de la fruta y a los ingresos de la empresa o finca. Cualquier activo (maquinaria, equipos, vehículos, etc.) se desgasta con el uso y con el tiempo se vuelve inutilizable para el proceso productivo. El valor del activo debe amortizarse periódicamente a medida que se desgasta para distribuir el costo de su uso a lo largo de todas las etapas del cultivo, de modo que no se incluya el valor total de la inversión en el primer ciclo, lo que aumentaría los costos de producción iniciales.

PROYECCIÓN DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA ANTIOQUIA

Debido a la complejidad que representa establecer con certeza una estructura de costos general y, a modo de ejemplo, se mencionan los hallazgos de Colorado Restrepo & Ángel Batista (2003) en el municipio de Sonsón durante su investigación de campo. El objetivo de esa investigación fue determinar el costo de establecer una hectárea de aguacate Hass en el ámbito empresarial con proyección de exportación.

Con este propósito, se estimaron los diferentes costos de cada labor por árbol y se realizó un comparativo entre tres fincas seleccionadas en el municipio. Estas investigaciones arrojaron que el costo de establecimiento para el primer año tiene un costo promedio de \$43.365.946 por hectárea y \$82.342 por árbol. Se determinó que el 44,4 % de los costos corresponde a mano de obra propia, el 5,1 % a mano de obra tercerizada, el 11,1 % a materiales e insumos, y el 39,4 % se destinó a costos indirectos de producción.

El Capex, conocido como Capital Expenditures, corresponde a los gastos de capital o inversiones de capital que realiza una finca para la producción o mantenimiento de bienes físicos con el objetivo de invertir en su crecimiento. Este tiene un costo por hectárea de \$22.868.995, distribuido durante los primeros cuatro años en porcentajes de 9,1 %, 19,9 %, 46,6 % y 24,5 %, respectivamente.

Finalmente, lograron establecer que, al distribuir los valores invertidos por actividad o labor, se tiene una distribución promedio de 48,3 % en el establecimiento del cultivo, que incluye toda la preparación, 25,5 % en el mantenimiento del cultivo establecido, 7,1 % en infraestructura, 9 % en nutrición, 3 % en Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), 2,7 % en costos administrativos y 3,8 % en gestión ambiental. Para finalizar, las labores culturales representan el 0,6 %, valor que incluye la construcción de canales y el herbicida, entre otros elementos.

Referencias

- Acosta-Rangel, A. M., Li, R., Celis, N., Suarez, D. L., Santiago, L. S., Arpaia, M. L., & Mauk, P. A. (2019). The physiological response of 'Hass' avocado to salinity as influenced by rootstock. *Scientia Horticulturae*, 256, 108629. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108629>
- Amaguaya Colcha, H. M. (2019). *Evaluación de tres tipos de injertos en cuatro variedades de aguacate (Persea americana) para la producción de plantas en vivero, cantón Guano, provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Anguiano, C. J., Alcántar, J. J., Toledo, B. R., Tapia, L. M., & Vidales-Fernández, J. A. (2007). *Caracterización edafoclimática del área productora de aguacate de Michoacán, México* [Ponencia]. Proceedings VI World Avocado Congress (International Avocado Society). Viña del Mar, Chile. <https://www.avocadosource.com/wac6/es/Extenso/3c-112.pdf>
- Aranzazu Pérez, J. M. (2019). *Determinación del momento ideal de siembra de semillas de aguacate nativo (persea americana L)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30149/4423853.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ashworth, E. T., Cheng, H., & Cleg, M. T. (2011). Persea. En C. Kole (Ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 173-189). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20447-0_8
- Ávila-Quezada, G., Téliz, D., Mora Aguilera, G., Vaquera, H., & Chávez, L. (2003). Spatial and Temporal Dynamic of Scab (*Sphaceloma perseae* Jenk.) on Avocado (*Persea americana* Mill). *Revista Sociedad Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 152-160.

- Avilán, L., Leal, F., & Bautista, D. (1992). Lauraceae. En L. Avilán (Ed.), *Manual de fruticultura, cultivo y producción*, Tomo I. (pp. 666-765). Editorial América.
- Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2007). Fenología de cultivares e híbridos de aguacate de la raza mexicana en la región centro-norte costera de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 57(2), 89-98.
- Baíza Avelar, V. H. (2003). *Guía técnica del cultivo del aguacate*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (INCA); Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Bárceñas, A. E., Martínez, N. A., Aguirre, P. S. & Castro, C. P. (2002). Fenología del aguacate (*Persea americana* Mill.) var. Hass en cuatro diferentes altitudes del municipio de Uruapan, Michoacán. *Revista Divulga*, (5), 23-30.
- Bartoli, J. A. A. (2008). *Manual técnico del cultivo del aguacate Hass (Persea americana L.)*. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).
- Bedoya-Ramírez, S. I., Saavedra-Porras, S., Loaiza-Ruíz, R. A., Barrera-Sánchez, C. F., & Córdoba-Gaona, O. de J. (2023). Physiological and morphological characterization of avocado creole (*Persea americana* Mill.) accessions for elite rootstocks. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(2), e15830-e15830. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.15830>
- Benacchio Scotton, S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el trópico americano*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Fonaiap).
- Ben-Ya'acov, A., & Michelson, E. (1995). Avocado rootstocks. *Horticultural reviews*, 17, 381-429.
- Bernal Estrada, J. A. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55435>
- Bernal, J., & Díaz, C. (Comps.). (2008). *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Bernal Estrada, J. A., & Díaz Díez, C. A. (2020). Generalidades del cultivo. En J. A. Bernal Estrada, J. A., & C. A. Díaz Díez (Comps.). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 77-328). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Botha, T. (1991). Evaluasie van avocado-onderstamme – voorlopige verslag. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 14, 87-88.
- Bran, A. M. (2005). *Aspectos básicos de los estados inmaduros del complejo chisa (Coleoptera: Melolonthidae) asociados a cultivos de papa en tres municipios de Antioquia, Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia].
- Broadbent, P., & Baker, F. K. (1974). Behavior of *Phytophthora cinnamomi* in Soils Suppressive and Conducive to Root Rot. *Australian Journal of Agricultural Research*, 25(1), 121-137. <https://doi.org/10.1071/AR9740121>
- Buriticá, P. (1995). *Índice de los patógenos causantes de enfermedades de las plantas en Colombia con referencia a su hospedante* [Boletín técnico n.º 4]. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Cabezas, C., Hueso, J. J., & Cuevas, J. (2003). Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea americana* Mill.) [Ponencia]. V Congreso Mundial del Aguacate, Málaga, España. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337165633RESUMENES_V_CONGRESO_AGUACATE.pdf
- Calderón Alcaraz, E. (1983). *La poda de árboles frutales*. Limusa.
- Campos Rojas, E., Ayala Arreola, J., Agustín, J. A., & Espinola Barquera, M. de la C. (2012). *Propagación de aguacate*. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Sinarefi). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232194/Propagacion_de_aguacate.pdf
- Canacuán Nasamuez, D. E., & Carabalí, M. A. (2019). *Biología y caracterización del daño de Heilipus trifasciatus Fabricius (Coleoptera: Curculionidae) sobre aguacate criollo Persea americana Mill.* [Póster]. XLVI Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Medellín, Colombia.

- Cano-Gallego, L.E., Bedoya-Ramírez, S. I., Bernal-Estrada, J. A., Barrera-Sánchez, C. F., & Córdoba-Gaona, O. de J. (2023). Yield and fruit quality of avocado grown at different planting densities in Colombia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 58, e03146. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2023.v58.03146>
- Cano-Gallego, L. E. (2023). *Efecto de la compatibilidad patrón / copa sobre la fisiología productiva de árboles de aguacate cv. Hass en tres ambientes en Colombia* [Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/85672/Tesis%20Lucas%20Cano%20Gallego.pdf?sequence=4>
- Cano-Gallego, L. E., Bernal-Estrada, J. A., Hernández-Arredondo, J. D., Correa-Londoño, G. A., & Córdoba-Gaona, O. de J. (2023a). Photosynthetic activity in avocado leaf ontogeny as a result of compatibility rootstock/scion in three locations in Colombia. *Revista Ceres*, 70(6), e70601. <https://doi.org/10.1590/0034-737x2024710003>
- Cano-Gallego, L. E., Bernal-Estrada, J. A., Hernández-Arredondo, J. D. H., Correa-Londoño, G. A., & Córdoba-Gaona, O. de J. (2023b). Graft compatibility effects on cv. Hass avocado fruit growth. *Ciência e Agrotecnologia*, (47). <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347014022>
- Cañas-Gutiérrez, G. P., Galindo-López, L. F., Arango-Isaza, R., & Saldamando-Benjumea, C. I. (2015). Diversidad genética de cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Antioquia, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 129-143. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16936>
- Cañas-Gutiérrez, G. P., Sepúlveda-Ortega, S., López-Hernández, F., Navas-Arboleda, A. A., & Cortés, A. J. (2022). Inheritance of yield components and morphological traits in avocado cv. Hass From “Criollo” “Elite Trees” via half-sib seedling rootstocks. *Frontiers in Plant Science*, 13, 843099. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.843099>
- Carabalí M., A. (2011). *Generación de tecnología para el manejo sostenible de insectos perforadores de frutos de aguacate en Colombia* [Informe Técnico]. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Corporación Colombiana de Investigación Agropecuario (Corpoica).
- Carabalí Muñoz, A. (2014). Barrenador grande de la semilla de aguacate. En *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 229-234). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Carabalí Muñoz, A. (2020). Polilla de la semilla de aguacate. En J. A. Bernal Estrada, & C. A. Díaz Díez (Comps.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.^a ed.) (pp. 496-504). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Carabalí Muñoz, A., Caicedo Vallejo, A. M., & Holguín, C. M. (2021). *Guía para el reconocimiento y manejo de las principales plagas de aguacate cv. Hass en Colombia*. Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA); Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404913>
- Carabalí Muñoz, A., Pinchao Tenganan, S. Y., Lamprea Rodríguez, I. M., Peña Mojica, J. F., & Carabalí Banguero, D. J. (2016). *Insectos polinizadores del aguacate (Persea americana Mill.) cv. Hass en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402360>
- Carvalho, J. C. (1988). Mirídeos Neotropicais, LXXXVIII: dois novos gêneros do complexo Neella Reuter - Neoneella Costa Lima (Hemiptera, Heteroptera). *Arquivos do Museu Nacional*, 50, 47-59.
- Castaño Zapata, J., & Leal, J. M. (2018). Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate (*Persea americana* Miller), causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Temas Agrarios*, 23(2), 131-143. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1297>
- Castillo-Argaez, R., Vazquez, A., Konkol, J. L., Vargas, A. I., Ploetz, R. C., Etxeberria, E., & Schaffer, B. (2021). Sap flow, xylem anatomy and photosynthetic variables of three *Persea* species in response to laurel wilt. *Tree Physiology*, 41(6), 1004-1018. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa137>
- Castro, M., & Fassio, C. (2015). Innovación, desarrollo y transferencia de tecnología de plantines clonales de palto em Chile. En *VIII Congreso Mundial de la Palta 2015* (pp. 34-36). Asociación de Productores de Palta Hass del Perú (ProHass).
- Chanderbali, A. S., Soltis, D. E., Soltis, P. S., & Wolstenholme, B. N. (2015). Taxonomía y botánica. En A. W. Whinley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 49-72). Ediciones Universitarias de Valparaíso.

- Chaves Souza, J. A., Carvalho Prates, G., Turquete Ferreira, J., Monteiro de Castro, G. D., & Chamhum Salomão, L. C. (2020). Avocado: Is it possible to produce two seedlings with one seed? *Revista Ceres*, 67(2), 152-155. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067020009>
- Cohen, H., Bar-Noy, Y., Irihimovitch, V., & Rubinovich, L. (2023). Effects of seedling and clonal West Indian rootstocks irrigated with recycled water on 'Hass' avocado yield, fruit weight and alternate bearing. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 51(1), 39-51. <https://doi.org/10.1080/01140671.2022.2098779>
- Cobo Núñez, G. M. (2017). Identificación y caracterización de especies de *Colletotrichum spp.*, causantes de antracnosis en frutos de aguacate *Persea americana* var. Hass [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Codex Alimentarius. (2013). *Norma para el aguacate. Normas Internacionales de los Alimentos*. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/Codex_Alimentarius/normativa/codex/stan/197-1995.PDF
- Colorado Restrepo, N. A., & Ángel Batista, A. (2023). *Costos de establecimiento del cultivo de aguacate (Persea americana Mill) Hass en el municipio de Sonsón, a nivel empresarial* [Tesis de especialización, Unilasallista Corporación Universitaria]. http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/3458/1/15526389_10775752.pdf
- Córdoba-Gaona, O. J., Hernández-Arredondo, J. D., Loaiza-Ruiz, R. A., Barrera-Sánchez, C. F., & Cano-Gallego, L. E. (2024). Rootstock/scion compatibility effects on yield components in avocado cv. Hass in three locations in Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 18(1), e17074. <https://doi.org/10.17584/rcch.2024v18i1.17074>
- Darvas, J. M., Toerien, J. C., & Milne, D. L. (1984). Control of avocado root rot by trunk injection with Phosethyl-Al. *Plant Disease*, 68, 691-693. <https://doi.org/10.1094/PD-69-691>
- Davenport, T. L. (1986). Avocado flowering. En J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (pp. 257-289). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118060810.ch7>
- De Moraes Oliveira, I. V., Costa, R. S., Môro, F. V., Martins, A. B. G., & Da Silva, R. R. S. (2010). Caracterização morfológica do fruto, da semente e desenvolvimento pós-seminal do abacateiro. *Comunicata Scientiae*, 1(1), 69-69.

- De Souza, É. S. do. C., Martins do Vale, H. M., Pereira Carvalho, R. de C., De Oliveira Soares, R., Gerard Miller, R. N., & Dianese, J. C. (2017). Infection by *Uromyces euphorbiae*: a trigger for the sporulation of endophytic *Colletotrichum truncatum* on the common host *Euphorbia hirta*. *Mycological Progress*, 16, 941-946. <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1338-5>
- Díaz Díez, C., Bernal Estrada, J., & Tamayo Vélez, A. (2020). Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano. En J. A. Bernal Estrada, & C. Díaz Díez (Comps.) (2.º ed.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 331-377). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Díaz Díez, C. A., & Bernal Estrada, J. A. (2017). *Desarrollo tecnológico productivo y comercial del aguacate en el departamento de Antioquia* [Informe final]. Gobernación de Antioquia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Douhan, G. W., Fuller, E., McKee, B. & Pond E. (2011). Genetic diversity analysis of avocado (*Persea americana* Miller) rootstocks selected under greenhouse conditions for tolerance to phytophthora root rot caused by *Phytophthora cinnamomi*. *Euphytica*, 182, 209-217. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0433-y>
- Dowling, M., Peres, N., Villani, S., & Schnabel, G. (2020). Managing *Colletotrichum* on fruit crops: A “complex” challenge. *Plant Disease*, 104(9), 2301-2316. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2378-FE>
- Dreher, M. L., Cheng, F. W., & Ford, N. A. (2021). Observational studies, and biological mechanisms. *Nutrients*, 13(12), 4376. <https://doi.org/10.3390/nu13124376>
- Ernst, A. A. (1999). Micro cloning: a multiple cloning technique for avocados using micro containers. *Revista Chapingo* (Serie Horticultura), 5, 217-220.
- Ernst, A. A., Whiley, A. W., & Bender, G. S. (2013). Propagation. En B. A. Schaffer, B. N., Wolstenholme, & A. W. Whiley (Eds.), *The avocado: botany, production and uses* (2.º ed.) (pp. 234-267). CABI Digital Library.
- Eskalen, A., Faber, B., & Bianchi, M. (2013). Spore trapping and pathogenicity of fungi in the Botryosphaeriaceae and Diaporthaceae associated with avocado branch canker in California. *Plant Disease*, 97(3), 329-332. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0260-RE>

- Escobar, J. V., Cortés, M., Correa, G., Rondón, T., & Rodríguez, P. (2021). 'Hass' Avocado Internal Disorders under Simulated Export Conditions and Its Relationship with Flesh Mineral Content and Preharvest Variables. *Horticulturae*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040077>
- Estay, C., Cautín, R., Neaman, A., & Castro, M. (2016). Clonal propagation of the avocado: effects of the rooting step on graft union formation and development. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 43(2), 233-241. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000200006>
- Faber, B. A., Wilen, C. A., Eskalen, A., Morse, J. G., Hanson, B. R., & Hoddle, M. S. (2023). *Pest Management Guidelines: Avocado*. <https://acortar.link/OieuEP>
- Fan, X. L., Barreto, R. W., Groenewald, J. Z., Bezerra, J. D. P., Pereira, O. L., Cheewangkoon, R., Mostert, L., Tian, C. M., & Crous, P. W. (2017). Phylogeny and taxonomy of the scab and spot anthracnose fungus *Elsinoë* (Myriangiales, Dothideomycetes). *Studies in Mycology*, 87(1), 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2017.02.001>
- Fernández Pons, X. (2013). Las normas alimentarias internacionales y su relación con el acuerdo sobre medidas sanitarias y fitosanitarias de la OMC. En X. Pons Rafols (Ed.), *Alimentación y derecho internacional* (pp. 322-355). Editorial Marcel Pons. <https://doi.org/10.2307/j.ctv10rrbmp>
- Freire Alberti, M., Do Amaral Brogio, B., Rodrigues da Silva, S., Cantuarias-Avilés, T., & Fassio, C. (2018). Avances en la propagación del aguacate. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(6), e-782. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018782>
- Fuentes-Aragón, D., Silva Rojas, H. V., Guarnaccia, V., Mora-Aguilera, J. A., Aranda-Ocampo, S., Bautista-Martínez, N., & Téliz-Ortíz D. (2020). *Colletotrichum* species causing anthracnose on avocado fruit in Mexico: Current status. *Plant Pathology*, 69(8), 1513-1528. <https://doi.org/10.1111/ppa.13234>
- Gaillard, J. P., & Godefroy, J. (1995). *Avocado*. Macmillan.
- Galán Saucó, V. (1990). Aguacate. En *Los frutales tropicales en los subtrópicos* (pp. 25-58). Mundi-Prensa.

- Gandolfo Wiederhold, S. P. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3441/tesisUPV2868.pdf?sequence=1>
- Gardiazábal, F. (1990). *Requerimientos de clima, suelo y agua para la implantación de paltos*. https://www.avocadosource.com/Journals/CIVDMCHILE_1990/CIVDMCHILE_1990_PG_03.pdf
- Garibaldi, A., Bertetti, D., Amatulli, M. T., Cardinale, J., & Gullino, M. L. (2012). First Report of Postharvest Fruit Rot in Avocado (*Persea americana*) Caused by *Lasiodiplodia theobromae* in Italy. *Plant Disease*, 96(3), 204-329. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-11-0886>
- Garrido-Ramírez, E., Noriega-Cantu, 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. (2018). Áreas potenciales para el cultivo de Aguacate (*Persea americana* L.) cultivas "Hass" en el Estado de Guerrero, México. *Agro Productividad*, 6(5), 52-57.
- Gazit, S. (1977). Pollination and Fruit Set of Avocado. En J. W. Sauls, R. L. Phillips, & L. K. Jackson (Eds.), *Proceedings of the First International Tropical Fruit Short Course: The Avocado* (pp. 88-92). University of Florida.
- Goldschmidt, E. E., & Sadka, A. (2021). Yield alternation: horticulture, physiology, molecular biology, and evolution. *Horticultural Reviews*, 48, 363-418. <https://doi.org/10.1002/9781119750802.ch8>
- Gregoriou, C., & Rajkumar, D. (1984). Effect of Irrigation and Mulching on Shoot and Root Growth of Avocado (*Persea americana* Mill.) and Mango (*Mangifera Indica* L.). *Journal of Horticultural Science*, 59(1), 109-117. <https://doi.org/10.1080/00221589.1984.11515176>
- Griswold, H. (1945). The Hass avocado. *California Avocado Society 1945 Yearbook*, (30), 27-31
- Guevara-Suárez, M., Cárdenas, M., Jiménez, P., Afanador-Kafuri, L., & Restrepo, S. (2022). *Colletotrichum* species complexes associated with crops in Northern South America: a review. *Agronomy*, 12(3), 548.

- Haberman, A., Tsrer, L. L., Lazare, S., Hazanovsky, M., Lebiush, S., Zipori, I., Busatn, A., Simenski, E., & Dag, A. (2020). Management of *Verticillium Wilt* of Avocado Using Tolerant Rootstocks. *Plants*, 9(4) 531. <https://doi.org/10.3390/plants9040531>
- Habibi, F., Liu, T. Foltá, K., & Sarkhosh, A. (2022). Physiological, biochemical, and molecular aspects of grafting in fruit trees. *Horticulture Research*, 9, uhac032. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac032>
- Hass, R. G. (1935). *United states Patent Office. Plant Pat.* 139. https://www.avocadosource.com/links/hasspatent_1935.pdf
- Holguín, C. M., & Neita, J. C. (2019). Variación temporal y espacial de escarabajos (Coleoptera: Melolonthidae) asociados al cultivo de aguacate en Antioquia, Colombia. En *World Avocado Congress* (pp. 23-27).
- Holguín, C. M., & Mira, R. H. (2021). Report of *Astaena pygidialis* Kirsch (Coleoptera: Scarabaeidae), the main chafer beetle causing damage to avocado fruit and young leaves in Antioquia, Colombia. *Florida Entomologist*, 104(1), 36-41. <https://doi.org/10.1653/024.104.0106>
- Hopkirk, G., White, A., Beever, D. J., & Forbes, S. K. (1994). Influence of postharvest temperatures and the rate of fruit ripening on internal postharvest rots and disorders of New Zealand 'Hass' avocado fruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 22(3), 305-311. <https://doi.org/10.1080/01140671.1994.9513839>
- Hoyos, L. F., & Giraldo, J. (1984). *Reconocimiento de los insectos barrenadores del fruto en el aguacate (Persea americana Mill.) y evaluación económica de su daño, en tres huertos de los departamentos de Caldas y Risaralda* [Tesis de pregrado, Universidad de Caldas].
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). *Resolución 3168. "Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones"*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocumentas?p?id=30033935#:~:text=Reglamentar%20y%20controlar%20la%20producci%C3%B3n,unidades%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20fitomejoramiento>

- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019). *Resolución 12816 de 2019. "Por medio de la cual se establece: "los requisitos para el registro ante el ICA de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos, así como los requisitos fitosanitarios para la conservación, producción, certificación y distribución de material de propagación de cítricos en viveros, en el territorio nacional.* <https://www.ica.gov.co/getattachment/2dbc5167-bfa8-4d9f-a1ab-916442d24df9/2019R12816.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). *Resolución 06751. "Por medio de la cual se establece los requisitos para la inscripción de los cultivares en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales y se dictan otras disposiciones."* <https://www.ica.gov.co/getattachment/6b7dbbd1-ff9b-4eea-a936-fe57f421ea98/2020R67516.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). *Resolución 0780006. "Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de viveros y/o huertos básicos dedicados a la producción y comercialización de material vegetal de propagación para la siembra en el país".* <https://www.ica.gov.co/getattachment/56d15d28-b186-498e-bc07-7a6fcf65fb2c/2020R78006.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2023). *Planes de trabajo para exportación de vegetales en fresco.* <https://www.ica.gov.co/importacion-y-exportacion/planes-trabajo-exportacion-vegetales>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (Persea americana Mill). Medidas para la temporada invernal.*
- Inderbitzin, P., & Subbarao, K. V. (2014). *Verticillium* systematics and evolution: how confusion impedes *Verticillium* wilt management and how to resolve it. *Phytopathology*, 104(6), 564-574. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-13-0315-IA>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (s. f.). *Tiempo y clima.* <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>
- Jaramillo-Robledo, A. (2018). *El clima de la caficultura en Colombia.* Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://doi.org/10.38141/cenbook-0031>

- Jaramillo-Robledo, A., & Chaves-Córdoba, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 51(2), 102-113. [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051\(02\)102-113.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(02)102-113.pdf)
- Körner, C., & Paulsen, J. (2024). Physiological minimum temperatures for root growth in seven common european broad-leaved tree species. *Tree Physiology*, 132(3), 455-470. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad127>
- Kramer, S., Achuricht, R., & Friedrich, G. (1982). *Fruticultura*. Editorial Continental.
- Lahav, E., & Whiley, A.W. (2007). Riego y nutrición mineral. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 241-274). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Lahav, E., & Lavi, U. (2009). Genetic and breeding. En B. A. Schaffer, B. N., Wolstenholme, & A. W. Whiley (Eds.), *The Avocado: botany, production and uses*. (2.º ed.) (pp. 51-85). Digital Library.
- Liang, Y.-P., Wu, C.-J., Tsai, H.-W., & Ni, H.-F (2021). Avocado branch canker disease caused by *Lasiodiplodia theobromae* and *Lasiodiplodia pseudotheobromae* in Taiwan. *Journal of Taiwan Agricultural Research*, 70(2), 81-97.
- Liu, F., Bonthond, G., Groenewald, J. Z., Cai, L., & Crous, P. W. (2019). Sporocadaceae, a family of coelomycetous fungi with appendage-bearing conidia. *Studies in Mycology*, 92(1), 287-415. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.11.001>
- Londoño Zuluaga, M. E. (2020). Insectos y ácaros. Cucarrones marceños. En J. A. Bernal Estrada, & C. A. Díaz Díez (Comps.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.ª ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Londoño Zuluaga, M. E., & Vargas M., H. H. (2010). *Monalonion velezungeli* Carvalho y Costa (Hemiptera: Miridae). ¿Por qué es una plaga de importancia en cultivos de aguacate? En C. A. Hincapié Llanos, J. A. Bernal Estrada, & M. Londoño Bonilla (Eds.), *VII Seminario Internacional de Frutas Tropicales: agroindustria e innovación* (p. 74). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Universidad Pontificia Bolivariana; Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13733>

- Londoño, M. E., Kondo, T., Carabalí Muñoz, A., Varón, E., & Caicedo, A. M. (2014). Insectos y ácaros. *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo del aguacate* (pp. 228-256). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Lovatt, C. J. (1990). Factors Affecting Fruit Set/Early Fruit Drop in Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 71, 193-199.
- Lynce-Duque, D. (2011). *Poda del aguacate en Colombia* [Ponencia]. VII Congreso Mundial de Aguacate. Cairns, Australia. <http://www.congresomundialdelaguacate2011.com/>
- Maradiaga, R. (2017). *Manual técnico para el manejo de viveros certificados de aguacate*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); Unión Europea.
- Marroquín-Pimentel, F. J. (1999). Factores que favorecen la incidencia de roña (*Sphaceloma perseae* Jenk.) En el cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass', en tres regiones agroclimáticas de Michoacán. México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 309-312.
- Mejía, L. M. (2022). *Determinación de los requerimientos nutricionales para el fruto de aguacate (Persea americana) cv. Hass en el clima tropical altoandino de Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Mejía-Jaramillo, L., Barrera-Sánchez, C., & Córdoba-Gaona, O. (2022). Effect of the seed weight on the growth of young avocado rootstock seedlings. *Bioagro*, 34(2), 183-194. <https://doi.org/10.51372/bioagro342.8>
- Mellado-Vázquez, A., Salazar-García, S., Álvarez-Bravo, A., Ibarra-Estrada, M. E., & González-Valdivia, J. (2015). Remoción de nutrimentos por el fruto de aguacate "Méndez" en el sur de Jalisco, México. En *VIII Congreso Mundial de la Palta* (pp. 376-379). Asociación de Productores de Palta Hass del Perú (ProHass).
- Menge, J. A., & Marais, L. J. (2000). *Strategies to control Phytophthora cinnamomi root rot of avocado*. Department of Plant Pathology, University of California.
- Nath, O., Fletcher, S. J., Hayward, A., Shaw, L. M., Masouleh, A. K., Furtado, A., Henry, R. J., & Mitter, N. (2022). A haplotype resolved chromosomal level avocado genome allows analysis of novel avocado genes. *Horticulture Research*, 9. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac157>

- Newett, S., Crane, J. H., & Balerdi, C. F. (2007). Cultivares y portainjertos. En A. W. Whiley, B. Schaffer, B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 155-175). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Nieves Gómez, A. N. (2018). *Identificación de los efectos de algunos acolchados en suelos agrícolas en condiciones del trópico* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21122>
- Oliver, R. (2005). *Agrio's plant pathology* (5.º Ed.). Elsevier.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (1997). *Zonificación agro-ecológica*. Guía general. <http://www.fao.org/docrep/W2962S/W2962S00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (1999). *Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2017). *Faostat datos sobre alimentación y agricultura*. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Orjuela, O. (2011). *Evaluación del impacto de los insectos perforadores del fruto del aguacate (Persea americana MILLER) cv. Hass en el eje cafetero* [Tesis de pregrado, Universidad del Quindío]. <https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/6773>
- Osorio, N. W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico*. L. Vieco S. A. S.
- Palacio Villa, M. M. (2010). *Determinación de las especies de Astaena (Coleoptera: Melolonthidae) asociadas a cultivos en dos altiplanos colombianos* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70360/39356203.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). The Tropics, its Soils and Horticulture. *Tropical Fruits*, 1, 400. <https://doi.org/10.1079/9781845936723.0011>
- Pegg, K. G., & Whiley, A. W. (1987). *Phytophthora* Control in Australia. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 10, 94-96.
- Prusky, D., & Keen, N. T. (1993). Involvement of preformed antifungal compounds in the resistance of subtropical fruits to fungal decay. *Plant Disease*, 77(2), 114-119. <https://doi.org/10.1094/PD-77-0114>

- Qiu, F., Tan, X. H., Xie, C. P., Xu, G., Li, X., Zheng, F. Q., & Wang, W. L. (2020). First Report of *Lasiodiplodia theobromae* Causing Branch Blight on Avocado in China. *APS Publications*, 104(10), 2728-2728. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-20-0451-PDN>
- Ramírez Gil, J. G. (2013). *Incidencia, diagnóstico, comportamiento y alternativas de manejo de la marchitez del aguacate con énfasis en Phytophthora cinnamomi* Rands [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11847/70979262.2013.pdf?sequence=1>
- Ramírez-Gil, J. G., & Peterson, A. T. (2019). Current and potential distributions of the most important diseases affecting Hass avocado in Antioquia Colombia. *Journal of Plant Protection Research*, 59(2), 214-228. https://journals.pan.pl/Content/112835/PDF/AO8_JPPR_59_2_265_Ramirez-Gil.pdf
- Rendón-Anaya, M., Ibarra-Laclette, E., & Méndez-Bravo, A. (2019). The avocado genome informs deep angiosperm phylogeny, highlights introgressive hybridization, and reveals pathogen-influenced gene space adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(34), 17081-17089. <https://doi.org/10.1073/pnas.1822129116>
- Rincón-Hernández, C. A., Sánchez Pérez, J. de la L., & Espinosa-García, F. J. (2011). Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) en los bancos de germoplasma de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(2), 395-412. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.2.474>
- Rodríguez, P., Soto, I., Villamizar, J., & Rebolledo, A. (2023). Fatty Acids and Minerals as Markers Useful to Classify Hass Avocado Quality: Ripening Patterns, Internal Disorders, and Sensory Quality. *Horticulturae*, 9(4), 460. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040460>
- Rodríguez, P., & Villamizar, J. (2023). *Protocolo para el seguimiento y muestreo de frutos de aguacate (Persea americana Mill. Cv. Hass) para conseguir fruta de calidad en el departamento del Cauca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

- Romero Sánchez, M. A. (2012). *Comportamiento fisiológico del aguacate (Persea americana Mill.). Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9437/790700.2012.pdf?sequence=1>
- Romero, J. A., & Villeda, M. (2020). *Manual técnico del cultivo de aguacate en Honduras (Persea americana Mill.)*. Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario (Pronagro). <https://dicta.gob.hn/files/2020-Manual-Tecnico-del-Cultivo-de-Aguacate-en-Honduras.pdf>
- Rondón Salas, T. M., Builes Gaitán, S., Casamitjana Causa, M., Duque Ríos, M., Rodríguez-León, A. K., Vega Marín, C., Ruiz, D., & Rodríguez Yzquierdo, G. A. (2020). Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia. En J. A. Bernal Estrada, & C. A. Díaz Díez (Comps.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.^a ed.) (pp. 715-756). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Salazar-García, F., Garner, L. C., & Lovatt, C. C. (2015). Biología reproductiva. En A. W. Whiley, B. Schaffer, y B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 151-206). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Salazar-García, S. (2000). Fisiología reproductiva del aguacate. En D. Telíz (Ed.), *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 57-83). Mundi-Prensa.
- Salazar-García, S., & Lazcano-Ferrat, I. (2001). Identifying fruit mineral removal differences in four avocado cultivars. *Better Crops International*, 15(1), 28-31.
- Salazar-García, S., & Lovatt, C. J. (1999). Winter Trunk Injections of Gibberellic Acid Altered the Fate of 'Hass' Avocado Buds: Effect on Inflorescence Type, Number and Rate of Development. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(1), 69-73. <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511074>
- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L., & González-Durán, I. (2008). Corrección de la deficiencia crónica de zinc en aguacate 'Hass'. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 14(2), 153-159. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2007.05.028>

- Salazar-García, S., Zamora, C. L., & Vega, L. R. J. (2005). Actualización sobre la industria del aguacate en Michoacán, *California Avocado Society*, 87, 45-54.
- Sánchez, P. A. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Schaffer, B., Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (2013). Introduction. En B. A. Schaffer, A. W. Whiley, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *The avocado botany, production and uses* (pp. 13-24). CABI Digital Library.
- Stassen, P. J. C., Snijder, B., & Donkin, D. J. (1999). Results with Spacing, Tree Training and Orchard Maintenance in Young Avocado Orchards. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 159-164.
- Storey, W. B., Bergh, B., & Zentmyer, G. A. (1986). The origin, indigenous range and dissemination of the avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 70, 127-133. https://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_70_1986/CAS_1986_PG_127-133.pdf
- Stout, A. B. (1923). A Study in Cross-pollination of Avocado in Southern California. *California Avocado Association Annual Report*, 7, 29-45.
- Stovold, G. E., & Dirou, J. F. (2004). *Avocado diseases*. https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0006/120012/avocado-diseases.pdf
- Stradley, L. (2004). *All about avocados. History of the Hass avocado*. <http://whatscookingamerica.net/avacado.htm>
- Tamayo, A. J. (2016). *Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de aguacate cv. Hass en función de la inoculación con un hongo saprofita en tres pisos térmicos* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia].
- Tamayo, Á., Bernal, J. A., & Díaz C. A. (2018). Composition and removal of nutrients by the harvested fruit of avocado cv. Hass in Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 71(2), 851-8516. <https://doi.org/10.15446/rfna.v71n2.71929>
- Tamayo Molano, P. J. (2020). Enfermedades y desórdenes abióticos. En J. A. Bernal Estrada, & C. A. Díaz Díez (Comps.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.º ed.) (pp. 601-649). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>

- Tamayo Vélez, Á., & Osorio Vega, N. W. (2020). Nutrición y fertilización. En J. A. Bernal Estrada, & C. A. Díaz Díez (Comps.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.º ed.) (pp. 411-461). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Tapia, V. L., Marroquín, P. F., Cortes, T. I., Anguiano, C. J., & Castellanos, R. J. (2007). Nutrición del aguacate. En D. Téliz, & A. Mora (Coords.), *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 87-105). Mundi-Prensa.
- Torres Jaimes, L. F., Correa Londoño, G. A., Cartagena Valenzuela, J. R., Monsalve García, D. A., & Londoño Zuluaga, M. E. (2012). Relación de *Monalonion velezungeli* Carvalho y Costa (Hemiptera: Miridae) con la fenología del aguacate (*Persea americana* Mill cv. Hass). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(2), 6659-6665. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n2/v65n2a10.pdf>
- Tuberosa, R., Salvi, S., Sanguineti, M. C., Landi, P., Maccaferri, M., & Conti, S. (2002). Mapping QTLs regulating morpho-physiological traits and yield: Case studies, shortcomings and perspectives in drought-stressed maize. *Annals of Botany*, 89(7), 941-963. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf134>
- Turland, N. J., Wiersema, J. H., Barrie, F. R., Greuter, W., Hawksworth, D. L., Herendeen, P. S., Knapp, S., Kusber, W.-H., Li, D.-Z., Marhold, K., May, T. W., McNeill, J., Monro, A. M., Prado, J., Price, M. J., & Smith, G. F. (2017). *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code)*. Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen. <https://doi.org/10.12705/Code.2018>
- Valencia, A. L., Gil, P. M., Latorre, B. A., & Rosales, M. (2019). Characterization and pathogenicity of *Botryosphaeriaceae* species obtained from avocado trees with branch and dieback and from avocado fruit with stem end rot in Chile. *Plant Disease*, 103(5), 996-1005. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1131-RE>
- Van der Meulen, B. (2019). Impact of the Codex Alimentarius: the influence of the joint FAO/WHO food standards programme on EU food law. *European Food and Feed Law Review*, (1), 29-50.
- Varón Devia, E. H. (2020). Trips, bichos candela. En J. A. Bernal Estrada, & C. A. Díaz Díez (Comps.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 257- 265). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>

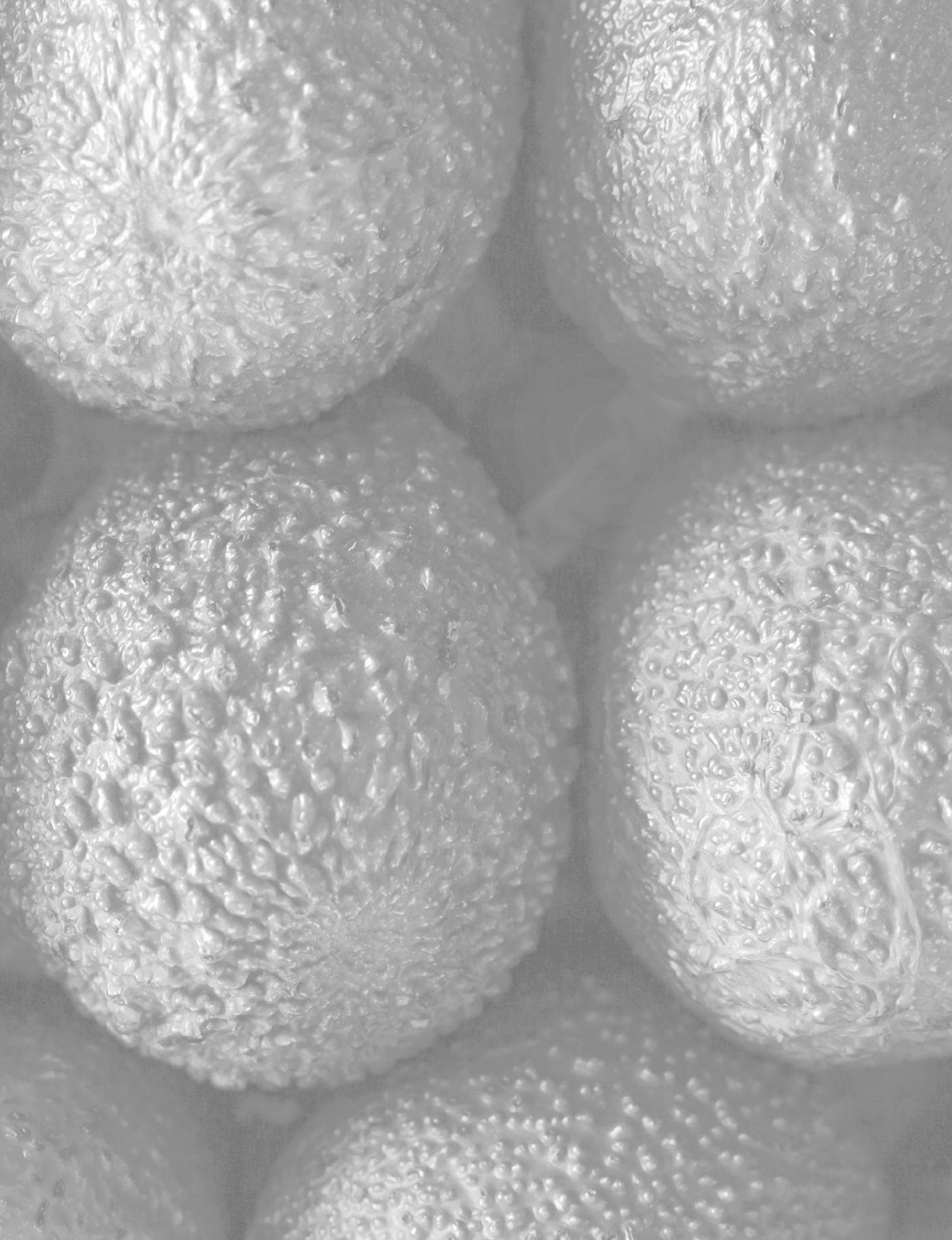
- Vásquez Sampayo, C. S. (2017). *Influencia de las fases lunares en el injerto de Amburana cearensis (Allemão) AC Smith (Ishpingo) en Pucallpa-Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3802/000003027T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velho da Silveira, S., Dutra de Souza, P. V., & Koller, O. C. (2004). Propagação vegetativa de abacateiro por estaquia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(1), 191-192. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000100052>
- Vidiella, A., West, P., & Vanderheijden, D. (2015). New clonal rootstocks are showing their value. En *Genetic resources and nursery management*. https://www.avocadosource.com/WAC8/Section_02/Section_02_Abstracts_English.pdf
- Warschefsky, E. J., Klein, L. L., Frank, M. H., Chitwood, D. H., Londo, J. P., Von Wettberg, E. J., & Miller, A. J. (2016). Rootstocks: diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends in Plant Science*, 21(5), 418-437. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.008>
- Whiley, A. W. (1990). CO₂ Assimilation of Developing Fruiting Shoots of Cv. Hass Avocado (*Persea americana* Mill). *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 13, 28-30.
- Whiley, A. W. (2007). Manejo del cultivo. En A. W. Whiley, B. Schaffer, B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 215-240). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Whiley, A. W., & Winston, E. C. (1987). Effect of temperatura at flowering on varietal productivity in some avocado-growing areas in ftustralia. *South african Avocado Growers' Association Yearbook*, 10, 45-47.
- Whiley, A. W., Saranah, J. B., Cull, B. W., & Pegg, K. G. (1988). Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Queensland Agricultural Journal*, 114(1), 29-36.
- White, P., & Weber, E. (2003). Lipids of the kernel. En J. P. White, L. A. Johnson (Eds.), *Corn Chemistry and Technology* (2.º ed.). (pp. 355-405). American Association of Cereal Chemists; CPL Press.
- Whitsell, R. H., Martin, G. A., & Bergh, B. O. (1989). *Propagating avocados. Principles and techniques of nursery and field grafting*. University of California.

- Wolstenholme, B. N. (2015). Ecología: clima y suelos. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.). *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 113-150). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Wolstenholme, B. N., Moore-Gordon, C., & Cowan, A. K. (1998). Mulching of Avocado Orchards: Quo Vadis? *South African Avocado Growers' Association*, (21), 26-28. https://www.avocadosource.com/Journals/SAAGA/SAAGA_1998/SAAGA_1998_PG_026-028.pdf
- Zamet, D. N. (1990). The effect of minimum temperature on avocado yields. *California Avocado Society Yearbook*, 74, 247-256. https://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_74_1990/cas_1990_pg_247-256.pdf
- Zentmyer, G. A. (1984). Avocado diseases. *Tropical Pest Management*, 30(4), 388-400. <https://doi.org/10.1080/09670878409370915>
- Zentmyer, G., Schieber, E., & Guillemet, F. (1988). History of the Martin Grande rootstock. *California Avocado Society* (72), 121-125.
- Zhang, Y., Zhou, J., Zhao, L., Feng, Z., Wei, F., Bai, H., Feng, H., & Zhu, H. (2022). A review of the pathogenicity mechanism of *Verticillium dahliae* in cotton. *Journal of Cotton Research*, 5(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s42397-021-00111-6>

Impresión y encuadernación.
DGP Impresores S.A.S.

Terminó de imprimirse en septiembre de 2024,
en Bogotá D.C., Colombia





El cultivo de aguacate Hass se ha desarrollado de forma exponencial en varias regiones de Colombia, lo que ha contribuido al incremento de los ingresos de pequeños productores y al aumento considerable del PIB del país. La presente publicación, denominada *Modelo productivo para el cultivo del aguacate Hass en Antioquia*, constituye un producto de la concertación regional entre productores, asistentes técnicos o extensionistas agropecuarios, comercializadores e investigadores, que integra los resultados de investigación nacional e internacional, con las “prácticas tradicionales sobresalientes” identificadas en las diferentes subregiones productivas. Tiene como objetivo principal unificar criterios y estrategias de manejo sostenible del cultivo, con criterios de calidad y sostenibilidad económica y ambiental, que garantice bienestar social en los territorios. Esta publicación se materializa gracias al apoyo financiero de la Gobernación de Antioquia, a través de su Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y al esfuerzo colaborativo de varios actores relacionados con la cadena productiva del aguacate Hass destinado al mercado internacional, bajo la moderación y liderazgo del Centro de Investigación La Selva de

AGROSAVIA.

Línea de atención al cliente: **01800 012 1515**

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



Distribución gratuita
Prohibida su venta