Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate

Jorge Alonso Bernal Estrada
Cipriano Arturo Díaz Díez
COMPILADORES

2.ª Edición

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Transformación del Agro

Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate

2.ª Edición

Jorge Alonso Bernal Estrada
Cipriano Arturo Díaz Díez
COMPILADORES

Jorge Alonso Bernal Estrada
Silvana Builes Gaitán
Ana Milena Caicedo Vallejo
Arturo Carabalí Muñoz
María Casamitjana Causa
Óscar de Jesús Córdoba Gaona
Cipriano Arturo Díaz Díez
Marcela Duque Ríos
Freddy Forero Longas
Mauricio Londoño Bonilla
Martha Eugenia Londoño Zuluaga
Jairo García Lozano
Takumasa Kondo
Nelson Walter Osorio Vega
Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo
Adriana Katerine Rodríguez-León
Tatiana Mallanín Rondón Salas
Daniel Ruiz
Angélica Sandoval Aldana
Pablo Julián Tamayo Molano
Álvaro Tamayo Vélez
Édgar Herney Varón Devia
Luz Adriana Vásquez Gallo
Cristian Alexander Vega Marín

Mosquera, Colombia 2020

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Transformación del Agro

Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate / Jorge Alonso Bernal Estrada [y otros veintitrés]. – 2.da edición. -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

774 páginas (Colección Transformación del Agro)
Incluye referencias bibliográficas, tablas, ilustraciones y fotos
ISBN obra impresa: 978-958-740-383-1
ISBN obra digital: 978-958-740-384-8

1. Aguacate 2. *Persea americana* 3. Frutales 4. Nutrición de las plantas 5. Fitomejoramiento 6. Propagación de plantas 7. Costos de producción 8. Agroindustria

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.

Colección: Transformación del Agro

Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate
2.ª edición: 1.000 ejemplares
Impreso en Bogotá, Colombia, octubre de 2020
Printed in Bogotá
1.º edición: 2014

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Edición: Jorge Enrique Beltrán y Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Edwin Algarra, Luisa Fernanda Espina, Luz Ángela Uzcátegui y Jorge Enrique Beltrán
Ilustración de cubierta y otras ilustraciones: Juan Felipe Martínez Tirado
Diseño y diagramación: Oficina Asesora de Comunicaciones, Identidad y Relaciones Corporativas, AGROSAVIA
Impreso por DGP Editores

Citación sugerida: Bernal, J. A., & Díaz, C. A. (Comps.). (2020). *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

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogidas 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.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
https://www.agrosavia.co

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

Contenido

Agradecimientos 51

Presentación de la segunda edición 55

Presentación de la primera edición 56

Los autores 59

Introducción 73

Capítulo I

Generalidades del cultivo 77

Jorge Alonso Bernal Estrada, Cipriano Arturo Díaz Díez

Origen 77

Dispersión y domesticación 78

Etimología 88

Taxonomía 88

Nombres dados al aguacate 90

Botánica 93

Morfología 93

Tipo de planta 93

Raíz 94

Tallo 96

Hojas 97

Inflorescencias 99

Flores 101

Floración del aguacate 104
Fruto 110
Semillas 113
Diversidad genética 114
Razas de aguacate 117
Raza mexicana 117
Raza guatemalteca 124
Híbridos de la raza mexicana × guatemalteca 154
Raza antillana 161
Híbridos de la raza guatemalteca × antillana 170
Mejoramiento genético 180
Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de California, Riverside (EE. UU.) 183
Programa de Mejoramiento Genético de la Fundación Salvador Sánchez Colín Cictamex, S.C. (México) 184
Programa de Mejoramiento Genético del Volcani Center (Israel) 184
Programa de Mejoramiento Genético del Institute Tropical and subtropical Crops (Sudáfrica) 184
Situación en Colombia 184
Condiciones biofísicas 185
Temperatura 186
Humedad relativa 186
Precipitación 186
Viento 193
Altitud 193
Latitud 195
Requerimientos edáficos 197
Otros factores ambientales 197

Propagación 198
Propagación sexual 199
Propagación asexual 208
Propagación por estacas 209
Propagación por injerto 210
Portainjertos en Colombia 218
Injertación 222
Selección, extracción y preparación de las yemas para injertar 223
Tipos de injerto 224
Manejo de los árboles injertados en el vivero 229
Injertación directa en campo 230
Injerto de renovación de copa 230
Injerto de corona o corteza 231
Injerto de chupones 232
Propagación *in vitro* 233
Propagación clonal de plantas etioladas 235
Injerto en planta nodriza 236
Establecimiento del cultivo 240
Selección del lote 240
Preparación del suelo 241
Labranza mínima 241
Diseño del huerto 242
Ahoyado 251
Trasplante al campo 252
Plateo 253
Uso de coberturas (*mulching* o acolchado) 253
Podas 255
Manipulación de los crecimientos vegetativos y reproductivos 260

Reguladores de crecimiento 266
Fisiología en el aguacate 267
Fotosíntesis 267
Fenología y desarrollo vegetativo del aguacate 269
Biología reproductiva del aguacate 270
Floración y fenología 270
Estados fenológicos en aguacate 275
Otras escalas fenológicas 282
Factores que afectan a la floración del aguacate 287
Inducción y diferenciación floral 287
Cuajado y caída de órganos reproductivos 288
Partenocarpia en aguacate 290
Duración del ciclo productivo 292
Llenado de frutos 292
Cosecha 293
Madurez 294
Acondicionamiento del aguacate para el mercado fresco 297
Rendimientos 298
Calendario de cosechas 300
Beneficio 303
Referencias 305

Capítulo II

Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano 331
Cipriano Arturo Díaz Díez, Jorge Alonso Bernal Estrada, Álvaro Tamayo Vélez
Introducción 331
Altura de los árboles 334
Diámetro de la copa 336

Flujos de crecimiento 338

Flujos reproductivos (floración) 345

Crecimiento de las raíces 347

Dinámica de la abscisión de hojas, flores y frutos en aguacate cv. Hass en Antioquia 352

Caída de hojas 353

Caída de flores 357

Caída de frutos 358

Remoción de nutrientes en aguacate 360

Características de los frutos 369

Referencias 371

Capítulo III

Buenas prácticas agrícolas (BPA) 379

Luz Adriana Vásquez Gallo

Generalidades 379

¿Por qué implementar las BPA? 381

Implementación de las BPA en el cultivo de aguacate 381

Puntos de control para la implementación de las BPA 382

Área e instalaciones 382

Equipos, utensilios y herramientas 392

Protección del personal 393

Componente ambiental 395

Material de propagación 398

Nutrición de las plantas 399

Protección del cultivo 399

Cosecha y poscosecha 401

Soporte documental 402

Planes y procedimientos 405
Trazabilidad o rastreabilidad 406
Referencias 407

Capítulo IV

Nutrición y fertilización 411
Álvaro Tamayo Vélez, Nelson Walter Osorio Vega

Características de los suelos 411
Clima frío 411
Clima medio 412
Clima cálido 413
Funciones de los macronutrientes 414
Nitrógeno (N) 415
Fósforo (P) 415
Potasio (K) 416
Calcio (Ca) 417
Magnesio (Mg) 417
Azufre (S) 418
Funciones de los micronutrientes 418
Hierro (Fe) 418
Manganeso (Mn) 419
Cobre (Cu) 419
Zinc (Zn) 420
Molibdeno (Mo) 420
Boro (B) 420
Cloro (Cl) 421
Síntomas de deficiencias de nutrientes en aguacate 423
Nitrógeno 425

Fósforo 425
Potasio 426
Calcio 427
Magnesio 428
Boro 428
Manganeso 429
Azufre 429
Hierro 430
Zinc 430
Cobre 430
Antagonismos y sinergismos 431
Toma de muestras de suelo y foliares 431
Exigencias nutricionales 437
Sugerencias generales de fertilización 438
Zona de aplicación del fertilizante 441
Encalamiento 442
Fertilización con fósforo 446
Hongos micorrizo-arbusculares 449
Microorganismos solubilizadores de fósforo 451
Fuentes orgánicas 455
Conclusiones 459
Referencias 461

Capítulo V

Plantas arvenses 469
Óscar de Jesús Córdoba Gaona

Introducción 469
Competencia 470

Manejo integrado 471
Método preventivo 476
Métodos físicos 477
Métodos culturales 479
Método manual o mecánico 479
Métodos químicos 481
Método biológico 483
Consideraciones finales 483
Referencias 484

Capítulo VI

Insectos y ácaros 487
Takumasa Kondo, Arturo Carabalí Muñoz, Ana Milena Caicedo Vallejo, Édgar Herney Varón Devia, Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Introducción 487
Consideraciones generales sobre el uso de insecticidas 488
Insectos del fruto 489
Barrenador grande de la semilla de aguacate 489
Polilla de la semilla de aguacate 496
Monalonion, chinche del aguacate, coclillo o chupanga 504
Cucarrones marceños 512
Mosca del ovario del aguacate 518
Insectos del tallo y ramas 520
Perforador del tallo y ramas del aguacate 520
Grajos o chinches 530
Insectos y ácaros del follaje 532
Trips, bichos candela 532
Escamas 545

Ácaros o arañitas 560
Agalla del follaje 564
Áfidos o pulgones 565
Mosca blanca de aguacate 567
Insecto pega-pega o insecto candela 571
Gusano canasta o tabaquito del aguacate 574
Vaquitas del follaje, picudos del follaje 576
Hormiga arriera, hormiga cortadora 579
Referencias 585

Capítulo VII

Enfermedades y desórdenes abióticos 601
Pablo Julián Tamayo Molano

Introducción 601
Pudrición de raíces y marchitez por *Phytophthora* sp. 603
Importancia y distribución 603
Síntomas 604
Manejo genético 608
Manejo cultural 608
Manejo químico 611
Pudrición negra de la raíz 613
Importancia y distribución 613
Síntomas 613
Estrategias de manejo 614
Marchitez por *Verticillium* sp. 614
Importancia y distribución 614
Síntomas 615
Manejo cultural 616
Manejo químico 617

Llaga radical de *Armillaria mellea* 618
Importancia y distribución 618
Síntomas 618
Manejo cultural 618
Manejo químico 619
Llaga radical de *Rosellinia* sp. 619
Importancia y distribución 619
Síntomas 619
Manejo cultural 620
Manejo químico 620
Roña 620
Importancia y distribución 620
Síntomas 621
Manejo cultural 622
Manejo químico 622
Mancha angular de la hoja y mancha negra o peca del fruto por *Pseudocercospora* sp. 623
Importancia y distribución 623
Síntomas 623
Manejo cultural 625
Manejo químico 625
Pudrición chocolate del fruto por *Rhizopus* 625
Importancia y distribución 625
Síntomas 626
Manejo cultural 627
Manejo químico 627
Pudrición del fruto por *Dothiorella* 628
Importancia y distribución 628

Síntomas 628
Manejo químico 628
Muerte descendente de ramas y brotes: antracnosis del fruto 629
Importancia y distribución 629
Síntomas 630
Manejo cultural 633
Manejo químico 633
Secamiento descendente, necrosis del injerto y pudrición del fruto por *Lasiodiplodia theobromae* 633
Importancia y distribución 633
Síntomas 634
Manejo cultural 635
Manejo químico 636
Pudrición de raíces y muerte de plántulas por *Calonectria* 636
Importancia y distribución 636
Síntomas 637
Manejo 637
Secamiento de ramas y mancha foliar por *Pestalotia* 637
Importancia y distribución 637
Síntomas 638
Manejo cultural 638
Cenicilla negra, moho negro y fumagina por *Capnodium* 639
Importancia y distribución 639
Síntomas 639
Manejo cultural 640
Manejo químico 640
Mancha de asfalto por *Phyllachora* 641
Importancia y distribución 641
Síntomas 641

Manejo 641
Mancha algácea por *Cephaleuros* 642
Importancia y distribución 642
Síntomas 642
Manejo químico 642
Otras enfermedades 643
Nematodos 643
Importancia y distribución 643
Síntomas 643
Manejo cultural 643
Manejo químico 643
Desórdenes abióticos 644

Capítulo VIII

Cosecha, manejo de poscosecha y agroindustria 651
Angélica Sandoval Aldana, Freddy Forero Longas, Jairo García Lozano, Mauricio Londoño Bonilla
Introducción 651
Generalidades 652
Cosecha 653
Acopio de la fruta en el campo 658
Índice de madurez 661
Determinación de materia seca 666
Manejo de poscosecha 668
Aspectos fisiológicos durante la poscosecha 669
Recepción e inspección 670
Selección 671
Clasificación 672
Lavado y desinfección 673

Tratamientos con fungicidas 675
Empaque 675
Almacenamiento 678
Transporte 681
Exhibición en el punto de venta 681
El concepto de calidad 682
Factores precosecha que influyen en la calidad de las frutas 684
Control de calidad del aguacate 685
Control de calidad del producto terminado 687
Agroindustria 688
Pulpa de aguacate 688
Guacamole 692
Operaciones de proceso 694
Aceite de aguacate 701
Referencias 711

Capítulo IX

Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia 715
Tatiana Mallanín Rondón Salas, Silvana Builes Gaitán, María Casamitjana Causa, Marcela Duque Ríos, Adriana Katerine Rodríguez-León, Cristian Alexander Vega Marín, Daniel Ruiz, Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo

Introducción 715
El aguacate cv. Hass en el mundo 718
El aguacate Hass de Colombia para el mundo 721
Desarrollo del sector aguacatero en Antioquia 723
Descripción de la tipología de sistemas productivos de aguacate cv. Hass en Antioquia 747
Zonas aptas y competitivas para el aguacate cv. Hass en Antioquia 751
Referencias 753

Capítulo X

Estructura de costos de producción 759
Jorge Alonso Bernal Estrada, Cipriano Arturo Díaz Díez

Conceptos básicos 759
Factores que afectan los costos agrícolas 760
Producción agrícola 760
Costos unitarios 761
Clasificación de los costos agrícolas 761
Costos directos 761
Costos indirectos 762
Costos financieros 762
Costos en proyectos de mediano y tardío rendimiento 762
Costos de preinversión 762
Costos de inversión 762
Costos de operación 763
Método para determinar los costos 763
Referencias 772

Lista de figuras

Capítulo I

Generalidades del cultivo

Figura 1.1.	Dispersión del aguacate desde su centro de origen después de la Conquista	80
Figura 1.2.	Área (ha) cosechada de aguacate en Colombia por departamento (2019)	86
Figura 1.3.	Diferentes formas de la copa del árbol de aguacate	94
Figura 1.4.	Detalle del sistema radical de la planta de aguacate	95
Figura 1.5.	Tallo de un árbol adulto de aguacate	96
Figura 1.6.	Formas de la hoja en aguacate	97
Figura 1.7.	Hojas de aguacate	98
Figura 1.8.	Forma y textura de hojas de aguacate de acuerdo con el cultivar	99
Figura 1.9.	Detalle de una inflorescencia multirramificada del aguacate	99
Figura 1.10.	Inflorescencia de aguacate con gran número de flores	100
Figura 1.11.	Esquema de la flor del aguacate en el que se observan las diferentes partes	102
Figura 1.12.	Morfología de la flor del aguacate	103
Figura 1.13.	Estados de la flor del aguacate	104
Figura 1.14.	Formas del fruto de aguacate	110
Figura 1.15.	Diversas formas, colores y textura de la corteza de frutos de aguacate	111
Figura 1.16.	Hábito de fructificación en aguacate	111

Figura 1.17. Detalle de las lenticelas en frutos de aguacate 112

Figura 1.18. Formas y superficie de la semilla de aguacate 113

Figura 1.19. Supuestos centros de origen de las razas ecológicas mexicana, guatemalteca y antillana 114

Figura 1.20. Cultivar de la raza mexicana Mexícola 119

Figura 1.21. Cultivar de la raza mexicana Puebla 120

Figura 1.22. Cultivar de la raza mexicana Duke 120

Figura 1.23. Cultivar de la raza mexicana Gottfried 121

Figura 1.24. Cultivar de la raza mexicana Zutano 122

Figura 1.25. Cultivar de la raza mexicana Bacon 123

Figura 1.26. Cultivar de la raza mexicana Topa-Topa 124

Figura 1.27. Cultivar de la raza guatemalteca Hass 128

Figura 1.28. Temperaturas registradas en tres años continuos de lectura (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia 132

Figura 1.29. Humedad relativa registrada en tres años de evaluación continua (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia 133

Figura 1.30. Precipitación registrada en tres años continuos de evaluación (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia 134

Figura 1.31. Brillo solar registrado en tres años de evaluación (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia 136

Figura 1.32. Peso del fruto, en dos años de evaluación, en árboles de aguacate cv. Hass establecidos en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012) 137

Figura 1.33. Peso promedio del fruto en árboles de aguacate cv. Hass, establecidos en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017) 138

Figura 1.34. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012) 140

Figura 1.35. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017) 141

Figura 1.36. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2011-2012) 143

Figura 1.37. Rendimiento esperado (t/ha) en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en dos años continuos de evaluación (2011-2012) 144

Figura 1.38. Rendimiento (t/ha) en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia, en un año de evaluación (2015-2016) 145

Figura 1.39. Cultivar de la raza guatemalteca Lamb-Hass 146

Figura 1.40. Cultivar de la raza guatemalteca Hass Carmen 147

Figura 1.41. Cultivar de la raza guatemalteca Reed 148

Figura 1.42. Cultivar de la raza guatemalteca Edranol 150

Figura 1.43. Cultivar de la raza guatemalteca Itzamná 151

Figura 1.44. Cultivar de la raza guatemalteca Linda 151

Figura 1.45. Cultivar de la raza guatemalteca Nabal 152

Figura 1.46. Cultivar de la raza guatemalteca Pinkerton 153

Figura 1.47. Cultivar de la raza mexicana × guatemalteca Fuerte 157

Figura 1.48. Cultivar de la raza híbrida mexicana × guatemalteca Ettinger 158

Figura 1.49. Cultivar de la raza híbrida mexicana × guatemalteca Colín V-33 159

Figura 1.50. Cultivar de la raza híbrida mexicana × guatemalteca Gwen 160

Figura 1.51. Cultivar de la raza antillana Lorena 164

Figura 1.52. Cultivar de la raza antillana Peterson 165

Figura 1.53. Cultivar de la raza antillana Simmonds 166

Figura 1.54. Cultivar de la raza antillana Trapp 167

Figura 1.55. Cultivar de la raza antillana Trapica 168

Figura 1.56. Cultivar de la raza antillana Pollock 168

Figura 1.57. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Booth 8 172

Figura 1.58. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Choquette 173

Figura 1.59. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Collinred 174

Figura 1.60. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Collinson 175

Figura 1.61. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Gripiña 176

Figura 1.62. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Semil 44 177

Figura 1.63. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Trinidad 178

Figura 1.64. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Hall 178

Figura 1.65. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Winslowson 179

Figura 1.66. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Santana 180

Figura 1.67. Crecimiento del fruto de aguacate cv. Hass, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013) 189

Figura 1.68. Tiempo transcurrido entre el cuajamiento del fruto y la cosecha en ocho localidades del departamento 190

Figura 1.69. Influencia de la altura sobre la forma y aspecto de la epidermis del fruto del aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia 190

Figura 1.70. Latitudes donde actualmente se encuentra el cultivo de aguacate en el mundo 196

Figura 1.71. Suelo de textura liviana en el cultivo de aguacate 197

Figura 1.72. Semillero en aguacate 203

Figura 1.73. Semillas de aguacate para la siembra en semillero o almácigo 204

Figura 1.74. Almácigo en aguacate 205

Figura 1.75. Plantas de aguacate en vivero 206

Figura 1.76. Método físico de desinfección del suelo por solarización 208

Figura 1.77. Incompatibilidad patrón-copa en aguacate cv. Hass 212

Figura 1.78. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012) 213

Figura 1.79. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia 213

Figura 1.80. Injertos de aguacte cv. Hass sobre patrones de origen mexicano sin signos de incompatibilidad patrón-copa 214

Figura 1.81. Cultivar antillano para patrón Tumaco 219

Figura 1.82. Cultivar antillano para patrón La Torre 220

Figura 1.83. Cultivar antillano para patrón Villagorgona 221

Figura 1.84. Cultivar guatemalteco × antillano para patrón Lula 221

Figura 1.85. Cultivar antillano para patrón Waldin 222

Figura 1.86. Injerto de púa terminal 225

Figura 1.87. Detalle de un injerto en bisel 227

Figura 1.88. Injerto de púa lateral o cuña 227

Figura 1.89. Injerto de enchapado en aguacate 228

Figura 1.90. Injerto de escudete 229

Figura 1.91. Detalle de un árbol para renovación o reconversión de copa 231

Figura 1.92. Injerto de corona o corteza 232

Figura 1.93. Injerto de renovación de copa mediante el uso de chupones 233

Figura 1.94. Propagación *in vitro* de aguacate mediante microestacas 234

Figura 1.95. Injerto en planta nodriza 236

Figura 1.96. Propagación clonal de plantas etioladas 238

Figura 1.97. Sistema de propagación por microclones utilizado en Sudáfrica 239

Figura 1.98. Lote apto para la siembra de aguacate 240

Figura 1.99. Distribución de siembra de aguacate 243

Figura 1.100. Huerto de aguacate sembrado en ultra alta densidad en Chile 245

Figura 1.101. Forma columnar de los árboles sembrados en ultra alta densidad 246

Figura 1.102. Forma piramidal de los árboles sembrados en seto 250

Figura 1.103. Hoyos para la siembra de aguacate 251

Figura 1.104. Siembra del aguacate en campo 252

Figura 1.105. Uso de cobertura (*mulch*) en huerto de aguacate 253

Figura 1.106. Uso de cobertura en huerto adulto de aguacate 255

Figura 1.107. Anillado en aguacate 265

Figura 1.108. Tipos de inflorescencias que se presentan en aguacate 271

Figura 1.109. Escala de desarrollo floral en aguacate propuesta por Salazar-García et al. (1998) 272

Figura 1.110. Yema en estado A 275

Figura 1.111. Yema en estado B (hinchada) 275

Figura 1.112. Yema en estado C 276

Figura 1.113. Yema en Estado D_1 276

Figura 1.114. Yema en estado D_2 276

Figura 1.115. Yema en estado E (botón amarillo) 277

Figura 1.116. Subestado F_{1f} 278

Figura 1.117. Subestado F_{2f} 278

Figura 1.118. Subestado F_{3f} 278

Figura 1.119. Subestado F_{1c} 278

Figura 1.120. Subestado F_{1m} 279

Figura 1.121. Subestado F_{2m} 279

Figura 1.122. Subestado F_{3m} 280

Figura 1.123. Subestado F_{4m} 280

Figura 1.124. Subestado F_{5m} 280

Figura 1.125. Subestado F_{2c} 281

Figura 1.126. Estado G (marchitez de pétalos) 281

Figura 1.127. Estado H (cuajado) 281

Figura 1.128. Estado I (fruto tierno) 282

Figura 1.129. Etapa 1. Corresponde a una rama que ha tomado su crecimiento y que posee una yema terminal cerrada y puntiaguda 282

Figura 1.130 Etapa 2. La yema terminal está hinchada, de coloración amarillenta, y las escamas que la cubren empiezan a separarse 283

Figura 1.131. Etapa 3. En el extremo del brote aparecen cuatro o cinco hojitas 283

Figura 1.132. Etapa 4. Se trata de un brote juvenil más avanzado, cuyas hojas presentan una coloración rojo oscuro 283

Figura 1.133. Etapa 5. Finaliza la maduración de las hojas, que toman una coloración verde 283

Figura 1.134. Etapa 1. La yema apical, amarilla e hinchada, tiene separación de escamas superiores (etapa 2 de la fase vegetativa), mientras que las yemas axilares se hinchan y se tornan de color verde claro 284

Figura 1.135. Etapa 2. Las brácteas se abren y la inflorescencia empieza a emerger; además, se distinguen claramente los botones florales 284

Figura 1.136. Etapa 3. Los ejes florales secundarios se alargan 284

Figura 1.137. Etapa 4. Elongación de ejes terciarios, las flores están completamente diferenciadas pero cerradas 284

Figura 1.138. Etapa 5. Los pedúnculos florales se separan y se abren los sépalos (apertura de la flor o antesis) 285

Figura 1.139. Etapa 1. Frutos de 1 a 15 mm de diámetro. De amarre (secos, recubren el ovario y están visibles) a aceitunas 285

Figura 1.140. Etapa 2. Frutos de 16 a 39 mm de diámetro 285

Figura 1.141. Etapa 3. Frutos de 40 a 50 mm de diámetro 286

Figura 1.142. Etapa 4. Frutos de más de 51 mm de diámetro, que aún conservan el color verde claro 286

Figura 1.143. Etapa 5. Frutos de más de 51 mm de diámetro, pero de color verde oscuro, listos para corte (3/4 de sazón) 286

Figura 1.144. Detalle de un fruto partenocárpico en aguacate 291

Capítulo II

Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano

Figura 2.1. Subregiones donde se cultiva aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia 333

Figura 2.2. Diagrama de la toma de información sobre la altura y el diámetro cruzado de la copa de los árboles cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012) 335

Figura 2.3. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012) 335

Figura 2.4. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho huertos del departamento de Antioquia (2016) 336

Figura 2.5. Diámetro promedio de las copas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012) 337

Figura 2.6. Diámetro promedio de las copas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia 338

Figura 2.7. Diagrama fenológico utilizado para medir los flujos de crecimiento vegetativo, de floración y de fructificación en árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017) 339

Figura 2.8. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Amagá (I), Antioquia (1.786 m s. n. m.), entre 2015 y 2017 340

Figura 2.9. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Peñol (LA), Antioquia (1.992 m s. n. m.) (2015-2017) 341

Figura 2.10. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Jardín (BV), Antioquia (2.025 m s. n. m.) (2015-2017) 342

Figura 2.11. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Rionegro (LE), Antioquia (2.167 m s. n. m.) (2015-2017) 342

Figura 2.12. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Retiro (EG), Antioquia (2.288 m s. n. m.) (2015-2017) 343

Figura 2.13. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de San Pedro (CS), Antioquia (2.411 m s. n. m.) (2015-2017) 343

Figura 2.14. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Retiro (EC), Antioquia (2.464 m s. n. m.) (2015-2017) 344

Figura 2.15. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de San Pedro (EB), Antioquia (2.458 m s. n. m.) (2015-2017) 344

Figura 2.16. Detalle de un árbol de aguacate cv. Hass en plena floración 345

Figura 2.17. Desarrollo floral en árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017) 346

Figura 2.18. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Amagá (I), Antioquia (1.786 m s. n. m.) (2016-2017) 347

Figura 2.19. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Peñol (LA), Antioquia (1.992 m s. n. m.) (2016-2017) 348

Figura 2.20. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Jardín (BV), Antioquia (2.025 m s. n. m.) (2016-2017) 348

Figura 2.21. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Rionegro (LE), Antioquia (2.167 m s. n. m.) (2016-2017) 349

Figura 2.22. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Retiro (EG), Antioquia (2.288 m s. n. m.) (2016-2017) 349

Figura 2.23. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de San Pedro (CS), Antioquia (2.411 m s. n. m.) (2016-2017) 350

Figura 2.24. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Retiro (EC), Antioquia (2.458 m s. n. m.) (2016-2017) 350

Figura 2.25. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de San pedro (EB), Antioquia (2.464 m s. n. m.) (2016-2017) 351

Figura 2.26. Tendencia del crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass en ocho localidades del departamento de Antioquia (2016-2017) 352

Figura 2.27. Trampas de recolección de hojarasca 354

Figura 2.28. Relación entre la caída de las hojas y la precipitación 356

Figura 2.29. Inflorescencias del aguacate cv. Hass 358

Figura 2.30. Tamaño de los frutos que se caen normalmente en el árbol de aguacate cv. Hass 358

Figura 2.31. Promedio de peso fresco de cuatro cultivares de aguacate 361

Figura 2.32. Promedio del contenido de materia seca en cuatro cultivares de aguacate 362

Figura 2.33. Remoción de nitrógeno, fósforo y potasio en 20 t de fruta en cuatro variedades de aguacate 363

Figura 2.34. Remoción total en kg/t por el fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia 368

Figura 2.35. Comparación del peso fresco total del fruto en varias localidades de Antioquia 369

Figura 2.36. Contribución de las diferentes partes del fruto cv. Hass a su peso seco total en las diferentes localidades de Antioquia 370

Figura 2.37. Cantidad de nutrientes removidos por los tejidos del fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia 370

Capítulo III

Buenas prácticas agrícolas (BPA)

Figura 3.1. Pilares de las buenas prácticas agrícolas (BPA) 380

Figura 3.2. Unidades sanitarias y de aseo 383

Figura 3.3. Área de almacenamiento de insumos agrícolas 384

Figura 3.4. Tablero con información sobre el procedimiento en caso de derrames de plaguicidas 385

Figura 3.5. Forma correcta de almacenar los fertilizantes sobre estibas 386

Figura 3.6. Imágenes del área destinada a guardar herramientas y equipos 386

Figura 3.7. Lavado de herramientas de trabajo con agua limpia 387

Figura 3.8. Área para la preparación de plaguicidas 388

Figura 3.9. Área de vertimiento de aguas sobrantes (barbecho) 388

Figura 3.10. Área de acopio en campo 389

Figura 3.11. Área de poscosecha 389

Figura 3.12. Área de almacenamiento del producto seleccionado 390

Figura 3.13. Instalaciones para el bienestar de los trabajadores 391

Figura 3.14. Recipientes debidamente marcados y protegidos de la lluvia para depositar residuos 391

Figura 3.15. Elementos adicionales recomendados por la norma 392

Figura 3.16. Ejemplo de carteles informativos relacionados con las BPA 393

Figura 3.17. Ropa de protección para la manipulación de plaguicidas 394

Figura 3.18. Toma de muestras de agua para análisis microbiológico 396

Figura 3.19. Zonas de compostaje 397

Figura 3.20. Vivero para la producción de materiales de aguacate 398

Figura 3.21. Recipientes para la desinfección del calzado antes de entrar a los lotes como técnica de prevención 400

Figura 3.22. Infraestructura y condiciones higiénicas apropiadas en la poscosecha de los frutos de aguacate 402

Capítulo IV

Nutrición y fertilización

Figura 4.1. Síntoma de deficiencia de nitrógeno en hojas de aguacate 425

Figura 4.2. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas de aguacate 426

Figura 4.3. Síntomas de deficiencia de calcio en hojas de aguacate 427

Figura 4.4. Síntomas de deficiencia de magnesio en hojas de aguacate 428

Figura 4.5. Síntomas de deficiencia de manganeso en hojas de aguacate 429

Figura 4.6. Síntomas de deficiencia de hierro en hojas de aguacate 430

Figura 4.7. Recorrido en zigzag a través del lote de aguacate. En cada punto se toma una submuestra 432

Figura 4.8. Recorrido en forma de X 432

Figura 4.9. Se indican con flechas los sitios donde se toman las submuestras de cada árbol 433

Figura 4.10. Zona de muestreo para análisis foliar 434

Figura 4.11. Hojas para muestrear 435

Figura 4.12. Aplicación de fertilizantes alrededor de plántulas recién trasplantadas 441

Figura 4.13. Aplicación de fertilizantes en la zona de plateo de árboles de aguacate 442

Figura 4.14. Disponibilidad de hierro, manganeso, cobre, zinc y fósforo en andisoles del oriente antioqueño en función del pH del suelo 443

Figura 4.15. Frecuencia relativa de valores del pH del suelo de huertos de aguacate del norte y oriente de Antioquia 444

Figura 4.16. Se muestra el pH del suelo en función de la cantidad de cal aplicada medida luego de incubar las muestras del suelo por 20 días 445

Figura 4.17. Efecto de la concentración de fósforo en la solución del suelo en la masa seca de plántulas de aguacate 447

Figura 4.18. Isotermas de adsorción de fósforo de tres suelos de Colombia (andisol, oxisol y molisol) 447

Figura 4.19. Frecuencia relativa de valores de concentración de fósforo en la solución del suelo agrupados por rango 448

Figura 4.20. Raíces de aguacate con colonización micorrizal del hongo *Glomus fasciculatum* (imagen obtenida a través de un estereomicroscopio) 449

Figura 4.21. Frecuencia relativa de valores de colonización micorrizal de raíces de huertos de aguacate del norte y el oriente de Antioquia 450

Figura 4.22. Aspecto de las plántulas de aguacate no-inoculadas (M-) e inoculadas con el hongo micorrizal *G. fasciculatum* (M+) 450

Figura 4.23. Materia seca aérea total de hojas y tallos de plantas de aguacate cv. Hass en función de los tratamientos de la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (M10^6 y M10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF) 452

Figura 4.24. Contenido de fósforo en la masa seca aérea de plantas de aguacate cv. Hass en función de los tratamientos de la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (10^6 y 10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF) 453

Figura 4.25. Colonización micorrizal en raíces finas de plantas de aguacate cv. Hass en función de los tratamientos con la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (M10^6 y M10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF) 454

Figura 4.26. Colonización relativa de raíces finas de plantas de aguacate cv. Hass por el hongo *Mortierella* sp. en función de los tratamientos con la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (M, 10^6 y 10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF) 454

Capítulo V

Plantas arvenses

Figura 5.1. Uso de coberturas vegetales o mantillo en aguacate 478

Figura 5.2. Plateo amplio después del trasplante 479

Figura 5.3. Control mecánico (guadaña) en las calles del cultivo 480

Figura 5.4. Control de arvenses en el plato con el uso de herbicidas 482

Capítulo VI

Insectos y ácaros

Figura 6.1.	Adulto del barrenador grande de la semilla (*H. lauri*) sobre un fruto de aguacate	490
Figura 6.2.	Barrenador grande de la semilla de aguacate *H. lauri*	491
Figura 6.3.	Perforaciones de *H. lauri* en aguacate cv. Hass	492
Figura 6.4.	Daño causado por el perforador grande del fruto *H. lauri* en aguacate cv. Hass	493
Figura 6.5.	Recolección y manejo de aguacates infestados	494
Figura 6.6.	*Xyphosomella* sp., parasitoide de larvas de *H. lauri*	496
Figura 6.7.	Adulto de *Stenoma catenifer*	497
Figura 6.8.	Características de las alas de *S. catenifer*	498
Figura 6.9.	Huevos de *S. catenifer*	498
Figura 6.10.	Sitios de oviposición de *S. catenifer* en el aguacate	499
Figura 6.11.	Larvas del 5.º instar de *S. catenifer*	499
Figura 6.12.	Estados inmaduros de *S. catenifer*	500
Figura 6.13.	Dimorfismo de pupa de *S. catenifer*	501
Figura 6.14.	Daño de *S. catenifer*	501
Figura 6.15.	Características morfológicas del adulto de *Monaloniom velezangeli*	505
Figura 6.16.	Características morfológicas en el ala y en el fémur posterior de *M. velezangeli*	505
Figura 6.17.	Estados de desarrollo de *M. velezangeli*	506
Figura 6.18.	Estados de desarrollo de *M. velezangeli*	506
Figura 6.19.	Daños de *Monalonion*	507
Figura 6.20.	Daños de *Monalonion*	507

Figura 6.21. Daños de *Monalonion* 508

Figura 6.22. Enemigos naturales de *M. velezangeli* 509

Figura 6.23. *M. velezangeli* atacado por hongos entomopatógenos 510

Figura 6.24. *M. velezangeli* atacado por la mezcla de *B. bassiana* más extracto vegetal de uso agrícola obtenido de plantas de la familia Liliaceae y Solanaceae 511

Figura 6.25. Adultos del cucarrón (marceños) *Astaena* aff. *pygidialis* 513

Figura 6.26. Adultos de cucarrones marceños 513

Figura 6.27. Daño del marceño 514

Figura 6.28. Daño de marceño en brotes vegetativos de aguacate 515

Figura 6.29. Trampas para la captura de marceños 516

Figura 6.30. Larvas de chiza con síntomas de la enfermedad lechosa 516

Figura 6.31. Ataque del hongo *M. anisopliae* en distintos estados de desarrollo del cucarrón marceño 517

Figura 6.32. Entomopatógenos y parasitoides que atacan larvas del marceño 517

Figura 6.33. Adulto de la mosca del ovario 518

Figura 6.34. Pupa de la mosca del ovario *B. perseae* 519

Figura 6.35. Fruto de aguacate pequeño y alargado, con forma de pepino por la acción de *B. perseae* 519

Figura 6.36. Adulto del perforador del tallo y ramas del aguacate (*C. hustachei*) 521

Figura 6.37. Rostrum o pico de *C. hustachei* 521

Figura 6.38. Perforadores de tallo 522

Figura 6.39. Perforadores del tallo y rama del aguacate 523

Figura 6.40. Daño de larvas del barrenador 523

Figura 6.41. Signos de daño en tallos y ramas de aguacate causados por los perforadores 524

Figura 6.42. Síntomas del ataque del perforador del tallo en aguacate 524

Figura 6.43. Daño ocasionado por perforadores en plantas de vivero 525

Figura 6.44. Daño ocasionado por perforadores en la base del tallo 526

Figura 6.45. Manejo de perforadores de tallo y ramas en aguacate 526

Figura 6.46. Manejo de perforadores de ramas en aguacate 527

Figura 6.47. Daños de *C. hustachei* 528

Figura 6.48. Aplicación de nematodos entomopatógenos en tallo 529

Figura 6.49. Grajo o chinche, *Antiteuchus tripterus* (F.) 530

Figura 6.50. Géneros de trips encontrados en Tolima y Valle del Cauca 533

Figura 6.51. Síntomas de daño por trips en frutos 534

Figura 6.52. Porcentaje de géneros de trips encontrados en las diferentes estructuras del cultivo de aguacate en el departamento del Valle del Cauca 535

Figura 6.53. Porcentaje de géneros de trips encontrados en flores de papunga (*Bidens pilosa*) en cultivos de aguacate en el departamento del Valle del Cauca 536

Figura 6.54. Papunga (*Bidens pilosa*), planta hospedera de trips del género *Frankliniella* en cultivos de aguacate 537

Figura 6.55. Trampa empleada para establecer la fluctuación de poblaciones de adultos de trips 537

Figura 6.56. *Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouché) 539

Figura 6.57. Ninfas de *Selenothrips rubrocinctus* (Giard) 541

Figura 6.58. Daño de trips en ramas 544

Figura 6.59. Daño de trips en inflorescencias 544

Figura 6.60. Escamas del aguacate 549

Figura 6.61. Escama *protegida Pseudoparlatoria parlatorioides* (Comstock) 550

Figura 6.62. Colonia de *Bombacoccus aguacatae* Kondo 551

Figura 6.63. Escamas blandas 552

Figura 6.64. Otras escamas del aguacate 554

Figura 6.65. Cochinillas arinosas 555

Figura 6.66. Presencia de fumagina causada por escamas 556

Figura 6.67. Ácaro *Oligonychus yothersi* 561

Figura 6.68. Síntoma del daño por ácaros 562

Figura 6.69. Daño del ácaro blanco 562

Figura 6.70. Ninfa de crisopa, depredador de *O. yothersi* y *M. persicae* en cultivos de aguacate 563

Figura 6.71. Agallas del follaje y frutos 564

Figura 6.72. Áfidos o pulgones 566

Figura 6.73. Adulto de mosca blanca *Paraleyrodes* sp. pos. *bondari* posado sobre hoja de aguacate 568

Figura 6.74. Daño indirecto en el envés de la hoja de aguacate ocasionado por ninfas de mosca blanca *Paraleyrodes* sp. al excretar sustancias azucaradas que propician el crecimiento de fumagina 569

Figura 6.75. Estados de las ninfas de mosca blanca del aguacate (*Paraleyrodes* sp. pos. *bondari*) 570

Figura 6.76. Larva del pega-pega hojas en aguacate (*Platynota* sp.) 572

Figura 6.77. Descripción del daño por el pega-pega en aguacate 572

Figura 6.78. Paquete del gusano tejedor del aguacate (*Jocara subcurvalis*) 573

Figura 6.79. Gusano canasta 575

Figura 6.80. Picudos del follaje 577

Figura 6.81. Hormiga arriera 580

Figura 6.82. Métodos físicos para el manejo de hormiga arriera 582

Figura 6.83. Aplicación de formicidas en polvo 583

Capítulo VII

Enfermedades y desórdenes abióticos

Figura 7.1. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en plántulas de aguacate en etapa de vivero 604

Figura 7.2. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en plántulas de aguacate en etapa de vivero 605

Figura 7.3. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en árboles de aguacate en campo 605

Figura 7.4. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en árboles de aguacate en campo 606

Figura 7.5. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en árboles de aguacate en campo 606

Figura 7.6. Árboles de aguacate en campo afectados por *Phytophthora citricola* 607

Figura 7.7. Árboles de aguacate en campo afectados por *Phytophthora heveae* 607

Figura 7.8. Árboles de aguacate afectados por *Phytophthora* sp. 608

Figura 7.9. Utilización del sustrato inerte tipo oasis en semilleros de aguacate 609

Figura 7.10. Siembra de plantas de aguacate en montículo para evitar encharcamientos 610

Figura 7.11. Erradicación de árboles afectados por *Phytophthora* sp. en campo 610

Figura 7.12. Tratamiento con cal en sitios donde se erradicaron árboles afectados por *Phytophthora* sp. 610

Figura 7.13. Acondicionamiento de recipientes de desinfección en la entrada de los lotes de aguacate, para disminuir los riesgos de contaminación por *Phytophthora* sp. 611

Figura 7.14. Inyecciones al tronco del patrón y la copa con un producto a base de ácido fosforoso, ácido fosfónico, fosfitos o fosfonatos para el control de *Phytophthora* sp. 612

Figura 7.15. Recuperación de árboles tratados para el control de *Phytophthora* sp. 612

Figura 7.16. Síntomas de marchitez por *C. destructans* en etapas iniciales 614

Figura 7.17. Síntomas de marchitez por *Verticillium* sp. en árboles de aguacate 615

Figura 7.18. Síntomas de marchitez por *Verticillium* sp. en ramas de aguacate 616

Figura 7.19. Poda de ramas enfermas en árboles afectados por *Verticillium* (manejo cultural) 616

Figura 7.20. Recuperación de árboles afectados por *Verticillium* después del manejo químico 617

Figura 7.21. Síntomas de marchitez en árboles afectados *por Armillaria mellea* 618

Figura 7.22. Síntomas de roña en frutos de aguacate 621

Figura 7.23. Síntomas de roña en hojas de aguacate 622

Figura 7.24. Síntomas de mancha angular por *Pseudocercospora purpurea* en hojas de aguacate 624

Figura 7.25. Síntomas de mancha negra o peca por *Pseudocercospora purpurea* en frutos de aguacate 624

Figura 7.26. Síntomas de la pudrición del fruto por *R. stolonifer* 626

Figura 7.27. Síntomas posteriores de la pudrición del fruto por *R. stolonifer* 626

Figura 7.28. Corte a ras del pedúnculo del fruto para evitar pudriciones por *R. stolonifer* en poscosecha 627

Figura 7.29. Síntomas de la pudrición del fruto por *Dothiorella* 629

Figura 7.30. Síntomas del ataque de *G. cingulata* 630

Figura 7.31. Síntomas del ataque de *G. cingulata* 631

Figura 7.32. Síntomas del ataque de *G. cingulata* en frutos en poscosecha 632

Figura 7.33. Síntomas de pudrición de plántulas por *L. theobromae* 634

Figura 7.34. Síntomas por *L. theobromae* 635

Figura 7.35. Síntomas por *Calonectria* en plántulas de almácigo 637

Figura 7.36. Síntomas por *Pestalotia* en ramas y hojas 638

Figura 7.37. Polvillo de color negro causado por la fumagina en hojas de aguacate 639

Figura 7.38. Ataque de fumagina en tallos, hojas y frutos de aguacate 640

Figura 7.39. Síntomas de la mancha de asfalto en hojas 641

Figura 7.40. Manchas en hojas de aguacate, causadas por la mancha algácea 642

Figura 7.41. Daños causados por golpe de sol 644

Capítulo VIII

Cosecha, manejo de poscosecha y agroindustria

Figura 8.1. Corte a ras del pedúnculo del fruto 654

Figura 8.2. Frutos húmedos no aptos para su cosecha 655

Figura 8.3. Pudriciones poscosecha por condiciones de alta humedad en la fruta 655

Figura 8.4. Implementos utilizados para la recolección manual de la fruta 656

Figura 8.5. Tipos de varas utilizadas para la cosecha de frutos altos 657

Figura 8.6. Dos tipos de anillos con bolsa para depositar el fruto cosechado 657

Figura 8.7. Uso de escalera para la colecta de frutos 658

Figura 8.8. Tipo de centro de acopio en finca para adecuación de la fruta 659

Figura 8.9. Prácticas inadecuadas de empaque durante la poscosecha 659

Figura 8.10. Transporte inadecuado de la fruta 660

Figura 8.11. Selección de la fruta en campo 661

Figura 8.12. Comercialización del aguacate en almacenes de grandes superficies 661

Figura 8.13. Cambio de color en frutos de Hass que indican la madurez de consumo 663

Figura 8.14. Operaciones en planta empacadora 671

Figura 8.15. Clasificación del aguacate 672

Figura 8.16. Lavado y desinfección del aguacate 674

Figura 8.17. Empaques y transporte adecuados para la fruta en fincas 676

Figura 8.18. Empaques para mercados internacionales 677

Figura 8.19. Paletizado de la fruta para el transporte 677

Figura 8.20. Almacenamiento en cuartos fríos para aguacate 680

Figura 8.21. Pulpa de aguacate homogenizada 689

Figura 8.22. Oxidación de pulpa de aguacate durante el almacenamiento 690

Figura 8.23. Diagrama de flujo para procesamiento de pulpas o guacamole 693

Figura 8.24. Preparación de la fruta para la obtención de guacamole 694

Figura 8.25. Obtención de la pulpa para procesamiento 694

Figura 8.26. Homogenización de pulpa de aguacate o guacamole 695

Figura 8.27. Empaque de pulpa de aguacate o guacamole 697

Figura 8.28. Producto terminado y almacenado 697

Figura 8.29. Prototipo del Empaque 1 para pulpa 698

Figura 8.30. Prototipo del Empaque 2 para pulpa 698

Figura 8.31. Prototipo del Empaque 3 para guacamole 699

Figura 8.32. Procesamiento a escala de pulpa aguacate o guacamole 699

Figura 8.33. Extracción con un equipo Soxhlet 703

Figura 8.34. Proceso de extracción con un equipo Soxhlet 703

Figura 8.35. Extracción de aceite de aguacate por prensado 704

Figura 8.36. Extracción de aceite de aguacate por centrifugación 705

Figura 8.37. Diagrama de flujo para obtención de aceite 709

Capítulo IX

Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia

Figura 9.1. Producción y área cosechada de aguacate en el mundo (2018) 718

Figura 9.2. Producción y rendimiento mundial de aguacate para el 2018 719

Figura 9.3. Principales países exportadores de aguacate en el mundo para el 2018 720

Figura 9.4. Valor y cantidad de las exportaciones de aguacate en Colombia (2012-2018) 721

Figura 9.5. Destino de las exportaciones colombianas de aguacate (t) (2014-2018) 722

Figura 9.6. Producción y rendimiento de los departamentos productores de aguacate en Colombia en 2019 723

Figura 9.7. Mapa del clima en el departamento de Antioquia 739

Figura 9.8. Mapa de clima óptimo y potencial para el cultivo de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia 740

Figura 9.9. Mapa de precipitación promedio anual del departamento de Antioquia 741

Figura 9.10. Mapa de órdenes de suelos presentes en el departamento de Antioquia 742

Figura 9.11. Perfiles modales en fincas productoras de aguacate 743

Figura 9.12. Perfil de suelo Oxisol, encontrado en menor proporción dentro de los sistemas productivos de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia 743

Figura 9.13. Mapa de zonas aptas para aguacate cv. Hass en Antioquia delimitado por pendientes 746

Figura 9.14. Mapa de cultivo actual de aguacate Hass en el departamento de Antioquia 746

Figura 9.15. Mapa de zonas socioeconómicamente homogéneas para municipios productores de aguacate Hass en el departamento de Antioquia 750

Figura 9.16. Mapa de zonas aptas y competitivas para aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia 751

Lista de tablas

Tabla 1.1.	Dispersión geográfica del aguacate y año de origen	79
Tabla 1.2.	Países productores de aguacate a nivel mundial (2018)	82
Tabla 1.3.	Superficie cosechada, producción y rendimiento de aguacate, obtenido por departamento en Colombia (2010-2019)	83
Tabla 1.4.	Orden de importancia del área cosechada, producción y rendimiento de aguacate en Colombia por departamento para 2019	87
Tabla 1.5.	Nombres dados al aguacate en diferentes lenguas y regiones	91
Tabla 1.6	Nombre dado al aguacate en diferentes lenguas	92
Tabla 1.7	Nombre dado al aguacate en diferentes países	92
Tabla 1.8.	Variedades de aguacate según el tipo de floración	107
Tabla 1.9.	Cultivares polinizadores más recomendados para algunas variedades comerciales	109
Tabla 1.10.	Características principales de las razas de aguacate	115
Tabla 1.11.	Características de algunas variedades de aguacate de la raza mexicana	118
Tabla 1.12.	Características de algunas variedades de aguacate de la raza guatemalteca	125
Tabla 1.13.	Características de algunos cultivares híbridos de aguacate de la raza mexicana × guatemalteca	155
Tabla 1.14.	Variedades de aguacate de la raza antillana	162
Tabla 1.15.	Características de algunos cultivares híbridos de aguacate de las razas guatemalteca × antillana	170

Tabla 1.16. Características del fruto de aguacate cv. Hass, en siete localidades del departamento de Antioquia 188

Tabla 1.17. Influencia de la altura sobre el período de floración a cosecha, forma y aspecto de la epidermis del fruto del aguacate cv. Hass en Michoacán, México 188

Tabla 1.18. Variedades de aguacate aptas para ser cultivadas en diferentes pisos térmicos en Colombia 193

Tabla 1.19. Protocolo recomendado para la producción de árboles libres de enfermedades 201

Tabla 1.20. Distancias de siembra más utilizadas en el cultivo del aguacate 244

Tabla 1.21. Porcentaje promedio de materia seca (% MS) de la pulpa, requerido para asegurar una calidad de maduración aceptable en varios cultivares de aguacate 295

Tabla 1.22. Disponibilidad de las variedades de aguacate más comunes en Colombia 300

Tabla 1.23. Épocas de cosecha de aguacate cv. Hass en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017) 301

Tabla 1.24. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011) 302

Tabla 1.25. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2012) 302

Tabla 2.1. Caída de hojarasca y flores en las diferentes localidades 355

Tabla 2.2. Extracción de nutrientes en fruta fresca de aguacate de árboles en plena producción 364

Tabla 2.3. Remoción de nutrientes de acuerdo con la producción de fruta fresca de varios cultivares de aguacate manejado sin riego en Nayarit, México 365

Tabla 2.4. Cantidad de nutrientes removidos por los tejidos del fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia 367

Tabla 3.1. Formato para el inventario de plaguicidas o fertilizantes 403

Tabla 3.2. Formato para mantenimiento de equipos y herramientas 403

Tabla 3.3. Formato para el registro del plan de capacitación 404

Tabla 3.4. Formato para la producción de material vegetal en la finca 404

Tabla 4.1. Principales funciones de los nutrientes 421

Tabla 4.2. Síntomas visuales predominantes de deficiencia en nutrientes 423

Tabla 4.3. Niveles nutricionales en las hojas del aguacate 436

Tabla 4.4. Plan de fertilización en árboles jóvenes de aguacate (menores de cuatro años) 438

Tabla 4.5. Plan de fertilización en árboles de aguacate en producción (mayores de cinco años) 438

Tabla 4.6. Recomendación por fertilizante para árboles en producción para una cosecha de 10 t/ha 439

Tabla 4.7. Fertilización del aguacate de acuerdo con la edad de la planta 440

Tabla 5.1. Principales especies monocotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en los climas cálidos y medios de Colombia 472

Tabla 5.2. Principales especies dicotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en los climas cálidos y medios de Colombia 473

Tabla 5.3. Principales especies monodicotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en clima frío en Colombia 474

Tabla 5.4. Principales especies dicotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en clima frío en Colombia 475

Tabla 5.5. Herbicidas no selectivos empleados en el control de arvenses para el cultivo de aguacate 482

Tabla 6.1. Porcentaje de géneros de trips encontrados en las diferentes estructuras del cultivo de aguacate 536

Tabla 8.1. Porcentaje promedio de materia seca (% MS) de la pulpa requerido para asegurar una calidad de maduración aceptable en varios cultivares de aguacate 664

Tabla 8.2. Parámetros mínimos de calidad para ocho variedades de aguacate en Colombia 666

Tabla 8.3. Categorías para la clasificación de algunas variedades de aguacate en Colombia 673

Tabla 8.4. Condiciones de almacenamiento bajo atmósfera controlada para diferentes variedades de aguacate 680

Tabla 8.5. Características físicas promedio para ocho variedades de aguacate en Colombia 685

Tabla 8.6. Características fisicoquímicas de aguacates criollos seleccionados en el departamento del Tolima 687

Tabla 8.7. Parámetros para la selección de materiales de aguacate criollo para fines agroindustriales 687

Tabla 8.8. Recuento máximo de microorganismos en productos alimenticios 688

Tabla 8.9. Tiempos de conservación de pulpas en atmósfera normal 691

Tabla 8.10. Tiempos de conservación de pulpas con empaque al vacío 691

Tabla 8.11. Equipos para el procesamiento de pulpas de aguacate 700

Tabla 8.12. Composición de ácidos grasos de aceites extraídos de aguacate 708

Tabla 8.13. Especificaciones de un prototipo de envase comercial para aceite de aguacate 709

Tabla 8.14. Información básica de un prototipo de envase comercial para aceite de aguacate 710

Tabla 9.1. Requerimientos ecofisiológicos, edafoclimáticos y limitantes fitosanitarias para el cultivo de aguacate en el departamento de Antioquia 726

Tabla 10.1. Periodo de semillero (1,5 meses): cuando se obtiene el material de siembra (árboles) en la finca 764

Tabla 10.2. Periodo de almácigo (11 meses) 765

Tabla 10.3. Periodo de vivero (0,25 meses): cuando se compran las plantas injertadas 766

Tabla 10.4. Periodo de establecimiento y desarrollo del cultivo (años 1 al 4) 766

Tabla 10.5. Periodo de mantenimiento (año 5 o más) 770

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a Juan Lucas Restrepo Ibiza, entonces exdirector ejecutivo de Corpoica, y a Julián Londoño Londoño, exdirector del Centro de Investigación La Selva, por el respaldo institucional y el apoyo administrativo de nuestras actividades.

Igualmente, expresan su reconocimiento a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, en especial, a su entonces secretario, Jaime Alberto Garzón Araque; así como a Carlos Mario Valencia, técnico operativo de la Unidad Regional de Planificación Agropecuaria (URPA), y al apoyo financiero y técnico de esta, que hizo posible la presente publicación.

Agradecen a la investigadora Luz Adriana Vásquez Gallo por sus observaciones, aportes y permanente apoyo técnico en la planeación y ejecución de las actividades que permitieron consolidar información importante para esta publicación.

Los autores expresan su gratitud a los propietarios y administradores de las fincas en las cuales se realizaron actividades de investigación sobre el desarrollo del aguacate cv. Hass en Antioquia: Mauricio Aristizábal Henao e Iván Arley Jaramillo Castañeda (Támesis); Ricardo Uribe y Maribel Zapata Arias (Amagá); Juan Fernando Mesa Piedrahíta, Ovidio Duque Ramírez, Rafael Moreno y Huber Cartagena (Venecia); José Bustamante Cano y John Mario Zuleta Flórez (Jericó); Pedro Pablo Díaz y Luis Felipe Álvarez (Jardín); Andrés Mejía, Reynel Echavarría, Jorge Eduardo Uribe y Wilson Giraldo (El Retiro); Ricardo Uribe y Álvaro Henao (Rionegro); Joaquín Cuervo Tafur y Rubén Darío Osorio Ramírez (Marinilla); Alejandro Mejía Duque y Juan Fernando Isaza (El Peñol); Carlos Sierra, Álvaro Pérez, Óscar Sierra y Juan Fernando Luján (San Pedro de los Milagros); Juan Camilo Ruiz Pérez y Juan Fernando Vásquez Palacio (Entrerríos).

Agradecen a los asistentes de investigación que participaron en la toma y procesamiento de la información de los ensayos dentro del componente "Caracterización ecofisiológica y productiva de aguacate Hass": Alba Nora Sánchez Bernal (finca La Escondida, municipio Rionegro); Jesús Miguel Bedoya Salazar (El Cebadero, El Retiro); Lina Marcela Mejía Vásquez (El Guarango, El Retiro); Héctor Mauricio Arias Ortiz (Los Abuelos, El Peñol); Andrés Mauricio Otálvaro Duque (Bellavista, Jardín); José Andrés Henao Otálvaro (El Imperio, Amagá); Lucas Esteban Cano Gallego, Elías Carranza Hernández (El Banco, San Pedro de los Milagros); Héctor David Yepes Castaño y Kiara Yamina Calle Bello (Cantabria La Sierra, San Pedro de los Milagros).

Extienden un agradecimiento especial a los colegas Eduardo Mejía Vélez (asistente técnico particular), José Régulo Cartagena Valenzuela (docente de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín), Germán Franco (investigador de AGROSAVIA, Centro de Investigación La Selva), Danilo Ríos Castaño (Profrutales) y Roberto Aguilar (asistente técnico particular), así como a Andrés Eduardo Mejía Hernández (empresario), por sus desinteresados aportes técnicos y experiencias, que permitieron consolidar la tecnología disponible de este cultivo en Colombia.

Los autores agradecen, finalmente, a Nilsen Anvary Sánchez Garzón, profesional de la Unidad de Comunicaciones de AGROSAVIA del Centro de Investigación La Selva.

Presentación de la segunda edición

El aguacate es uno de los frutales en los que Colombia puede ganar mayor participación en escenarios nacionales e internacionales, siempre que logre desarrollar un producto competitivo con garantías de oferta sostenible. Este fruto ha tenido una progresiva aceptación en todos los mercados a nivel mundial, pues actualmente es considerado como uno de los superalimentos debido a sus diversas propiedades organolépticas y alimenticias, así como a su alto contenido de aceites no saturados y vitaminas. Esta segunda edición del célebre libro de 2014 ofrece un panorama minucioso de la actual producción y tecnología del aguacate en Colombia, lo que será de gran utilidad para los productores de este cultivo, así como para investigadores, académicos, estudiantes, asistentes técnicos, profesionales de avanzada, comercializadores, consumidores y, en general, para todos aquellos involucrados en esta industria.

Presentación de la primera edición

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, en convenio con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y en atención a las demandas de tecnología por parte de productores, agroindustriales, consumidores e investigadores, ha conformado una agenda de proyectos de investigación y transferencia de tecnología, con base en la cual se pretende desarrollar y ofrecer productos y procesos tecnológicos válidos para su utilización competitiva y sostenible en las principales zonas de producción del país.

AGROSAVIA dispone de una estrategia integral para la socialización de los productos y procesos tecnológicos desarrollados en frutales. Para esto, cuenta con un equipo de investigadores y técnicos especializados, dispuestos a ofrecer asesoría técnica, a desarrollar proyectos conjuntos y a atender las demandas tecnológicas de diferentes representantes de la cadena productiva.

Como elemento complementario a estas actividades, se ha preparado un completo portafolio de publicaciones escritas y audiovisuales en temáticas de prioridad, que está al alcance de los interesados. Un componente fundamental para elevar el impacto del desarrollo tecnológico —en este caso, del aguacate— radica en el establecimiento de alianzas estratégicas institucionales (como la adelantada entre AGROSAVIA y el MADR), a partir de las cuales se integran las fortalezas científicas, tecnológicas, económicas y de infraestructura y se favorece la definición y desarrollo de proyectos productivos en áreas temáticas, sociales y geográficas de prioridad nacional.

Como respuesta a estas alianzas, la presente obra se propone dar a conocer, a usuarios directos y potenciales, los resultados de investigación y transferencia que se han generado como producto del trabajo conjunto entre estas dos entidades.

Los autores

Jorge Alonso Bernal Estrada
jbernal@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). MSc en Horticultura de Mississippi State University. Doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Ha trabajado por más de 20 años en el manejo productivo de frutales de clima frío (mora, granadilla, curuba, tomate de árbol, lulo y aguacate, entre otros). Ha sido autor y coautor de manuales de tomate de árbol, brevo, curuba, aguacate, mango, mora y lulo, así como de artículos técnicos y científicos sobre tales especies. Ha liderado proyectos en el área de investigación y transferencia de tecnología en frutales. Actualmente es investigador PhD asociado en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA (Rionegro, Antioquia).

Silvana Builes Gaitán
sbuiles@agrosavia.co

MSc en Economía Agrícola y de Alimentos y profesional en Negocios Internacionales. Como investigadora en AGROSAVIA, ha desarrollado estudios de disposición a pagar por alimentos orgánicos, estrategias de conexión a mercados para pequeños productores, valoraciones económicas ambientales, caracterización de sistemas productivos y estudios de adopción e impacto de tecnologías agrícolas. Previamente, tomó parte en estudios sobre los determinantes socioeconómicos de la degradación del suelo en la principal zona agrícola de Senegal (*Bassin Arachidier*) y participó en labores de fomento de estrategias para la reducción de la deforestación en la Amazonía colombiana, en el contexto de la formulación de los planes de desarrollo del 2016.

Ana Milena Caicedo Vallejo
ana.caicedo@gmail.com

Ingeniera agrónoma. PhD en Ciencias Biología-Entomología. Especialista en Entomología Económica de la Universidad del Valle, Colombia. En la actualidad se desempeña como docente universitaria de Entomología y Fitopatología en la Universidad del Valle (sede Palmira). Ha sido asesora de proyectos de investigación agrícola y representante técnica de Brokaw Nursery (Ventura, California, EE. UU.).

Arturo Carabalí Muñoz
acarabali@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo, MSc en Biología-Entomología y PhD en Ciencias Biología-Entomología. Especialista en Entomología Económica de la Universidad del Valle (Colombia). Líder de proyectos de investigación enfocados en el desarrollo de programas de manejo de insectos plaga de importancia económica en frutales tropicales que incorporan herramientas geoespaciales. Competencia y experiencia en coordinación de proyectos de investigación de identificación de resistencia de plantas a insectos. En la actualidad se desempeña como investigador PhD asociado en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, donde coordina proyectos de investigación en insectos-plaga de importancia económica en frutales tropicales y cacao.

María Casamitjana Causa
mcasamitjana@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma e ingeniera forestal de la Universidad de LLeida (España). MSc en Ciencias Ambientales en la Universidad de Girona (España) y candidata a PhD en la misma universidad. Ha trabajado en ciencias del suelo, conservación del suelo, zonificación y agricultura de precisión. En cuanto a cultivos, ha trabajado en viñedo, olivo, melocotón, aguacate Hass, fríjol y maíz. Está asociada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA como investigadora máster en el Centro de Investigación La Selva (Antioquia, Colombia).

Óscar de Jesús Córdoba Gaona
ojcordobag@unal.edu.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). MSc en Fitotecnia de la Universidad Federal de Lavras (Minas Gerais, Brasil). Doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Investigador por más de veinte años en el Centro de Investigación El Nus de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, donde ha liderado proyectos en sistemas de producción de caucho y cacao, y en áreas del conocimiento como sistemas agroforestales, fisiología de la producción y fisiología vegetal. Actualmente ocupa el cargo de profesor asistente en el área de Fisiología Vegetal, en el Departamento de Ciencias Agronómicas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín).

Cipriano Arturo Díaz Díez
cdiaz@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo y Máster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), con énfasis en ecofisiología. Investigador con formación y experiencia en manejo agronómico y fisiología vegetal en especies de importancia económica en el trópico; en manejo integrado del cultivo en frutales; en sistemas silvopastoriles, agroforestales, arvenses, semilleros y cultivos de seguridad alimentaria; en prácticas de manejo de frutales andinos, y en transferencia de tecnología a grupos de interés. Conferencista en cursos, talleres, seminarios y congresos nacionales e internacionales en las áreas descritas. Actualmente ocupa el cargo de investigador máster sénior en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA (Rionegro, Antioquia).

Marcela Duque Ríos
mduque@agrosavia.co

Socióloga de la Universidad de Caldas, con experiencia de más de siete años en la elaboración y coordinación de proyectos sociales y trabajo con comunidades desde la educación experiencial y modelos pedagógicos basados en la alteridad. Cuenta con estudios ambientales y territoriales apoyados en la investigación del pensamiento ambiental, metodologías de la complejidad y relación ecosistema-cultura. Ha realizado investigación e intervención en pedagogías para la paz y transformación de conflictos. Actualmente ocupa el cargo de profesional de transferencia de tecnología en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA (Rionegro, Antioquia).

Freddy Forero Longas
freddy.forero@udea.edu.co

Ingeniero agroindustrial de la Universidad del Tolima. Doctor en Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle. Ha sido docente en formulación, gestión y ejecución de proyectos de investigación e innovación; análisis fisicoquímicos avanzados de materias primas y productos terminados; desarrollo de productos agroalimentarios, fitoquímicos y nutraceúticos; ingeniería de procesamiento por tecnologías no convencionales; y modelación, simulación y optimización de procesos agroalimentarios. También ha desarrollado investigaciones en dichas áreas. Actualmente se desempeña como profesor asociado en el Departamento de Alimentos de la Universidad de Antioquia.

Mauricio Londoño Bonilla
mlondonob@agrosavia.co

Administrador de empresas agropecuarias. Especialista en Manejo Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Católica de Oriente (Rionegro, Antioquia). Maestría en Desarrollo Comunitario Sustentable de la Universidad Nacional de Costa Rica (sede Heredia). Experiencia de 26 años en investigación, transferencia de tecnología, extensión y capacitación agrícola. Líder y coejecutor de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, vinculación y transferencia de tecnología. Autor y coautor de varias publicaciones técnicas. Ha participado en capacitación y acompañamiento técnico dirigido a diferentes grupos organizados de productores. Docente de cátedra y asesor externo de prácticas y pasantías. Instructor agrícola en varias instituciones de formación. Actualmente desempeña el cargo de investigador máster en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA (Rionegro, Antioquia).

Martha Eugenia Londoño Zuluaga
londonomartha57@gmail.com

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Maestra en Ciencias, con Especialidad en Sanidad Vegetal del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (México). Durante 31 años ha trabajado en investigación y en generación de estrategias para el manejo de plagas en frutales, hortalizas, maíz, arroz y fríjol. Se destaca su aporte a la cadena productiva de aguacate, a la cual ha estado vinculada como investigadora desde Corpoica (hoy AGROSAVIA), pero también como productora, consultora y asesora. Fue la directora académica del IX World Avocado Congress en el 2019, evento de más alto prestigio sobre el aguacate en el mundo.

Jairo García Lozano
jgarcialo@ut.edu.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima. MSc en Ciencias Agrarias con énfasis en Fisiología de Cultivos. Doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá). Ha trabajado por más de 30 años en las áreas de recursos genéticos vegetales, agroforestería, zonificación de la aptitud de las tierras y ecofisiología vegetal, con énfasis en estrés abiótico en diversos cultivos, especialmente, cacao, mango, cítricos y aguacate. Ha liderado proyectos de investigación y transferencia de tecnología en frutales y es autor de diversas publicaciones resultado de investigación. Actualmente ocupa el cargo de decano (e) de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad del Tolima (Ibagué).

Takumasa Kondo
tkondo@agrosavia.co

Investigador sénior de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira (Colombia). Ingeniero agrónomo y máster en ciencias (Desarrollo Internacional de Agricultura) de la Universidad de Agricultura de Tokio (Japón). Doctorado en Entomología de la Auburn University (Alabama, EE. UU.). Trabaja en el manejo integrado de plagas (MIP) de frutales tropicales. Es editor en jefe de la revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria y editor temático de varias revistas científicas, entre ellas, *Neotropical Entomology*, *Revista Brasileira de Entomologia* y *Revista Colombiana de Entomología*. Ha publicado más de 170 artículos científicos, incluyendo libros y capítulos de libro.

Nelson Walter Osorio Vega
nwosorio@unal.edu.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia. Magíster y PhD de la Universidad de Hawái (Honolulu, EE. UU.), con un área mayor en Agronomía y Ciencia del Suelo y un área menor en Ecología Microbial. Desde 1995 se desempeña como profesor de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Es el director del Grupo de Investigación de Microbiología del Suelo (Grupo A de Colciencias), en el cual ha dirigido a la fecha cuarenta tesis de posgrado (MSc y PhD) y más de cincuenta trabajos de pregrado. Tiene más de cien publicaciones en revistas indexadas y libros de carácter nacional e internacional. Ha sido evaluador de revistas académicas nacionales y extranjeras. Es consultor especializado en manejo de suelos y nutrición de diversos cultivos (banano, aguacate, palma de aceite, café, mango, guanábana, entre otros).

Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo
grodriguezy@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo con Maestría en Ciencias del Suelo y PhD en Ciencias Agrícolas (Universidad Central de Venezuela). Ha desarrollado trabajos de investigación en frutales tropicales y subtropicales con énfasis en manejo integrado del sistema productivo, nutrición del cultivo, fertilización, salud y calidad de suelos, ecofisiología vegetal y buenas prácticas agrícolas en cultivos de plátano, banano, maracuyá, piña, mango, aguacate y durazno. Se ha desempeñado como investigador y docente universitario en fruticultura. Actualmente es investigador PhD de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA y hace parte de la Red Frutales, Departamento de Semillas, del Centro de Investigación Tibaitatá, sede central (Mosquera Cundinamarca).

Adriana Katerine Rodríguez-León
akrodriguezl@unal.edu.co

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá). Ha trabajado en las áreas de ecofisiología, fenología, uso y manejo del suelo, monitoreo de variables físicas y químicas de los suelos y seguimiento de las condiciones ambientales en cultivos como palma de aceite, pasifloráceas, aguacate Hass y frutales de clima frío moderado en diferentes regiones del país. Ha estado vinculada a proyectos de investigación con la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), el Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Tatiana Mallanín Rondón Salas
trondon@agrosavia.co

Magister Scientiarum en Agronomía, con énfasis en Ciencias del Suelo de la Universidad Central de Venezuela. Amplia experiencia en las líneas de investigación de relaciones suelo- planta-clima; física, química y biología de suelos; manejo de suelos y agua; zonificación de cultivos con criterios de sostenibilidad mediante combinación de técnicas de geomática (herramientas como NDVI); estudios relacionados con cambio de uso de suelos y definición de TUT en cultivos frutales y transitorios. Actualmente está adscrita a la Red Frutales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, donde lidera y participa en proyectos sobre cultivos frutales permanentes.

Daniel Ruiz
danisac187@hotmail.com

Geógrafo de la Universidad del Valle. Ha trabajado en el campo de los sistemas de información geográficos (SIG) durante los últimos años aplicándolo a diferentes ramas como la gestión del riesgo, el urbanismo, la salud y la teledetección. Es coautor de un artículo científico sobre la gestión del riesgo en la ciudad de Cali. Actualmente ocupa el cargo de geógrafo investigador en el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP) en el Área de Riesgos Marino-Costeros.

Angélica Sandoval Aldana
apsandovala@ut.edu.co

Ingeniera química de la Universidad Nacional de Colombia y PhD en Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle. Cuenta con más de doce años de experiencia en el desarrollo de proyectos de investigación en productos y procesos alimentarios. Profesora de la Universidad del Tolima. Líder del grupo interdisciplinario de investigación en Fruticultura Tropical. Investigadora a cargo de proyectos de desarrollo agronómico y agroindustrial y de alianzas institucionales en el departamento del Tolima. Experiencia como docente en asignaturas relacionadas con el área de transformación agroindustrial. Actualmente es directora de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroindustrial de la Universidad del Tolima y es miembro de Colciencias como evaluadora.

Pablo Julián Tamayo Molano
ptamayo@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira). Maestría en la Universidad Federal de Viçosa (Brasil). Trabajó durante doce años con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y se encuentra actualmente vinculado con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA desde 1993, en el Centro de Investigación La Selva (Rionegro, Antioquia). Allí ha desarrollado más de 60 proyectos de investigación en el área de resistencia genética y control de enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos en frutales de clima cálido y frío moderado, hortalizas, leguminosas, papa, estevia, café y sorgo.

Álvaro Tamayo Vélez
atamayo@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Máster en Suelos por la Universidad de Puerto Rico y doctor en Ciencias Agrarias en la línea de investigación de fertilidad de suelos y microbiología por la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín). Es investigador PhD asociado en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, donde recibió mención honorífica por el mejor trabajo de investigación y desarrollo tecnológico Corpoica y otras distinciones por el Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Tiene experiencia en el manejo de conservación de suelos y nutrición vegetal en especies de importancia económica en el trópico, en el manejo integrado de cultivos frutales, de cultivos de seguridad alimentaria, cultivos de hortalizas y cultivos industriales.

Édgar Herney Varón Devia
evaron@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima. Magíster en Agricultura Ecológica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). PhD en Entomología de CATIE-Universidad de Idaho. Tiene experiencia de trece años en el manejo integrado de plagas en cultivos, principalmente en frutales como mango, aguacate, pasifloras y cítricos. Su interés está enfocado en desarrollar programas de manejo integrado de artrópodos plaga en frutales de clima cálido y medio, que incluyan estrategias de muestreo de poblaciones, uso de control biológico, implementación de criterios de aplicación y desarrollo de herramientas alternativas a las tradicionales de carácter químico. Actualmente es investigador PhD asociado en el Centro de Investigación Nataima (El Espinal, Tolima).

Luz Adriana Vásquez Gallo
lvasquez@agrosavia.co

Administradora de empresas agropecuarias. Magíster en Gerencia de Programas Sanitarios en Inocuidad de Alimentos de la Universidad para la Cooperación Internacional (Costa Rica). Investigadora con formación en desarrollo de proyectos con énfasis en inocuidad en la producción primaria y con experiencia en caracterización agronómica de frutales y de los sistemas de producción agrícola (mora, lulo, tomate de árbol, aguacate, fique y hortalizas). Experiencia en transferencia de tecnología a diferentes grupos, especialmente, productores agrícolas. Actualmente es investigadora máster de AGROSAVIA, en el Centro de Investigación La Selva (Rionegro, Antioquia).

Cristian Alexander Vega Marín
cavegam@correo.udistrital.edu.co

Ingeniero forestal. Especialista en Avalúos Rurales. MSc en Manejo, Uso y Conservación del Bosque de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá). Ha trabajado en fertilización, adaptación, crecimiento y comportamiento ecofisiológico de especies nativas y exóticas con fines maderables y de conservación; en gestión y formulación de planes de manejo de áreas protegidas; seguimiento a planes de gestión ambiental; estimación de impacto de la transferencia de tecnología en el sector agropecuario; y valuación de coberturas forestales naturales en predios rurales. Ha estado vinculado a la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif), a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA y a la Universidad Católica de Oriente.

Introducción

La presente publicación es producto de una serie de trabajos y prácticas de un grupo de especialistas pertenecientes a AGROSAVIA y a otras entidades. En ella se recoge información acerca del cultivo del aguacate: las experiencias de los investigadores y de los productores exitosos, en relación con la consulta de la literatura disponible. Para la realización de este trabajo participaron fitomejoradores, fisiólogos, entomólogos, fitopatólogos, edafólogos y especialistas en poscosecha, entre otros.

De acuerdo con estadísticas del Ministerio de Agricultura, la producción de aguacate (2019) en Colombia se encuentra altamente dispersa desde el punto de vista geográfico, pues el cultivo está presente en 25 departamentos del país: el 20,6 % del área sembrada se concentra en el departamento de Antioquia, al que le siguen Tolima y Caldas con el 16,4 % y el 13,5 %, respectivamente. Este cultivo representa el 7 % del área frutícola cosechada nacional (incluyendo plátano), así como el 5 % de la producción de todo el sector.

El rendimiento promedio nacional para el año 2019 fue de 9,24 t/ha, con una producción aproximada de 591.623 toneladas al año, en 60.000 hectáreas cosechadas. La principal amenaza del cultivo es la enfermedad causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi*, que ha afectado tanto a las variedades no mejoradas —es decir, las variedades criollas procedentes de la raza antillana, producidas en la Costa Atlántica, especialmente, en Bolívar y Cesar— como a las variedades mejoradas —entre las que se destacan Lorena, Booth 7 y 8, Trapp, Trinidad, Hass, Fuerte, Choquette y Santana, que se localizan especialmente en Antioquia, Valle del Cauca, Eje Cafetero y Tolima—. La producción nacional de aguacate es limitada, ya que no cubre la demanda interna del producto, y su cultivo es, en general, disperso y poco tecnificado.

Para 2018, la producción de aguacate en el mundo llegó a 6,4 millones de toneladas, de las cuales Colombia aportó el 5,1 %, con aproximadamente 326.666 toneladas; lejos de México como primer productor, con un 34 % de la producción mundial. Para 2019, el área sembrada con aguacate en Colombia era de 82.883 hectáreas, de las cuales el 50 % correspondía a los departamentos de Antioquia, Tolima y Caldas (41.900 ha) y el resto a los departamentos de Valle, Risaralda, Quindío, Santander, Huila, Meta, Cesar, Cundinamarca, Bolívar, Cauca, Boyacá, Norte de Santander, Nariño, Arauca, Sucre, La Guajira, Chocó, Casanare, Putumayo, Caquetá, Atlántico y Córdoba (40.983 ha).

La forma preferida de consumo del aguacate en Colombia es como acompañante de comidas: la fruta grande de 500 g es la más estimada, con un consumo aproximado de 6,3 kg/persona/año. La mayor parte de la producción del aguacate criollo en Colombia es transportada a los grandes centros urbanos como Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Bucaramanga y Bogotá, en camiones a granel, sin ningún tipo de acondicionamiento, lo cual, por el corto periodo de vida del producto, origina grandes pérdidas. Sin embargo, a partir de 2010 se dan las primeras exportaciones de aguacate cv. Hass en Colombia y partir de 2012 se da un auge, cuando algunos exportadores comienzan a posicionar la fruta en territorios europeos y, en años más recientes, hacia mercados como el de Estados Unidos y Asia. Estas exportaciones para 2018 superaron los 60 millones de dólares, equivalentes a unas 30.000 toneladas.

Las normas de calidad vigentes para el mercado nacional son las siguientes: producto sano, limpio, con máximo desarrollo, textura firme al tacto y pedúnculo a ras. No debe mostrar manchas, maltratos, magulladuras, cicatrices, cortaduras ni huellas de ataques de insectos y enfermedades. La pulpa debe presentar coloración amarilla, poseer mínima cantidad de fibra, tener un grosor no inferior a 8 mm, no presentar manchas negras circulares y estar sujeta a la semilla.

Capítulo I

Generalidades del cultivo

Jorge Alonso Bernal Estrada
Cipriano Arturo Díaz Díez

Origen

El aguacate tiene como su centro de origen a América (Avilán, Leal, & Bautista, 1992). Su distribución natural va desde México hasta Perú, pasando por Centro América, Colombia, Venezuela y Ecuador (Téliz, 2000). Los primeros pobladores de Centro y Suramérica domesticaron este árbol varias centurias antes de la llegada de los europeos a América (Téliz, 2000). El origen del aguacate como especie frutal, de acuerdo con Williams (1977b), tuvo lugar en las tierras altas del centro y oriente de México, así como en tierras altas de Guatemala y en las tierras bajas de Centroamérica (costa Pacífica). Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica, y también es considerada como el área donde se llevó a cabo su domesticación.

Aunque el origen del aguacate y de sus variedades ha sido identificado en el área de Mesoamérica, existen todavía algunos aspectos que no han sido suficientemente explicados, tal y como lo evidencian Galindo y Arzate-Fernández (2010), quienes aseguran que la

integración de estudios geológicos, arqueológicos y paleológicos permitieron examinar los ancestros más antiguos, su distribución geográfica y sus posibles rutas de dispersión. A la luz de los datos recolectados por estos autores, se propone que el centro de origen del aguacate posiblemente estuvo en el área que actualmente ocupa la Sierra Nevada de California y que esto pudo ocurrir cuando las montañas emergieron hace cerca de 5 a 8 millones de años. Después de esto, el aguacate emigró hacia el sur, en donde ocurrieron diferentes domesticaciones y evolucionaron las actuales variedades comerciales. Cada variedad se adaptó a diferentes condiciones ecológicas y empezó a ser domesticada por diferentes grupos culturales (Galindo & Arzate-Fernández, 2010).

Las evidencias arqueológicas indican que el uso y la selección de este frutal en México comenzaron hace unos 10.000 años. El aguacate era bien conocido por el hombre desde tiempo atrás, ya que la demostración más antigua del consumo de aguacate fue encontrada en una cueva en Coxcatlán, región de Tehuacán (Puebla, México), que data entre el 8000 y el 7000 a. C. (Smith, 1966); además, el hecho de encontrar semillas de aguacate en este lugar, de un tamaño mayor a las encontradas en excavaciones anteriores, demuestra que durante ese tiempo se produjo una selección progresiva en busca de un mayor crecimiento del fruto, entre otras cualidades (Smith, 1966, 1969).

Dispersión y domesticación

El aguacate, domesticado por los Aztecas, se dispersó desde México hasta el Perú en el período precolombino. En Sudamérica, solo se conocía en la región oriental, comprendida desde la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia, hasta el norte de Chile (Téliz, 2000). El aguacate domesticado se extendió por varias regiones de México y Centro América. La reproducción de nuevos árboles se hacía por semilla y así fue como se promovió una gran diversidad genética, que facilitó la adaptación de este frutal a diversas regiones (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2011).

Entre los siglos XVI y XVII, durante la Colonia, esta especie fue llevada a las Antillas, Brasil y al sur de Europa. A Hawái, La Florida y California fue introducida en el siglo XIX; mientras que en Sudáfrica, Argentina e Israel, se iniciaron cultivos comerciales en la primera mitad del siglo XX (Ibar, 1979; Knight, 2007).

El aguacate ha sido utilizado y seleccionado en lo que actualmente es el estado de Puebla en México, desde hace aproximadamente 9.000 años (Smith, 1966, 1969). El primer material utilizado corresponde a un ejemplar de la raza mexicana nativa de esta zona; sin embargo, en el Valle de Atlixco, también en el estado de Puebla, árboles de semilla de las razas mexicana y guatemalteca habían sido ya encontrados, así como la aparente hibridación interracial entre estas (Knight & Campbell, 1999).

Existe evidencia directa de la domesticación de maíz, calabaza, yuca, algodón, aguacate, camote y agave en el período Clásico Maya, que está sustentada por restos de plantas en el contexto arqueológico y lingüístico, que le dan validez a esta lista de cultivos (Turner & Miksiek, 1984). Las culturas antiguas también contaban con un buen conocimiento acerca del aguacate y de sus variantes, como se muestra en el Códice Florentino, en el que se mencionan tres tipos de aguacate que, de acuerdo con su descripción, se dan así: "aoacatl" podría tratarse de la raza mexicana; "tlacacolaoacatl", a la raza antillana, y "quilaoacatl", a la raza guatemalteca (Scora, Wolstenholme, & Lavi, 2007). Por otra parte, en el Códice Mendocino existen jeroglíficos que brindan indicios del poblado Ahuacatlan, que en lengua náhuatl significa "lugar donde abunda el aguacate". Después del descubrimiento de América, y con la conquista de México, Centroamérica, Colombia y Perú, el aguacate fue llevado a España en 1600 y, posteriormente, comenzó su distribución a nivel mundial (Barrientos-Priego & López-López, 2002; Smith, Williams, Plunknett, & Talbot, 1992) (tabla 1.1) (figura 1.1).

Tabla 1.1. Dispersión geográfica del aguacate y año de origen

País-región	Año	País-región	Año	País-región	Año
España	1600	Senegal	1824	Filipinas	1890
Jamaica	1650	Singapur	1830	India	1892
Cuba	1700	Florida	1833	Tanzania	1892
Ghana	1750	California	1848	Mali	1892
Barbados	1751	Asia	1850	Malasia	1900
Islas Mauricio	1780	Australia	1850	Sudáfrica	1904
Madagascar	1802	Chile	1850	Nueva Zelanda	1910
Brasil	1809	Uganda	1856	Israel	1924
Hawái	1810	Egipto	1870	Turquía	1932

Fuente: Elaboración propia con base en Smith et al. (1992)

Figura 1.1. Dispersión del aguacate desde su centro de origen después de la Conquista.
Fuente: Adaptado de Smith et al. (1992)

El aguacate es cultivado principalmente en tres zonas climáticas distintas: 1) los climas frescos, semiáridos, con lluvias predominantes en invierno, como California, Chile e Israel; 2) los climas subtropicales húmedos, con lluvias predominantes en verano, como en México, Sudáfrica y el este de Australia, y 3) los climas tropicales y semitropicales con veranos lluviosos, como en Brasil, Florida e Indonesia (Wolstenholme, 2007). Cabe destacar que Wolstenholme (2007) no hace referencia a las áreas de siembra del aguacate para Colombia.

Según MADR (2019), en Colombia había una área sembrada de aguacate de 82.882 ha y un área en producción de 60.042 ha, que posiciona al país como el segundo a nivel mundial en área cosechada y como quinto en producción (Food and Agriculture Organization [FAO], 2018). Las zonas productoras de aguacate en Colombia presentan grandes variaciones en altitud, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, entre otros factores, lo que proporciona una gran variación en la respuestas de los cultivares en cuanto a comportamiento agronómico, productividad, rendimiento y calidad de fruta. Sumado a lo anterior, existe una gran cantidad de genotipos criollos, producto del cruce entre las diferentes razas, que permite un suministro casi permanente de fruta y por lo que la producción total del país es consumida internamente.

Así pues, se pone de relieve el vacío que existe en la información sobre las condiciones en las que se desarrolla el cultivo en Colombia, pues estas son bastante diferentes a las de las zonas mencionadas por Whiley y Schaffer (1994), trayendo como consecuencia la adopción de prácticas procedentes de otras latitudes, que deben ser validadas con el consecuente riesgo de pérdidas de dinero y tiempo. Es por ello que se hace imperioso el adelantar trabajos de investigación básicos en el país, con miras a mejorar las condiciones de cultivo en ambientes de características tan particulares.

Actualmente, el aguacate se produce en los cinco continentes, tanto en países tropicales como subtropicales, aunque los mayores cultivos se encuentran en América, destacándose México como el primer productor mundial, seguido de República Dominicana, Perú, Indonesia y Colombia; también en América destacan Brasil, Estados Unidos (California y La Florida), Venezuela, Guatemala, Chile y Haití (FAOSTAT, 2018) en la producción de aguacate. En la tabla 1.2 se relacionan los primeros 20 países productores de aguacate, por orden de importancia en área cosechada, y se incluye la producción y el rendimiento promedio por hectárea. En el ámbito mundial, los principales países importadores en su orden son Estados Unidos, Francia, Países Bajos, Japón, Reino Unido, Alemania, Canadá, España y El Salvador.

Tabla 1.2. Países productores de aguacate a nivel mundial (2018)

Posición	País	Área aproximada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
1	México	206.389	2.184.663	10,59
2	Colombia	41.519	326.666	7,87
3	Perú	40.134	504.517	12,57
4	Indonesia	33.393	410.094	12,28
5	Chile	29.166	124.506	4,27
6	Sudáfrica	24.002	127.567	5,31
7	EE. UU.	21.707	168.528	7,76
8	China	21.553	128.743	5,97
9	Camerún	16.543	75.221	4,55
10	Haití	15.529	90.699	5,84
11	Kenia	14.497	233.933	16,14
12	Brasil	14.331	235.788	16,45
13	R. Dominicana	13.924	644.306	46,27
14	Australia	13.531	63.486	4,69
15	España	12.161	89.592	7,37
16	Guatemala	12.060	124.931	10,36
17	Venezuela	11.544	139.685	12,10
18	Etiopía	11.511	52.389	4,55
19	Israel	9.408	131.720	14,00
20	R. del Congo	9.351	65.773	7,03

Fuente: Elaboración propia con base en FAOSTAT (2018)

En Colombia, de acuerdo con la raza de origen, el aguacate puede crecer desde 0 hasta 2.500 m s. n. m., en zonas de cordillera. En la tabla 1.3, aparece el área cosechada de aguacate en Colombia, entre 2010 y 2019 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2019), mientras que en la figura 1.2 se muestra el área cosechada, la producción y el rendimiento por departamento para 2019.

Tabla 1.3. Superficie cosechada, producción y rendimiento de aguacate, obtenido por departamento en Colombia (2010-2019)

Departamento	Variable	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Antioquia	Superficie	2.907	3.196	4.083	4.826	4.851	5.649	5.780	8.167	8.060	9.306
	Producción	28.819	28.257	38.056	46.584	46.600	61.690	67.032	133.461	121.010	137.179
	Rendimiento	9,91	8,84	9,32	9,65	9,61	10,92	11,60	16,34	15,01	14,74
Bolívar	Superficie	3.533	3.493	3.406	2.886	3.001	2.940	2.112	2.418	2.292	2.321
	Producción	35.304	34.990	34.804	30.248	30.808	24.135	20.996	26.744	24.144	25.049
	Rendimiento	9,99	10,02	10,22	10,48	10,27	8,21	9,94	11,06	10,53	10,79
Boyacá	Superficie	116	154	168	197	196	277	308	450	775	864
	Producción	1.234	1.566	1.071	1.445	1.296	1.451	2.040	3.911	7.579	15.711
	Rendimiento	10,68	10,14	6,37	7,34	6,63	5,25	6,63	8,69	9,79	18,18
Caldas	Superficie	1.341	1.723	2.432	3.614	3.870	4.002	4.774	7.890	8.413	8.850
	Producción	12.134	15.009	23.796	32.772	36.741	33.372	42.575	81.447	95.804	94.776
	Rendimiento	9,05	8,71	9,78	9,07	9,49	8,34	8,92	10,32	11,39	10,71
Cesar	Superficie	1.657	1.827	2.124	1.982	1.953	2.062	2.186	2.028	2.697	2.648
	Producción	11.478	12.938	16.745	15.798	12.161	18.205	14.770	13.241	18.788	20.576
	Rendimiento	6,93	7,08	7,88	7,97	6,23	8,83	6,76	6,53	6,97	7,77

(Continúa)

(Continuación tabla 1.3.)

Departamento	Variable	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Cundinamarca	Superficie	272	272	506	451	569	705	1.295	1.100	1.521	1.594
	Producción	1.493	1.649	3.046	3.567	3.559	4.797	7.090	7.446	9.290	10.142
	Rendimiento	5,48	6,06	6,02	7,92	6,26	6,81	5,48	6,77	6,11	6,36
Huila	Superficie	192	243	296	435	631	699	1.099	1.597	1.975	2.430
	Producción	1.910	2.461	2.947	4.618	6.565	7.267	11.586	17.145	21.256	25.668
	Rendimiento	9,97	10,13	9,96	10,61	10,41	10,39	10,54	10,74	10,76	10,56
Meta	Superficie	150	161	535	566	519	527	598	1.382	2.256	2.318
	Producción	1.983	2.328	6.938	7.142	4.788	5.306	5.951	15.570	23.769	31.037
	Rendimiento	13,22	14,46	12,97	12,62	9,23	10,07	9,95	11,27	10,54	13,39
Quindío	Superficie	717	714	667	1.133	1.428	1.718	2.059	2.580	3.216	3.221
	Producción	4.603	4.515	4.894	9.105	10.878	12.585	16.011	20.597	25.336	26.417
	Rendimiento	6,42	6,32	7,34	8,03	7,62	7,33	7,78	7,98	7,88	8,20
Risaralda	Superficie	984	996	1.261	1.237	1.270	1.154	1.604	2.227	2.385	2.522
	Producción	9.112	8.921	12.458	14.833	15.699	14.091	17.200	24.259	25.412	27.175
	Rendimiento	9,26	8,96	9,88	11,99	12,36	12,21	10,72	10,90	10,66	10,77

(Continúa)

(Continuación tabla 1.3.)

Departamento	Variable	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Santander	Superficie	1.379	2.127	2.833	3.218	3.004	3.315	3.434	4.422	3.343	3.519
	Producción	12.406	17.799	22.499	27.422	17.403	19.918	21.771	24.732	23.101	28.094
	Rendimiento	9,00	8,37	7,94	8,52	5,79	6,01	6,34	5,59	6,91	7,98
Tolima	Superficie	5.830	6.810	5.882	7.822	9.054	10.602	10.516	11.850	12.753	12.866
	Producción	63.465	58.317	51.927	63.224	58.649	61.561	58.483	72.063	82.500	83.110
	Rendimiento	10,89	8,56	8,83	8,08	6,48	5,81	5,56	6,08	6,47	6,46
Valle del Cauca	Superficie	1.130	1.168	1.422	1.615	1.743	1.833	1.928	2.195	2.853	3.199
	Producción	12.065	15.636	21.309	22.923	24.823	25.794	26.389	21.535	28.208	31.182
	Rendimiento	10,68	13,39	14,99	14,20	14,24	14,07	13,69	9,81	9,89	9,75
*Otros	Superficie	1.378	1.628	2.091	2.107	2.427	2.876	3.290	3.712	3.729	4.385
	Producción	9.427	10.531	14.894	15.317	18.770	22.443	23.984	28.114	27.724	35.506
	Rendimiento	6,84	6,47	7,12	7,27	7,73	7,80	7,29	7,57	7,43	8,10
Total	Superficie	22.301	25.227	28.373	33.222	35.942	40.077	43.040	54.597	59.483	63.263
	Producción	205.432	214.917	255.384	294.997	288.739	312.615	335.877	490.266	533.921	591.623
	Rendimiento	9,21	8,52	9,00	8,88	8,03	7,80	7,80	8,98	8,98	9,35

Nota: Superficie en hectáreas (ha). Producción en toneladas métricas (t). Rendimiento en toneladas por hectárea (t/ha).
* Arauca, Atlántico, Caquetá, Casanare, Cauca, Chocó, Cordoba, Guainía, La Guajira. Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Sucre y Vichada
Fuente: Elaboración propia con base en información del MADR (2019)

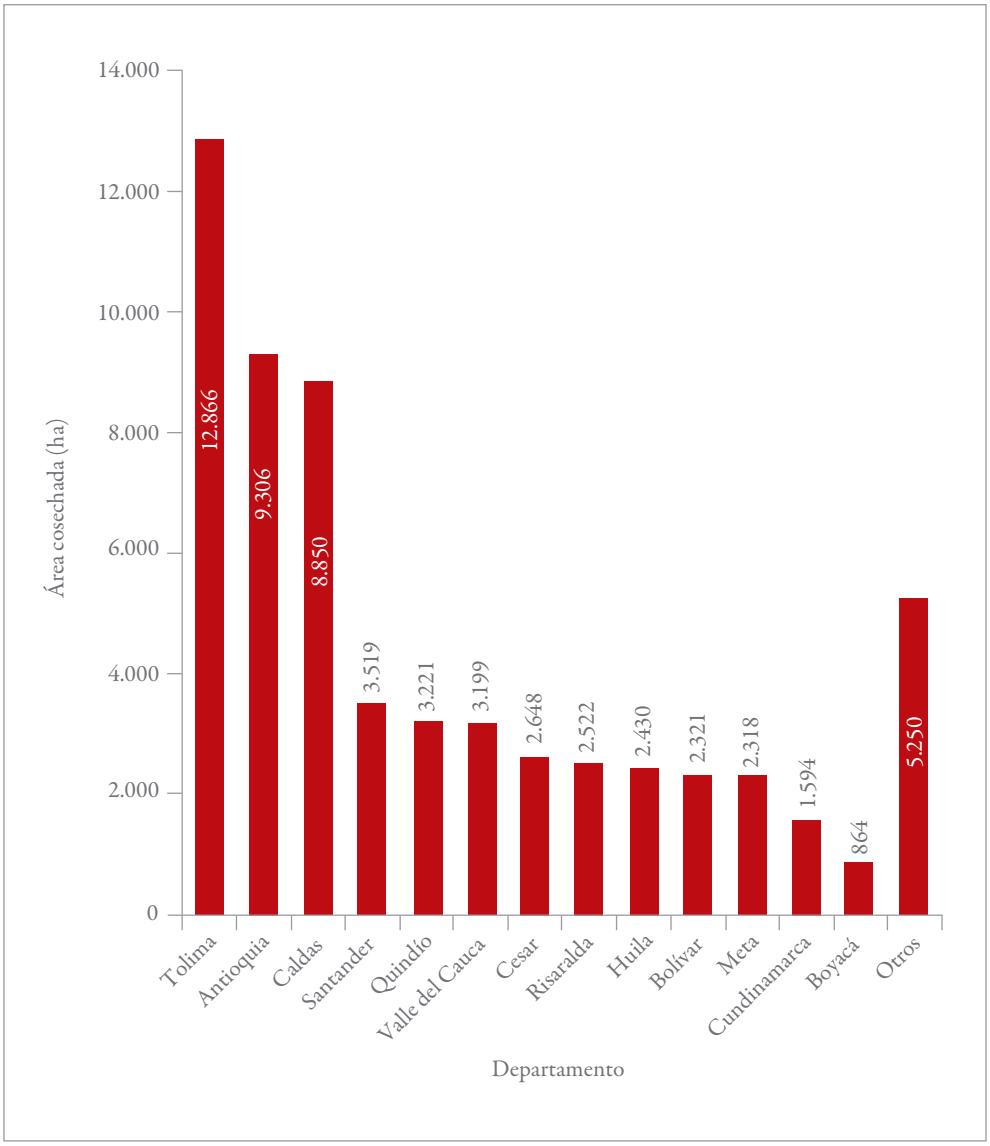


Figura 1.2. Área (ha) cosechada de aguacate en Colombia por departamento (2019).
Fuente: Elaboración propia con base en información del MADR (2019)

En la tabla 1.4, se pueden observar, por orden de importancia, los principales departamentos productores de aguacate en Colombia, el área cultivada en ha, la producción en t y el rendimiento en t/ha, para el 2019 (MADR, 2019). Cabe destacar que el área sembrada en aguacate en Colombia ya asciende a más de las 82.882 ha, lo que da cuenta de la importancia que ha tenido este renglón frutícola en los últimos años en el país.

Tabla 1.4. Orden de importancia del área cosechada, producción y rendimiento de aguacate en Colombia por departamento para 2019

Posición	Departamento	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	%	Producción (t)	%	Rendimiento (t/ha)
1	Tolima	13.603	12.866	21,43	83.110	14,05	6,46
2	Antioquia	17.107	9.306	15,50	137.179	23,19	14,74
3	Caldas	11.189	8.850	14,74	94.776	16,02	10,71
4	Santander	4.421	3.519	5,86	28.094	4,75	7,98
5	Quindío	4.424	3.221	5,36	26.417	4,47	8,20
6	Valle del Cauca	4.661	3.199	5,33	31.182	5,27	9,75
7	Cesar	3.206	2.648	4,41	20.576	3,48	7,77
8	Risaralda	4.578	2.522	4,20	27.175	4,59	10,77
9	Huila	3.382	2.430	4,05	25.668	4,34	10,56
10	Bolívar	2.549	2.321	3,87	25.049	4,23	10,79
11	Meta	3.322	2.318	3,86	31.037	5,25	13,39
12	Cundinamarca	2.638	1.594	2,65	10.142	1,71	6,36
13	Boyacá	1.308	864	1,44	15.711	2,66	18,18
14	otros	6.493	4.385	7,30	35.506	6,00	8,10

Otros: Amazonas, Arauca, Atlántico, Caqueta, Casanare, Cauca, Chocó, Córdoba, La Guajira. Nariño, Norte de Santander, Putumayo, San Andrés y Providencia, Sucre y Vichada
Fuente: Elaboración propia con base en información del MADR (2020)

De acuerdo con información suministrada por Mejía (2017), las variedades de aguacate se distribuyen en Colombia de la siguiente manera: aproximadamente el 32 % del total del área sembrada corresponde a aguacates criollos; el 38 % corresponde a la variedad Hass, y el 30 % restante a aguacates tipo papelillo y otros, como Lorena, Santana, Choquette, Booth 8, Semil 40, Edranol y Trinidad. Dentro de los aguacates criollos, los departamentos de Bolívar, Cesar, Santander y Tolima aportan el 80 %; para el Hass, el 86 % está sembrado en los departamentos de Antioquia, Tolima y el Eje Cafetero (Caldas, Quindío y Risalada), mientras que para los papelillos el 68 % está representado por el departamento del Tolima y la región del Eje Cafetero.

Etimología

La palabra *aguacate* proviene de la lengua náhuatl en la que, para designar este fruto, usaban un símil en el que por su forma y posición en el árbol lo comparaban a un testículo (Avilán et al., 1992); la palabra empleada era *ahuacatl* y fue usada por primera vez por Francisco Cervantes de Salazar, en su obra "México en 1554" (Popenoe, 1920; Galán-Saúco, 1990). El nombre más común de este fruto en español es *aguacate* o *ahuacate*. De ella también deriva su nombre en inglés, "avocado"; holandés "advocaat" o "avocat"; en alemán, "Abakate" y "abacat" en portugués, el nombre inca de *palta* aún se utiliza en Perú, Ecuador y Chile (Ibar, 1979). Paltas es el nombre de una pequeña tribu que habitaba la región de Zaraguro en el norte de la Provincia de Loja. Los quechuas al conquistar el sur de Ecuador le llamaron Palta a este fruto (Popenoe, Zentmyer, & Schieber, 1997).

Taxonomía

De acuerdo con Gutiérrez (1970, 1984), el aguacate pertenece al reino vegetal, división Spermatophyta, subdivisión Angiospermae, clase Dicotyledoneae, subclase Dialypetalae, orden Ranales, familia Lauraceae, género *Persea* y especie *Persea americana* Miller.

El aguacate pertenece a la familia de las lauráceas (Lauraceae), que está formada por 52 géneros y cerca de 3.500 especies; esta es una de las familias más primitivas de las dicotiledóneas. En esta familia hay especies de gran importancia económica, productoras de aceites esenciales, como el alcanfor (*Cinnamomum camphora*) y de especias como la canela (*Cinnamomum zeylanicum* Nees) y maderas finas (Avilán,

Leal, & Bautista, 1989). Los miembros de esta familia han sido utilizados como alimento y condimento; con fines medicinales, cosméticos e industriales, así como con propósitos ornamentales y para la extracción de madera (Scora et al., 2007).

El género *Persea* está formado por 150 especies, distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en Asia, Islas Canarias y América, donde existen 80 especies (Vargas, 2002), la mayoría de las cuales se encuentra desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica (*P. borbonia*) hasta Chile (*P. lingue*). Solo son excepciones *P. indica*, que se encuentra en las Islas Canarias (España), y probablemente otras del sur de Asia, que también se cree que pertenecen a este género (Barrientos-Priego & López-López, 2002).

El género está formado por árboles de hojas coriáceas y aromáticas; inflorescencias axilares o subterminales, dispuestas en panículas corimbosas o racimosas; flores pediceladas o sésiles, hermafroditas, con ovario globoso y subgloboso, de estilo delgado y de estigma triangular peldado; frutos en bayas globosas o elípticas (Vargas, 2002). El género *Persea* se ha divido, con base a diversas características morfológicas, en los subgéneros *Persea* (de origen mesoamericano) y *Eriodaphne* (de origen eminentemente suramericano) (Kopp, 1966; van der Werff, 2002; Scora et al., 2007), siendo la pubescencia de la cara interior de los tépalos y el tamaño de los frutos las características principales para diferenciar ambos subgéneros. *Persea* tiene ambas caras pubescentes y frutos grandes, conocidos como aguacates verdaderos, y *Eriodaphne* presenta frutos pequeños, llamados aguacatillos y, generalmente, la cara interna sin pubescencia (Barrientos-Priego & López-López, 2002). La especie más representativa del género y subgénero Persea es *Persea americana* Mill., comúnmente conocida como aguacate, el cual es un frutal de gran importancia agrícola y económica a nivel mundial (Schaffer, Wolstenholme, & Whiley, 2013).

En el subgénero *Persea* se reconocen tres especies: *P. schiedeana* Nees, *P. parvifolia* Williams y *P. americana* Mill. Esta última es poliforme y está constituida por varios taxones separados, que pueden ser considerados como variedades botánicas o subespecies; además, en la literatura técnica, son descritas como razas "hortícolas". Dentro de este grupo están las variedades de aguacate que se comercializan actualmente, a saber, *P. americana* var. *americana* Mill., que corresponde al aguacate antillano o de tierras bajas (Scora & Bergh, 1992); *P. americana* var. *drymifolia* (Schlect y Cham) Blake, que corresponde al aguacate mexicano o de tierras altas, y *P. americana* var. *guatemalensis* Williams, perteneciente a los aguacates guatemaltecos. Estas tres son consideradas ecotipos geográficos. Además del aguacate, se encuentran en este

grupo *P. nubigena* (aguacate de monte), *P. steyermarkii* (aguacate de montaña), *P. schiedeana* (chinini, chinene, chenene, yas, hib) y *P. floccosa* (aguacate cimarrón). Por otra parte, en este subgénero, Williams (1977a) incluyó las especies *P. parvifolia* (aguacatillo de Veracruz, México) y *P. primatogena* (guaslipe de Nicaragua), este último reclasificado como de otro género diferente al del aguacate, llamado *Beilschmiedia*. Schieber y Bergh (1987) han propuesto la incorporación de *P. tolimanensis* (aguacate de mico) y *P. zentmyerii* de Guatemala a este subgénero. Todas estas especies se encuentran localizadas en Mesoamérica, principalmente en México y Guatemala.

En el subgénero *Eriodaphne* se encuentran las especies que tienen frutos pequeños, cuyo tamaño varía entre el de una aceituna y el de un fríjol, y cuya distribución va desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica hasta Chile, muchas de las cuales se conocen como aguacatillos en diversas regiones, especialmente en Sudamérica. La importancia que tienen algunas de las especies de este subgénero es su inmunidad a la "tristeza del aguacate", enfermedad que ataca a la raíz y que es causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands.; sin embargo, no son compatibles con el aguacate, pero existe la esperanza de encontrar algún tipo que, al usarse como injerto intermedio, supere la incompatibilidad vegetativa. De hecho, el Dr. Richard E. Litz, de la Universidad de Florida, ya obtuvo el primer híbrido intergenérico entre los dos subgéneros, mediante fusión de protoplastos, tal y como lo documentan Barrientos-Priego y López-López (2002).

En la zona Andina de Colombia se encuentran las siguientes especies de *Persea: P.* aff. *rigens* C. K. Allen, *P.* sp. Nov, *P. subcordata* (R. & P.) Nees, Kunth, *P. ferruginea* Kunth, *P. caerulea* Mez. (Vargas, 2002). Además, Escobar (2001) menciona las especies *Beilschmiedia costaricensis* (Mez & Pittier) C. K. Allen y *Nectandra macrophylla* (Nees) Mez como dos especies de lauráceas denominadas "aguacatillos", que se encuentran en la región Andina del Valle del Cauca.

Nombres dados al aguacate

Este fruto ha tenido diferentes denominaciones a través de los cinco siglos de registros escritos de que se dispone, dependiendo de las lenguas de las principales culturas prehispánicas (mayas, incas, aztecas y chibchas), así como de los nombres dados por los europeos en sus diferentes lenguas, y los nombres dados en diferentes países, como se ilustra en las tablas 1.5, 1.6 y 1.7 (Popenoe et al., 1997).

Tabla 1.5. Nombres dados al aguacate en diferentes lenguas y regiones

Nombre	Lengua	Región
México		
Nitzani	Otomí	Veracruz, Tabasco
Cupanda	Purépecha	Michoacán
Ahuacatl	Náhuatl	Centro
Pahua	Náhuatl	Veracruz (Tlachichilco)
Cucata	Totonaca	Veracruz
Cucatizi	Totonaca	Veracruz
Yasu, Yashua, Ishu, Isu	Zapoteca	Oaxaca
Cuytem	Zoques	Veracruz
Cuchem	Zoque	Texistepec (Istmo)
Cuchpa	Mixe	San Juan de Guichicovi (Istmo)
Tzitzi, Tzitzitico	Maya	Chiapas
On	Maya (Tzental)	Yucatán, Chiapas
Hu	Huasteco	Veracruz, Tamaulipas
Guatemala		
Okh	Quiche	Guatemala
Oh	Kekihl	Norte de Guatemala
Ou	Chicomulteca	Guatemala
Um	Chol	Guatemala y México
Un	Chorti, Chontal	Guatemala y México del Sur
Ol	Maya (Cakchiquel)	Guatemala
On, Onte	Maya (Mam)	Guatemala
Otras regiones		
Amo	Chibchan-bribri	Centro América
Debo-ua	Chibchan-terraba	Centro América
Di-kora	Chibchan-Guatuso	Centro América
Cura, curo	Chibcha	Colombia (Rio Magdalena)
Palta	Quechua	Perú
Aswe	Cuna	Panamá
Beo, Bego	Catío	Colombia
Veó	Chami	Colombia
Okze, Otze	Paez	Colombia (Cordillera Central)
Agualate	Español	Cuba

Fuente: Elaboración propia con base en Popenoe et al. (1997)

Tabla 1.6. Nombre dado al aguacate en diferentes lenguas

Idioma	Nombre
Español	Aguacate
Inglés	Avocado, avocado tree, alligator, pears, alvacatas
Francês	Avocat
Portugués	Abacate
Alemán	Avogadobaun, advogato, avocato
Italiano	Avocado
Holandês	Advokaat

Fuente: Elaboración propia con base en Patiño (2002), Ibar (1979) y Avilán et al. (1989)

Tabla 1.7. Nombre dado al aguacate en diferentes países.

País	Nombre
Jamaica	Spanish pear, shell pear
Tailandia	A-wo-kha-do
Indonesia	Avokad
Venezuela	Cura, aguacatillo
Colombia	Aguacate
Chile y Perú	Palta
Cuba, Costa Rica y Las Antillas	Pagua
Francia	Avocatler-persee
Brasil	Avocateira
África occidental	Custard apple (manzana de mantequilla)

Fuente: Elaboración propia con base en Patiño (2002), Ibar (1979) y Avilán et al. (1989)

Botánica

Si bien la clasificación botánica del aguacate se ha prestado para controversias, puesto que los taxónomos han llegado a reconocer una, dos o hasta tres especies (Galán-Sauco, 1990), actualmente es aceptado por la mayoría que el aguacate puede ser agrupado bajo una sola especie: *P. americana* Mill. (Galán-Saúco, 1990).

El género *Persea* hace parte de la familia de las lauráceas (Galán-Saúco, 1990; Chandler, 1958), dentro de la que se destacan, además del aguacate cultivado, dos especies: *P. indica* Spreng., cuyas plantas se utilizan para detectar la presencia del hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands. en el suelo (Galán-Saúco, 1990; Zentmyer & Ohr, 1978), y *P. schiedeana* Ness, especie con frutos comestibles, compatible sexualmente y por injerto con el aguacate (Galán-Saúco, 1990; Schroeder, 1974), cuyos árboles obtenidos por semilla —algunos, por lo menos—, probables híbridos con el aguacate, exhiben notable resistencia al hongo anteriormente mencionado (Galán-Saúco, 1990; Schieber & Zentmyer, 1977).

Morfología

Tipo de planta

El aguacate es un árbol que, en condiciones naturales, puede sobrepasar los 10 m de altura, con una copa amplia, cuyo diámetro puede sobrepasar los 25 m en un árbol adulto. Los árboles de semilla, especialmente en su medio ambiente nativo, pueden alcanzar alturas que superan los 30 m. Sin embargo, los árboles injertados son enanizados en distinta intensidad, dependiendo del vigor del patrón o portainjerto y de las condiciones donde se desarrolla. En los subtrópicos, los árboles pueden alcanzar entre 10 y 15 m de altura, pero normalmente son mantenidos a no más de 7 u 8 m, mediante podas periódicas, debido a las dificultades que una mayor altura representa en el manejo fitosanitario y para las labores de cosecha. Además, el aguacate es una planta polimórfica: con diferentes formas del árbol (figura 1.3).

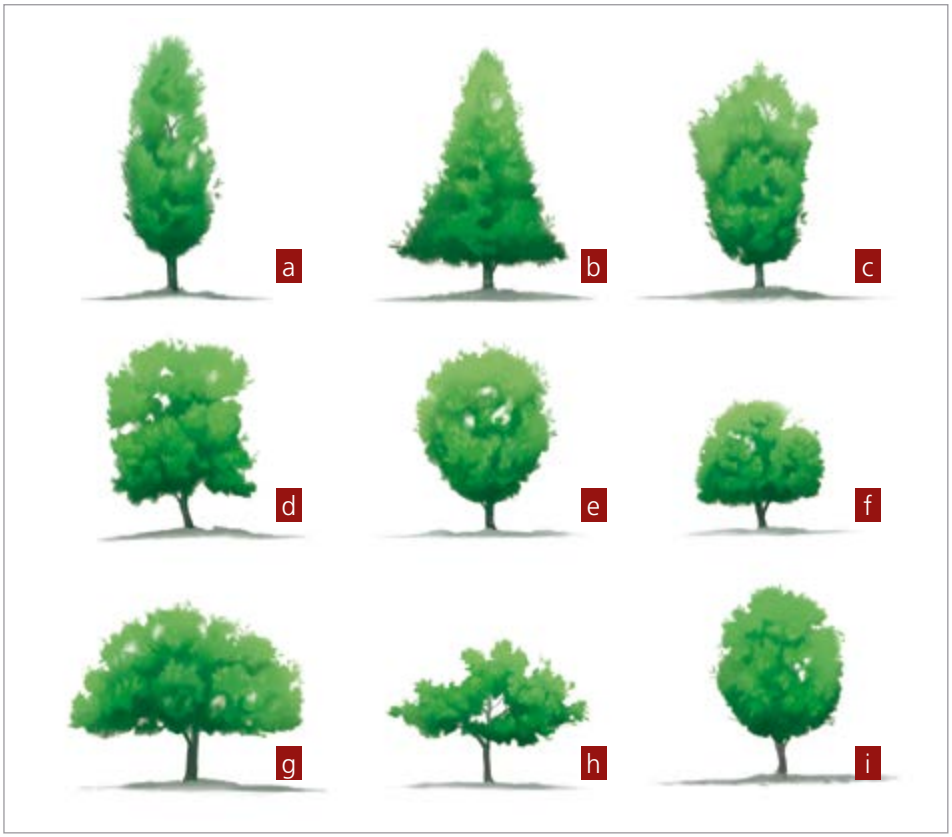


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.3. Diferentes formas de la copa del árbol de aguacate. a. Columnar; b. Piramidal; c. Obovado; d. Rectangular; e. Circular; f. Semicircular; g. Semielíptico; h. Irregular; i. Ovado.
Fuente: Elaboración propia a partir de IPGRI (1995)

Raíz

Invariablemente, el sistema radical del aguacate es descrito por Bergh (1992) como relativamente superficial y no se extiende mucho más de la copa del árbol. El mismo autor considera que existen tres aspectos de la evolución de las raíces de los árboles que han determinado su forma: en primer lugar, las lluvias frecuentes que existen en su hábitat originario en la selva lluviosa; en segundo lugar, el cultivo en suelo de rápido drenaje, como lo demuestran los altos requerimiento de oxígeno de las raíces y su sensibilidad al mal drenaje, y por último, la presencia de una rica cubierta orgánica, que explica la tendencia que tienen las raicillas sanas a crecer en cualquier estrato de materia en descomposición. Broadbent y Baker (1974) fueron los primeros en defender los beneficios del uso de coberturas orgánicas ("mulches"), para ayudar a formar suelos que restrinjan la pudrición de raíz causada por *Phytophthora*.

Se han demostrado otros efectos beneficiosos de las coberturas orgánicas sobre la reducción del estrés fisiológico, el aumento de la producción y el tamaño de los frutos del cultivar Hass, así como en la reducción del anillo necrótico en la base del pedicelo del fruto (Moore-Gordon & Wolstenholme, 1996; Wolstenholme, Moore-Gordon, & Ansermino, 1996). Sin embargo, el reforzamiento de la cobertura natural de hojarasca podría ser contraproducente en suelos muy húmedos, con arcillas muy densas y con salinidad excesiva (Scora et al., 2007).

En el aguacate, la raíz es pivotante, muy ramificada y de distribución radial (figuras 1.4a y 1.4b). La mayoría de las raicillas alimentadoras blancas (secundarias y terciarias) insuberizadas se distribuyen superficialmente, encontrándose entre el 80 y 90 % de estas, en los primeros 60 cm del suelo, aunque la raíz principal puede superar 1,0 m de profundidad (Whiley, Saranah, Cull, & Pegg, 1988).

Fotos: Eduardo Mejía y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.4. Detalle del sistema radical de la planta de aguacate. a. Raíz pivotante con abundante cantidad de raicillas secundarias; b. Raíz de un árbol adulto de aguacate.

Según Gingsburg y Avizohar-Hershenson (1980), las raíces del aguacate tienen pocos o ningún pelo radical. Estos mismos autores reportan la presencia de micorrizas vesículo-arbusculares, comúnmente asociadas a las raíces de este árbol, en huertos comerciales de aguacate. La aplicación de *Glomus fasciculatus* en un sustrato esterilizado promueve el crecimiento y la nutrición de plantas de aguacate originadas de semilla (Menge, La Rue, Labanauskas, & Johnson, 1980).

Tallo

El modelo arquitectónico del aguacate corresponde al definido por Rauh (Hallé, Oldeman, & Tomlinson, 1978), que se manifiesta al presentar el árbol un eje principal que crece más intensamente que los ejes laterales de primer orden, y estos a su vez crecen más intensamente que los de segundo orden, y así sucesivamente. Todo el sistema es atravesado por un eje principal único, con crecimiento indefinido. Estos procesos están relacionados con la dominancia apical, o sea, el efecto inhibidor que ejerce la yema apical sobre las yemas laterales. El tronco monopódico crece rítmicamente, desarrollando ramas escalonadas, morfogenéticamente idénticas al tronco. Este modelo se caracteriza por la presencia de inflorescencias pseudoterminales, que se desarrollan a partir de las yemas laterales próximas a la yema vegetativa terminal (Schroeder, 1944).

El tallo es un tronco cilíndrico, erecto, leñoso, ramificado, con una corteza áspera y a veces surcada longitudinalmente (figura 1.5). La copa, de ramas extendidas, es de forma globosa y acampanada.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.5. Tallo de un árbol adulto de aguacate.

El patrón de ramificación puede ser extensivo (cada rama sale abajo del ápice del vástago en cada flujo de crecimiento), intensivo (varias ramas salen abajo del ápice del vástago en cada flujo de crecimiento) o ambos (la distribución de las ramas puede ser ascendente, irregular, verticilada, axial y horizontal) (IPGRI, 1995).

Hojas

Las hojas del aguacate son pecioladas, alternas; su forma es diversa, tal como se aprecia en la figura 1.6. El margen puede ser entero u ondulado; la base puede ser aguda, obtusa y truncada; la forma del ápice puede ser muy agudo, agudo intermedio, obtuso y muy obtuso, con unas dimensiones de 8 a 40 cm de longitud y de 3 a 10 cm de ancho (IPGRI, 1995).

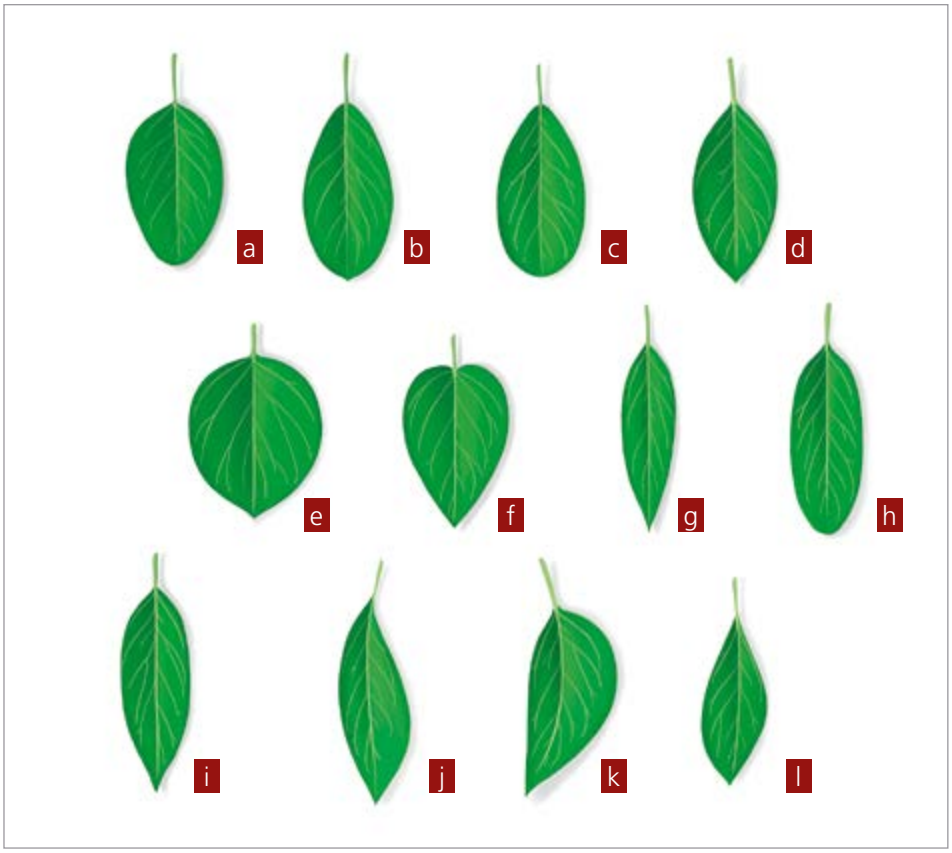


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.6. Formas de la hoja en aguacate. a. Ovada; b. Obovada-angosta; c. Obovada; d. Oval; e. Redondeada; f. Cordiforme; g. Lanceolada; h. Oblonga; i. Oblongo-lanceolada; j. Lanceolada asimétrica; k. Falsiforme; l. Obovada asimétrica.
Fuente: Elaboración propia a partir de IPGRI (1995)

El haz de las hojas es verde rojizo cuando están jóvenes (figura 1.7a); cuando estas maduran, es verde, poco brillante (figura 1.7b); el envés es verde opaco. Además, las hojas son pinnatinervias, con cuatro a diez pares de nervaduras laterales, prominentes por el envés. Las hojas se encuentran dispuestas en espiral y brotan en racimos (Avilán et al., 1992).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.7. Hojas de aguacate. a. Hojas jóvenes de color verde rojizo; b. Hojas maduras de color verde oscuro y opaco.

Los árboles de aguacate cultivados son, en su mayoría, de hoja persistente, pese a la longevidad sorprendentemente corta de sus hojas, que va de 10 a 12 meses (Whiley & Schaffer, 1994).

Los árboles de semilla, especialmente los de tipo antillano, presentan hojas grandes, redondeadas y coriáceas (figura 1.8a), a diferencia de las hojas de la mayoría de los cultivares mexicanos y guatemaltecos o de variedades mejoradas, propagadas por injerto, que presentan hojas delgadas y acuminadas (figura 1.8b).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.8. Forma y textura de hojas de aguacate de acuerdo con el cultivar. a. Hojas de aguacate de un árbol criollo, posiblemente de tipo antillano, redondeadas y coriáceas; b. Hojas de aguacate de un árbol de una variedad mejorada comercial, delgadas y acuminadas.

Inflorescencias

Las inflorescencias, también llamadas comúnmente *panículas*, son tirsos con ramificaciones que terminan en flores. Las inflorescencias multirramificadas nacen más frecuentemente de las yemas terminales, pero también pueden formarse a partir de las subterminales de los brotes más vigorosos (figura 1.9) (Scora et al., 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.9. Detalle de una inflorescencia multirramificada del aguacate.

Las flores están agrupadas en inflorescencias de tallo largo, que crecen en las axilas en número hasta de 10, presentando grupos integrados que contienen hasta 450 flores (figura 1.10), que pueden madurar en el transcurso de seis meses, de acuerdo con la temperatura y la variedad (Salazar-García, 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.10. Inflorescencia de aguacate con gran número de flores.

Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y solo entre el 0,01 % y el 1 % se transforma en fruto, por la abscisión de numerosas flores que suelen ser anormales o estériles y de frutos pequeños en desarrollo; es decir, a mayor floración, menor porcentaje de cuajado (Whiley et al., 1988; Bergh, 1986; Tomer & Gottreich, 1978).

De acuerdo con investigaciones realizadas por Romero (2011), en el municipio de Mariquita (Tolima), durante dos ciclos de producción (abril-septiembre de 2008 y febrero-agosto de 2009), en árboles de aguacate de variedad Lorena, de ocho años de edad, se presentan dos picos de emisión de estructuras reproductivas, que presentaron una estrecha relación con los niveles de baja precipitación en la región. Este comportamiento fenológico origina la presencia simultánea de frutos de diferentes edades en el árbol; así, bajo las condiciones productoras del Tolima, se observa un

comportamiento similar a lo reportado para el semitrópico, en donde se presentan hasta cuatro ciclos de producción floral por año, que varían en intensidad y duración, y generan diferentes niveles de carga frutal (Salazar-García, Cossio-Vargas, González-Durán, & Lovatt, 2007; Cossio-Vargas, Salazar-García, González-Durán, & Medina-Torres, 2008; Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán, & Cossio-Vargas, 2011), caracterizados como floración loca (agosto-septiembre), aventajada o adelantada (octubre-diciembre), normal (diciembre-febrero) y marceña (febrero-marzo) (Rocha-Arroyo et al., 2011).

Los dos ciclos evaluados por Romero (2011) presentaron un comportamiento diferencial en la producción de flores por inflorescencia, cuajado inicial de frutos y número y tamaño de frutos a cosecha; por tanto, fueron señalados como años alternantes en producción. Esto demuestra que, bajo nuestras condiciones tropicales, los árboles también presentan alternancia o vecería, producto de condiciones extremas, que inducen una fuerte floración-producción en un año, y que consecuentemente dan como resultado una baja producción en el año siguiente, producto del agotamiento de las reservas del árbol. Asimismo, se evidenció un comportamiento diferencial de la actividad fotosintética, así como la acumulación de azúcares y ácidos grasos durante las diferentes fases de desarrollo reproductivo. Los estados de desarrollo reproductivo más demandantes son la fase de cuajado y la fase de crecimiento lineal, pues en la fase de maduración los azúcares almacenados son transformados en ácidos grasos, principalmente de tipo insaturado.

Flores

Las flores del aguacate son perfectas; poseen órganos sexuales masculinos (estambres) y femeninos (pistilos); son trímeras, pequeñas (3 a 7 mm de longitud), agrupadas en una panícula, hermafroditas, pubescentes, con pedicelos cortos. Presentan un cáliz de tres sépalos y una corola tripétala, con 12 estambres, nueve funcionales y tres estaminoides; tienen un pistilo con un solo carpelo y el ovario con un solo óvulo (figura 1.11). Su color es crema, amarillo, verde, café y rojo. La duración de las flores es de dos días, antes de ser fecundadas o caer (Avilán et al., 1992). Además, es una especie que presenta dicogamia y protoginia, esto es, que las flores abren dos veces, actuando primero como flores femeninas y, posteriormente, como masculinas (Gazit & Degani, 2007).

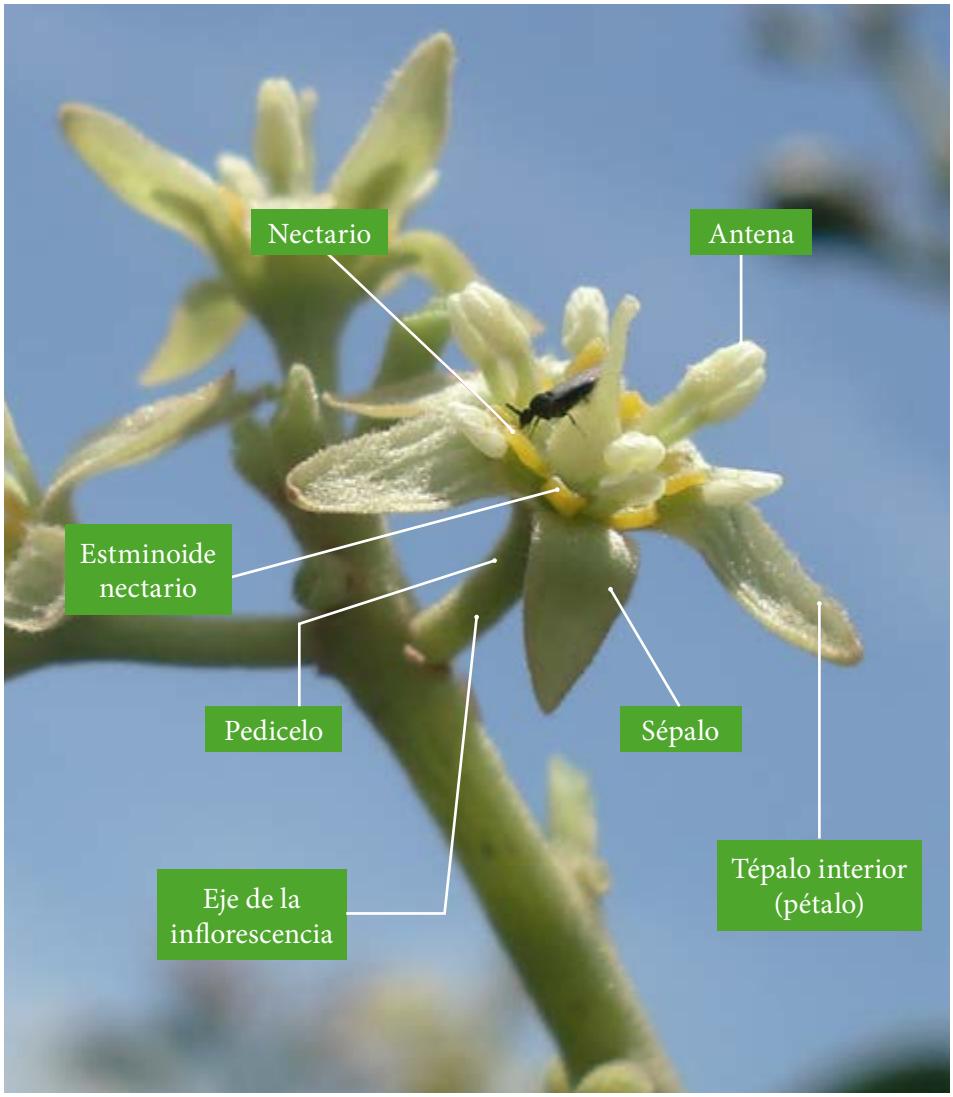


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.11. Esquema de la flor del aguacate en el que se observan las diferentes partes.

Las flores del aguacate miden aproximadamente 10 mm de diámetro, presentan simetría radial y se producen en grandes cantidades. Cada árbol genera grupos de flores de manera continua, por lo que la floración es constante durante semanas e, incluso, meses. Casi todos sus verticilos florales están agrupados en múltiplos de tres y presentan dos grupos de estambres, el primero con tres internos y tres externos (verticilo exterior) y el segundo con tres (verticilo interior), todos rodeando un carpelo central (figura 1.12) (Ish-Am & Eisikowitch, 1991b; Chanderbali, Albert, Ashworth, Clegg, Litz, Soltis, D., & Soltis, P., 2008).

A su vez, cuentan con dos grupos de nectarios, los "estaminoidales" y los "verdaderos", cuya función es producir la recompensa para los polinizadores (figura 1.12). La flor abre dos veces, en cada ocasión por varias horas. En la segunda apertura, el diámetro de la flor aumenta 10 % con respecto al original (Bergh, 1969; Ish-Am & Eisikowitch, 1991b; Gazit & Degani, 2007).

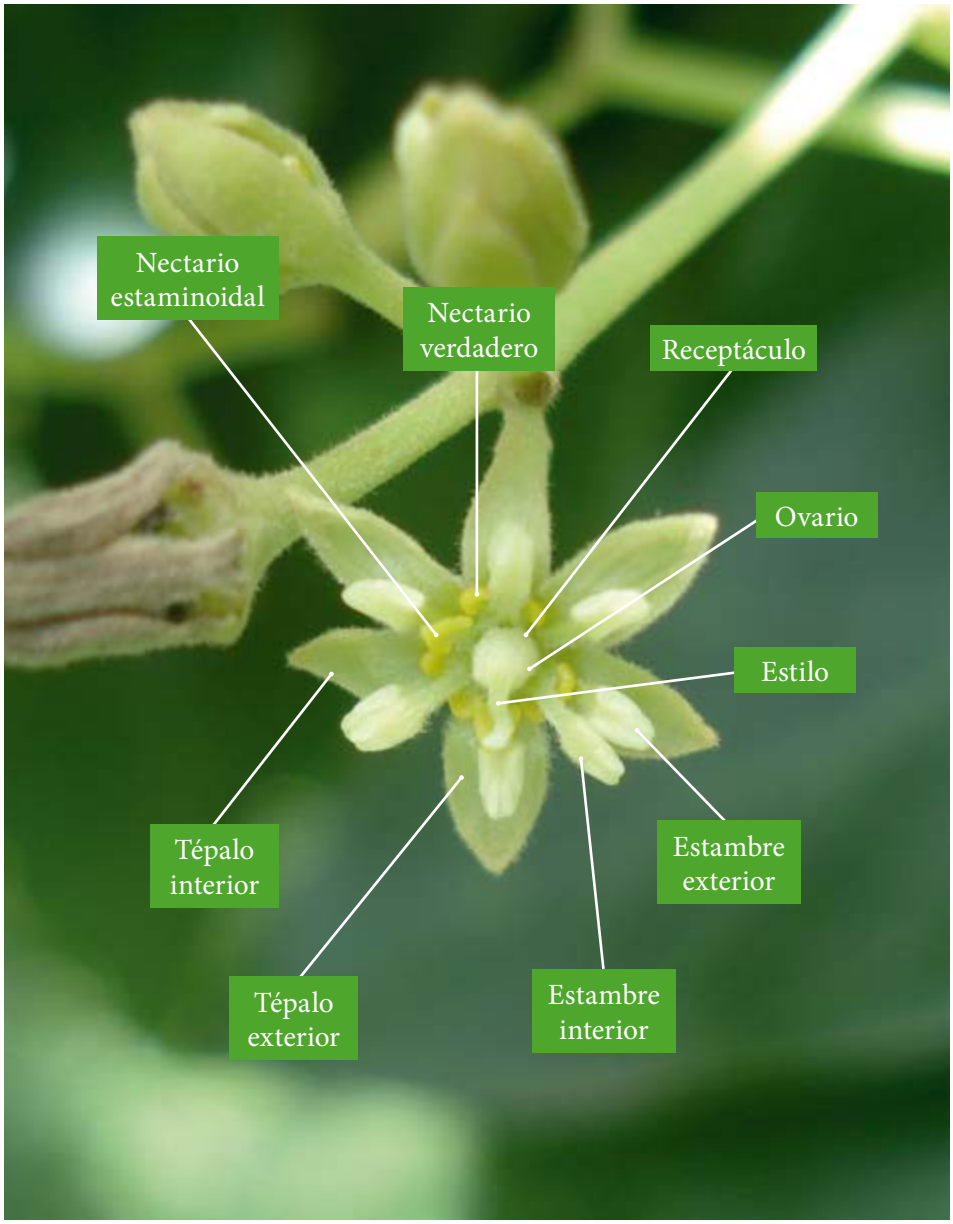


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.12. Morfología de la flor del aguacate.

Floración del aguacate

Como ya se mencionó, el concepto tradicional sobre la floración de aguacate afirma que este exhibe protoginia, es decir, en la flor maduran primero los órganos femeninos y, posteriormente, los masculinos, con una dicogamia diariamente sincronizada (Stout, 1923, 1924, 1927; Robinson & Savage, 1926; Gazit, 1977; Bergh & Lahav, 1996). Las flores abren dos veces: la primera vez (flor en estado femenino), cuando el estigma es receptivo, pero los estambres no están aún maduros, y la segunda vez (flor en estado masculino), cuando el polen está listo, pero el estigma ya no es receptivo (figura 1.13) (Bergh, 1986; Davenport, 1986).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.13. Estados de la flor del aguacate. a. Vista lateral de una flor en estado femenino; b. Vista lateral de una flor en estado masculino; c. Vista frontal de una flor en estado femenino; d. Vista semifrontal de una flor en estado femenino.

De acuerdo con lo anterior, los árboles de aguacate pueden ser agrupados en dos clases: los tipo A y los tipo B. Las flores de los cultivares tipo A actúan como flores femeninas por la mañana y como masculinas a la tarde del día siguiente. Por el contrario, las flores de las variedades tipo B actúan como femeninas por la tarde y como masculinas a la mañana siguiente (Salazar-García, 2000; Gazit & Degani, 2007). Este comportamiento de la flor del aguacate, sin embargo, se encuentra regulado por la temperatura ambiente. Cuando la temperatura diurna es de 25 °C y por la noche no desciende de los 16 °C, la flor se comporta como se describe anteriormente. Con días nublados o fríos, situación en la que la temperatura se mantiene por debajo de los 21 °C, el comportamiento floral por la mañana es exactamente el inverso: el polen es liberado por la mañana y la parte femenina se presenta por la tarde (Calabrese, 1992).

Una misma variedad no puede pertenecer a dos tipos florales. Esta característica de las flores del aguacate se consideraba muy importante en el establecimiento de una plantación, ya que para que la producción fuera la esperada era indispensable mezclar variedades adaptadas a la misma altitud, con tipo de floración complementaria, A y B y con la misma época de floración, en una proporción 4:1, donde la mayor población estaría dada por la variedad deseada.

No obstante, el concepto actual de la dicogamia diariamente sincronizada en aguacate está totalmente revaluado, de acuerdo con algunos investigadores (Papademetriou, 1976; Sedgley & Grant, 1983; Ish-Am & Eisikowitch, 1991a), pues se ha demostrado que la sincronización no ocurre con tal exactitud y que, por lo tanto, los árboles presentan un traslape, lo que significa que en un árbol se pueden tener, al mismo tiempo, flores de ambos sexos abiertas, ocurriendo entonces la polinización. Esto implica que árboles de una misma variedad o cultivar se pueden polinizar a sí mismos o entre sí, no siendo necesario sembrar variedades de distinto tipo floral y, por el contrario, es posible establecer un cultivo de aguacate únicamente con la variedad deseada. El traslape floral ocurre comúnmente cuando las condiciones climáticas cambian repentinamente, como en el caso de días soleados con presencia de lluvias ocasionales, situación muy frecuente en el trópico.

La mayoría de los investigadores señalan que, bajo condiciones climáticas favorables, la apertura floral es sincronizada, es decir, las flores se abren y se cierran casi al unísono o en un mismo árbol o cultivar (Hodgson, 1950; Peterson, 1956; McGregor, 1976; Bergh, 1977a, 1977b; Davenport, 1986). Sin embargo, otros han observado la ausencia de sincronización entre las flores del mismo cultivar (Papademetriou, 1976; Sedgley & Grant, 1983; Ish-Am & Eisikowitch, 1991b).

Papademetriou (1976) observó que las flores se abren y se cierran una después de la otra, por un período de cerca de dos horas. Ish-Am y Eisikowitch (1991a y b) señalaron que las flores de un mismo árbol pueden abrirse durante un período de hasta tres horas; además, observaron que, en días calurosos, la sincronización entre las flores aumenta, mientras que, en días más frescos, disminuye (Gazit & Degani, 2007). En distintos cultivares de aguacate se ha observado un traslape de las aperturas florales femenina y masculina en flores que presentan un ciclo floral regular (Gazit & Degani, 2007). Este traslape es más común en los cultivares del grupo A que en los del Grupo B (Papademetriou, 1976; Loupassaki, Vasilakakis, & Androulakis, 1995). En climas templados y nubosos, hay una mayor duración del traslape entre las aperturas femenina y masculina. Asimismo, el traslape es efectivo cuando están presentes simultáneamente flores en estado masculino, con los sacos polínicos abiertos, y flores femeninas, lo que permite una polinización cerrada dentro del mismo cultivar y una polinización cruzada entre cultivares del mismo grupo de floración (Gazit & Degani, 2007).

Existen tres rutas posibles para la polinización del aguacate: la autopolinización, la polinización cerrada y la polinización cruzada. Las dos primeras son genéticamente iguales, ya que ambas llevan a una autofertilización (Gazit & Degani, 2007): por una parte, la autopolinización es aquella que ocurre dentro de una flor individual, mediante la transferencia de polen desde las anteras hasta el estigma; por otra, la polinización cerrada ocurre cuando el polen de una flor es depositado en el estigma de otra flor del mismo árbol o cultivar. La mayoría de los cultivares de aguacate son autofértiles y los árboles pueden cuajar una cantidad adecuada de frutos cuando son cubiertos con mallas protectoras en presencia de abejas (Clark, 1923; Peterson, 1955; Gazit, 1977). En el cultivar Fuerte se ha observado que tanto los árboles cubiertos con mallas como los plantados en bloques de una misma variedad cuajan con una producción razonable de fruta (Robinson, 1931; Lesley & Bringhurst, 1951; Gustafson & Bergh, 1966). Además, en Florida los cultivares Lula, Taylor, Waldin y Trapp produjeron fruta tanto cuando fueron plantados en bloques completos de la misma variedad, como en plantaciones mixtas (Ruehle, 1963).

En contraste con lo anterior, muchos árboles que crecen aislados no logran cuajar fruto, pese a haber tenido una floración profusa (Alexander, 1975), mientras que los árboles Fuerte y Pollock, plantados en bosques que no habían tenido frutos durante varias temporadas, comenzaron a cuajar al ser expuestos a polinización cruzada (Robinson & Savage, 1926; Traub, Pomeroy, Robinson, & Aldrich, 1941). Los huertos de monocultivo del cultivar Hass en Australia, California, México y Sur África

alcanzan a producir a nivel comercial. Sin embargo, Ellstrand (1992) sugirió que el cambio al monocultivo es lo que está causando una constante reducción en la producción de los cultivos de aguacate Hass en California.

El comportamiento floral del aguacate favorece la polinización cruzada, realizada por insectos polinizadores que transfieren el polen desde cultivares del tipo B de floración a los cultivares del tipo A, y viceversa (Stout, 1923). Nirody (1922) y Stout (1923) concluyeron que la polinización cruzada es necesaria para un mejor cuajamiento de frutos en el aguacate. En California y la Florida, estudios de campo que muestran aumento en la producción de árboles aislados plantados en bloques enteros, después de haberlos expuesto a polinización cruzada, confirman esta conclusión. Por lo tanto, se recomendó que los huertos de aguacate fueran plantados de forma intercalada con cultivares de ambos grupos (A y B) que tengan traslape en sus períodos de floración (Gazit & Degani, 2007). Para promover la polinización cruzada mediante abejas, se recomienda una plantación intercalada a corta distancia, colocando hileras alternadas de cultivares de los tipo A y B de floración, o plantando un polinizante cada tres árboles, cada tercera hilera (Gazit & Degani, 2007).

A pesar de que la dicogamia sincronizada es un concepto que no se cumple a cabalidad, las diferentes variedades de aguacate a nivel mundial siguen siendo agrupadas de acuerdo con los tipos de floración A y B. En la tabla 1.8, se relacionan las principales variedades de aguacate a nivel comercial, describiendo el tipo de floración.

Tabla 1.8. Variedades de aguacate según el tipo de floración

A			B		
135-20	Harvest	Ruehle	135-15	Galo	Rincón
135-21	Hass	Russell	135-27	Gripiña	Ryan
Anaheim	Hayes	Semil 23	143-61	Hall	San Sebastián
Ardite	Hazzard	Semil 34	143-77	Hickson	Schmidt
Atlixco	Lula	Semil 44	Bacon	Itzamna	Selva 2

(Continúa)

(Continuación tabla 1.8.)

A			B		
Baker	MacCann	Sharpless	Black Prince	Kanola	Semil 43
Baldwin	Mayapan	Simmonds	Bonita	Lamat	Surprise
Benik	Herman	Sinaloa	Booth 5	Lorena	Sharwil
Booth 1	Hulumanu	Solano	Booth 7	Lyon	Simpson
Choquette	Mexícola	Spinks	Booth 8	Nabal	Smith
Collinred	Nesbit	Taft	Colin V-33	Nativo Andes	Tonnage
Collinson	Perfecto	Taylor	Colla	Nimlich	Trapp
Dickinson	Peterson	Topa Topa	Collins	Notrhrop	Whistell
Duke	Pinelli	Trinidad	Dorotea	Oriente 1	Winslowson
Fairchild	Pinkerton	Villacampa	Ecuatoriano	Orotava o Java	Zutano
Gottfried	Puebla	Wagner	Edranol	Panchoy	
Grande	Reed	Waldin	Ettinger	Pollock	
Gwen	Rincón	Wurtz	Fuerte	Queen	

Fuente: Elaboración propia con base en University of California (2013), Ibar (1979) y Morton (1987)

Bajo condiciones de climas templados y subtropicales, se ha encontrado que algunas variedades facilitan el cuajamiento de frutos de otras, ya que ofrecen una alta polinización y afinidad con la variedad polinizada. En la tabla 1.9, se relacionan los mejores polinizadores para algunas variedades, de acuerdo con estudios realizados en diferentes zonas productoras de aguacate en el mundo (Gazit & Degani, 2007).

Tabla 1.9. Cultivares polinizadores más recomendados para algunas variedades comerciales

Cultivar	Polinizadores
Hass	Ettinger, Fuerte
Pinkerton	Ettinger
Ettinger	Ardith
Ardith	Ettinger
Reed	Nabal
Nabal	Reed
Fuerte	Topa topa, Ettinger, Puebla, Hass
Anaheim	Fuerte, Nabal
Benik	Nabal
Collinson	Linda, Trapp

Fuente: Elaboración propia con base en Gazit y Degani (2007) e Ibar (1979)

La temporada de floración dura aproximadamente dos meses; sin embargo, en temperaturas templadas, el período se reduce y, en temperaturas frías, se prolonga (Bergh, 1977a; Sedgley, 1977). Por ejemplo, el período de floración del aguacate mexicano Hass es de 85 días a una temperatura de 12 a 17 °C, y disminuye a 15 días a una temperatura de 28 a 33 °C (Gazit & Degani, 2007). La temperatura es el factor responsable de la transición de la etapa vegetativa a la reproductiva, que ocurre a final de la expansión de los tallos a finales de julio y principios de agosto (Salazar-García, Lord, & Lovatt, 1998; Salazar-García, Lord, & Lovatt, 1999). Los aguacates subtropicales solo pueden producir botones florales a bajas temperaturas, lo que sugiere que el período de floración puede estar influenciado por las condiciones del medio ambiente y que, al igual que otros caracteres, no necesariamente son diagnósticos para determinar las variedades de *P. americana*.

Fruto

Botánicamente, el fruto del aguacate es una baya, que contiene una sola semilla. El fruto varía en forma (figura 1.14), según la raza, variedad o cultivar (IPGRI, 1995).

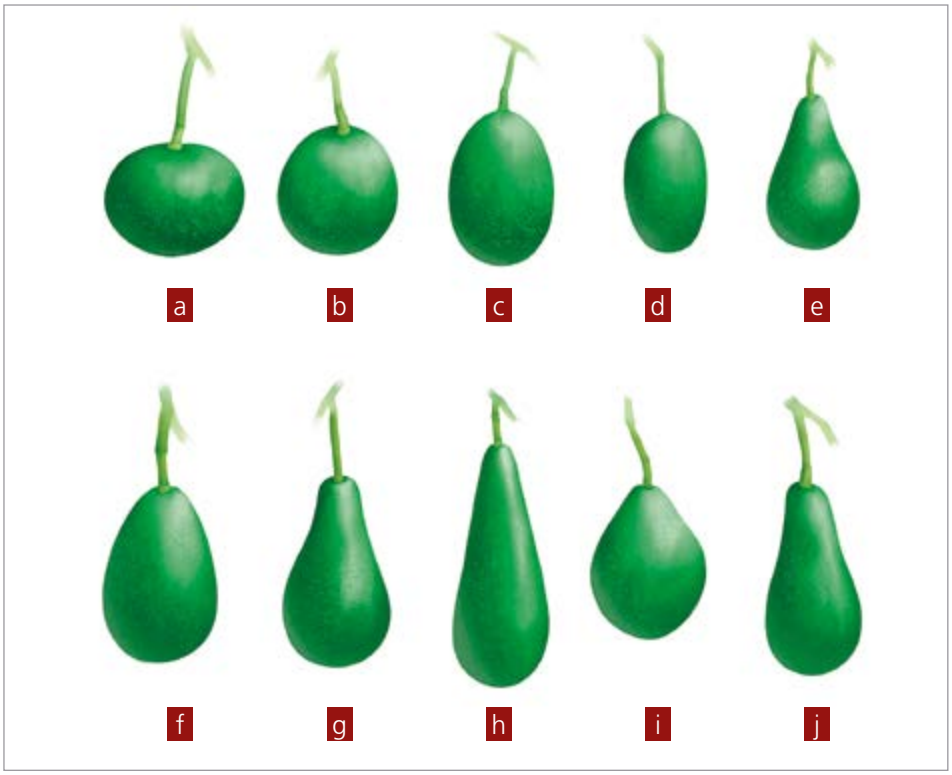


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.14. Formas del fruto de aguacate. a. Oblata; b. Esferoide; c. Esferoide alto; d. Elipsoide; e. Obovado-angosto; f. Obovado; g. Piriforme; h. Claviforme; i. Romboidal; j. Oblongo-piriforme.
Fuente: Elaboración propia a partir de IPGRI (1995)

El color de la cáscara cuando este está maduro puede ser verde, verde claro, verde oscuro, amarillo, anaranjado claro, rojo, púrpura, negro y la mezcla de los anteriores (figura 1.15); el color de la pulpa puede ser marfil, amarillo, amarillo claro, amarillo intenso, verde claro, verde y otros (IPGRI, 1995). La corteza o cáscara del fruto del aguacate puede ser muy lisa, finamente papilada (con prominencias), papilada, muy papilada, finamente ahuecada, ahuecada, muy ahuecada, lustrosa, opaca, estriada, lobulada, rugosa, surcada o abollada (figura 1.15), y también varía en su grosor, pudiendo ser muy delgada, intermedia o muy gruesa. Su peso puede variar entre los 100 y los 3.000 gramos (IPGRI, 1995). El hábito de fructificación puede ser de frutos solitarios (figura 1.16a) o en racimo (figura 1.16b) (IPGRI, 1995).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.15. Diversas formas, colores y textura de la corteza de frutos de aguacate.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Carolina Osorio

Figura 1.16. Hábito de fructificación en aguacate. a. Frutos solitarios; b. Frutos en racimo.

En los frutos jóvenes, los estomas son prominentes; en los más viejos, se pueden degenerar debido a la formación de lenticelas, produciendo manchas blancas o grises sobre la superficie de la cáscara (figura 1.17) (Scora et al., 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.17. Detalle de las lenticelas en frutos de aguacate.

Según la definición más común, la pulpa comestible del aguacate está formada en su mayoría por tejido mesocarpio parenquimatoso. Las vacuolas de esas células contienen pequeñas goticas de aceite. Dispersas alrededor de estas células existen otras más grandes, especializadas en el almacenamiento de aceites, llamadas "idioblastos", que representan cerca del 2 % del volumen total de la pulpa. Estos idioblastos poseen paredes celulares gruesas y complejas, y una sola gran vacuola llena de aceite (Cummings & Schroeder, 1942; Scott, Bistrom & Bowler, 1963). En los mejores cultivares, el rendimiento de la pulpa es superior al 70 % del peso total del fruto (Scora et al., 2007). El desarrollo del fruto se puede extender de 6 a 12 meses, dependiendo del cultivar, del clima y de las condiciones del cultivo (Scora et al., 2007).

Los frutos del aguacate no maduran mientras estén colgados del árbol, siendo esto una manifestación de "juvenilidad fisiológica" que aún no ha sido explicada. Por lo tanto, es posible almacenar los frutos en el árbol después de que alcancen la maduración comercial, especialmente en ambientes más frescos y con poco estrés. Es posible retrasar la cosecha en tres meses para los cultivares antillanos, y hasta seis meses para los cultivares guatemaltecos, particularmente cuando estos son producidos en zonas subtropicales de mesoclima fresco, tal y como lo afirman Kaiser y Wolstenholme (1994) y Whiley, Rasmussen, Saranah y Wolstenholme (1996a, 1996b). Estos mismos autores demostraron las consecuencias que acarrea esta práctica, como la reducción en la producción, la acentuación de la alternancia productiva y también una sustancial reducción de la vida en anaquel de la fruta cosechada tardíamente.

Semillas

La semilla del aguacate es relativamente grande y puede tener varias formas: oblata, esferoide, elipsoide, ovada, ovada ancha, cordiforme, de base aplanada con el ápice redondo, de base aplanada con el ápice cónico y otros; con dos envolturas muy pegadas (IPGRI, 1995). La superficie puede ser lisa, intermedia y rugosa; los cotiledones son hemisféricos de color marfil, amarillo, crema y rosa (figura 1.18) (IPGRI, 1995).

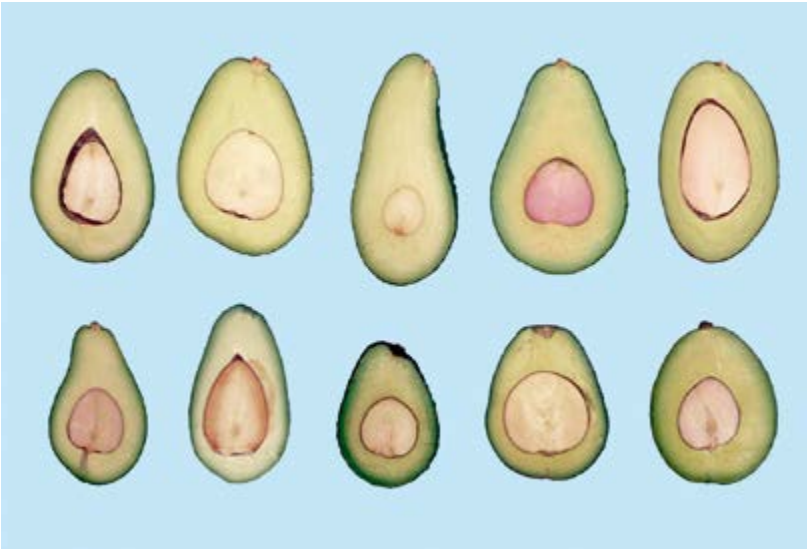


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.18. Formas y superficie de la semilla de aguacate.

La semilla posee buen contenido de reservas, especialmente minerales; durante siglos ha sido seleccionada en búsqueda de frutos con una mayor proporción de pulpa comestible. La semilla extraída de frutos completamente maduros está lista para germinar, perdiendo su viabilidad con el paso del tiempo (Scora et al., 2007). La semilla es fisiológicamente "recalcitrante", es decir, son semillas que no sobreviven en condiciones de sequedad y frío cuando son conservadas *ex situ*. Estas semillas no pueden resistir los efectos de la sequedad o temperaturas menores de 10 °C; por tanto, no pueden ser conservadas por largos períodos, al contrario que las semillas ortodoxas, porque pueden perder su viabilidad (Wolstenholme & Whiley, 1999). Los cultivares de aguacate que presentan frutos en los que existen espacios libres de la cavidad de la semilla son considerados de mala calidad, puesto que esta condición hace que se presenten magulladuras internas en la pulpa del fruto, causando incluso pudriciones, que se observan cuando este es abierto para su consumo.

Diversidad genética

Antes de que los europeos conocieran el aguacate, ya habían sido seleccionados algunos tipos hortícolas, que fueron considerablemente mejorados durante milenios, a partir de los tipos silvestres por los nativos centroamericanos. Estos tipos mejorados pertenecen a tres taxones o subespecies distintas, que son actualmente denominadas razas mexicana, guatemalteca y antillana, según la clasificación de Popenoe (1920) (figura 1.19).

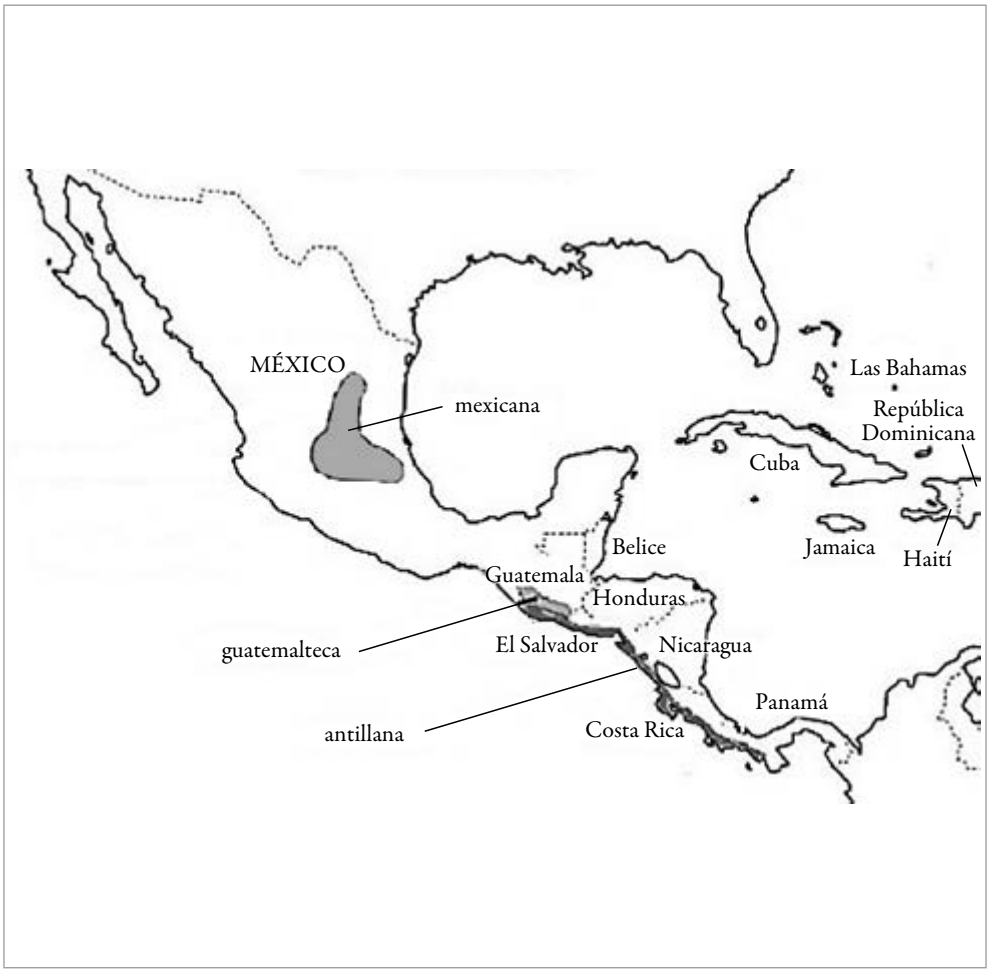


Figura 1.19. Supuestos centros de origen de las razas ecológicas mexicana, guatemalteca y antillana del aguacate.
Fuente: Elaboración propia con base en Storey, Bergh y Zentmyer (1986)

En la tabla 1.10, se muestran las características de las diferentes razas de aguacate.

Tabla 1.10. Características principales de las razas de aguacate

Característica			Raza		
			Mexicana	**Guatemalteca**	**Antillana**
Adaptación (clima)			Frío	Frío	Cálido
Temperatura mín. (ºC)			-9	-4,5 a 6	-2,2 a 4,0
Temperatura rango (ºC)			8 a 15	12 a 22	22 a 28
Tolerancia	Frío		Alta	Media	Baja
	Humedad		Baja	Media	Alta
	Salinidad		Baja	Media	Alta
	Alcalinidad		Media	Baja	Alta
Origen			Tierras altas de México	Tierras altas de Guatemala	Tierras bajas de Centroamérica y Suramérica
Hojas	Olor a anís		Sí	No	No
	Color brotes		Verde pálido	Bronceado	Verde pálido
	Tamaño		Pequeña	Intermedia	Grande
	Color		Oscuro lustroso	Oscuro lustroso	Claro opaco
	Color envés		Más ceroso	Menos ceroso	Más ceroso
Frutos	Tamaño		Pequeño	Variable	Variable
	Peso (g)		200 a 250	200 a 2.300	400 a 2.300
	Contenido de aceite		Alto	Alto	Bajo
	Cáscara	Grosor	Delgada	Gruesa	Mediana
		Tamaño (mm)	0,8	3,0 a 6,0	1,5 a 3,0
		Textura	Lisa	Áspera	Lisa
		Consistencia	Suave	Leñosa quebradiza	Flexible

(Continúa)

(Continuación tabla 1.10.)

Característica			Raza		
			Mexicana	Guatemalteca	Antillana
Semilla	Tamaño		Grande	Pequeña	Grande
	Estado		Adherida o suelta	Adherida	Suelta
	Cotiledones		Rugoso	Liso	Rugoso
Pedúnculo	Tamaño		Largo	Corto	Corto
	Longitud (cm)		2,0 a 5,4	0,6 a 1,8	--
	Diámetro	Grosor	Delgado	Grueso	Delgado
		cm	0,6 a 1,27	1,27 a 1,8	--
	Forma		Cónico	Cilíndrico o cónico	Cilíndrico
Floración a madurez			5,6 a 8 meses	10 a 15 meses	5, 6 a 9 meses

Fuente: Elaboración propia con base en Ibar (1979), Ríos-Castaño, Román y Serna (1977) y Avilán et al. (1992)

No existen problemas de esterilidad entre las tres razas o entre cualquiera de los taxones pertenecientes a la *P. americana*. Por lo tanto, en lugares donde hay árboles de distintas razas creciendo juntos, ya sea en forma silvestre (Popenoe & Williams, 1947) o en cultivo (Bergh, 1969), la hibridación ocurre sin dificultad. Aun sin la hibridación interracial, existen algunas coincidencias en muchos de los rasgos enumerados. Como la mayoría de los cultivares comerciales actuales son híbridos interraciales, la identificación del origen racial se torna bastante difícil. En términos de las características de sus frutos, las dos razas más similares son la mexicana y la antillana; sin embargo, son muy disímiles en cuanto a su adaptación climática. Por ello, el mayor problema es distinguir entre el germoplasma antillano y el guatemalteco en las zonas tropicales, y entre el mexicano y guatemalteco en las zonas menos tropicales (Williams, 1977b). En ambos casos, el criterio más útil es probablemente el de la época de maduración. Otros son el grosor de la cáscara y la textura de la superficie, el tamaño de la semilla y la firmeza de la pulpa. Probablemente, varios genes controlan cada uno de estos rasgos (Lavi, Lahav, Degani, Gazit, & Hillet, 1993).

En Colombia, Ocampo, Gallego, Duque, Sánchez, Ríos-Castaño y Debouck (2006) evaluaron la colección colombiana de aguacate (*Persea americana* Mill.) con 60 accesiones, conservada *ex situ* y mantenida por AGROSAVIA en Palmira, la mayor colección de esta especie frutal en Colombia. El trabajo se adelantó con el fin de conocer la diversidad y el nivel de redundancia genética presentes en esta colección, usando la tecnología de los marcadores moleculares de ADN basados en la PCR. Como resultado, se encontró que el nivel de redundancia genética es mínimo en la colección colombiana de aguacate (una sola accesión), lo que facilita su manejo y utilización. El patrón de distribución continuo de la variabilidad genética de la colección colombiana de aguacate posiblemente se deba a las actividades de mejoramiento y del manejo de las accesiones. La variabilidad genética con alta similaridad presente en la colección colombiana de aguacate recomienda que su diversidad genética sea incrementada, en especial con alelos de interés para su mejoramiento.

Las diferencias en las respuestas al clima podrían ser suficientes para identificar el origen racial de los árboles. Por ejemplo, solo la raza antillana se adapta al clima netamente tropical de las tierras bajas, mientras que los árboles de otras razas pueden no cuajar frutos o incluso no producir flores bajo dichas condiciones (Serpa, 1968). Por el contrario, en el clima de California, los árboles de raza antillana cuajan muy poco o no cuajan, aun cuando no hayan sido dañados por heladas. En lugares fríos, donde frecuentemente hay temperaturas bajo cero, solo los árboles de raza mexicana pueden sobrevivir (Kadman & Ben-Ya'acov, 1976).

Razas de aguacate

El aguacate (*P. americana* Mill.) se divide en tres razas ecológicas, cada una de las cuales tiene un estatus varietal dentro de las especies: *P. americana* var. *drymifolia* (raza mexicana), *P. americana* var. *guatemalensis* (raza guatemalteca) y *P. americana* var. *americana* (raza antillana) (Bergh et al., 1973; Scora y Bergh, 1990).

Raza mexicana

Persea americana var. *drymifolia*, originaria de las tierras altas de la zona central de México y conocida como "raza mexicana", es la raza con mayor resistencia al frío, soportando temperaturas por debajo de los 0 °C; sin embargo, temperaturas de -6 °C causan daños a las plantas y temperaturas de -9 °C causan su muerte (Avilán et al., 1989). Las temperaturas óptimas para esta raza están entre los 5 y los 17 °C. En Colombia, esta raza se adapta a alturas superiores a los 1.700 m s. n. m. y hasta los

2.500 m s. n. m.; sus hojas son más pequeñas que las de las otras razas, alargadas y con glándulas que contienen aceites esenciales, que al presionarlas desprenden un fuerte olor a anís. Presenta flores pubescentes. Los frutos son pequeños, de un peso entre 80 a 250 g. Tarda en madurar en el árbol entre seis y ocho meses. De las tres razas, es la que mayor contenido de grasa posee en sus frutos, hasta un 30 %, y la de menor contenido de azúcar, 2 %. La cáscara es delgada y la superficie lisa. Normalmente, es de tonalidad verde claro, pero algunas variedades presentan coloraciones rojas, moradas o casi negras. La pulpa es de muy baja cantidad de fibra, con un sabor muy característico a nuez (Ibar, 1979; Avilán et al., 1992; Ríos-Castaño et al., 1977).

La semilla de los aguacates de la raza mexicana es pequeña (Ibar, 1979). Esta raza ha sido poco explotada en Colombia debido a que presenta alternancia o vecería en la producción, es decir, una buena cosecha seguida de una mala; de hecho, no se tienen tipos puros de esta raza en nuestro país, sino híbridos con la raza guatemalteca. En la tabla 1.11, se observa la lista de variedades (cultivares) de aguacate de la raza mexicana, su tipo de flor, peso del fruto y contenido de grasa.

Tabla 1.11. Características de algunas variedades de aguacate de la raza mexicana

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
Atlixco	A	450 a 700	25
Bacon	B	200 a 300	17,85
1607	Desconocido	250	--
Benedict	Desconocido	60 a 200	15
Duke	A	250 a 350	21
Ganter	B	150	18
Gottfried	A	390	9 a 13
Mexícola	A	85 a 140	20
Notrthrop	B	100 a 150	26
Perfecto	A	600 a 850	13
Puebla	A	200 a 280	20
San Sebastián	B	350 a 450	20
Susan	Desconocido	250 a 300	12,7 a 17
Topa Topa	A	170 a 280	15,5
Zutano	B	200 a 400	16

Fuente: Elaboración propia con base en Morton (1987) e Ibar (1979)

A continuación, se expondrán algunas variedades de importancia de la raza mexicana.

Mexícola

Variedad originada alrededor de 1910, a partir de plántulas por semilla, en Pasadena (California) y de padres desconocidos. Produce temprano y regular; es resistente al frío y al calor, muy utilizada como uno de los patrones en California, para programas de mejoramiento, y en Chile, como patrón comercial de Hass. Esta variedad presenta frutos muy pequeños, aperados, de color negro, con pulpa de excelente sabor, presencia de fibra y semillas grandes. Algunos autores mencionan que este fruto presenta hasta un 20 % de contenido de aceite (Griswold, 1950; Morton, 1987) (figura 1.20).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.20. Cultivar de la raza mexicana Mexícola. a. Apecto externo del fruto; b. Aspecto interno.

Puebla

Originaria de Atlixco (México), es la variedad mexicana más conocida. Es un árbol vigoroso, bien desarrollado, de copa bien formada y equilibrada (Ibar, 1979). El fruto es de buena calidad y se desprende con facilidad del árbol; es de forma ovoide, asimétrico, con un contenido de grasa del 20 %, con un peso entre 200 y 400 g, y de 8 a 10 cm de largo; de cáscara delgada, lisa, de color castaño morado y brillante (figura 1.21a) (Ibar, 1979). La pulpa es de color amarillo a verde, con sabor a nuez; la semilla es grande (figura 1.21b) y está adherida a la cavidad que la contiene (Ibar, 1979). La relación cáscara:semilla:pulpa es 11:25:64 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.21. Cultivar de la raza mexicana Puebla. a. Detalle de la piel del fruto; b. Aspecto interno del fruto.

Duke

Originaria de California, esta variedad tiene frutos elongados o piriformes (figura 1.22), más bien pequeños a medianos, de 250 a 350 g, con contenido de grasa del 21 %, de cáscara delgada y lisa, de color verde brillante. Se le considera de calidad excelente. El árbol es grande, de copa simétrica, resistente al viento y al frío (Morton, 1987); además, presenta raíces tolerantes a la pudrición por *Phytophthora*, por lo que algunas accesiones de este se utilizan como portainjertos o patrón clonal, como es el caso del Duke 5, Duke Grace, Barr Duke, D9, Merensky 2 (Dusa), Duke 6 y Duke 7 (Ibar, 1979; Newett, Crane, & Balerdi, 2007).

Foto: Joe Real

Figura 1.22. Cultivar de la raza mexicana Duke.

Fuente: Se reproduce un fragmento, de acuerdo con los términos de la licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en_US (Originalmente publicada en https://growingfruit.org).

Gottfried

Originaria de la Florida (EE. UU.), presenta frutos en forma de pera, de tamaño mediano; tiene cáscara lisa, de color púrpura, con una pulpa de excelente calidad y un contenido de aceite entre 9 % y 13 %; además, tiene semilla mediana (figura 1.23). Esta variedad es susceptible a antracnosis (Morton, 1987).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.23. Cultivar de la raza mexicana Gottfried.

Zutano

Originada de Fallbrook (California), fue desarrollada por W. L. Ruitt, introducida en 1941 de una selección hecha en 1926. Tiene un árbol frondoso, de hábito erecto, precoz y resistente al frío, pero muy susceptible a roturas por el viento. El fruto es aperado, de color verde claro, cáscara muy delgada y correosa, de moderada facilidad para pelar, de tamaño pequeño a medio, de 200 a 400 g de peso, y de 10 a 13 cm de largo (figura 1.24) (Ibar, 1979).

La pulpa de esta variedad es verde pálido, acuosa o "aguachenta", por lo que se le considera una variedad de calidad mediocre; además, cuando madura tiende a rajarse y a decolorarse; es delicado para su manejo poscosecha y muy susceptible a enfermedades durante su maduración. Tiene una vida moderada en estantería y se transporta bien cuando está verde, pero no cuando está madura (Ibar, 1979; Newett et al., 2007). La relación cáscara:semilla:pulpa es 7:26:67 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988). Se la usa como semilla nodriza en la producción de portainjertos clonales en California y Sudáfrica. Es un excelente polinizador de Hass. En el 2000 representó el 2 % de la producción en California, 1,5 % en Nueva Zelanda y cerca del 1 % en España (Newett et al., 2007).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.24. Cultivar de la raza mexicana Zutano.

Bacon

Esta variedad es originaria de Buena Park (California), introducida por James E. Bacon en 1951. Se le considera una variedad buena para ser cultivada en las zonas altas de Sudamérica; sin embargo, su pulpa es de una calidad mediana. Es un árbol de hábito erecto, muy vigoroso y es una de las variedades más resistentes al frío y al viento, recomendándose en zonas donde otras variedades no pueden cultivarse. El tamaño del fruto es mediano, de 170 a 510 g de peso, y de 10 a 12 cm de largo, de forma ovalada y cáscara casi lisa, verde y delgada, coriácea, que pela fácilmente (figura 1.25) (Ibar, 1979).

Su piel es sensible al daño causado por el viento y, en casos severos, el fruto se parte, dejando expuesta la semilla. La pulpa es de color amarillo pálido a verde, de buena calidad, con 18 % de grasa, y sus frutos se consideran buenos para el transporte y el almacenamiento. Es susceptible al ataque de insectos y extremadamente susceptible a la antracnosis. Posee una producción regular y es más productivo que el Fuerte. La semilla es mediana a grande. Es usado como polinizador de otros aguacates, especialmente el Hass (Ibar, 1979; Newett et al., 2007). Además, es poco alternante.

La relación cáscara:semilla:pulpa es de 7:18:75 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988). En el año 2000, este híbrido representó el 9 % de la producción en España, el 4 % en California y el 0,5 % de los árboles en Nueva Zelanda (Newett et al., 2007).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.25. Cultivar de la raza mexicana Bacon.

Topa-Topa

Originada en 1907, esta variedad fue seleccionada en el rancho Topa Topa, en Ojai (California), de ahí su nombre. Fue el patrón más comúnmente usado en California durante los años de la expansión de la industria del aguacate, ya que los árboles tenían altas producciones y los árboles de semilla eran relativamente vigorosos y fáciles de injertar. Sin embargo, Topa Topa es altamente susceptible a *P. cinnamoni* y a *P. citrícola*, y tiene escasa tolerancia a la salinidad (Newett et al., 2007).

Esta variedad presenta frutos piriformes, alargados, asimétricos, de tamaño pequeño, de 170 a 250 g de peso, y de 8 a 10 cm de largo; su corteza no pela fácilmente y es de color morado brillante (figura 1.26); tiene un contenido de grasa del 15 % (Ibar, 1979). La relación cascara:semilla:pulpa es 10:24:66 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.26. Cultivar de la raza mexicana Topa-Topa.

Raza guatemalteca

Persea americana var. *guatemalensis*, conocida como la raza guatemalteca, es originaria de las tierras altas de Guatemala y se adapta a condiciones subtropicales, con temperaturas óptimas de 4 a 19 °C. En Colombia, los árboles de esta raza se adaptan a alturas entre 1.000 y 2.000 m s. n. m.; además, presentan hojas sin olor a anís, de mayor tamaño que las de la raza mexicana, y son de color verde más oscuro (Ibar, 1979).

Los frutos son de forma esférica, ovalada o piriforme; su corteza es gruesa, de consistencia correosa, dura, hasta casi leñosa y quebradiza. Su color es verde opaco, hasta morado oscuro cuando está maduro; los frutos pueden ser medianos y grandes; los pedúnculos son largos, tienen forma cónica y aumentan de tamaño desde su inserción en el tallo hasta la base del pedicelo. La pulpa es algo fibrosa (Ibar, 1979).

La calidad de la fruta y su contenido de grasa del 20 % superan a la raza antillana. Asimismo, soportan temperaturas bajas. El tamaño de la semilla varía de pequeña a grande y suele llenar toda la cavidad que la contiene (Ibar, 1979). El período transcurrido entre la floración y la cosecha puede durar hasta 15 meses y, después de que se

han sazonado los frutos (madurez fisiológica), el árbol los retiene hasta por seis seis meses, ya que estos no se caen fácilmente, como en otras razas (Avilán et al., 1989).

En la tabla 1.12, se observa la lista de variedades de aguacate de raza guatemalteca, junto con su grupo floral, peso del fruto y contenido de grasa.

Tabla 1.12. Características de algunas variedades de aguacate de la raza guatemalteca

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
Anaheim	A	500 a 700	15 a 22
Anana	Desconocido	450 a 700	15-18
Atlixco	A	450	11
Benik	A	500 a 600	15-24
Bonita	B	368	18,5
Colla	B	200 a 350	--
Collins	B	200 a 350	--
Dickinson	A	200 a 400	13,5
Edranol	B	300 a 350	22,5
Grande	A	900	--
Hass	A	150 a 400	18 a 25
Hazzard	A	340 a 450	27,5
Itzamna	B	400 a 450	15
Ishral	Desconocido	200	--
Kanola	B	500	--
Lamat	B	400 a 550	15
Linda	B	900 a 1.000	12

(Continúa)

(Continuación tabla 1.12.)

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
Lyon	B	400 a 550	21
Mac Arthur	Desconocido	280 a 400	13 a 16
Mayapan	A	400 a 550	18,5
Nabal	B	350 a 500	10 a 15
Nimlioh	B	1.000 a 1.300	--
Orotava o Java	B	300 a 450	--
Panchoy	B	500 a 700	18
Pinkerton	A	230-400	25
Queen	B	400 a 650	13
Reed	A	230 a 500	18,9 a 20
Rincón	A	150 a 300	16 a 18
Schmidt	B	450 a 700	12 a 16
Sharpless	A	450 a 700	17
Sinaloa	A	700 a 900	16
Solano	A	450 a 700	10
Spinks	A	280 a 550	15
Surprise	B	450 a 600	18
Taft	A	400 a 600	18
Taylor	A	350 a 500	13 a 17
Tonnage	B	500	6 a 8
Wagner	A	200 a 350	16-20
Wurtz	A	250 a 400	--

Fuente: Elaboración propia con base en University of California (2013) e Ibar (1979).

A continuación, se expondrán algunas variedades de importancia de la raza guatemalteca.

Hass

Esta variedad es el principal cultivar del mundo, predominantemente guatemalteco, pero con algunos genes mexicanos. Es una mutación espontánea de parentales desconocidos, que fue seleccionada por Rudolph G. Hass, en La Habra Heights (California), debido a la alta calidad de su pulpa, mayor productividad y una madurez más tardía que el Fuerte, y fue patentado en 1935 (Newett et al., 2007).

A finales de los años 20, el señor Rudolph Hass, que se desempeñaba como cartero, compró una planta proveniente de semilla a Rideout de Whittier y la sembró en su nuevo huerto. Él planeaba establecer otras variedades, pero cuando los árboles no dieron fruto repetidamente pensó en cortar el árbol. Afortunadamente, los hijos de Hass le convencieron de lo contrario, pues preferían el sabor de esta fruta al de la variedad Fuerte, que era la predominante en la industria estándar de aquellos días. Ya que la calidad era alta y el árbol dio un buen fruto, Hass nombró a la variedad con su apellido y le sacó una patente en 1935 (California Avocados, 2017).

El mismo año, Hass firmó un acuerdo con el viverista Harold Brokaw para propagar y promover el aguacate patentado por Hass. Brokaw comenzó a propagar el negro y rugoso Hass de forma exclusiva y a promoverlo en favor de las variedades estándar de esa época. El Hass era mucho más resistente que el Fuerte y maduraba en una época diferente del año. Por causa de su ventaja estacional, Brokaw rápidamente aumento sus ventas (California Avocados, 2017).

La patente expiró en 1952, el mismo año en que Rudolph Hass murió, pero para entonces este aguacate negro, que llevaba su nombre, estaba ganando popularidad rápidamente sobre el Fuerte. Los consumidores prefirieron su rico sabor, mientras que los mercados lo favorecían por su durabilidad y más larga vida en los anaqueles. Hoy en día, el Hass es cerca del 80 % de todos los aguacates que se comen en el todo el mundo, y genera más de 1 billón de dólares en ganancias anuales, solo en los Estados Unidos (California Avocados, 2017).

La variedad Hass cuenta con un 10 a 15 % de la raza mexicana y el resto, 85 a 90 %, de la guatemalteca. El Hass es autofértil, pero se recomienda como polinizador a Fuerte o Ettinger. El árbol se asemeja en su arquitectura a la del naranjo, pero de mayor

tamaño; posee un hábito de crecimiento erecto, con copa redondeada y grupo floral A. Es un cultivar de buena producción; sus frutos son de buena calidad y permiten el almacenamiento. Es menos sensible al frío que el Ettinger y el Fuerte (Newett et al., 2007). En 2002, la raíz del árbol originario de la variedad Hass pereció a la edad de 76 años. Sus hijos son responsables del 95 % de los aguacates cultivados en California y corresponde a una de las industrias más importantes del estado (California Avocados, 2017).

Los frutos son de tamaño mediano, con un peso que va de 150 a 400 g (Newett et al., 2007), y de 8 a10 cm de largo (Ríos-Castaño & Tafur-Reyes, 2003). De forma ovoide a piriforme, la cáscara es mediana a gruesa, coriácea, rugosa, de textura rugosa y corchosa, de superficie áspera y granulosa (figura 1.27a); los granos desaparecen cuando es sembrado a gran altitud. Por otra parte, la cáscara es de color verde que se oscurece al madurar, tornándose morada a negra (Newett et al., 2007). Esta condición es normal en el proceso de maduración de este material y, a diferencia del concepto equivocado de ser una característica negativa, el hecho de que esta fruta se torne oscura cuando está madura es un indicador natural de la madurez de consumo. El fruto maduro se conserva bien en el árbol. El contenido de grasa de la pulpa es del 17 % al 21 % (Newett et al., 2007). El tamaño de la semilla es mediano, de forma redonda; con una pulpa cremosa, amarilla (figura 1.27b), con un 66 a 70 % de aprovechamiento, de excelente calidad, con un rico sabor a nuez (nogado) (Newett et al., 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.27. Cultivar de la raza guatemalteca Hass. a. Detalle del fruto con su corteza rugosa; b. Detalle de la parte interna del fruto.

El cultivar Hass es precoz y tiene una producción regular y alta, pero la permanencia de la fruta en el árbol por mucho tiempo puede acentuar la alternancia bianual de la producción. La tendencia a producir frutos de poco tamaño (< 200 g) y el porcentaje de frutos pequeños aumentan a medida que el árbol envejece o se enferma; los árboles cultivados en climas templados y en zonas más frías en el trópico producen frutos de mayor tamaño (Newett et al., 2007).

Las características de poscosecha que contribuyen a la popularidad del aguacate Hass son su excelente capacidad de almacenamiento y transporte, en comparación con otros cultivares, debido en parte a las altas concentraciones de calcio del fruto, y el cambio en el color de la piel de verde a negro, lo que hace fácil identificar los frutos maduros y enmascarar leves imperfecciones de la cáscara. En los últimos 50 años, el Hass se ha convertido en el cultivar más importante en los climas subtropicales. En el año 2010, representó un 100 % de la producción en Chile, un 97 % en Brasil, un 95 % en Nueva Zelanda, un 94 % en California y México, un 80 % en España, un 80 % en Australia, un 42 % en Perú, un 45 % en Sudáfrica, un 33 % en Israel y un 26 % en Colombia (Newett et al., 2007; Mejía, 2011).

Esta variedad es, junto con Fuerte, Reed y Colinred, una de las mejores para su siembra en condiciones de clima frío moderado en Colombia (1.800 a 2.600 m s. n. m.). En trabajos de caracterización de este cultivar en Colombia, se encontró que la relación cáscara:semilla:pulpa fue de 8,5:11,5:72 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Esta variedad en Colombia presenta muy buenas características organolépticas y en el país se han registrado rendimientos de producción muy elevados, que lo hace adecuado para su exportación. El aguacate Hass ha mostrado en suelos colombianos rendimientos por hectárea superiores a los que presentan los principales países exportadores, que van de 12,4 a 18,8 t/ha, en árboles de 8 y 9 años. Entre los países productores, el mayor rendimiento se reporta para Israel, con un promedio de 11,2 t/ha; México, principal exportador, tiene 10,1 t/ha; Perú, 9,02 t/ha, y Chile, solo 6,5 t/ha. Colombia tiene un promedio general de 10,8 t/ha, que lo posiciona en el segundo lugar a nivel mundial en este aspecto (Velásquez, 2006). Por lo tanto, se hace interesante el cultivo de esta variedad en Colombia, tanto para el mercado nacional, como para el internacional.

Evaluación del rendimiento y calidad de frutos del cv. Hass en Colombia

En la literatura actual, existe amplia evidencia de que los factores de precosecha pueden afectar la calidad de poscosecha del aguacate. Los factores de precosecha pueden tal vez ser particularmente críticos para el éxito de la manipulación de los aguacates para la exportación, ya que se requiere de un largo tiempo de viaje hasta el mercado. La comprensión de los efectos del ambiente de precosecha sobre los procesos de crecimiento y maduración, y la susceptibilidad a desórdenes fisiológicos y patológicos ayudarán a explicar las inconsistencias observadas en la evolución de la fruta en poscosecha. Esta línea de investigación tendrá también un beneficio indirecto.

Típicamente, los agricultores no comprenden la biología de la poscosecha de su fruta en particular, ni tampoco le prestan importancia, ya que perciben que la poscosecha es algo que queda fuera del campo. Los esfuerzos destinados a mejorar la comprensión del papel de los factores de precosecha sobre la calidad de poscosecha harán que los productores controlen activamente la calidad de su producto y ayudarán a hacerlos partícipes en el área de optimización de la calidad del producto.

En general, el tamaño y la calidad interna del fruto del aguacate están íntimamente relacionados con su integridad genética. De esta manera, se estima que los aguacates de origen guatemalteco y sus híbridos guatemalteco × antillano poseen las mejores condiciones internas en cuanto a contenidos en aceite (principal característica de un buen fruto de aguacate). No obstante, estos no son los de frutos más grandes, como sí lo son los aguacates de tipo antillano. Podría pensarse que las condiciones donde se desarrollaron estos cultivares influyeron de alguna manera sobre las características externas e internas de los frutos de esa raza, por lo que se deduce que climas cálidos, principalmente húmedos, generaron aguacates de frutos grandes y con poco contenido de grasa.

Pese a que la calidad tanto externa como interna del fruto del aguacate está íntimamente ligada al factor genético, no hay que desconocer el efecto que sobre esta ejerce el ambiente. Son poco los reportes que existen en Colombia al respecto, pues mundialmente los estudios sobre calidad de la fruta se han hecho, en su mayoría, teniendo en cuenta la variación estacional, mas no la variación altitudinal, que a la postre indica una diferente oferta ambiental.

En un estudio realizado por Bernal (2016) se evaluó el comportamiento agronómico, así como el rendimiento y la calidad de fruta, de la variedad de aguacate cv. Hass, en diferentes ambientes del departamento de Antioquia, para determinar sus zonas óptimas de cultivo. En este se seleccionaron lotes de aguacate cv. Hass, de 5 años de edad, ubicados en siete localidades del departamento de Antioquia, donde se pudo establecer que existe un efecto de las condiciones ambientales, sobre la calidad externa e interna de la fruta, así como sobre el rendimiento por árbol y por hectárea obtenido, tal y como se presenta a continuación.

Temperatura

La temperatura es un factor determinante en la respuesta de los árboles, tanto en su desarrollo como en su producción y calidad de fruto. El promedio de temperatura en la zona más cálida fue de 22,2 °C (Támesis), con máximas de 32,99 °C, y el de la zona más fría, un promedio de 14,76 °C, con máximas de 21,71 °C. Esto marca una diferencia de 7,7 °C en el promedio general y de 8,5 °C en las temperaturas máximas, que explican, en gran parte, la desadaptación de este cultivar en condiciones cálidas, específicamente por ser muy diferentes a las zonas de origen.

Las temperaturas de 17,9 a 19,7 °C, con condiciones ambientales templadas, estables y libres de estrés, son consideradas como las mejores condiciones para la producción de aguacate cv. Hass, mientras que las temperaturas límite para lograr un desempeño razonable de este cultivar son de 19,5 a 21 °C, que corresponden a los climas subtropicales cálidos y húmedos (Wolstenholme, 2007). En este estudio, la temperatura promedio fue de 22,25 °C para Támesis, 18,92 °C para Jericó, 17,60 °C para Rionegro y 14,76 °C para Entrerríos, por lo que solo Jericó y Rionegro estarían dentro del rango óptimo para el cultivar propuesto por Wolstenholme (2007) (figura 1.28).

Figura 1.28. Temperaturas registradas en tres años continuos de lectura (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Temperatura promedio; b. Temperaturas máxima, promedio y mínima.
Fuente: Elaboracion propia

Por otra parte, las temperaturas máximas observadas en Támesis (32,25 °C) y Jericó (29,3 °C), consideradas por Anguiano, Alcántar, Toledo, Tapia y Vidales-Fernández (2007) como marginales máximas, pudieron afectar el rendimiento y calidad del fruto, con respecto a las otras localidades. Las temperaturas mínimas nunca fueron inferiores a los 10 °C en la localidad más alta (Entrerríos, a 2.420 m s. n. m.), considerada dentro del límite inferior por el mismo investigador. A nivel mundial, los aguacates se cultivan en una gama muy amplia de temperaturas. En realidad, no existen para el cv. Hass referencias en el trópico que indiquen las condiciones óptimas de temperatura, ni que promuevan un rendimiento competitivo, ni que garanticen la calidad de la fruta; este estudio pretende hacer un acercamiento a esa información.

Humedad relativa

De acuerdo con la figura 1.29, se observa que, en cuanto a la humedad relativa (HR), las tres zonas de registro presentan similares condiciones, fluctuando entre los 78,43 % (Rionegro) hasta los 82,83 % (Entrerríos). Estos valores son altos si se comparan con los mencionados por Anguiano et al., (2007), para Michoacán (México), donde reportan valores óptimos de HR, entre el 57 y el 63 %. Sin embargo, el aguacate se adapta a climas húmedos y semihúmedos, con marcadas diferencias entre las estaciones húmedas y secas. Baíza (2003) menciona que la humedad relativa óptima del aguacate es del 60 al 70 %, aunque cultivares como el Hass toleran hasta el 80 %. Este factor influye en la calidad del fruto y la sanidad de las partes aéreas del árbol.

Asimismo, humedades relativas altas favorecen la proliferación de enfermedades fungosas en hojas, ramas y frutos; por el contrario, humedades relativas por debajo del mínimo requerido ocasionan el cierre estomático, así como la consecuente deshidratación y ausencia de fotosíntesis. En este orden de ideas las HR aquí registradas son apropiadas para el cultivo, solo que esta condición puede ser predisponente para problemas fitosanitarios.

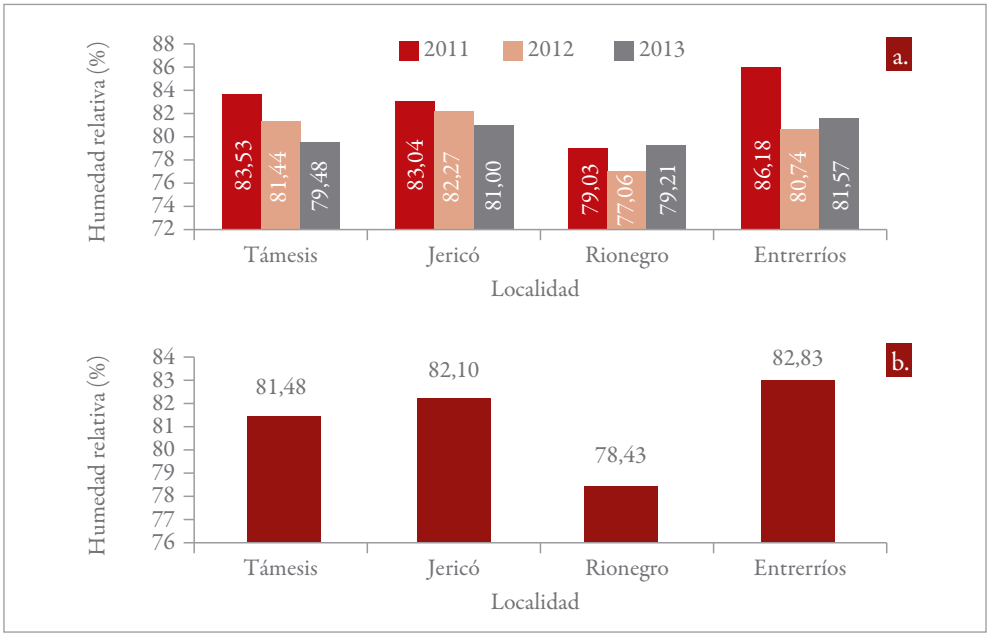


Figura 1.29. Humedad relativa registrada en tres años de evaluación continua (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Humedad relativa promedio por año; b. Humedad relativa promedio en los tres años.

Fuente: Elaboracion propia

Precipitación

Con respecto a la precipitación, se pudo establecer que el 2011 fue más lluvioso en todas las localidades, en comparación con el 2012 y el 2013. Esta situación pudo afectar en algunos huertos los rendimientos obtenidos en la cosecha de 2012. Se considera que las localidades donde se llevó registro meteorológico tienen un régimen normal de lluvias, que es óptimo para el establecimiento del cultivo (figura 1.30). La precipitación registrada en el estudio muestra regímenes típicos de la zona de vida de bh-Mb. El aguacate tiene una amplia adaptación a la pluviosidad y se cultiva sin riego en zonas con precipitaciones que varían entre 665 mm y más de 2.000 mm/año (Galán-Sauco, 1990); sin embargo, los promedios aquí observados son altos con respecto a esta referencia, pues los valores fueron: el más bajo de 2.367 mm/año, en Rionegro, y el más alto de 3.036 mm/año, en Jericó.

Figura 1.30. Precipitación registrada en tres años continuos de evaluación (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Precipitación anual máxima, promedio y mínima por año; b. Precipitacion total promedio en los tres años.
Fuente: Elaboracion propia

De acuerdo con lo anterior, los valores encontrados son altos, pero suplen las necesidades del cultivo; sin embargo, se hace necesario un buen sistema de drenaje para evacuar el exceso de agua en el suelo. Este frutal, como ningún otro, requiere suelos muy bien drenados, ya que sus raíces son altamente susceptibles a los problemas radicales; suelos con profundidad efectiva y nivel freático superiores a 1,0 m, con texturas livianas que favorezcan la formación de un sistema radical denso y muy ramificado, son los deseables (Avilán et al., 1989). Además, hay que considerar que en todas las localidades se presenta un régimen bimodal, con dos épocas de lluvia y dos de baja precipitación, pero con buena distribución anual.

Brillo solar

El brillo solar (BS) registrado en un promedio de tres años (2011-2013) fue el siguiente: en Entrerríos, de 5,24 horas/día, es decir, 1.912,6 horas/año; en Rionegro, de 5,52 horas/día, para un total de 2.014,8 horas/año; en Támesis, de 5,72 horas/día, para un total de 2.087,8 horas/año y, en Jericó, 6,4 horas/día, con un valor total de 2.336 horas/año. Estas cifras están dentro de los requerimientos reportados por Gaillard y Godefroy (1995), quienes señalan que los aguacates tienen buenos resultados, en áreas con más de 2.000 horas de luz solar al año (figura 1.31) y que en las áreas de producción en California e Israel se reciben entre 3.000 y 3.500 horas de luz solar al año, principalmente durante los largos días de verano. De acuerdo con la información contenida en la figura 1.31a, los valores del BS fueron en aumento desde 2011 a 2013, situación que fue consistente en las cuatro localidades evaluadas, debido a que la precipitación disminuyó en esos años (figura 1.31b).

Si se considera que el BS es la expresión del número de horas de la radiación solar directa, cuando se compara con altas latitudes el trópico presenta muy pocas variaciones estacionales en la radiación solar a lo largo del año. Los días largos de verano en altas latitudes exceden las cantidades diarias de la radiación solar recibida en los trópicos, que es reducida por las nubes y el vapor de agua en el aire, a través de la reflexión y la absorción. Por lo tanto, la irradiancia no es un factor limitante en el crecimiento de las plantas en el trópico, excepto durante períodos de alta nubosidad y humedad relativa ambiental, y en condiciones de sombreamiento por la vegetación o las montañas. Frutales como el aguacate no responden al fotoperíodo y son capaces de florecer en cualquier estación del año. En ese mismo sentido, ya que la temperatura, la radiación solar y el fotoperíodo son bastante constantes en el trópico, la variedad de subclimas y vegetación son frecuentemente dependientes de la precipitación (Paull & Duarte, 2011).

A pesar de que los valores de BS aquí encontrados están dentro de los requerimientos del cultivo, es necesario destacar que las ramas demasiado sombreadas del aguacate son improductivas; de ahí la importancia de realizar prácticas adecuadas de poda y controlar la densidad de las plantas. De otra parte, la exposición completa a la luz solar es altamente benéfica para la plantación; sin embargo, un exceso de luminosidad produce quemaduras en ramas, hojas, frutos e, incluso, en los troncos de los árboles jóvenes (Bárcenas, 2000).

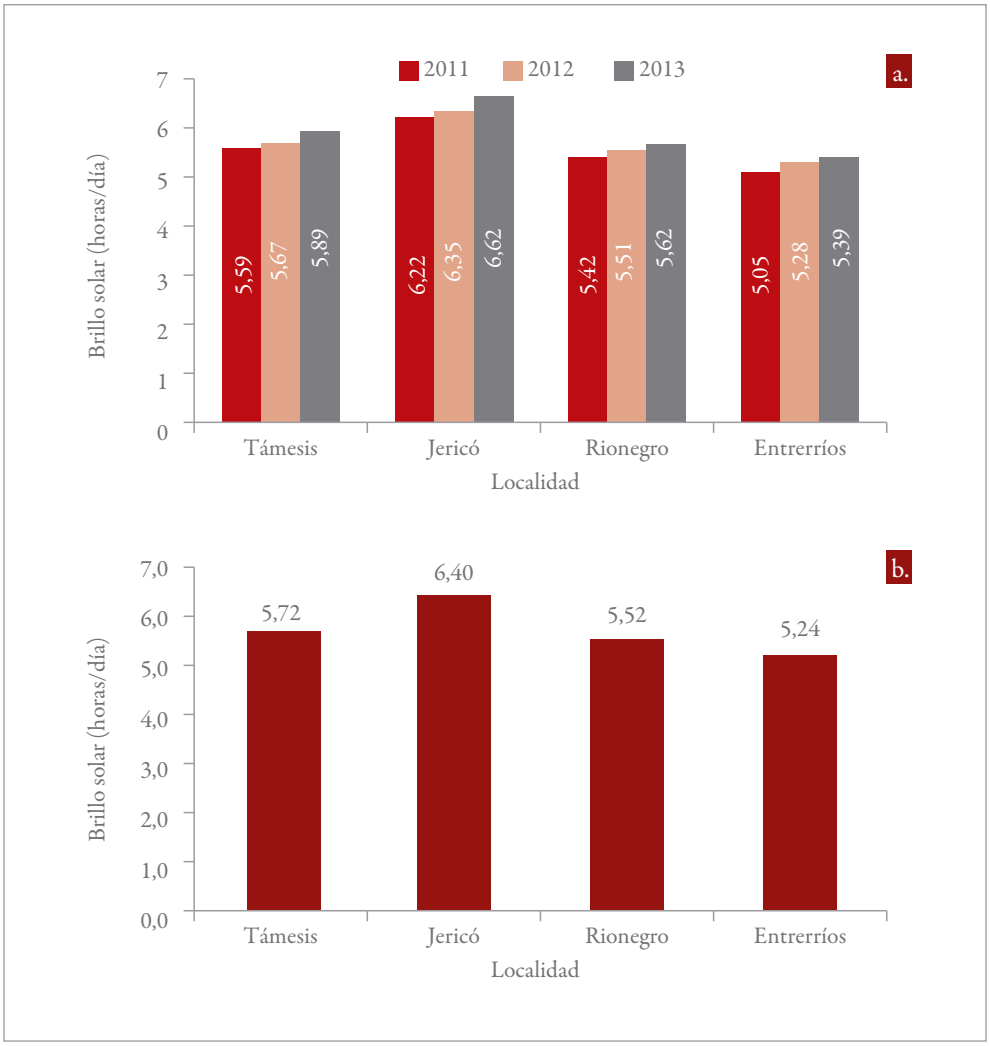


Figura 1.31. Brillo solar registrado en tres años de evaluación (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Brillo solar máximo, promedio y mínimo por año; b. Brillo solar promedio en los tres años.

Fuente: Elaboracion propia

Árboles de aguacate del cultivar de origen guatemalteco, como el Hass, considerado como un cultivar semitropical, sembrado en el trópico, a bajas alturas, bajo condiciones de alta luminosidad, alta humedad relativa, alta temperatura, entre otros factores ambientales, pueden sufrir un estrés que se verá reflejado, no solamente en un crecimiento anormal de la copas, sino también en una reducción en el tamaño de la fruta. Esto se debe principalmente a su acelerado proceso metabólico, que da como resultado la formación de frutos en menor tiempo, lo que significa un menor llenado de estos y, por consiguiente, un menor tamaño y peso, como se aprecia en las figuras 1.32 y 1.33 (Bernal, 2016). Además, sus características físicas internas también variaron, pues se presentaron porcentajes más altos de semilla y cáscara en los ambientes más cálidos, con menores porcentajes de pulpa, lo que significa una menor calidad (figura 1.34).

En dos años de evaluación, se observó que el peso del fruto está directamente relacionado con la altura en que están ubicados cada uno de los huertos, pues se observó que a mayor altura sobre el nivel del mar se registraron mayores pesos (figura 1.32). Las localidades en las que se observó fruto con peso promedio superior a los 200 g fueron Rionegro (214,6 g; el más alto) y Entrerríos (205,2 g). La localidad que presentó frutos de menor peso fue Támesis, con un valor promedio de 143,09 g. Esto coincide con lo expuesto por Tapia-Vargas, Vidales-Fernández y Larios-Guzmán (2007), quienes exponen que los frutos tienden a obtener mayor peso fresco y mayor peso en pulpa en los climas templados subhúmedos, características propias del sector de Entrerríos; asimismo, concluyen que en climas semicálidos subhúmedos los frutos presentaron menor peso fresco y menor peso en pulpa.

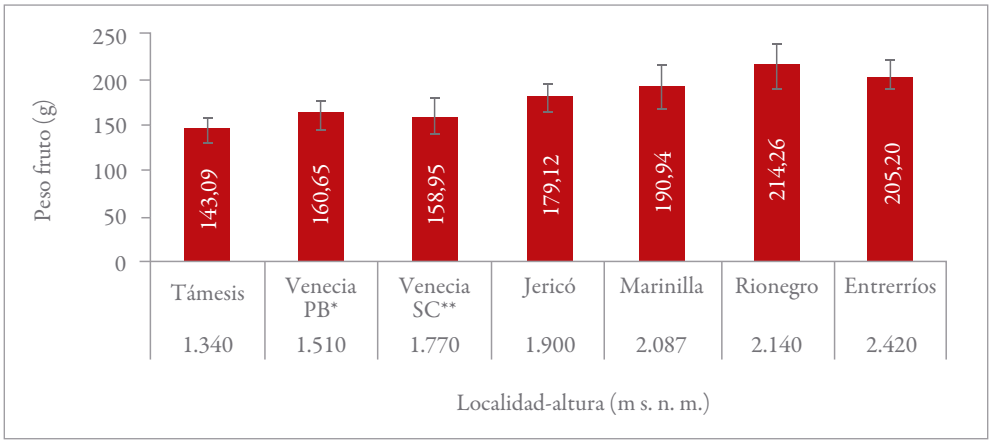


Figura 1.32. Peso del fruto, en dos años de evaluación, en árboles de aguacate cv. Hass establecidos en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).
*PB: Piedras Blancas (finca). **SC: Santa Cruz (finca).
Fuente: Elaboracion propia

Por otra parte, en la figura 1.33, se observa que el peso promedio del fruto, obtenido en un estudio adelantado por Díaz y Bernal (2017), de las cosecha de 30 árboles, en diferentes localidades del departamento de Antioquia entre 2015 a 2017, mostró la misma tendencia, ya que fluctuó entre 132,41 a 205,56 g, encontrándose los frutos de mayor tamaño en las localidades por encima de los 2.280 m s. n. m. San Pedro 1 con un peso promedio de fruto de (205,56 g) y San Pedro 2 con un peso de 205,2 g (dado que se tenían dos fincas en esta localidad se nombraron como San Pedro 1 San Pedro 2), seguido de El Retiro 1 con 196,04 g fueron las localidades donde se obtuvieron los frutos con mayor peso promedio; en Amagá se alcanzó el menor peso promedio de fruta con un valor de 132,41 g; las demás localidades presentaron un peso muy similar, que osciló entre los 165,97 y los 178,9 g.

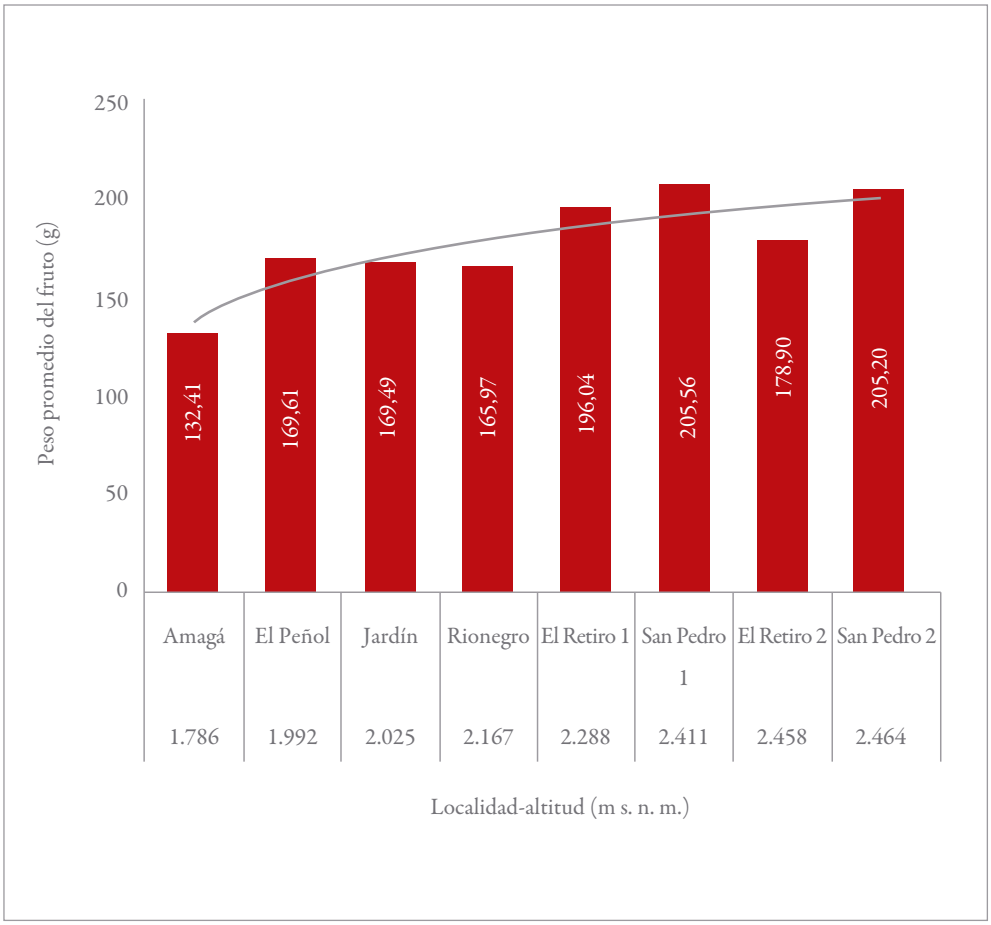


Figura 1.33. Peso promedio del fruto en árboles de aguacate cv. Hass, establecidos en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).
Fuente: Elaboracion propia

Los frutos procedentes de ambientes más frescos (localidades a mayor altura) presentaron mayor peso del fruto; es decir que, a medida que aumentó la temperatura promedio, se disminuyó el peso promedio en los frutos, observándose un efecto ambiental. Esto sugiere que tales ambientes son suficientemente aptos para el establecimiento del cv. Hass, en cuanto a la obtención de fruto de óptima calidad. Newett et al. (2007) mencionan que los árboles que crecen en climas más fríos producen fruto de mayor tamaño, tal como se observó en este estudio. Uno de los factores más importantes en la determinación del calibre es la carga de cosecha. De acuerdo con los resultados obtenidos, las localidades con mayores rendimientos no estuvieron entre las que presentaron los promedios de fruta mayores; contrariamente, las localidades con mejores pesos no fueron las de mayor rendimiento por hectárea, lo que demuestra que los huertos más productivos presentan más frutos de regular tamaño y viceversa.

Con respecto a las características de los frutos, obtenidos en las localidades estudiadas, de una muestra de 120 frutos por localidad, en dos años consecutivos de muestreo, en la figura 1.34 se observa que, en los ambientes por encima de los 1.770 m s. n. m., el porcentaje de pulpa fluctuó entre 64 y 70 %, mientras que los ambientes por debajo de esta altitud presentaron porcentajes de pulpa más bajos: aproximadamente 63 %; Newett et al. (2007) aclaran que el aguacate cv. Hass presenta entre un 66 y un 70 % de pulpa aprovechable. Los porcentajes de semilla y cáscara fueron mayores en los frutos donde el contenido de pulpa fue menor y viceversa. Esta característica también demuestra que no solamente se obtienen frutos de menor tamaño en ambientes por debajo de los 1.770 m s. n. m., sino que también la calidad interna de estos disminuye, pues presentan menores contenidos de pulpa aprovechable (figura 1.34), tanto para consumo en fresco como para la agroindustria.

De acuerdo con Bergh (1984), en California se considera que el cv. Hass debe tener una relación semilla:cáscara:pulpa de 16:12:72 %. En este caso, solo en Támesis se cosecharon frutos con proporción de semilla cercanos al 16 %; en las demás localidades, se presentaron valores inferiores, sugiriendo que este fruto en condiciones del trópico andino es de semilla pequeña, característica deseable en un fruto. Sin embargo, en todos los casos, a excepción de los frutos cosechados en Rionegro (11,87 %), el porcentaje de cáscara fue superior al reportado por Bergh (1984), del 12 %, ya que este valor fluctuó entre un 13,28 %, para los frutos cosechados en Entrerríos, hasta un 16,08 %, para los cosechados en Támesis, lo que indica que este fruto en el trópico presenta cáscara más gruesa, condición que va en detrimento del porcentaje de pulpa, pero le confiere mayor resistencia al fruto en la cosecha y poscosecha (Lahav & Lavi, 2007).

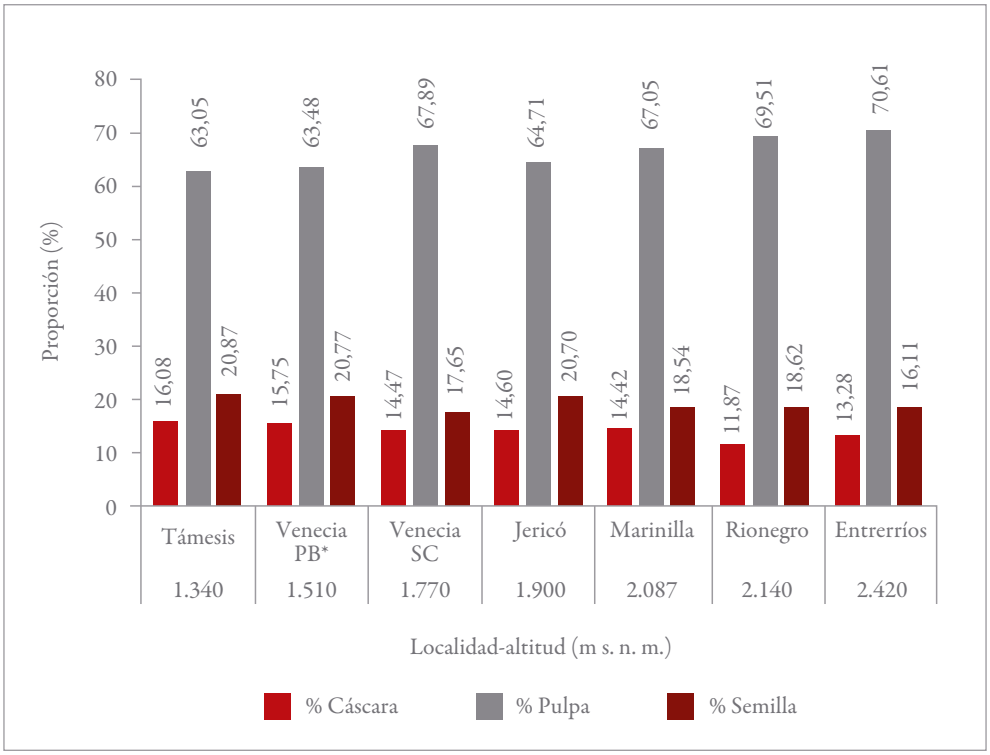


Figura 1.34. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).
Fuente: Elaboracion propia

De nuevo se observa que la altitud influyó sobre el grosor de la cáscara en el fruto, pues el menor porcentaje fue obtenido en una de las localidades más altas (Rionegro, 2.180 m s. n. m.) y, contrariamente, el mayor se obtuvo en la localidad más baja (Támesis, 1.340 m s. n. m.) (figura 1.34). Los frutos de Entrerríos mostraron el valor más alto en el porcentaje de pulpa, con un 70,61 %, y la localidad con frutos de menor valor fue Támesis, con 63,05 % (figura 1.34). Esta información se relaciona directamente con el peso de los frutos.

Con respecto al porcentaje de semilla, en Entrerríos los frutos mostraron el menor porcentaje de peso en semilla, con un 16,11 %, mientras que en Támesis, el mayor, con un 20,87 %, donde se obtuvieron frutos de menor peso promedio, mostrando de nuevo en esta localidad, su baja respuesta en peso, producción y calidad del fruto. En Rionegro, se observaron frutos de menor porcentaje de cáscara, con un 11,87 %, y en Támesis, los de mayor, con un 16,08 %, lo que también está relacionado con el peso del fruto (figura 1.34).

En general, se puede decir que en los huertos situados a mayor altitud se presentan frutos de mayor tamaño, traducido en un mayor peso, diámetro y porcentaje de pulpa, y en un menor porcentaje de cáscara y semilla. Al respecto, hay que considerar que en la producción de aguacate el tamaño del fruto tiene una enorme importancia económica y, al mismo tiempo, si se considera su calidad interna, el contenido de aceite también tiene una marcada importancia. Es así como se ha determinado que el contenido de aceite en aguacate está fuertemente influenciado por la producción y el tamaño del fruto; de tal manera que, a mayor tamaño, mayor es el contenido de aceite (Lahav & Whiley, 2007).

Cuando la evaluación de estos componentes se realizó en ambientes por encima de los 1.750 m s. n. m., los porcentajes de semilla, cáscara y pulpa no fueron afectados por el ambiente, ya que los valores de estos fueron muy similares en todos los huertos (Díaz & Bernal, 2017). Los porcentajes de semilla y cáscara fueron mayores en los frutos donde el contenido de pulpa fue menor y viceversa; sin embargo, el tamaño del fruto no tuvo una proporción directa en los contenidos de pulpa (figura 1.35).

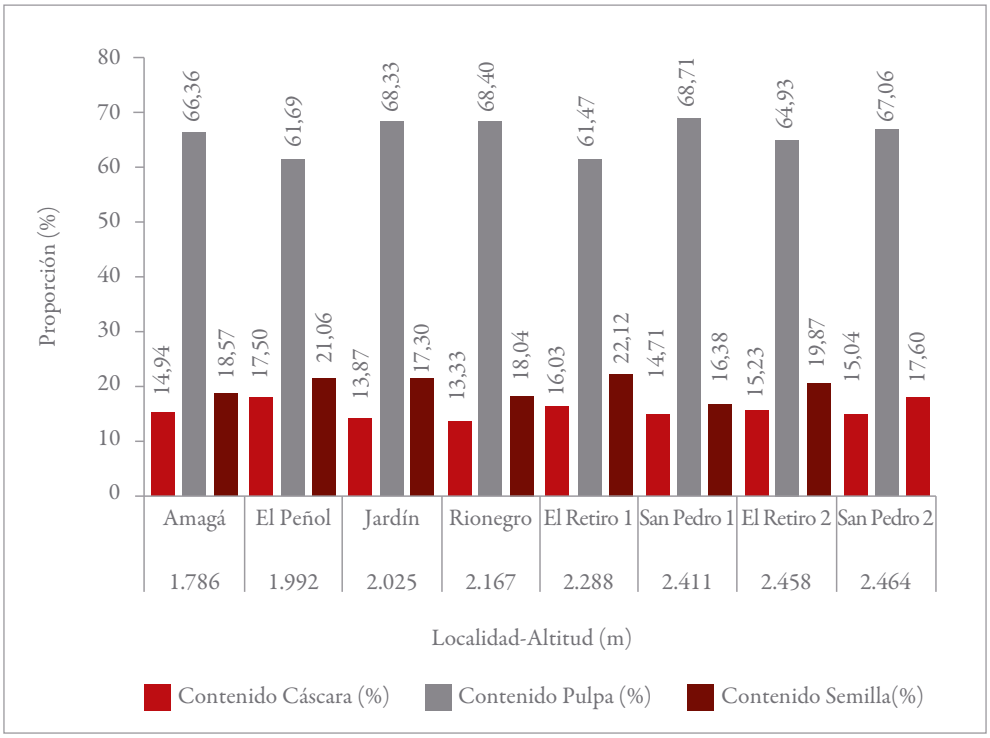


Figura 1.35. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).
Fuente: Elaboracion propia

En cuanto a la calidad de la fruta por categorías, en el consolidado de dos años de evaluación (2011-2012) realizado por Bernal (2016) (figura 1.36), se observa cómo las localidades por encima de los 1.700 m s. n. m. mostraron que más del 55 % de la cosecha era fruto de calidad Extra, siendo Rionegro la que mejor calidad de fruto arrojó, con un 79,40 % en esta categoría, seguido por Entrerríos, con un 69,50 %; Marinilla, con un 59,56 %; Venecia SC, con un 56,24 %; Jericó, con 55,75 %, y con los más bajos valores, tanto Venecia PB, con un 33,73 % de fruto en calidad Extra, como Támesis, con tan solo un 22,83 %. Una vez más se observa cómo las condiciones climáticas de los huertos donde se encontraba plantado el aguacate cv. Hass influyeron sobre la calidad del fruto.

Es interesante mencionar que, en las localidades ubicadas por encima de los 1.770 m s. n. m., el porcentaje de descarte fue inferior al 3,5 %, mientras que en las ubicadas por debajo de este rango los porcentajes fueron de 5,66 %, en Venecia PB, y 11,59 %, en Támesis. Si se suman los porcentajes de fruto de Descarte e Industrial, Támesis presentó un 38 % del fruto en estas dos categorías, lo que significa que, de toda la producción, solamente un 62 % pudo ser comercializada como fruto fresco, situación sumamente desventajosa para los ingresos del productor. Venecia PB presentó casi un 25 % del fruto entre Industrial y Descarte, mientras que en Venecia SC este porcentaje fue del 20 %. De ahí hacia arriba, estos porcentajes fueron disminuyendo, siendo en Jericó del 16,93 %, en Marinilla de 13,28 %, en Entrerríos del 10,54 % y en Rionegro apenas un 6,69 %. Este último además presentó un 93,26 % de fruto entre las calidades Extra y Primera, lo que significa un buen ingreso para el agricultor en esta localidad (figura 1.36), cumpliendo no solo con las necesidades del mercado nacional, sino también internacional.

Se debe considerar que el mercado del aguacate permite fruto de todos los calibres; sin embargo, cuanto mayor calidad haya, mejores serán los precios. Por ejemplo, Terravocado (2015), en Colombia, en febrero de ese año, ofrecía al productor los siguientes precios para aguacate cv. Hass: Jumbo (más de 250 g), US $ 0,44 a US $ 0,56; Extra (entre 180 g y 249 g), US $ 0,36 a US $ 0,44; Primera (entre 130 g y 179 g), US $ 0,28 a US $ 0,44; Industrial (entre 80 g y 129 g), US $ 0,12 a US $ 0,28; Descarte (fruto con daños superficiales que no afecten el buen desarrollo de la pulpa al madurar, mayor a 80 g), US $ 0,12 a US $ 0,28; Fruto Malo (fruto con plagas, hongos o cortes que afecten la pulpa o inferior a 80 g) no se recibe ($ 0).

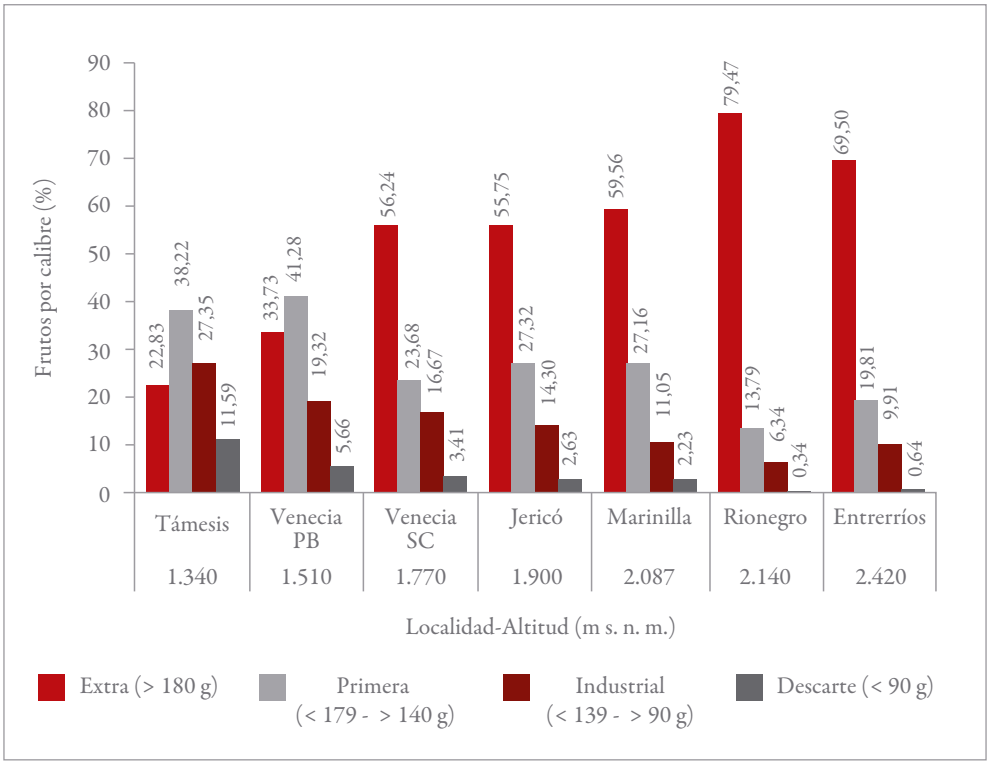


Figura 1.36. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2011-2012).
Fuente: Elaboracion propia

Disminuciones en el tamaño y peso de los frutos, influenciadas por condiciones ambientales no aptas para el cultivar de aguacate Hass, indican un efecto negativo en la calidad externa de estos, por no cumplir con los calibres exigidos por el mercado, lo que es más grave si se trata de fruta para la exportación. Cuando se promedió el rendimiento de los dos años continuos, se observó un efecto ambiental en el que los mejores rendimientos (t/ha) se obtuvieron en el rango comprendido entre los 1.770 y los 2.140 m s. n. m., notándose que en los extremos los valores fueron inferiores. Cabe destacar que el rendimiento obtenido en Entrerríos (7,99 t/ha) fue apenas 1,32 t por debajo del promedio nacional (9,31 t/ha) para 2012 (MADR, 2016); mientras que en Venecia PB esta diferencia fue casi de 3,43 t/ha, y en Támesis, de 6,76 t/ha, lo que indica que estas últimas zonas, por debajo de los 1,770 m s. n. m., presentan mayores desventajas que aquellas por encima de este límite (figura 1.37). Los rendimientos obtenidos en Venecia SC (15,17 t/ha), Jericó (17,12 t/ha) y Marinilla (17,42 t/ha) superaron en 5,85, 7,81 y 8,11 t/ha, respectivamente, el promedio nacional, indicando una muy buena respuesta de este cultivar bajo tales condiciones.

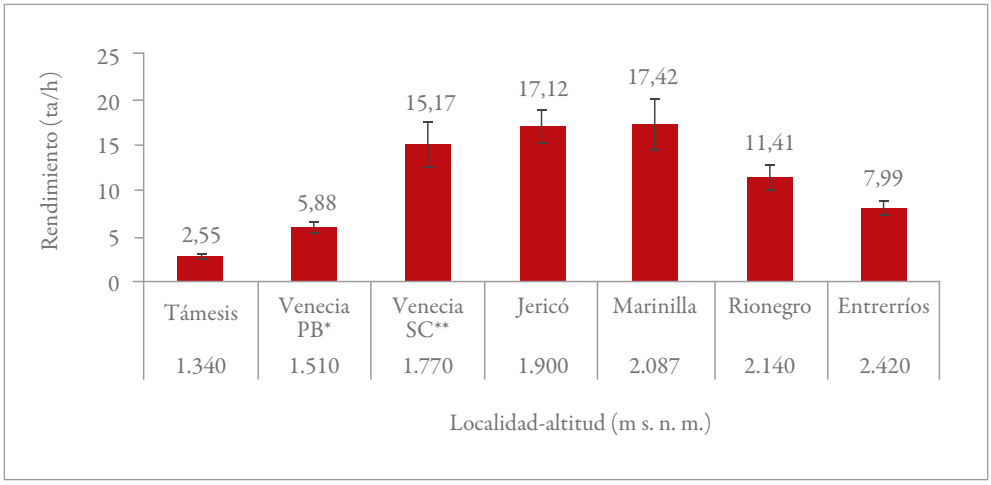


Figura 1.37. Rendimiento esperado (t/ha) en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en dos años continuos de evaluación (2011-2012).
Fuente: Elaboracion propia

Un estudio realizado por Díaz y Bernal (2017) evaluó el rendimiento obtenido en t/ha de una población de 30 árboles, en ocho ambientes (desde los 1.786 hasta los 2.464 m s. n. m.), de tres subregiones del departamento de Antioquia, durante un período anual, comprendido entre septiembre de 2015 y septiembre de 2016. De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 1.38), la tendencia observada muestra que las fincas ubicadas entre los 1.900 y los 2.025 m s. n. m. presentaron los mejores rendimientos, mientras que, por debajo y por encima de estas alturas, estos rendimientos decrecen. Cabe destacar que solo una de las localidades (San Pedro 1 con 5,32 t/ha) no superó el rendimiento promedio nacional para 2015, de 8,51 t/ha (MADR, 2016); las demás fueron superiores en el doble, como El Peñol, y hasta casi tres veces, como Jardín. Esto da una aproximación a la ubicación de los mejores ambientes para la siembra de este cultivar en Antioquia.

En los últimos años, se ha puesto mucha atención hacia la obtención de nuevas selecciones de aguacate, con mejores características respecto a las variedades estándar, especialmente con la variedad Hass. Los estudios buscan nuevos cultivares con mayor precocidad, producción, calidad de la fruta, diferente temporada de cosecha, mayor tamaño relativo de fruta y distinta forma de árbol. Recientemente, se han desarrollado en California y México selecciones de aguacate a partir de Hass, que están siendo utilizadas por los agricultores por poseer algunas características superiores al Hass convencional. Entre muchos de los materiales, se destacan el Lamb-Hass de California y el Hass Carmen de México, que se describen a continuación.

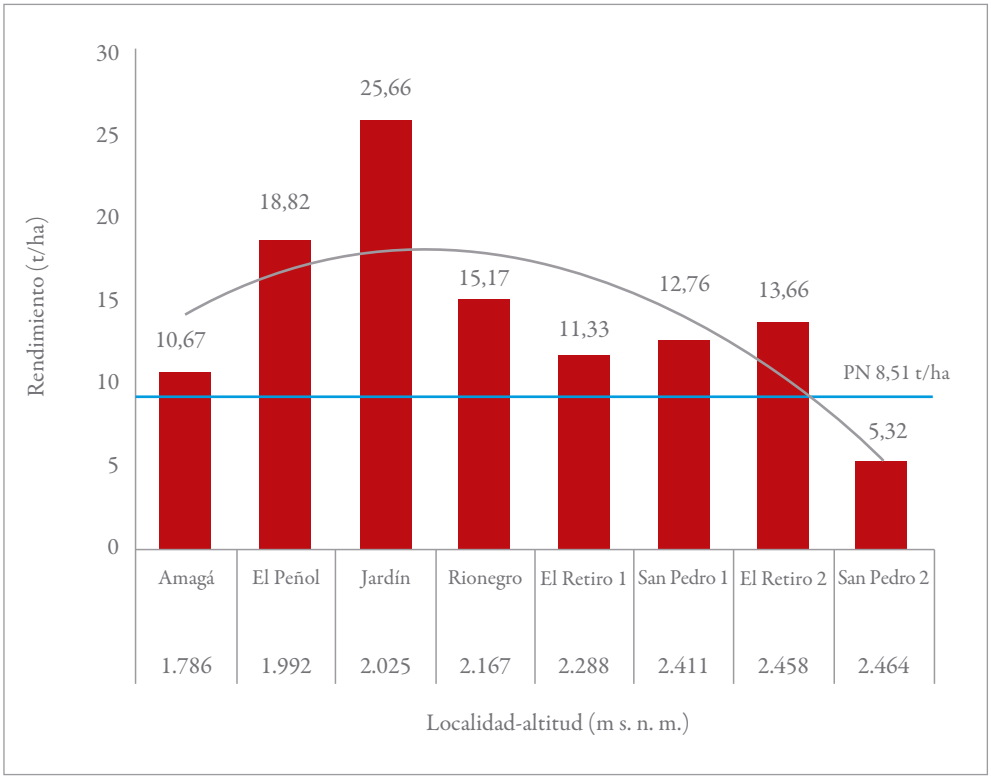


Figura 1.38. Rendimiento (t/ha) en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia, en un año de evaluación (2015-2016).
Fuente: Elaboracion propia

Lamb-Hass

Mejoradores de la Universidad de California-Riverside evaluaron 10.000 plántulas obtenidas de semillas de aguacate, procedentes de la variedad Gwen (que se obtuvo a su vez de una selección del Hass original), en la finca Camarillo, a finales de la década de los ochenta. Entre 1990 y 1996, aguacates con características promisorias fueron escogidos de este primer ensayo para futuras evaluaciones. Una de esas selecciones con apariencia a Hass fue seleccionada por producir más fruta que Hass, madurar más tardíamente (durante el verano) y por ser un árbol más pequeño. Este material fue nombrado Lamb-Hass en honor a Bob Lamb y su familia. Entre las ventajas que presenta el Lamb-Hass, con respecto al Hass, están: producción más alta; árbol más tolerante a los vientos y a las altas temperaturas; menor daño por golpe de sol; menor daño por trips y por ácaro cristalino, y la posibilidad de mayor densidad de siembra (Bender, s. f.).

Este híbrido es considerado como la variedad de aguacate del verano en el estado de California. Presenta floración tipo A. Los arboles de este material son de hábito columnar. Los frutos son de tamaño medio a grande (280 a 570 g), simétricos en forma, lo que lo diferencia del Hass. Presenta corteza de color verde pálido (cuando verdes) y negra cuando madura, rugosa, de grosor intermedio y pulpa amarillenta, de sabor suave y textura cremosa, de sabor nogado. En apariencia, los frutos del Lamb-Hass son similares a los de Hass, de forma oval aperado (obovado) y con semilla de tamaño medio a grande (figura 1.39). La relación de semilla:corteza:pulpa es de 15:14:71 (University of California, 2013).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.39. Cultivar de la raza guatemalteca Lamb-Hass.

Hass Carmen®

Aproximadamente en 1986, se observó un árbol de aguacate de hábito diferente en la región sur del valle de Basilia, en el municipio de Uruapan (Michoacán, México), morfológicamente similar al Hass convencional, pero con un patrón atípico de floración, precoz y consistente. La maduración o período de cosecha de este fruto coincidió con el de la cosecha de la floración fuera de temporada del Hass convencional, que en México se conoce como la 'Loca'. La fruta de este cultivar madura de uno a dos meses antes que la del Hass tradicional. Carlos Méndez, un productor de aguacate bien conocido en la región, se dio cuenta de la existencia de este árbol singular y siguió observando su comportamiento durante algún tiempo. Posteriormente, el material se conoció como el tipo Méndez (Illsley, Brokaw, Ochoa, & Brewuer, 2011).

En México, el 40 % o más del total de los cultivos de este cultivar maduran de uno a dos meses antes del Hass tradicional (junio-septiembre). Dependiendo de la fructificación temprana, produce una cosecha adicional durante la temporada tradicional de Hass. La proporción varía de año en año. La fruta tiene características de poscosecha idénticas al Hass. Presenta cierta alternancia. No presenta dominancia apical y múltiple brotación. Se estima que hay por lo menos 5.000 a 6.000 hectáreas plantadas actualmente solo en Michoacán de cv. Hass Carmen®, con una producción registrada de 26,5 t/ha durante los años de mayor volumen. Los viveros produjeron aproximadamente 350.000 nuevas plantas durante 1996-1997 con Hank Brokaw, de Brokaw Nursery en Saticoy, California. La fruta del material es similar al Hass convencional, presentando forma obovada (figura 1.40), semilla relativamente grande y con espesor mediano de la corteza (Illsley et al., 2011).

La copa del árbol de cv. Hass Carmen® es redonda, compacta y densa, a diferencia del Hass convencional que presenta copas más esparcidas y abiertas. En poscosecha, la fruta tolera mejor las enfermedades que se presentan en esta etapa, así como mayores períodos de almacenamiento a baja temperatura, como la que se requiere para la exportación. Hass Carmen® es un cultivar precoz, pudiéndose en algunas zonas de México extender la temporada de cosecha hasta cuatro semanas o más. El Hass Carmen ® se ha convertido en un cultivo ampliamente adoptado y significativo en la industria del aguacate mexicano, y está bien establecido en Sudáfrica (Illsley et al., 2011).

Fotos: Salvador Ochoa Ascencio

Figura 1.40. Cultivar de la raza guatemalteca Hass Carmen®. a. Frutos morfologicamante similares al Hass convencional, pero con un patrón consistente de fructificación; b. Detalle del fruto de forma piriforme, piel rugosa y coloración verde intensa.

Reed

La variedad Reed, originada alrededor de 1948 en la propiedad de James S. Reed en Carlsbad, California, posiblemente sea de semillas de un híbrido entre dos variedades guatemaltecas (Anaheim × Nabal). Sus árboles son delgados y tienen un crecimiento vertical característico, con ramas colgantes que protegen los frutos del "golpe de sol"; además, pertenecen al grupo floral A. El fruto es redondo (figura 1.41), de tamaño mediano a grande, de 270 a 680 g, y de 8 a 10 cm de largo, con corteza verde, ligeramente rugosa, medio gruesa, flexible y fácil de pelar (Whiley, 2007; Ríos-Castaño & Tafur, 2003). Por poseer una corteza de tamaño mediano a gruesa, en los frutos de este cultivar es difícil determinar su madurez de consumo, característica que se considera negativa en el proceso de comercialización.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.41. Cultivar de la raza guatemalteca Reed. a. Detalle del fruto de piel rugosa y forma esférica. b. Fructificación prolífica, típica del cultivar.

La pulpa de esta variedad es de color crema, con rico y delicado sabor a nuez; no se oscurece cuando se corta y está catalogada como de excelente calidad, por su alta resistencia al transporte y al almacenamiento. El contenido de grasa es del 20 %, y de fibra es del 7,9 %. La semilla es pequeña a mediana y está bien adherida a la cavidad que la contiene. El árbol es de hábito erecto, con copas de 5 m de diámetro, muy regular en su producción (Newett et al., 2007). En California, debido a su crecimiento recto y consistencia en las cosechas, se usa en altas densidades. Las variedades con marcada dominancia apical conducentes a un tronco dominante simple, como Gen,

Lam-Hass y Reed, son usadas en altas densidades. En California se han plantado pequeños huertos experimentales de Lam-Hass y Reed a una distancia de 2,25 x 2,25 m (1.973 árboles/ha), manejados desde vivero por medio de podas anuales. Usando estos protocolos, en huertos de 6 años con la variedad Reed en alta densidad, ha producido 6,5; 26,0; 46,2; y 81,7 t/ha, desde el tercer hasta el sexto año de producción, respectivamente (Whiley, 2007).

En el mercado americano, dos características se destacan con relación al Reed: 1) su maduración tardía, cuando otras variedades no están en el mercado, y 2) su alta producción que en promedio dobla la del Hass. Además, es un fruto atractivo tanto en lo interno como en lo externo, lo que lo hace de importancia para su uso en restaurantes, en donde pelados y preparados por su tamaño grande son más eficientes (Ríos-Castaño, Corrales-Medina, Daza-Gómez, & Arisitizábal-Gallo, 2005).

En zonas frías de Colombia, esta variedad está siendo muy difundida, con excelentes resultados por su producción y calidad de fruta; sin embargo, dado su hábito de crecimiento erecto, se debe manejar con podas para no permitir árboles muy altos, en los que se dificulten las labores del cultivo, especialmente la de cosecha. Esta variedad, junto con Fuerte, Hass y Colinred, es una de las mejores para su siembra en condiciones de clima frío moderado en Colombia (1.800 a 2.600 m s. n. m.). La relación cáscara:semilla:pulpa es 11:17:72 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Edranol

Esta variedad fue originado en 1927 como plántula obtenida del agricultor A. R. Rideout, y posteriormente introducida en 1932 por E. R. Mullen en Vista, California (Agriculture & Natural Resources [Anres], 2012).

El Edranol presenta árboles erectos, vigorosos, fácilmente propagables y con buena resistencia al frío. Pertenece al grupo floral B. Su hábito de fructificación es variable, pero con muy buena carga de frutos. El fruto es piriforme, de cuello largo, de tamaño mediano a grande. El color de la cáscara es verde oscuro, aun cuando está maduro; su peso promedio es de 255 a 500 gramos (figura 1.42), de corteza ligeramente rugosa y corchosa, medianamente brillante, delgada para ser guatemalteco, por lo que es muy fácil de pelar. De sabor excelente, contiene entre un 15 y un 18 % de contenido de aceite, con una semilla pequeña (Morton, 1987). La relación cáscara:semilla: pulpa es de 16:15:69 % (Anres, 2012). La pulpa es mantequillosa, amarilla, con un aprovechamiento de hasta el 77 %, de agradable sabor a nuez y de buena calidad. Es

un excelente polinizador de Hass. Es utilizado en Sudáfrica como la planta nodriza para la propagación clonal (Newett et al., 2007). Fue un cultivar poco sembrado en California y, actualmente, no se encuentran cultivos comerciales (Morton, 1987).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.42. Cultivar de la raza guatemalteca Edranol.

Itzamná

Esta variedad es originaria de Santa María de Jesús, Guatemala, en donde se encuentra a alturas sobre los 2.400 m s. n. m., y fue importada a Estados unidos en 1916 por Wilson Popenoe (CAS, 1950). Presenta frutos de buen tamaño, de 400 a 450 g de peso y excelente calidad, de forma óvalo-piriforme y de color verde claro; su cáscara es ligeramente áspera, con pulpa amarilla y semilla pequeña y bien adherida a la cavidad que la contiene (figura 1.43). Presenta un 11 % de contenido de aceite. El árbol presenta alternancia productiva y es ligeramente susceptible a la antracnosis; pertenece al grupo floral B (Morton, 1987; Ibar, 1979). La relación cáscara:semilla: pulpa es 8:24:68 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.43. Cultivar de la raza guatemalteca Itzamná.

Linda

Introducida por E. E. Knight a Yorbalinda, California desde Guatemala, donde crece a alturas por encima de los 1.600 m s. n. m., esta variedad presenta árboles de porte bajo, frondosos, vigorosos y con producciones con mucha regularidad (Ibar, 1979). El fruto es grande y puede pesar hasta 1.000 g, lo que lo hace un aguacate poco comercial, aunque se considera de muy buena calidad; de forma elíptica. Su corteza es de color morado oscuro, de textura áspera; su pulpa amarillosa (figura 1.44) contiene un 12 % de grasa; la semilla es de tamaño pequeño a mediano, bien adherida a la cavidad que la contiene (Ibar, 1979). La relación cáscara:semilla:pulpa es 9,4:17,5:73,1 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.44. Cultivar de la raza guatemalteca Linda.

Nabal

Originaria de la región de Antigua, Guatemala, donde se encuentra en su estado natural por encima de los 1.500 m s. n. m., esta variedad es considerada como la mejor variedad de su raza y fue introducida a Estados Unidos por F. W. Popenoe en 1917. En Argentina e Israel se cultiva como polinizadora de otras variedades. Los árboles son vigorosos, de hábito erecto, fructificación abundante y regular. Se cultiva entre los 800 a 2.000 m s. n. m. (Ibar, 1979).

El fruto es casi esférico, de tamaño mediano a grande, de 350 a 500 g de peso y de 10 a 12 cm de largo, que se pela fácilmente; su corteza es de color verde, ligeramente lisa, algo gruesa. La pulpa es de color amarillo (figura 1.45), de consistencia firme, sin fibra, de excelente calidad y de muy buen sabor, de color verde cerca de la cáscara, con un contenido de grasa entre un 12 y un 15 %. La semilla es pequeña y bien adherida a la pulpa. Se considera una variedad de excelente comportamiento en el transporte y almacenamiento (Ibar, 1979; Morton, 1987). La relación cáscara:semilla:pulpa es 10:10:80 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.45. Cultivar de la raza guatemalteca Nabal.

Pinkerton

Originado en 1959 como un árbol de semilla del cv. Rincón en la propiedad de J. y W. Pinkerton (Ventura, California) y patentado en 1975, el Pinkerton es un árbol semienano, moderadamente extenso, con una tasa de crecimiento similar a la del Hass. Su grupo floral es del tipo A (Newett et al., 2007). El fruto tiene una forma de pera alargada (figura 1.46), de tamaño medio y de 230 a 425 g de peso; la corteza es verde oscura, fácil de pelar, ligeramente correosa, algo gruesa y flexible, con gránulos protuberantes; la pulpa es abundante, suave y cremosa en su textura, de buen sabor, de color verde pálido, alta en grasa y considerada como de buena calidad, aunque menor que Fuerte y Hass (Morton, 1987; Newett et al., 2007).

Foto: Eduardo Mejía Vélez

Figura 1.46. Cultivar de la raza guatemalteca Pinkerton.

La semilla es pequeña y se separa fácilmente de la pulpa, con la cubierta adherida a la semilla. Los frutos se consideran buenos para el transporte y almacenamiento; sin embargo, su forma alargada es una desventaja para el mercado en fresco. El árbol es pequeño, de hábito extendido y muy productivo (Morton, 1987; Newett et al., 2007). La relación cáscara:semilla:pulpa es 13:10:77 %.

Esta variedad es relativamente resistente a la antracnosis y puede presentar un alto porcentaje de desórdenes internos en los frutos, incluyendo una maduración dispareja. Es cultivado para la exportación en Israel y Sudáfrica y en el 2000 representó el 11 y el 8,5 % de la producción de esos países, respectivamente (Newett et al., 2007).

Mayapan

La variedad guatemalteca Mayapan, introducida en 1917 a Estados Unidos por Wilson Popenoe, de Purula (Guatemala), a una altura de 1.700 m s. n. m. (CAS, 1950), fue de las primeras importaciones que se hicieron en Colombia. En condiciones del Valle del Cauca tiene muchas dificultades para el cuajamiento de los frutos y la producción es muy reducida, aunque la emisión de flores es muy abundante (Ríos-Castaño, 1982). A nivel mundial se considera un árbol de buena producción, resistente al pasador del tallo; el fruto tiene un contenido de grasa del 18 %, de buen tamaño (420 a 600 g) y calidad, de forma casi esférica; la cáscara es de color morado cuando el fruto está maduro, de textura áspera y arrugada; su semilla es pequeña. Es la variedad líder en Hawái (Ibar, 1979; CAS, 1950).

Híbridos de la raza mexicana × guatemalteca

Dado que el aguacate es una planta que presenta una alta alogamia, es decir, una alta polinización cruzada, existe una gran facilidad para la obtención de híbridos, ya sea en forma natural o artificial. Por tal razón, desde principios del siglo XX, se iniciaron procesos de mejoramiento del aguacate, mediante la hibridación de variedades de distintas razas; es así como se obtuvieron híbridos entre la raza mexicana y guatemalteca, y entre esta y la antillana, dando como resultado variedades con mayor adaptación que la de sus progenitores. Las características de los híbridos varían de acuerdo con las de sus parentales. Además de conseguir la mejor adaptación de un nuevo material de aguacate en una determinada zona geográfica, se ha buscado obtener frutos más comerciales, de tamaño mediano, ya que el fruto de un híbrido tiene un tamaño promedio al de sus padres; además, es posible modificar la época de cosecha, haciéndola más temprana o más tardía, según sea el caso (Ibar, 1979). A continuación, se presentará la descripción de algunos cultivares híbridos de aguacate de la raza mexicana × guatemalteca.

Estos híbridos combinan características de la raza mexicana, como la resistencia al frío, con el tamaño y la cantidad de la guatemalteca; como resultado de la combinación, se obtienen frutos de tamaño intermedio y su época de maduración también tiende a ser intermedia. En la tabla 1.13, se observa la lista de variedades de aguacates híbridos de mexicano × guatemalteco, especificando el peso del fruto y el contenido de grasa.

Tabla 1.13. Características de algunos cultivares híbridos de aguacate de la raza mexicana × guatemalteca

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
135-15	B	333	--
135-20	A	250 a 350	--
135-21	A	266	--
135-27	B	350	--
143-61	B	220	--
Ardith	A	280 a 350	--
Bacon	B	200 a 400	18
Colin-V33	B	350	--
Ettinger	B	250 a 400	15 a 20
Fuerte	B	250 a 450	18
Lamb/Hass	A	280 a 500	--
Lula	A	400 a 600	12 a 16
Ryan	B	250 a 350	25
Sharwil	B	250 a 350	25
Whitsell	B	198 a 453	--

Fuente: Elaboracion propia con base en University of California (2013); Ibar (1979)

Fuerte

La variedad Fuerte es de árboles precoces y de porte bajo, originario de Atlixco, Puebla, (México), recolectado por Carl Schmidt en 1911. Su nombre se debe a que sobrevivió a la severa helada del invierno de 1913 (Newett, 2007). Resiste el frío y fue uno de los materiales de aguacate más cultivados en el mundo, hasta la aparición del Hass; sin embargo, mantiene su importancia en ambientes con poca humedad, en la que la presión de insectos es baja. A partir de 1911, cuando la variedad Fuerte es

llevada a California, puede considerase que comienza la etapa moderna del cultivo del aguacate. Actualmente, la variedad esta difundida por todo el mundo, aunque su preponderancia como cultivar ha decaído al haberse descubierto nuevos cultivares más productivos y de similar calidad (Calabrese, 1992). Esta variedad fue la espina dorsal de la industria del aguacate en California, hasta ser sobrepasado por el Hass, debido a su producción errática y promedios bajos en la mayoría de las zonas de cultivo (Bergh, 1984).

El Fuerte es autofértil, pero es mejor polinizarlo con las variedades Ettinger, Hass o Puebla; además, es sensible a los excesos de calor o frío durante la floración y fructificación (Ríos-Castaño, 1982; Ibar, 1979; Newett, 2007). La copa de este cultivar es ancha, con muy buenas producciones, pero tiene la tendencia a presentar alternancia (Morton, 1987). En 2001, el cultivar Fuerte representaba el 45 % de la producción en Sudáfrica, un 15 % en Israel, 14 % en España, 6 % en Australia, 3,5 % en México, 2 % en California y 2 % en Nueva Zelanda (Newett, 2007).

En ocasiones presenta dos a tres cosechas reducidas. El fruto es piriforme u oblongo, con un cuello característico, aunque puede variar de alargado, con un cuello largo y angosto, a redondo, con un cuello ancho y corto. Su tamaño es de mediano a grande, con un peso de 170-500 g, y de 10 a 12 cm de largo, con un contenido de grasa del 18 al 24 % y 10,28 % de fibra; la cáscara se retira fácilmente, es delgada, de superficie algo granulosa, flexible y de color verde opaco; la pulpa amarilla pálida (figura 1.47) es de excelente calidad y con sabor a nuez, con un aprovechamiento de la pulpa del 75-77 %. La semilla es mediana y muy pegada a la pulpa. Esta variedad puede producir frutos sin semilla o no polinizados, conocidos como “pepinillos” o “cukes”, que son el producto del aborto del embrión y no de lo que se conoce como *partenocarpia*, causadas probablemente por bajas temperaturas en el desarrollo del embrión (Barrientos-Priego, Muñoz-Pérez, Borys, & Martínez-Damián, 2000). Por su tamaño, resistencia al transporte y almacenamiento, el Fuerte tiene muy buen comercio (Ibar, 1979). Los frutos pueden permanecer en el árbol hasta tres meses después de su maduración, condición que aumenta sus posibilidades de comercialización, porque permite alargar su período de cosecha y sacar los frutos al mercado en épocas de escasez; sin embargo, una vez maduro, tiene poca vida de almacenamiento. Los frutos son de excelente calidad y su período de cosecha es particularmente largo. El fruto es sensible a la antracnosis, a la pudrición del pecíolo y al ataque de insectos, lo que puede causar pérdidas severas tanto en el huerto como en la poscosecha (Ibar, 1979; Newett, 2007; Ríos-Castaño et al., 2005).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.47. Cultivar de la raza mexicana × guatemalteca Fuerte a. Fruto con madurez fisiológica; b. Fruto con madurez de consumo con sus partes internas.

En Colombia, este material, junto con el Hass, es altamente susceptible al ataque del *Monalonion* en el fruto, insecto chupador que causa gran daño económico en esta especie. La relación cáscara:semilla:pulpa es 11:15:74 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Ettinger

De origen predominantemente mexicano y originado a partir de la selección de una planta de Fuerte en Israel, en 1947, la variedad Ettinger tiene un árbol de porte erecto, por lo que, para estimular la ramificación lateral, se debe someter a una serie de podas y amarres en forma de espaldera, ya que si esto no se hace se tornaría demasiado alto. Este aguacate es autofértil, aunque se recomienda como polinizador el Anaheim; además, produce con regularidad (Ibar, 1979).

El fruto de esta variedad es piriforme, alargado, de tamaño mediano a grande; su peso es de 170 a 570 g, y tiene de 10 a 12 cm de largo; la cáscara no se pela fácilmente, es de color verde y muy delgada, de superficie levemente rugosa; la pulpa es de color amarillo pálido, con un contenido de grasa del 15 al 20 % (figura 1.48) (Ibar, 1979). La semilla es de tamaño mediano a grande y está desprendida de la cavidad, por lo que la cubierta seminal se adhiere a la pulpa, condición desfavorable para su poscosecha y consumo. El fruto tiene poca vida en el árbol (la cáscara se resquebraja), pero una larga vida de almacenaje.

El Ettinger es más sensible al daño por frío durante el almacenamiento que el Hass y el Fuerte (Newett, 2007) y su árbol es más resistente a las heladas que el Fuerte. En Australia se han presentado graves problemas de resquebrajamiento de la cáscara, antracnosis y con el chinche manchador del fruto (*Paradasynus espinosus* Hsiao; Hemíptera: Coridae) (Waite & Martínez-Barrera, 2007) y en Sudáfrica se ve seriamente afectado por la pudrición del pecíolo (complejo de hongos) (Pegg, Coates, Korsten, & Harding, 2007). Es un excepcional polinizante, aumentando considerablemente las producciones del aguacate Hass en Israel, representando el 29 % de la producción en ese país (Newett, 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.48. Cultivar de la raza híbrida mexicana × guatemalteca Ettinger.

Colín V-33

Originario de Ixtapan de la Sal (México), la variedad Colín V-33 fue seleccionada por Salvador Sánchez Colín, de una población segregante de la polinización libre de Fuerte, sembrada en 1957; su designación se debe al apellido del seleccionador, árbol 33 y la V al color verde del fruto (figura 1.49). El Colín V-33 es usado como patrón enanificante (Téliz, 2000) y ha sido utilizado exitosamente como interinjerto enanizante para Fuerte, injertado sobre árboles de semilla de raza mexicana; sin embargo, en Sudáfrica, esta variedad ha tenido muy poco efecto sobre la reducción del tamaño del árbol y en el aumento de la producción, al ser usado como interinjerto para árboles de Hass injertados sobre Duke 7 (Newett, 2007).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.49. Cultivar de la raza híbrida mexicana × guatemalteca Colín V-33.

La fruta de esta variedad es piriforme, con un peso de 350 g; la cáscara es verde oscura, ligeramente rugosa; la pulpa es de color verde amarrillo pálido, con alto contenido de grasa, de buen sabor, y la semilla es pequeña, adherida a la cavidad que la contiene. Un árbol de 16 años que alcanza una altura de 2 m es considerado como enano. La relación corteza:semilla:pulpa es de 10:16:74 % (Téliz, 2000).

Gwen

El Gwen es un descendiente de segunda generación de Hass. Sus ancestros, por lo tanto, son 85 % de raza guatemalteca, de la que consigue su corteza gruesa y rugosa; su semilla relativamente pequeña y adherida; su sabor a nuez, y su capacidad de sostenerse entre 6 a 12 meses en el árbol. El 15 % restante de los genes de Gwen es de raza mexicana, de la que se consigue una corteza menos gruesa y leñosa. El árbol original fue plantado en 1963 y fue patentado por la Universidad de California en 1984.

Se cree que esta variedad fue desarrollada en California para reemplazar la variedad Hass, debido a su corteza verde y alta productividad; sin embargo, dicha situación nunca se presentó, pues la aceptación del Hass fue tan amplia que este material no pudo superarlo.

La forma natural del árbol es columnar, angosta y alta. La gran ventaja de Gwen es su productividad; tiene un período espacialmente amplio de cosecha y es altamente resistente al transporte; en iguales circunstancias, produce el doble de Hass y la alternancia de las producciones es inferior (Calabrese, 1992). Su fruto es de excelente calidad y similar en apariencia, sabor y textura al del aguacate Hass; sin embargo, su tamaño es algo superior (310 g) y la corteza es un tanto más tosca (Markle, 1994) (figura 1.50). Presenta corteza verde, delgada y granulosa, pero flexible y de fácil pelado; su pulpa es verde y cremosa, con 20,9 % de grasa, 70,7 % de pulpa y 12,5 % de fibra. Se diferencia con el Hass en que la corteza no se torna negra cuando madura; es un poco más amarilla cuando está en crecimiento y más lustrosa. La forma del fruto es menos alargada, ovada y aperada (Ríos-Castaño et al., 2005).

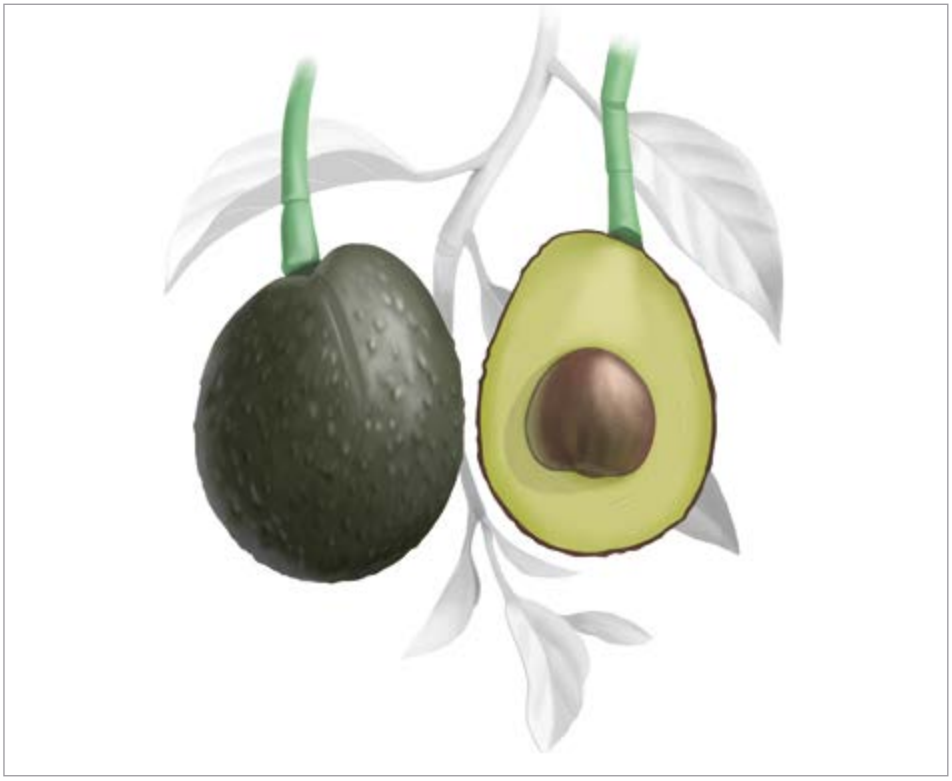


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.50. Cultivar de la raza híbrida mexicana × guatemalteca Gwen.

Raza antillana

La raza antillana, *Persea americana* var. *americana*, es un árbol originario de las selvas de las tierras bajas, cálidas y húmedas de Centroamérica, donde existe una estación lluviosa corta (Knight, 2007). El término "antillano" es inexacto pues, como se pudo demostrar a comienzos del siglo pasado, los aguacates eran desconocidos en las Antillas antes del arribo de los conquistadores españoles (Popenoe, 1935). La subespecie Antillana fue bautizada como "taxón de las tierras bajas" por Scora y Bergh (1992), un término que describe en forma más precisa su adaptación, sin referirse a su origen geográfico. Sin embargo, el primer término está fuertemente arraigado y es el más usado en este manual. En la actualidad, se ha llegado a un consenso en cuanto a que la raza de "las tierras bajas" se originó probablemente en la costa Pacífica de América Central, en la región comprendida desde el sur de Guatemala hasta Panamá (Storey et al., 1986).

La presencia de este producto en el país se remonta a la época precolombina; en su libro *Suma de geografía*, publicado en 1519 en Sevilla (España) y que se convirtió en el primer documento escrito en América en tratar el aguacate, Martín Fernández de Enciso afirmó haber encontrado y probado el aguacate en el pueblo de Yaharo, cerca de Santa Marta, Colombia, en 1519. Con referencia al fruto, Fernández (1519) anotó: "Se parece a una naranja y cuando se parte para comérselo es de color amarillo: lo que hay dentro es como mantequilla; tiene un sabor delicioso y deja un gusto tan blando y tan bueno que es algo maravilloso" (p. 35) . Ya en la época moderna no se tiene el año exacto en el que el aguacate comenzó a ser cultivado de manera comercial, pero se cuenta con información de que las primeras siembras de este producto se realizaron en algunos municipios de la zona de los Montes de María, con el fin de brindar sombrío a los cultivos de café que se sembraban en la zona. En esos tiempos, la producción de aguacate pasaba a un plano secundario, al punto de que su cosecha era utilizada para la alimentación de cerdos (Vega, 2012). La raza antillana es la más adaptada a las condiciones climáticas de Colombia, en la medida en que algunos autores sugieren que esta se originó en América del Sur, con la costa norte de Colombia, como el lugar más probable (Morton, 1987; Patiño, 2002).

Antes de 1492, los aguacates fueron trasladados de los lugares de donde originalmente crecían, para ser introducidos en el norte de Suramérica y Centroamérica, así como en algunas zonas de México y también en el Perú (Knight, 2007). Pozorski (1976), reporta que los incas trajeron aguacates desde la provincia de Palta hasta el valle de Cuzco, donde se ubicaba su capital, de acuerdo con excavaciones donde se

hallaron restos de aguacate, en dos sitios en el valle de Moche; tales hallazgos datan de 4.000-3.500 y 3.500-1.400 a. C.

Esta raza se adapta a temperaturas de 18 a 26 °C. Una de sus principales características es el gran tamaño de sus frutos, que pueden ser de 250 a 2.500 g de peso, de formas ovaladas, redondas o piriformes; son de corteza brillante tersa o correosa, flexible, delgada, no granular y con pulpa muy baja en grasa (5 a 15 %) y alta en azúcar (5 %), lo que vulgarmente se conoce como aguacates "aguachentos". Las hojas de las variedades que pertenecen a esta raza no son aromáticas (Ibar, 1979).

Los árboles de esta raza no toleran el frío y mueren cuando la temperatura fluctúa entre los 2,2 y 4 °C. El color del fruto puede ser verde, verde amarillento, verde brillante, amarillo rojizo, rojo, morado o negro. El pedúnculo es en forma de clavo, corto, cilíndrico o ligeramente cónico, ensanchándose en el punto de inserción con el fruto. La semilla es de gran tamaño y no suele llenar el espacio que la contiene (Ibar, 1979). En el trópico se adapta a alturas por debajo de los 1.000 m s. n. m. Las variedades de esta raza son espontáneas en valles, depresiones y tierras bajas de América Central y el norte de Sudamérica. Es la raza menos resistente al frío (Ibar, 1979). En la tabla 1.14, se observa la lista de variedades de aguacate de la raza antillana, así como su grupo floral, peso del fruto y contenido de grasa.

Tabla 1.14. Variedades de aguacate de la raza antillana

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
Butler	A	400	--
Fuchs	A	250 a 500	4 a 5
Fucsia	A	250	4 a 6
Hulumanu	A	363	15,4
Lorena	B	430	9
Peterson	A	200 a 350	4,8
Pinelli	A	680 a100	---

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
Pollock	B	900 a 1.300	3 a 5
Ruehle	A	280 a 560	2 a 5
Russell	A	680 a 1.020	---
Simmonds	A	700	3 a 6
Trapp	B	450 a 650	3 a 6
Villacampa	A	500 a 800	---
Waldin	A	500 a 800	6 a 10

Fuente: Elaboracion propia con base en University of California (2013) e Ibar (1979)

De acuerdo con Ocampo et al. (2006), el análisis de 60 accesiones de aguacate utilizando el algoritmo de análisis filogenético UPGMA clúster, así como el análisis de correspondencias múltiples, mostró una agrupación compacta de la mayoría de los aguacates antillanos. De 12 accesiones originales de Colombia, 8 forman el grupo antillano compacto. Los autores analizaron la relación entre las diferentes accesiones de aguacate en Colombia, encontrando que la distribución racial del material analizado mostró el dominio de los híbridos interraciales, con un 48 % (G × M = 25 % y G × A = 23 %), y de la raza antillana, con un 34 %. Por otro lado, los de la raza guatemalteca y mexicana tienen, respectivamente, 11 % y 7 % de las accesiones analizadas. Relacionar estas designaciones raciales/ecológicas con la variabilidad genética de la colección resultó en un patrón de distribución constante, sin una clara diferenciación entre las razas, con la presencia de los híbridos interraciales en el medio. Estos patrones, posiblemente son resultado del flujo de genes provocado tanto por el manejo de las accesiones como por su mejoramiento. Estos resultados cuestionan la designación racial/ecológica para la mayoría de las accesiones analizadas; sin embargo, no fue posible tener esta designación confirmada a *priori*. Sobre la base de estos resultados, es aconsejable mantener la mayoría de las accesiones de la colección de aguacate colombiano, para así mantener un banco de genes del germoplasma de *Persea americana* Mill. A continuación, se hará una descripción de algunas variedad de la raza antillana.

Lorena

La variedad Lorena fue originada en la finca Lorena, en Palmira (Valle del Cauca, Colombia), en 1957 (Ríos-Castaño et al., 2005), posiblemente a partir de una selección de la variedad antillana Trapp. Este es un aguacate que se comporta muy bien a bajas altitudes en Colombia; sin embargo, se ha visto con muy buen comportamiento en las zonas cafeteras del país, hasta los 1.500 m s. n. m. En el país, a Lorena y a otros cultivares similares en su forma y color se les conoce como aguacates "papelillos", término derivado del poco grosor de su corteza, que los hace fáciles de pelar y que se asemeja a un papel en su consistencia y textura; esta variedad está bastante difundida en zonas medias y cálidas, con muy buen mercado y gran aceptación por el consumidor, por su sabor característico y calidad interna.

Lorena presenta frutos de forma alargada, ligeramente oblicuos; de corteza lisa y lustrosa (figura 1.51), con abundante punteado o lenticelas; asimismo, cuenta con frutos de tamaño grande, de 400 a 600 g de peso, de 14,69 cm de largo y 9,13 cm de ancho; tiene un contenido de grasa del 7 a 9 % y de 4,61 % de fibra, de color verde amarillo moderado y de pedúnculo largo (Ríos-Castaño et al., 2005).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.51. Cultivar de la raza antillana Lorena.

La semilla de esta variedad es de tamaño mediano, ovoide y simétrica, con mediana adherencia a la pulpa. La época de cosecha en Colombia es de mediados de noviembre a febrero y de abril a julio. La relación cáscara:semilla:pulpa es 5:15:80 % (Ríos-Castaño et al., 2005).

Lorena es indudablemente la mejor selección de aguacate de importancia comercial obtenida en Colombia. Su presentación es inmejorable por su forma, color, tamaño y calidad interna. Aparentemente, reúne el mayor número de características que el consumidor en Colombia busca en un fruto de aguacate. Esta variedad presenta en Colombia hasta tres floraciones por año; su fruto no se almacena en el árbol, por lo que una vez alcanza su madurez fisiológica debe cosecharse (Ríos-Castaño et al., 2005).

Peterson

La variedad Peterson es una de las más antiguas; sus frutos son de forma oblonga, un poco oblicua, de color verde claro uniforme; su cáscara delgada, correosa y de adherencia ligera es de textura lisa, lustrosa, con punteado abundante; sus frutos son de tamaño mediano a pequeño, de 250 a 300 g y semilla grande, por lo que tiene muy baja aceptación en Colombia (figura 1.52) (Ríos-Castaño, 1982). La relación cáscara:semilla:pulpa es 8,2:11,3:80,5 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.52. Cultivar de la raza antillana Peterson.

Simmonds

Obtenida de una semilla de Pollock en la Florida, el fruto de la variedad Simmonds es oblongo, de tamaño mediano a grande, de unos 700 gramos, de buena calidad; su corteza de textura lisa y correosa es de adherencia ligera, de color verde amarillento, semilla mediana, de forma globosa simétrica (figura 1.53). Pertenece al grupo floral tipo A (Ibar, 1979) y su contenido de aceite está entre 3,3 y 5 %. Entre sus defectos se incluye la baja tolerancia al frío, el escaso vigor de los árboles y la excesiva caída de frutos (Newett et al., 2007). La relación cáscara:semilla:pulpa es 10,8:15,3:73,9 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.53. Cultivar de la raza antillana Simmonds.

Trapp

El cultivar Trapp fue originado en 1894, en terrenos de H. R. Trapp, en Coconut Grove (Florida). Es una de las variedades líderes en ese estado (Ibar, 1979), además de que podría ser líder para el desarrollo del aguacate en zonas cálidas del país, por su alta calidad y aceptación en el mercado (Ríos-Castaño, 1982).

Es un árbol sensible al frío, poco vigoroso, con frutos de forma ovada o piriforme (figura 1.54), achatados por los polos; su peso oscila entre 450 y 650 g, con un contenido de grasa del 6 al 7 %; la corteza es gruesa y flexible, de textura lisa, con poca adherencia; la pulpa es suave, de sabor agradable, de color amarillo limón cerca de la corteza y verde claro cerca de la semilla, que es grande y achatada. Pertenece al grupo floral tipo B (Ríos-Castaño, 1982; Ibar, 1979). Esta es una variedad que se asemeja a Lorena, con una relación cáscara:semilla:pulpa de 9:20:71 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada,1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.54. Cultivar de la raza antillana Trapp.

Trapica

De acuerdo con un trabajo realizado por Ocampo et al. (2006), se encontró un posible duplicado genético correspondiente a las accesiones "Lorena" y "Trapica", que son similares en el fruto y en el hábito de la planta, así como son de raza antillana y fueron originadas por selección masal en el Valle del Cauca, Colombia; sin embargo, hay algunas diferencias de carácter morfoagronómico entre ellas. Trapica es un árbol más frondoso, de mayor volumen de copa y con un tallo más vigoroso que Lorena, lo que redunda en una mayor capacidad de producción. En el fruto las diferencias que se aprecian se refieren al menor tamaño, corteza de menor espesor, menor contenido de pulpa y de grasa, más fibra, pero sensiblemente de mejor sabor en el Trapica que en el Lorena (Ríos-Castaño et al., 2005). Por lo tanto, lo más prudente es proponerlas como un posible duplicado genético de la colección colombiana de aguacate. Trapica se confunde con la completamente diferente variedad Trapp de la Florida. El árbol es grande y frondoso. El fruto es de buen tamaño (568,1 g), verde brillante (figura 1. 55), muy llamativo y de buena aceptación en el mercado nacional. La pulpa es de color amarillo crema; la semilla es grande y frecuentemente suelta (Amórtegui, 2001). El contenido de grasa es del 7,2 %, 79,9 % de pulpa, 4,6 % de fibra y se adapta en Colombia, a alturas comprendidas entre los 0 y los 1.300 m s. n. m. (Ríos-Castaño et al., 2005).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.55. Cultivar de la raza antillana Trapica.

Pollock

El Pollock cuenta con un árbol de semilla de parentales desconocidos, seleccionados en la propiedad de H. S. Pollock. Pertenece al grupo floral B (Newett et al., 2007). Los árboles son de tamaño pequeño, con desarrollo lento y poco prolíferos; los frutos son de tamaño muy grande, en forma de pera u oblongos, con un peso que varía de 900 a 1.300 gramos, aunque pueden alcanzar los 2.000 g; la cáscara es de color verde oscuro, de textura lisa brillante (figura 1.56), con numerosas estrías moradas y numerosos puntos pardos; la pulpa es de color amarillo, contiene mucha fibra y de sabor agradable, con un 4 a 8 % de grasa. La semilla es mediana, comparada con el gran tamaño del fruto, y está suelta en la cavidad (Ibar, 1979). En Colombia se cultiva entre los 0 y los 800 m s. n. m.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.56. Cultivar de la raza antillana Pollock.

Común o Criollo

El aguacate Común o Criollo es el más conocido y consumido en Colombia, típico de la raza antillana. Por lo general, corresponde a frutos de cuello largo, de cáscara lisa y bajo contenido de aceite. Tiene diferentes nombres dependiendo de su forma, color y sitio de producción (Amórtegui, 2001). En las zonas productoras de aguacate ubicadas en los departamentos de Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena, se destacan los criollos conocidos localmente como "Cebo" (por ser amarillento con fibras), "Manteca" (por ser pardo y aceitoso), "Leche" (por tener una consistencia cremosa) (Montes de María, Bolívar) y "Curumaní" (Cesar) (Vega, 2012; Mejía, 2011).

En Antioquia, se conocen los aguacates comunes "Santa Bárbara", "Urabá" y "Sonsón". En un trabajo realizado por Sandoval, Forero y García (2010), en el departamento del Tolima, se detectaron algunos materiales criollos de excelente calidad interna, entre los que se destacan "Alvarado" (26,3 % MS y 11,1 % de aceite), "Chaparral" (25 % MS y 14,43 % de aceite), "Fresno" (21 % MS y 8,45 % de aceite), "Mariquita" (23,97 % MS y 8,5 % de aceite) y "Rovira" (32,81 % MS y 9,88 % de aceite), lo que demuestra que algunos materiales criollos pueden competir con las variedades mejoradas. El aguacate Común o Criollo llega a los mercados del interior del país en los meses de marzo a junio. Algunos tipos de aguacate criollo son de excelente producción, presentación y sabor, pero en general la calidad del aguacate común es muy irregular y normalmente tiene un alto contenido de fibra, semilla muy grande, producción tardía y árboles de porte muy alto, que dificultan su cosecha. Sin embargo, es necesario seleccionar y reproducir los mejores tipos, por cuanto están siendo desplazados por las variedades e híbridos mejorados, lo que permite pensar que en el corto plazo esta riqueza natural se extinguirá (Amórtegui, 2001).

Venezolano

Esta variedad se refiere a los aguacates que entran a Colombia desde el vecino país de Venezuela, comúnmente de contrabando. Estos aguacates en su mayoría son criollos de tipo antillano, pero también se encuentran variedades mejoradas como Choquette. Al igual que el aguacate común, el aguacate venezolano es un tipo de aguacate grande, de piel verde y con poco contenido de grasa; a pesar de no ser aguacates de buena calidad, compiten con los aguacates colombianos, ya que tienen un menor precio en las épocas de cosecha, desplazando a otras variedades. El aguacate de Venezuela procede principalmente de Barquisimeto durante los meses de agosto, septiembre y octubre.

Curumaní

El Curumaní es una variedad criolla de aguacate producida en el municipio del mismo nombre, en el departamente del Cesar, que ha venido ganando un terreno importante por su gran oferta al interior del país, en los meses de abril y mayo. En general, son aguacates criollos, del tipo antillano, de corteza verde y con bajos contenidos de grasa.

Híbridos de la raza guatemalteca × antillana

Los híbridos obtenidos entre las razas guatemalteca y antillana combinan la resistencia al frío de la primera con el tamaño de la segunda; como resultado de la combinación, se obtienen frutos de tamaño intermedio entre el de sus padres; la época de maduración también tiende a ser intermedia. En la tabla 1.15 se observa la lista de variedades de aguacates híbridos guatemalteco × antillano, así como su tipo de flor, peso del fruto y contenido de grasa.

Tabla 1.15. Características de algunos cultivares híbridos de aguacate de las razas guatemalteca × antillana

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
Booth 1	A	450 a 700	8 a 12
Booth 5	B	500	-- 10 - 11
Booth 7	B	280 a 600	10 a 14
Booth 8	B	250 a 800	6 a 8
Choquette	A	900	13
Collinred	A	350 a 600	8 – 12
Collinson	A	473	12 a 16
Dorotea	B	220 a 350	15

(Continúa)

(Continuación tabla 1.15.)

Cultivar	Tipo de flor	Peso del fruto (g)	Contenido de grasa (%)
Galo	B	350 a 700	15 a 20
Falrchild	A	260	--
Fuchs-20	A	350 a 450	12 a 13
Gema	A	400 a 500	19
Gripiña	B	350 a 500	12 - 19
Hall	B	700 a 800	12 a 16
Hayes	A	280 a 500	---
Herman	A	280 a 400	10 a 14
Hickson	B	450 a 560	14
Monroe	A	680 a 1200	10-14
Nesbit	A	--	--
Semil 44	A	500 a 760	12-18
Semil 23	A	220 a 450	12-19
Semil 34	A	560 a 700	10-15
Semil 43	B	560 a 800	10-12
Simpson	B	450 a 900	10 a 14
Trinidad	A	300 a 560	13
Winslowson	B	341	9 a 15

Fuente: Avocado Source (s. f.), Ibar (1979) y Ríos-Castaño (1982)

Booth 8

Originado en Homestead (Florida) por William Booth, esta variedad fue liberada en 1935 y proviene de una semilla de polinización libre de un tipo guatemalteco, probablemente cruzado con un antillano. Además del Booth 8, se obtuvieron otros híbridos de similares características como el Booth 1, Booth 5 y Booth 7, entre otros (Brooks & Olmo, 1997).

El fruto de esta variedad es oblongo ovado, con el ápice redondeado y con inserción asimétrica del pedicelo, de cáscara color verde mate, gruesa y levemente rugosa (figura 1.57); su peso oscila entre 400 y 500 g, de excelente calidad (Téliz, 2000). Su contenido de aceite va de 7 a 13 % y 10,19 % de fibra. El Booth 8 tiene tolerancia moderada al frío, pero se recomienda almacenar la fruta en poscosecha a 4 °C. Entre sus defectos se incluye la sobreproducción, el quebrado de ramas, el pequeño tamaño del fruto en esa condición y su susceptibilidad a la sarna o roña del fruto (*Sphaceloma perseae* Jenk.) (Pegg et al., 2007; Newett et al., 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.57. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Booth 8.

Este cultivar es el más importante para el cultivo en la Florida para nuevas plantaciones; como otros cultivares interesantes allí, se va difundiendo rápidamente en otras regiones tropicales, cálidas y húmedas de América (Rodríguez, 1982). El árbol es de crecimiento lento, de hábito abierto; sus frutos vienen generalmente en racimos, que demandan raleo para aumentar su tamaño; en climas calientes (28 °C) demora en comenzar su producción y la estabilización de esta empieza después del noveno año (Ríos-Castaño et al., 2005). La semilla es de tamaño medio a grande; el árbol es muy

productivo, y tiene una capacidad de almacenamiento y transporte excelente, con una gran aceptación en el mercado (Téliz, 2000). La relación cáscara:semilla:pulpa es 13,5:14,2:72,3 %. Es una de las variedades o híbridos con mayor adaptación para la zona cafetera colombiana (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Choquette

Esta variedad, a pesar de ser un híbrido guatemalteco × antillano, ha demostrado gran adaptación en todos los climas en Colombia; es así como se reporta su cultivo en climas cálidos, medios y fríos. Por su parte, Avilán et al. (1989) reportan que esta variedad se desarrolla bien desde los 600 hasta los 1.600 m s. n. m., en Venezuela, y que se cosecha de 9 a 12 meses después de la floración. Este híbrido, de origen desconocido, se originó en Miami (Florida) por R. D. Choquette, y fue liberado en 1939. Sus frutos son grandes, de 510 a 1.100 g, de forma oval a esférica (figura 1.58a), con inserción central del pedicelo, de cáscara casi lisa y lustrosa, correosa, de color verde claro a verde oscuro, brillante en la madurez (figura 1.58b); su pulpa es amarilla, con un contenido de grasa del 8 al 13 %, y con 1,55 % de fibra, de buena calidad, aunque algo insípido; la semilla es de tamaño mediano, adherida a la cavidad que la contiene (Téliz, 2000). Posee moderada tolerancia al frío. Se recomienda que la temperatura de almacenaje en poscosecha de los frutos entre 4 y 10 °C (Newett et al., 2007).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.58. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Choquette. a. Frutos de gran tamaño en el árbol; b. Detalle del fruto de color verde oscuro brillante.

Es un cultivar de producción alternante; sus frutos son resistentes a las enfermedades más comunes del fruto. En Colombia se da bien hasta los 1.700 m s. n. m., con buena aceptación en el mercado nacional. En su forma y tamaño es muy parecido al cultivar Monroe. La relación cáscara:semilla:pulpa es 3:17:80 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988). El Choquette es un aguacate indicado para el mercado nacional por su apariencia y calidad. Su presentación es llamativa para el consumidor local; sin embargo, debido a su tamaño, se dificulta su comercialización, pero como madura antes que otras variedades puede entrar al mercado frente a pocos competidores. Se anota como defecto su susceptibilidad a Cercospora y a la roña del fruto (Ríos-Castaño et al., 2005).

Collinred

Este cultivar es procedente de la Florida. Introducido en 1929, el Collinred proviene de una semilla de la variedad "Collins", plantada en 1916 (Ríos-Castaño et al., 2005). El fruto es de forma piriforme y tamaño medio, con posición del pedicelo asimétrica (figura 1.59a); su peso varía de 500 a 600 g, de color verde amarronado o morado, con cáscara semirrugosa (figura 1.59b), con pulpa de color amarillo intenso (figura 1.59c) que equivale al 79 % de su peso; el contenido de grasa es del 5,6 al 12,23 % y el contenido de fibra es del 10,72 % (Ibar, 1979).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.59. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Collinred. a. Frutos en el árbol de inserción asimétrica; b. Coloración rojiza que obtiene el fruto al madurar; c. Detalle del fruto partido con pulpa de color amarillo.

En las condiciones de Medellín (Colombia), a 20 °C el fruto tarda aproximadamente 8 días, desde su cosecha hasta su madurez de consumo; el color del fruto recién cosechado es verde intenso y uniforme; en madurez de consumo, se torna rojizo intenso,

recargado hacia la base. La superficie del fruto es lustrosa, la corteza tiene una adherencia ligera a la pulpa, que es de color verde claro. La semilla es de tamaño mediano, de forma globosa simétrica y de adherencia ligera. La cáscara representa el 11,9 % del peso total del fruto, mientras que la pulpa, el 73 % y la semilla, el 15,1 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988). Este material cuenta con una amplia aceptación en el mercado antioqueño, donde se ha cultivado por más de cuatro décadas; se le aprecia por su exquisito sabor. Los árboles de este material son de porte vigoroso, lo que obliga a su siembra en distancias amplias.

Collinson

El Collinson es un árbol vigoroso, de gran tamaño y lento desarrollo. Fue producido a partir de semilla en la Florida, en 1915; debe ser polinizado por los cultivares Linda y Trapp (Ibar, 1979). El fruto es piriforme, con un peso de 500 g y corteza lisa, de color verde oscuro, generalmente brillante (figura 1.60), pero algunas veces opaca, de textura coriácea; la pulpa es de color amarillo cremoso y su contenido de grasa es del 13 al 16 %, con un 5,8 % de fibra; su semilla es mediana (Ibar, 1979). Es recomendado para la zona cafetera colombiana. La relación cáscara:semilla:pulpa es 5,5:11,5:83 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.60. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Collinson.

Gripiña

Este cultivar, originado en Puerto Rico, fue seleccionado en 1949 en la finca Gripiña (Pennock, Soto, Abrans, Gandia, Perez, & Jackson, 1963). La planta presenta un hábito de crecimiento irregular, con copa de forma rectangular y de porte medio. Su flor pertenece al tipo B. Su fruto es de tamaño grande (430 g), variando entre 350 y 450 g, de forma romboidal, base deprimida y ápice redondeado. La inserción del pedúnculo central y pedicelo son de tipo guatemalteco. La cáscara es de color verde oscuro, ligeramente rugosa, lustrosa, de naturaleza flexible, medianamente adherida, de grosor medio y lenticelas de tamaño grande (figura 1.61) (Avilán & Rodríguez, 1995).

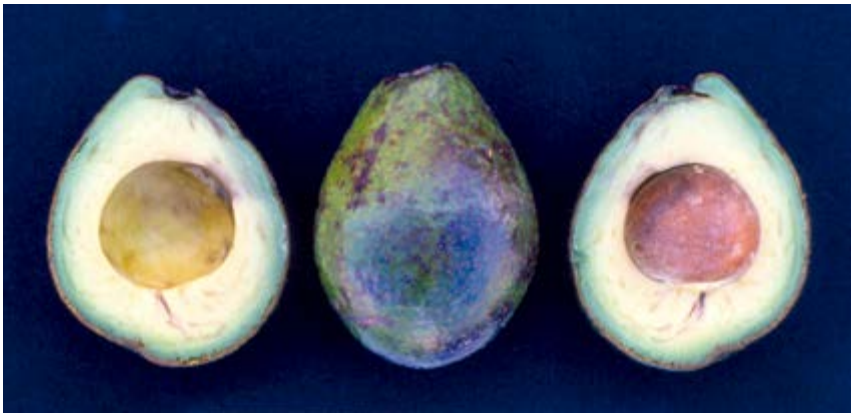


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.61. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Gripiña.

La pulpa de esta variedad es de color verde, de buen sabor; la semilla es mediana, de forma globosa y adherencia ligera. La composición del fruto es de 10,3 % de cáscara, 73,1 % de pulpa y 16,6 % de semilla (Bernal, 1986; Bernal y Moncada, 1988). Tiene un alto contenido de grasa (15,5 %), con una tasa de pardeamiento baja, lo que indica su gran calidad. La semilla de forma cónica y de tamaño medio ocupa totalmente el lóculo. Los cotiledones son de naturaleza rugosa y de color crema. Presenta floración abundante, que con mayor frecuencia ocurre en febrero, mientras que agosto es la época de mayor cosecha. El fruto presenta una elevada resistencia a la refrigeración (Avilán, Rodríguez, Carreño, & Dorantes, 1994).

Semil 44

Este cultivar originado en Puerto Rico tiene frutos de tamaño mediano a grande, con pesos que van de 500 a 750 g; es de cáscara gruesa, de color verde claro; la pulpa es de color amarillo (figura 1.62), sin fibra, con un contenido de grasa del 10 al 18 %. La semilla es mediana a grande y está muy pegada a la cavidad que la contiene. Se adapta muy bien a zonas con altitudes entre los 1.000 y 1.600 m s. n. m., en las que la temperatura oscila entre los 24 y 28 ºC (Ríos-Castaño et al., 1982).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.62. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Semil 44.

Trinidad

Esta variedad fue introducida de Panamá a Colombia en 1957 y descrita en 1961 (Ríos-Castaño et al., 2005). Es una variedad líder para el desarrollo del cultivo del aguacate para zonas medias y cálidas del país, por su buena adaptación, excelente producción y gran aceptación en el mercado. Es una variedad tardía en la cosecha, lo que permite su oferta en épocas donde otras variedades escasean, consiguiéndose buenos precios. Tarda entre 10 y 12 meses entre antesis a producción, y es posible conseguir dos cosechas por año (Ríos-Castaño et al., 2005).

Los frutos de Trinidad son de color verde oscuro, de forma ovoide (figura 1.63), de base ancha, tamaño grande y hasta 560 g de peso, con un contenido de grasa del 13 al 15 % y 2,19 % de fibra (Ríos-Castaño, 1982). El color de la pulpa es verde claro, matizado, de textura fina, resistente y de muy buen sabor; la semilla es grande, oblonga y de adherencia ligera. La relación corteza:semilla:pulpa es de 12,4:17,9: 69,7 %. Bajo condiciones de clima medio, a 20 °C, el fruto tarda aproximadamente 10 días en madurar (Bernal, 1986; Bernal & Moncada, 1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.63. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Trinidad.

Hall

Originario de la Florida, en predios del señor Willis Hall, en Miami, Florida, la variedad Hall procede de plantas de origen desconocido. Presenta árboles muy productivos, con buena resistencia al frío; de ahí que, a pesar de tener sangre antillana, se comporte bien en condiciones de clima frío moderado en Colombia (Newett, 2007).

En Villamaría, Caldas, a 1.900 m s. n. m., se tiene un huerto con árboles de este cultivar, con producciones aceptables; sin embargo, presenta susceptibilidad a la roña del fruto, causada por el hongo *Sphaceloma perseae* Jenkins, lo que afecta la calidad del fruto, restándole posibilidades en el mercado.

Los frutos son de color verde oscuro, con pesos entre 560 y 840 g, de forma piriforme, de cáscara lisa y moderadamente gruesa (figura 1.64); su pulpa es de buena calidad, de color amarillo profundo; los contenidos de aceite están entre un 12 y un 16 %; su semilla es mediana y ajustada en la cavidad (Newett, 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.64. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Hall.

Winslowson

Este híbrido, originado en 1911 de una semilla de "Winslow" en Miami, EE. UU., fue propagado posteriormente, en 1921. Winslowson presenta frutos redondos, achatados en los polos, de tamaño grande y color verde oscuro brillante (figura 1.65). La pulpa es pálida, con un 9 a 15 % de contenido de grasa, con semilla de tamaño medio y suelta (Morton, 1987).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.65. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Winslowson.

Este cultivar es muy susceptible a la roña o verrugosis (*Spaheceloma perseae* Jenkins), ya que prácticamente todos los frutos, en todos sus estados de desarrollo, presentan síntomas de la enfermedad, haciendo que la fruta sea totalmente descartada para su mercadeo; en este caso, a pesar de que existen controles con productos fungicidas, el costo de su control es muy alto.

Santana

Existe un reporte de la variedad Santana como originaria de semillas de Zutano, en la propiedad de Stephen Nemick, en Buena Park (California), en 1960. No se conoce a qué raza pertenece; sin embargo, por preceder de semillas de Zutano, presenta un gran porcentaje de genes mexicanos. No se sabe con certeza si la variedad Santana reportada en California es la misma que se cultiva en zonas del trópico colombiano, especialmente en el clima medio del eje cafetero. Por poseer características de adaptación a tales condiciones, se cree que el material encontrado en Colombia es un híbrido de guatemalteco × antillano. Es un árbol vigoroso, de hábito vertical, bien desarrollado, de copa bien formada y equilibrada. El fruto es de buena calidad y se

asemeja bastante al de la variedad Zutano, pero es un poco más grande, con corteza que se desprende con facilidad, de forma piriforme y simétrico; su contenido de grasa es del 4,8 %, con un peso comprendido entre 670 y 700 g; de cáscara mediana a gruesa, lisa, de color verde oliva y brillante, esta se mantiene hasta la madurez de consumo (figura 1.66), fácil de pelar; la pulpa es de color amarillo a verde, atractivo, de poca fibra, de maduración uniforme y de rico sabor. La semilla es mediana y está adherida a la cavidad que la contiene (Platt, 1976). La relación cáscara:semilla: pulpa es 10:21,4:68,6 % (Bernal, 1986; Bernal & Moncada,1988).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.66. Cultivar de la raza híbrida guatemalteca × antillana Santana.

Mejoramiento genético

El mejoramiento de los árboles frutales generalmente involucra dos pasos: la selección de genotipos mejorados y su fijación a través de la propagación asexual. Los aguacates solo producen semillas sexuadas y la dicogamia de la floración favorece, de algún modo, la polinización cruzada. Los árboles producidos a partir de semilla de un solo árbol (o cultivar) son extremadamente variables y, en la mayoría de los casos, tienen un período juvenil prolongado. Los pocos árboles de semilla seleccionados, que tienen buena producción de frutos de alta calidad, deben ser propagados asexualmente, pues su progenie suele tener una variación significativa en las características del árbol y sus frutos. La primera injertación conocida de aguacate se llevó a cabo en Florida, antes del siglo XX (Ruehle, 1963).

La selección de los aguacates mejorados horticulturalmente se ha realizado desde mucho antes de que comenzaran a propagarse asexualmente. Semillas de aguacate de diversa antigüedad (empezando alrededor del año 7.000 a. C.) que fueron encontrados en excavaciones en México (Smith, 1966) indican que la selección para obtener frutos de mayor tamaño podría haber comenzado cerca del año 4.000 a. C. (Lahav & Lavi, 2007). Es evidente que existió una extensiva selección en la época precolombina, debido a la alta calidad hortícola de los aguacates encontrados a la llegada de los europeos. Esto probablemente ocurrió a través de un laborioso proceso de selección y propagación mediante semilla de formas silvestres de aguacate, de frutos pequeños encontrados en las selvas de México y Centroamérica, que poseían características superiores. Adicionalmente, se han realizado selecciones posteriores durante el último siglo, a través de la preservación de cultivares de calidad superior, mediante la propagación vegetativa (Popenoe, 1952).

Las introducciones esporádicas de semilla de tipos de calidad superior en Centroamérica y en las zonas aledañas también han sido una contribución genética para los cultivares comerciales de California (Florida) y otros lugares (Bergh, 1957). Todos los cultivares de importancia en Florida en la actualidad fueron seleccionados de árboles de semilla cultivados localmente, producidos a través de polinización abierta. Estos eran, fundamentalmente, de raza antillana y, más recientemente, híbridos de la raza antillana × guatemalteca. Muchas áreas tropicales también han mejorado sus cultivos mediante la selección y propagación vegetativa de árboles de semilla locales de calidad superior. Hoy en día en California, los principales cultivares comerciales (con excepción del Fuerte) corresponden a selecciones locales de árboles de semilla encontrados por casualidad (Lahav & Lavi, 2007). En general, los mejoradores en esta especie están interesados en obtener frutos de alta calidad, con larga vida de almacenaje y alto rendimiento, sin remitirse a un color, tamaño o formas específicos, pues los productores y consumidores cambian sus preferencias con el tiempo (actualmente, por ejemplo, los mejoradores norteamericanos prefieren el color y la forma del aguacate Hass) (Lahav & Lavi, 2007).

Dentro de los criterios de selección para el mejoramiento del aguacate, se consideran de significativa importancia las características del fruto (tamaño, forma, grosor de la corteza, enfermedades, tamaño de la semilla, maduración, sabor) y las del árbol (producción, arquitectura, tolerancia al frío y al calor). Actualmente, el tamaño óptimo del fruto, en la mayoría de los mercados, es de aproximadamente 250 a 350 g. Para los mercados sofisticados de los países desarrollados, existe una clara exigencia del tamaño del fruto y cualquier fruto que esté dentro del rango de los 170 a 400 g es

inaceptable. De todas las características del fruto, el tamaño es el fenotipo más variable en un genotipo determinado, y se ve afectado por la carga del árbol, la proximidad con otros frutos en el árbol, el estado de maduración, las prácticas de cultivo y las condiciones climáticas (Lahav & Kalmar, 1977; Whiley & Schaffer, 1994).

La forma del fruto varía dentro de la mayoría de las progenies autopolinizadas. La forma achatada y periforme del aguacate Hass, el fruto ovado del cultivar Bacon y la forma gruesa y ovada del aguacate Gwen, son todas formas deseables (Bergh & Whitsell, 1974). La cáscara gruesa, coriácea y fácil de pelar es la preferida en aguacate. La fruta de cáscara delgada es más propensa a dañarse y la de piel muy gruesa impide determinar el tiempo de maduración (Lahav & Lavi, 2007). El color preferido de la cáscara del aguacate, varía según el mercado y la época. Actualmente, el color púrpura del aguacate, como el Hass, es el más común a nivel mundial e, incluso, cultivares de cáscara verde, se venden a menor precio (Lahav & Lavi, 2007).

En climas muy lluviosos, donde las enfermedades del fruto son un problema, se requiere la resistencia genética, pues los tratamientos con fungicidas son costosos, no se controla totalmente el problema y pueden dejar residuos en la fruta (Ruehle, 1963). La variabilidad en el tamaño de la semilla es muy común dentro de la misma progenie. En muchas líneas guatemaltecas, la presencia de una semilla pequeña en relación al fruto y bien ajustada en la cavidad seminal es un atributo muy valorado. El que la cubierta seminal permanezca adherida a la semilla y no a la pulpa es una característica muy cotizada (en los tipos mexicanos es muy común encontrar frutos con semilla desaprendida de la pulpa) (Lahav y Lavi, 2007).

El ablandamiento adecuado y uniforme del fruto al madurar es un rasgo independiente de la raza (Picone & Whiley, 1986). Un mayor intervalo de tiempo entre la cosecha y la maduración ayuda en la comercialización, en especial cuando la fruta es transportada a grandes distancias; sin embrago, la maduración inusualmente lenta ha causado un cierto descontento entre los consumidores, debido a que demora más en alcanzar la madurez de consumo. Un mayor período entre el ablandamiento de la pulpa y su deterioro es también una cualidad muy apreciada (Lahav & Lavi, 2007). El sabor levemente nogado de los aguacates es generalmente preferido por sobre los sabores más suaves. El sabor condimentado o anisado de los tipos mexicanos es valorado por algunos consumidores, mientras que el más suave y más dulce de los cultivares antillanos es generalmente preferido por ciertas poblaciones como las centroamericanas (Lahav & Lavi, 2007).

Las características más importantes de un árbol son la precocidad y la capacidad de tener una producción alta y consistente. Sin ello, la excelencia en otras características del árbol no tiene sentido. La consistencia en la producción de un año a otro puede ser tan importante como tener una alta producción en general (Bergh, 1961). La mayoría de los frutos deben alcanzar la madurez comercial más o menos en la misma época y esto es especialmente importante en los cultivares precoces, cuya fruta tiene una corta vida en el árbol (Lahav & Lavi, 2007).

En cuanto a la arquitectura de los árboles, se considera deseable que el ancho del árbol sea equivalente a su altura, siendo considerado ideales los árboles erectos, enanos o semienanos. Los árboles muy altos hacen que la cosecha sea muy costosa o simplemente imposible (Lahav & Lavi, 2007).

La mayoría de las principales regiones productoras de aguacate del mundo se ven ocasionalmente amenazadas por el daño de las heladas, por lo que la tolerancia al frío es una gran ventaja, tanto en el fruto como en todo el árbol. Solo la raza mexicana soporta de forma extraordinaria las bajas temperaturas, mientras que los cultivares antillanos pueden ser dañados incluso con temperaturas superiores a cero grados centígrados (Lahav & Lavi, 2007).

A pesar de que desde inicios del siglo XX se han registrado y patentado cultivares, variedades o híbridos de aguacate, en general ha sido una especie obtenida a través de selecciones de semillas de árboles de otras variedades o de árboles con muy buenas características, que eran producto de cruces o polinizaciones espontáneas o cruces dirigidos, pero sin ninguna planificación, y realizada por personas particulares, que buscaban materiales sobresalientes en alguna característica, especialmente en calidad de fruta. Después de la segunda mitad del siglo XX, se iniciaron y consolidaron los programas de mejoramiento en centros de investigación y universidades, dentro de los que se destacan los siguientes:

Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de California, Riverside (EE. UU.)

Este programa se inició en la década de los treinta. En la década de los ochenta fueron liberados tres cultivares de cáscara verde: el Whitsell, Esther y Gwen, donde solo el último ha tenido aceptación en California. Para la década de los noventa, se obtuvieron cultivares de cáscara negra, el Lamb Hass y el Sirprice (Téliz, 2000; Bergh & Whitsell, 1982).

Programa de Mejoramiento Genético de la Fundación Salvador Sánchez Colín Cictamex, S.C. (México)

Esta institución ha liberado los siguientes cultivares de cáscara verde: Colín V-101, Aguilar, rincoatl, Colimex, Colin V-33. (Téliz, 2000; Sánchez-Colin & Barrientos-Priego, 1987).

Programa de Mejoramiento Genético del Volcani Center (Israel)

Este programa ha liberado dos cultivares: el Iriet, de cáscara negra brillante, semilla pequeña y de un sabor excelente, y el Adi, que presenta gran similitud con el Hass, pero es de cáscara verde (Téliz, 2000; Lahav, Lavi, Zamet, Degani & Gazit, 1989).

Programa de Mejoramiento Genético del Institute Tropical and subtropical Crops (Sudáfrica)

Este es el programa más joven en mejoramiento de aguacate; se inició en la década de los noventa (Téliz, 2000).

Situación en Colombia

En Colombia, Jaramillo et al.,(2010), como parte de un programa de mejoramiento genético de aguacate, realizaron una colección de material vegetal (yemas o varetas) de aguacates criollos como potenciales patrones resistentes a *Phythopthora* spp., que fueron llevados para ser injertados e incluidos al Banco de Germoplasma de Aguacate AGROSAVIA, CI Palmira. Además, realizaron colectas de especies pertenecientes al género *Persea*, afines al aguacate. Igualmente, colectaron cepas de *Phytophthora* spp. para ser utilizadas en la evaluación de la tolerancia o resistencia de los materiales colectados. En este trabajo se lograron mantener 244 materiales de aguacate criollo, procedentes de 65 municipios de 16 departamentos de Colombia. Asimismo, se rescataron y mantuvieron 10 especies de la familia Lauracea (*Phoebe cinnamomifolia*, *Nectandra microphylla*, *N. acutifolia*, *N. pichurim*, *N. acuminifera*, *Ocotea caracasana*, *O. brenesii*, *O. prunifolia*, *Bielschmedia* sp.) relacionadas con el aguacate, y se aislaron 59 cepas de *Phytophthora* spp.

Es necesario aclarar que, para el establecimiento de nuevas siembras de aguacate, no necesariamente se deben utilizar las variedades mejoradas anteriormente descritas.

Una alternativa es la utilización de variedades locales o regionales, seleccionadas de árboles de la finca, zona o región, y propagarlas en el mismo sitio de siembra, mediante la injertación sobre patrones locales. De hecho, muchas de las variedades que actualmente se siembran en el mundo han sido obtenidas de selecciones en fincas (Hass, Fuerte, Reed, Booth 8, entre otros). En Colombia, materiales como Lorena y Trapica fueron seleccionados de esta manera. Para esta práctica se debe proceder a seleccionar uno o varios materiales de la finca de reconocida trayectoria por su adaptación, sanidad, producción, calidad de fruta y, muy especialmente, por su aceptación en el mercado. Luego se procede a tomar las yemas, preferiblemente después de la cosecha, para luego injertarlas sobre patrones locales, que son ideales dada su aceptación a las condiciones de la zona.

También es posible, mediante injertación, renovar árboles de aguacate viejos o de mala calidad, realizar una soca a un metro de altura, introducir yemas en púa, entre la corteza la madera o esperar a que se desarrollen chupones, y luego proceder a injertar tales chupones, con los materiales de la finca y así obtener en poco tiempo (dos a tres años) producción de fruta de mayor calidad. De esta manera, se garantiza una alta adaptabilidad y gran compatibilidad del material injertado, ya que tanto la copa como el patrón pertenecen a un mismo ecosistema y su expresión en el rendimiento será la mejor.

Condiciones biofísicas

Los factores ambientales incluyen el clima (temperatura, viento y precipitaciones), la calidad del aire y los efectos posicionales, tanto dentro del huerto como dentro del árbol. Condiciones como el viento, una precipitación intensa y las heladas pueden causar la pérdida directa de la fruta en la cadena de poscosecha, debido a las cicatrices que causan sobre ella; también son perjudiciales la mayor incidencia de patógenos vegetales asociados con condiciones de abundante lluvia, especialmente durante la floración (por ejemplo, la antracnosis) y la pérdida de fruta dañada por heladas.

Generalmente, dentro de cada raza los cultivares tienen respuestas similares a las condiciones edáficas y climáticas, dadas dentro su proceso evolutivo. Sin embargo, existen varias diferencias entre las razas en relación con su adaptabilidad a las condiciones medioambientales (Whiley & Schaffer, 1994), como es el caso del cv. Hass, híbrido entre la raza mexicana × guatemalteca, que presenta características intermedias entre ambas. La hibridación libre entre las razas ha dado como resultado

un aumento entre la diversidad genética y en la plasticidad medioambiental de las especies (Whiley & Schaffer, 1994). Como resultado de la extensa distribución del germoplasma del aguacate hacia zonas bastante alejadas de su sitio de origen, se ha producido un considerable cruzamiento interracial, a tal grado que los actuales cultivares de mayor importancia económica, tanto en áreas subtropicales como tropicales, son el resultado de la hibridación entre distintas razas (Knight, 2007).

Las diferencias en las respuestas al clima podrían ser suficientes para identificar el origen racial de los árboles. Por ejemplo, solo la raza antillana se adapta al clima netamente tropical de las tierras bajas y climas cálidos y secos, mientras que los árboles de otras razas pueden no cuajar frutos o incluso no producir flores bajo dichas condiciones (Serpa, 1968). Por el contrario, en zonas subtropicales o frías en el trópico, los árboles de raza antillana cuajan muy poco o no cuajan, aun cuando no hayan sido dañados por heladas. En lugares fríos, donde frecuentemente hay temperaturas bajo cero, solo los árboles de raza mexicana y guatemalteca pueden sobrevivir (Kadman & Ben-Ya'acov, 1976).

Una determinada raza o cultivar tiene la adaptabilidad suficiente para crecer en un rango considerable de ambientes, pero esto suele acarrear variaciones en su rendimiento. Popenoe (1919) estimó que la madurez del fruto se retrasa casi un mes por cada 300 m de aumento en la altitud donde se encuentren las plantas. En condiciones del subtrópico, la madurez de la fruta se retrasa un mes por cada grado de aumento en la latitud. De este modo, la altitud y la latitud, junto con las diferencias climáticas, inciden en la época de cosecha para un mismo cultivar. Es necesario mencionar que las técnicas de manejo (particularmente el riego) pueden ser utilizadas en ocasiones para manipular la época de maduración de la fruta (Lahav & Kalmar, 1977).

Temperatura

La temperatura en la zona tropical está determinada por la altura sobre el nivel del mar; mientras en la zona subtropical está influenciada, además, por la época del año y posición de la tierra con respecto al sol, por lo que hay dos épocas en el año, una de temperaturas altas y otra de temperaturas bajas. De las tres razas, la mexicana se adapta a climas más fríos, soportando temperaturas de hasta 2,2 °C, teniendo como temperaturas óptimas 5 a 17 °C; por su parte, la raza guatemalteca se adapta a condiciones subtropicales, con temperaturas óptimas de 4 a 19 °C, mientras que la raza antillana, se adapta a temperaturas de 18 a 26 °C (Avilán et al., 1989).

Las temperaturas durante el desarrollo del fruto y maduración pueden afectar también la calidad del fruto, ya sea acelerando o retrasando la madurez hortícola. En la tabla 1.16 se observa cómo el fruto, de acuerdo con Bernal (2016), presentó una masa que osciló entre 156,12 g en la zona más baja de la evaluación, hasta 215,18 g, en una zona más fresca, con un valor promedio de 183,24 g, lo que indica un efecto de la temperatura sobre la calidad del fruto (peso). Según Olaeta et al., (2007), el fruto en desarrollo aumenta su volumen, por lo que también adquiere mayor diámetro y peso.

La forma de la fruta también se ve influenciada por el medio ambiente. La fruta que crece bajo condiciones más frías tiende a ser más redondeada que la fruta que crece bajo condiciones más cálidas, la que tiende a ser más alargada. La relación largo/diámetro en el mismo estudio fue en promedio de 1,27, y varió entre 1,25 y 1,30, de acuerdo con la altitud.

La región de Támesis presentó los frutos con menor Diámetro Ecuatorial y Polar (DE y DP) con un valor de 6,41 y 8,36 cm, respectivamente; mientras que Rionegro presentó los valores más altos con 7,06 y 9,04 cm (tabla 1.16). Esta característica coincide con lo encontrado por Bárcenas, Martínez, Aguirre y Castro (2002) en Michoacán (México), ubicado en el semitrópico, entre los 17° 55' y los 20° 24' de latitud norte, quien observó que el fruto del cv. Hass es más redondo cuando es cultivado en ambientes más frescos, en alturas comprendidas entre los 2.000 a 2.500 m s. n. m.; además, presentan una mínima rugosidad de la cáscara. Al contrario, la forma del fruto se hace mucho más alargada cuando este cultivar se establece en ambientes más cálidos, entre 1.400 a 1.600 m s. n. m. En ambientes intermedios, el fruto de este cultivar presenta una forma más alargada que globosa (como lágrima) e igualmente una rugosidad intermedia. El efecto ambiental sobre la forma del fruto es también evidente cuando se examina, para un cierto árbol, la forma del fruto en relación con la floración y cuajamiento. Los frutos provenientes de año de baja floración son más redondeados que aquellos que cuajaron durante la floración principal (Arpaia et al., 2004).

Además, el clima también tiene un efecto marcado en el tiempo que tarda el árbol desde la floración a la cosecha; en este sentido Bárcenas et al. (2002), en México, encontró que este período fue de 8 meses en ambientes cálidos (1.400 a 1.600 m s. n. m.), de 8 a 10 meses en huertos plantados entre los 1.600 a 1.800 m s. n. m.; en ambientes entre los 1.800 a los 2.000 m s. n. m. este período fue de 10 a 12 meses, mientras que en ambientes más fríos (2.000 a 2.500 m s. n. m.), fue mucho mayor, tardando alrededor de 12 a 14 meses (tabla 1.17).

Tabla 1.16. Características del fruto de aguacate 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

Tabla 1.17. Influencia de la altura sobre el período de floración a cosecha, forma y aspecto de la epidermis del fruto del aguacate cv. Hass en Michoacán, México

Altura (m s. n. m.)	Duración (meses)	Forma del fruto y aspecto epidermis	
		Forma	Epidermis
2.000 a 2.500	12 a 14	Alto esferoide	Mínima rugosidad
1.800 a 2.000	10 a 12	Elipsoide	Media
1.600 a 1.800	8 a 10	Obovado	Rugosa
1.400 a 1.600	8	Obovoide	Muy rugosa

Fuente: Elaboración propia con base en Bárcenas et al. (2002)

En un estudio realizado por Bernal (2016) en cuatro localidades del departamento de Antioquia (Colombia), se estableció que el período comprendido entre floración y cosecha fue diferencial de acuerdo con el ambiente donde estaba establecido el cultivo (figura 1.67). En la localidad ubicada a menor altura (1.340 m s. n. m.), con una temperatura anual promedio de 20 °C, el tiempo de floración a cosecha fue de 8 a 9 meses, mientras que en los árboles que se encontraban a una altura de 1.900 m s. n. m., con una temperatura ambiente promedio anual de 19 °C, fue de aproximadamente de 10 a 11 meses; por otra parte, en los huertos ubicados a una altura 2.180 m s. n. m., con una temperatura ambiente promedio anual de 17 °C, el tiempo de floración a cosecha fue de 11 a 12 meses; finalmente, en la localidad ubicada a mayor altura (2.420 m s. n. m.), con una temperatura ambiental promedio anual de 14,7 °C, este período tomó entre 12 y 13 meses aproximadamente.

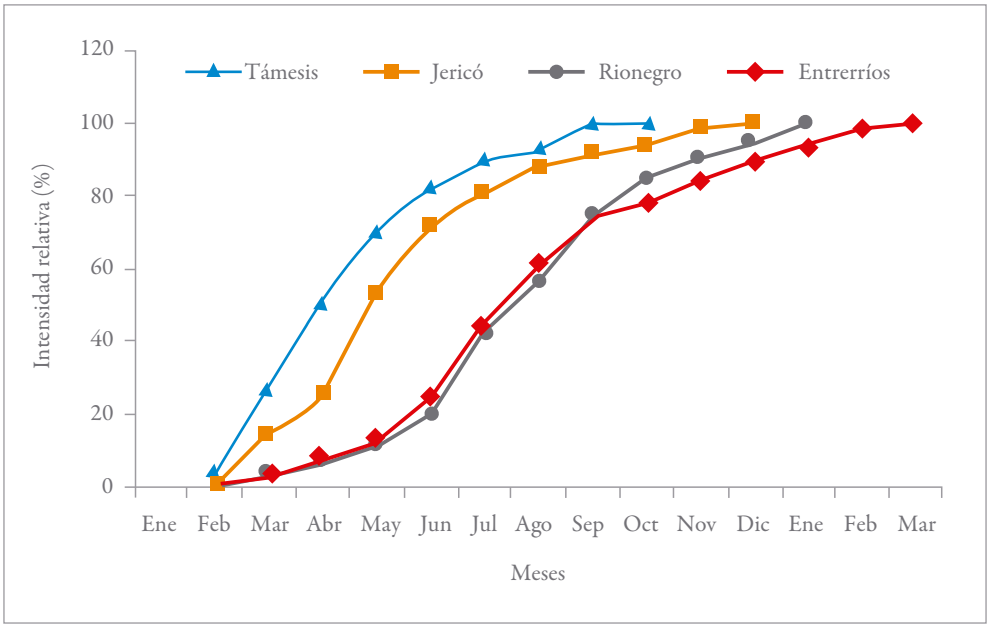


Figura 1.67. Crecimiento del fruto de aguacate cv. Hass, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013).
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con un estudio realizado por Díaz y Bernal (2017) en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia, cuando se registró el número de días entre cuajamiento y cosecha, en todos los huertos se observó una tendencia en la que, a medida que las fincas se ubicaron a mayor altura, este tiempo fue mayor, tal como se observa en la figura 1.68.

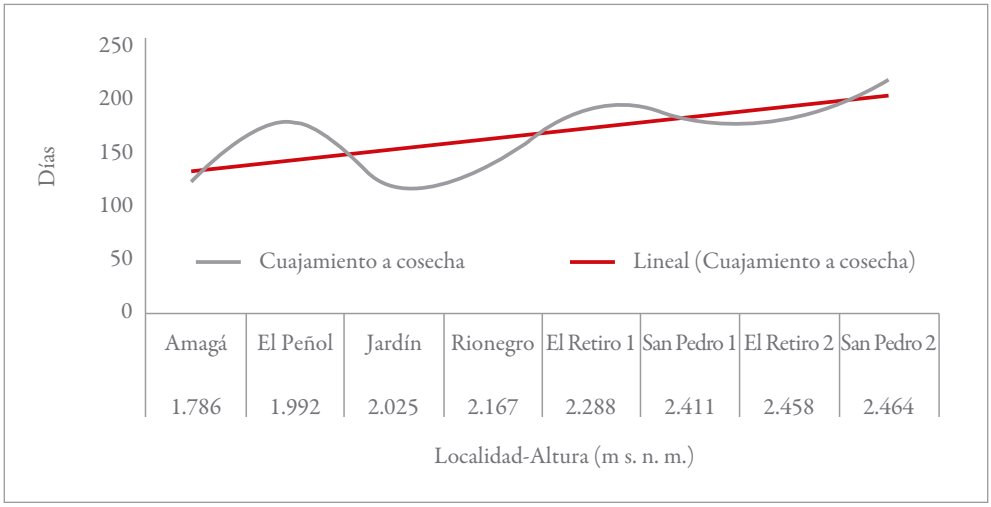


Figura 1.68. Tiempo transcurrido entre el cuajamiento del fruto y la cosecha en ocho localidades del departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

En Colombia, Bernal (2012) encontró que frutos de Hass, obtenidos de cultivos establecidos en zonas más bajas y cálidas (1.340 m s. n. m.), presentaron formas más redondeadas que aquellos frutos obtenidos de zonas altas y frías (2.400 m s. n. m.), lo que resultó contrario a lo reportado por Bárcenas et al. (2002), en México; sin embargo, los autores concuerdan al menciona que la epidermis de los frutos de Hass en ambientes más cálidos tiende a ser más rugosa, mientras que en climas más fríos es más lisa (figura 1.69), situación que se presentó en frutos de Hass cosechados de cultivos comerciales en Antioquia (Colombia).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.69. Influencia de la altura sobre la forma y aspecto de la epidermis del fruto del aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia. a. Entrerríos (2.400 m s. n. m.); b. Támesis (1.340 m s. n. m.).

Las variaciones en las condiciones ambientales pueden llegar a imponer serias restricciones para el crecimiento y desarrollo de los vegetales y, por lo tanto, provocar sobre ellos situaciones de estrés. El concepto de "estrés" implica la presencia de un factor externo a la planta, provocado por el medio ambiente cambiante, que ejerce una influencia negativa sobre su crecimiento y desarrollo óptimos. Las plantas presentan una curva de respuesta a la temperatura, con un valor óptimo que determina una tasa de crecimiento máxima y un rango de temperatura máxima y mínima, fuera del cual el desarrollo se detiene. Los valores de temperaturas máximas y mínimas críticas y óptimas son variables, dependiendo de la especie y de la etapa de desarrollo en estudio. A nivel mundial, los aguacates se cultivan en una gama muy amplia de temperaturas. Existen requerimientos térmicos distintos para los cultivares subtropicales (mexicanos, guatemaltecos e híbridos entre ambos) y para los cultivares tropicales (antillanos e híbridos de antillanos por guatemaltecos). Además, existen variaciones sustanciales en los climas subtropicales, con las consecuentes diferencias en las unidades de calor, que afectan el tiempo de floración y, especialmente, el tiempo de madurez de los frutos de un determinado cultivar (Wolstenholme, 2007).

El clima de los hábitats nativos sugiere que el aguacate debiera ser tolerante a calores extremos, incluso los tipos mexicanos y guatemaltecos, originarios de las tierras altas, de ambientes húmedos, que van de templados a cálidos. Las altas temperaturas pueden ser perjudiciales en períodos críticos, como el de la polinización y cuajado de frutos. Existe abundante evidencia de que vientos cálidos y secos, comunes en muchas zonas productoras, pueden reducir considerablemente la producción de los árboles. En California, Wolstenholme (2007) reportó que temperaturas por encima de los 40 °C, normalmente acompañadas de viento y sumado a bajísimas HR, pueden causar una abscisión significativa de frutos recién cuajados.

Uno de los factores climáticos que más afectan la calidad del fruto es la alta temperatura en el período de precosecha, pudiendo originar un amplio abanico de alteraciones. La magnitud del daño depende de la temperatura, tiempo de exposición, estado de desarrollo del fruto, etc. Los efectos directos inducen daño en las membranas celulares, proteínas y ácidos nucleicos, mientras que los indirectos, inhibición de la síntesis de pigmentos o degradación de los ya existentes, produciéndose una amplia gama de síntomas de escaldado y quemaduras. En manzanas, fresas y peras, se ha puesto de manifiesto una relación indirecta entre la temperatura y la firmeza, manteniéndose o aumentando cuando el nivel térmico no es alto (Sams, 1999).

En algunos casos se aprecian efectos globales que afectan la maduración, inhibiéndola o acelerándola, o incrementando la desecación por pérdida acelerada de

agua, lo que origina alteraciones en aspecto externo e interno del fruto. Algunos de estos efectos pueden verse amplificados cuando las altas temperaturas están asociadas a una radiación solar intensa, afectando no solo a las alteraciones de color (pardeamientos), sino también a las propiedades organolépticas, debido a cambios en el contenido en sólidos solubles y acidez valorable (Sams, 1999).

Humedad relativa

El aguacatero se adapta a climas húmedos y semihúmedos, con marcadas diferencias entre las estaciones húmedas y secas. Aunque se adapta bien a condiciones bajas de humedad atmosférica, el orden de adaptación de menor a mayor humedad relativa para las tres razas es, primero, mexicana; segundo, guatemalteca y, tercero, antillana (Avilán et al., 1989).

Precipitación

Los requerimientos difieren para las tres razas así: la raza mexicana requiere precipitaciones por encima de los 1.500 mm anuales; la raza guatemalteca, por debajo de los 1.500 mm/año, y la raza antillana, por debajo de los 1.000 mm/año. El período más crítico en el que la planta debe disponer de suficiente agua comprende desde el cuajado hasta la recolección. Es a su vez muy sensible al encharcamiento, que produce asfixia radical, lo que además favorece el desarrollo del hongo *Phytophthora cinnamomi* Rand., causante de la pudrición de raíces. Sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que reduce el rendimiento; además, el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación reducen la producción y provoca la caída del fruto (Alfonso, 2008).

La afirmación de que el aguacate requiere entre 1.200 y 1.600 mm de precipitación bien distribuidos durante todo el año implica un requerimiento hídrico de bajo a medio, especialmente en zonas de clima frío. El concepto de requerimientos hídricos variables de acuerdo con la etapa fenológica de crecimiento fue formalizado por Whiley et al. (1988). El requerimiento de agua es bajo durante el receso del crecimiento vegetativo, incrementándose a niveles moderados a altos, durante la floración, y manteniéndose a un nivel moderado, durante la mayor parte del período de crecimiento, excepto durante la caída de frutos y a comienzos de los flujos de crecimiento vegetativo, cuando los requerimientos hídricos son altos (Wolstenholme, 2007).

Viento

El viento es un factor muy importante, ya que las ramas del aguacate son muy frágiles y se quiebran fácilmente; por lo tanto, se tienen que establecer cortinas rompevientos. El viento no debe ser constante, ni alcanzar velocidades por encima de los 20 km/h, ya que esto provoca la ruptura de ramas, caída de flores y frutos, y quemazón de las hojas y brotes del árbol; la deshidratación impide la fecundación y formación de los frutos (Avilán et al., 1989).

Altitud

Las tres razas se adaptan a diferentes rangos altitudinales así: la raza mexicana se adapta a alturas por encima de los 2.000 m s. n. m., lo que la ubica en el piso técnico frío; para la raza guatemalteca, el rango altitudinal de adaptación es de 800 hasta 2.400 m s. n. m., pudiéndose establecer en los pisos térmicos frío moderado a medio; finalmente, para la raza antillana el rango de adaptación va de 0 hasta 800 m s. n. m., lo que la sitúa en el piso térmico cálido. Los híbridos entre estas razas tienen un mayor rango de adaptación. En la tabla 1.18, aparece la lista de los cultivares que pueden ser sembrados en Colombia, según su adaptación altitudinal (Avilán et al., 1989).

Tabla 1.18. Variedades de aguacate aptas para ser cultivadas en diferentes pisos térmicos en Colombia

Altitud (m s. n. m.)			
500 a 1.200	**1.200 a 1.800**		**1.800 a 2.500**
Booth 1	Bacon	Mayapan	Bacon
Booth 5	Bonita	Monroe	Benedict
Booth 7	Booth 1	Nabal	Choquette
Booth 8	Booth 5	Pinkerton	Colin V 33
Butler	Booth 7	Reed	Colinred
Choquette	Booth 8	Rincón	Duke
Colinred	Choquette	Ruehle	Ettinger
Collinson	Colin V-33	Schmidt	Fuerte

(Continúa)

(Continuación tabla 1.18.)

Altitud (m s. n. m.)			
500 a 1.200	**1.200 a 1.800**		**1.800 a 2.500**
Fairchild	Collinred	Semil 23	Ganter
Fucsia	Collins	Semil 34	Gottfried
Gripiña	Collinson	Semil 43	Hass
Hulumanu	Edranol	Semil 44	Linda
Itzamna	Ettinger	Simpson	Lula
Lorena	Fairchild	Taylor	Mexicola
Mayapan	Fuerte	Trapp	Nabal
Monroe	Gottfried	Trinidad	Northrop
Peterson	Gripiña	Waldin	Perfecto
Pinelli	Hass	Winslowson	Pinkerton
Pollock	Itzamna	135-15	Puebla
Ruhele	Kanola	135-20	Reed
Russell	Linda	135-21	Rincón
Semil 23	Lorena	135-27	Semil 44
Semil 34	Lula	143-61	Topa topa
Semil 43			Zutano
Semil 44			135-15
Simmonds			135-20
Trapp			135-21
Trinidad			135-27
Waldin			143-61
Winslowson			1607

Fuente: Elaboración propia con base en Ríos-Castaño et al., (1977), Ríos-Castaño (1982) y Ríos-Castaño et al., (2005)

Latitud

Las tres razas de aguacate se originaron totalmente (antillana y guatemalteca) o parcialmente (mexicana) en latitudes tropicales de Centroamérica, al punto de que el árbol es descrito comúnmente como una especie tropical. Tanto los ecotipos mexicanos como los guatemaltecos son nativos de zonas selváticas, montañosas, también conocidas como "tierras altas tropicales". Ambos se adaptan, en distinto grado, a muchas áreas subtropicales calurosas o frías, es decir en latitudes mayores a los 23º Norte o Sur. Los cultivares de estos dos ecotipos, especialmente aquellos con dominancia de genes guatemaltecos y con al menos algunos mexicanos, forman la base de la industria subtropical del aguacate, así como también la industria de las zonas semitropicales y de tierras tropicales altas en países como México, Guatemala, Kenia y Colombia (Wolstenholme, 2007). Se ha señalado que los ecotipos mexicanos son nativos de las tierras altas, que van desde los 19 a los 24º de latitud norte, es decir, en la frontera entre las tierras subtropicales altas y las semitropicales (Storey et al., 1986). Los aguacates guatemaltecos silvestres pueden ser encontrados entre los 14 y 16º de latitud Norte, es decir, en las verdaderas tierras tropicales altas. El ecotipo más tropical de todos, el antillano, se extiende entre las latitudes de 8 a 15° N en las tierras bajas de la costa del Pacífico. Por lo tanto, se asume que el rango de latitudes de entre 8 y 24° y altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1.500 m, conforman el hábitat natural de los aguacates silvestres antillanos. En contraste con esto, los aguacates son comercialmente cultivados de los 40º N, en la costa del mar Negro, en la región de Batoum hasta los 39º S en la bahía de Plenty, en la Isla del Norte, en Nueva Zelanda. Pese a su origen tropical, existen cultivos de aguacate hasta los 43º de latitud N y S (Wolstenholme, 2007) (figura 1.70).

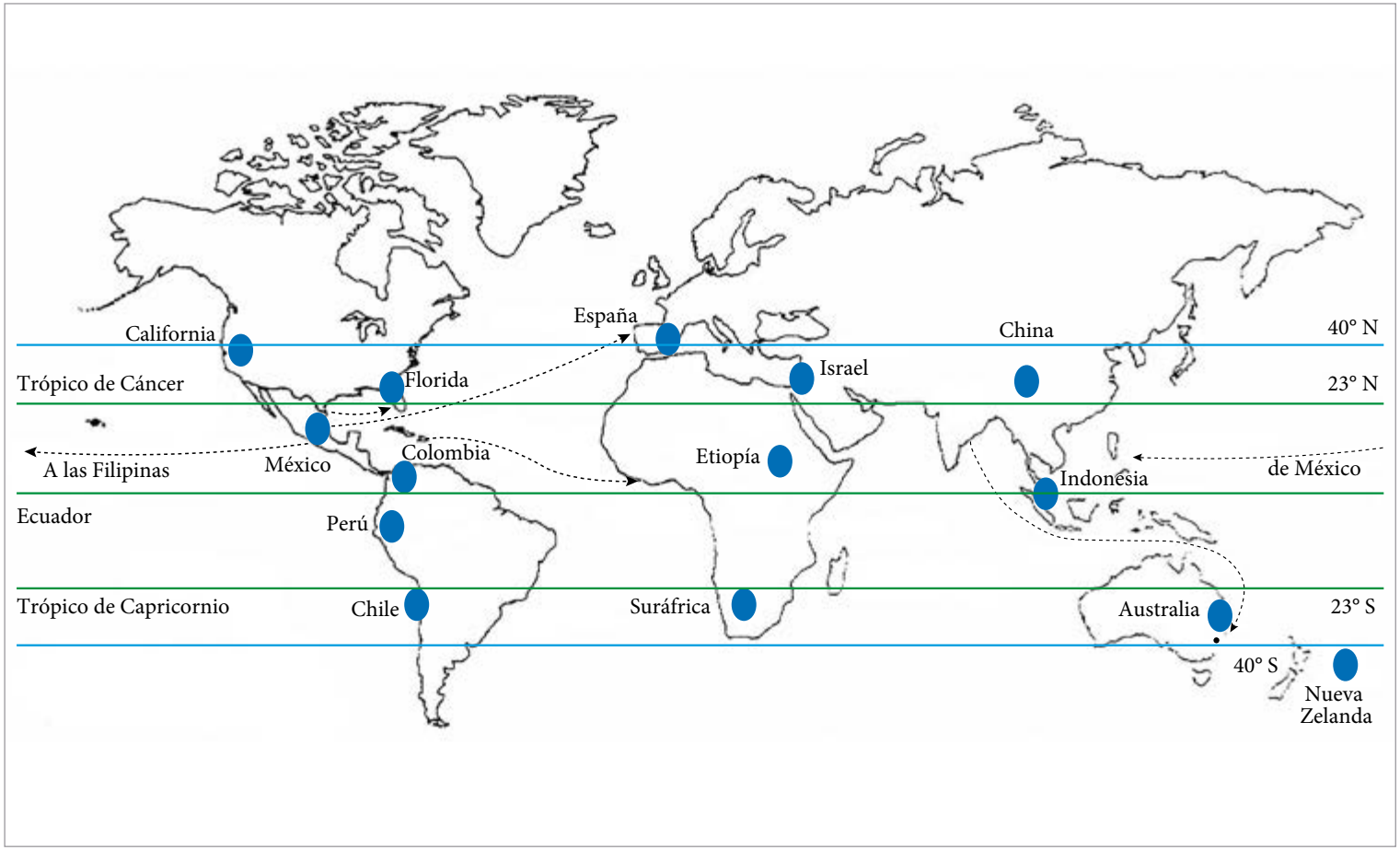


Figura 1.70. Latitudes donde actualmente se encuentra el cultivo de aguacate en el mundo.
Fuente: Elaboración propia con base en Smith et al. (1992).

Requerimientos edáficos

Este frutal, como ningún otro, requiere suelos muy bien drenados, ya que sus raíces son altamente susceptibles a los problemas radicales; asimismo, precisa de suelos con profundidad efectiva y nivel freático superiores a 1,0 m, con texturas livianas (figura 1.71) que favorezcan la formación de un sistema radicular denso y muy ramificado (Avilán et al., 1989). El aguacate se adapta a una gran gama de suelos, desde los arenosos hasta los arcillosos, siempre y cuando posean un buen drenaje interno, factor que es de vital importancia (Galán-Saúco, 1990).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.71. Suelo de textura liviana en el cultivo de aguacate.

A este respecto, es aconsejable disponer de al menos 0,8 a 1,0 m de suelo de buena estructura sobre un subsuelo poroso, lo que garantiza la larga vida del árbol. En general, se considera como un pH óptimo el rango comprendido entre 5,5 y 6,5, puesto que en suelos con reacción alcalina se originan deficiencias fundamentales de hierro y zinc (Galán-Saúco, 1990).

Otros factores ambientales

El aguacate evolucionó en la selva lluviosa neotropical como un árbol de dosel (Whiley, 1994). Existe evidencia fisiológica de que las hojas del aguacate son altamente tolerantes a la sombra, lo que se refleja en su punto de compensación de la luz para la

fotosíntesis, que es relativamente bajo, y en el gran tamaño de estas. Además, el árbol posee características que sugiere que es un colonizador sucesorio tardío de pequeños claros en la selva, capaz de lograr altas tasas de fotoasimilación, con su crecimiento rápido en ambientes muy iluminados, lo que produce un rápido y sucesivo sombreado de las hojas, acortando su longevidad (Whiley & Schaffer, 1994; Wolstenholme & Whiley, 1999). Si a esto se le suma un fruto rico en energía (Wolstenholme, 1986, 1987) y el gran tamaño del árbol, bajo una situación de cultivo en huerto la irradiación de luz solar rápidamente se convierte en un factor clave y limitante para la obtención de producciones aceptables. Las mejoras en la interceptación de la luz, la disminución de la sombra dentro de los árboles y entre árboles, y el aumento en la eficiencia de la fotoasimilación al tener un mayor número de árboles pequeños son la base de los conceptos modernos de los huertos en alta densidad, de la conducción de los árboles, de la poda y de la manipulación, que actualmente están siendo desarrollados. El manejo de la luz en los huertos es la clave para lograr una productividad sustentable, pero sigue siendo un tema controversial (Woltesholme, 2007).

Es necesario tomar medidas de protección para evitar quemaduras de sol en la hoja, frutos, ramas e, incluso, en los troncos de los árboles jóvenes. Inclusive en áreas subtropicales cálidas con lluvias en verano, las quemaduras de los frutos en la parte expuesta al sol de la tarde puede ser un problema si no existe un follaje protector adecuado. En contraste con esto, en climas más templados muy húmedos, la quemadura por el sol no es problema (Wolstenholme, 2007).

El granizo, como en otros cultivos frutales, puede ser catastrófico, particularmente si los frutos van a ser comercializados con base en su calidad en los mercados más exigentes de países de zonas templadas. Se debe, por lo tanto, evitar el establecimiento del cultivo en zonas donde se presente este fenómeno con cierta periodicidad, pues los daños causados por el granizo pueden ser irreparables o retrasar en gran medida el desarrollo del mismo, haciéndolo económicamente inviable.

Propagación

El aguacate se puede propagar de forma sexual por semilla o vegetativamente, por medio de estacas, injertos e *in vitro*. Para las plantaciones comerciales, se debe utilizar la propagación vegetativa efectuada por injerto, generalmente sobre plantas de semilla, pero también sobre patrones propagados vegetativamente, en los casos en que se sospeche la presencia de problemas como *Phytophthora cinnamomi* o de salinidad en el suelo, entre otros (Galán-Saúco, 1990).

Propagación sexual

La propagación sexual solo es empleada en trabajos de investigación, jardines clonales o de conservación del germoplasma. En plantaciones comerciales, se debe utilizar la propagación vegetativa, puesto que para obtener plantas uniformes es necesario emplear un método de propagación asexual efectuada por injerto, generalmente sobre plantas de semilla (portainjertos o patrones), que deben estar adaptados a las condiciones bióticas y abióticas donde se desea establecer la plantación (Galán-Saúco, 1990; Ríos-Castaño et al., 1977).

La propagación sexual o por semilla no es recomendable para plantaciones comerciales, debido a la gran variabilidad que ocurre en las plantas producidas por este método, lo que da plantas de muy diversas características, diferentes a sus progenitores. Además, la propagación por semilla produce plantas mucho más tardías, en cuanto a su vida productiva, y de un tamaño mayor, lo que dificulta la recolección de los frutos (Ríos-Castaño, et al., 1977).

El aguacate se caracteriza por carecer de embrionía nucelar, lo que no permite obtener material genético uniforme, como consecuencia de las diferencias genéticas constitucionales de cada planta; esto pone de manifiesto la gran heterogeneidad de los patrones, presentando gran variabilidad en lo relacionado a la resistencia a enfermedades, plagas, adaptación a suelos y climas y características de frutos (Leal, 1966; Avilán et al., 1989).

Producción de plantas de vivero libres de enfermedades

La superficie de frutas sembradas para 2019 en Colombia asciende a las 973.915 ha (MADR, 2019), incluyendo banano y plátano, con un incremento promedio anual del 4,13 %, en los últimos diez años. A medida que la producción frutícola ha venido en aumento, la actividad viverista también ha crecido, siendo los viveros los responsables de mantener un abastecimiento permanente de material de propagación para siembras nuevas, resiembras y renovaciones. La producción de plántulas de aguacate ha resultado ser una actividad de alta trascendencia en el desarrollo de este cultivo en Colombia, ya que de la calidad del material vegetal producido depende gran parte del éxito de un proyecto frutícola.

Tanto los aspectos fitosanitarios como genéticos son de vital importancia para lograr un producto con características óptimas para ser llevado al campo; sin embargo,

esto debe ir acompañado de una serie de prácticas agrícolas adecuadas, que garanticen un alto porcentaje de prendimiento en el huerto recién establecido, evitando así pérdidas que, en algunos casos, alcanzan hasta un 50 % y que se relacionan principalmente con las aplicaciones inapropiadas, daños físicos y errores en el trasplante (Ríos-Castaño, Corrales, & Daza, 2003).

Para conseguir un éxito continuo en los sistemas de cultivo es indispensable poseer una fuente confiable de material de siembra que corresponda al cultivar y esté libre de enfermedades. Pese a que los aguacates pueden ser afectados por muchas enfermedades, la principal amenaza a la productividad del huerto, que puede ser diseminada en sustratos infectados por las plantas de vivero a través de su comercialización, es la pudrición radical causada por *P. cinnamomi*. En muchos casos, las plantas de vivero para la venta no presentan síntomas visibles de ninguna enfermedad, pese a que podrían estar infectadas. Por lo tanto, si la selección del material de propagación y la higiene del vivero no son suficientemente rigurosas, los árboles nuevos pueden convertirse en una potente fuente de infección (Ríos-Castaño et al., 2003).

En la tabla 1.19, se describe un protocolo planteado por Whitsell, Martin, Bergh, Lypps y Brokaw (1989), que incluye las principales recomendaciones que deben seguirse para obtener material de vivero libre de enfermedades, principalmente de *P. cinnamomi*. Estos son los procedimientos esenciales en los viveros californianos que han ingresado al programa de certificación monitoreado por el Departamento de Agricultura de California (Bender & Whiley, 2007).

Muchos de los países productores de aguacate han introducido programas de producción de plántulas en vivero, que le proporcionen a los agricultores árboles certificados y libres de enfermedades. Estos programas incentivan fuertemente la obtención de material para la propagación a partir de árboles que correspondan a las variedades y que estén en óptimo estado sanitario (Ríos-Castaño et al., 2003).

En general, para mantener un adecuado estado sanitario, para la producción de árboles de aguacate en vivero, se deben tener algunas recomendaciones básicas. Todas las plantas deben ubicarse sobre un mesón de malla de acero, elevado por lo menos 60 cm del suelo, con pasillos de concreto o asfalto, y el resto del área debe estar cubierto con 5 cm de gravilla gruesa y limpia. Para asegurar que no exista *P. cinnamomi* u otros patógenos que ataquen el sistema radical, todos los sustratos de los semilleros o bolsas deben ser solarizados o pasteurizados mediante vaporización a 50 °C durante 30 minutos (Allan, Lamb, & Chalton, 1981).

Tabla 1.19. Protocolo recomendado para la producción de árboles libres de enfermedades

1.	Use un lugar libre de *Phytophthora cinnamomi* y sin escurrimiento de agua desde aéreas adyacentes.
2.	Cerque el vivero de modo que todo el tránsito que entra y sale pueda ser controlado.
3.	Coloque una solución de fungicida a la entrada del vivero, que cubra tanto el tránsito motorizado como el de peatones. Los fungicidas efectivos y más comunes utilizados son el sulfato de cobre, el oxicloruro de cobre y el hipoclorito de sodio.
5.	Evite el contacto de las boquillas de fumigación con el suelo; no pise los mesones y camas de siembra.
6.	Desinfecte regularmente todo el equipo del vivero, incluyendo el transporte utilizado en la movilización del material vegetal.
7.	Desinfecte el sustrato del vivero con solarización, con vapor de agua (pasteurización) o con productos químicos específicos.
8.	Fumigue o esterilice las áreas externas, si las plantas son colocadas sobre el piso en el proceso de endurecimiento.
9.	Realice un tratamiento térmico a todas las semillas que sean recolectadas para la propagación, colocándolas en agua a 50 °C durante 30 minutos.
10.	Recolecte material de propagación (semillas y yemas) solamente de fuentes registradas y que hayan sido declaradas libres de *P. cinnamomi*.

Fuente: Elaboración propia con base en Whitsell et al. (1989)

Selección, extracción y preparación de la semilla

Debido al bajo costo, el vigor del crecimiento de la planta y la facilidad de propagación, en la mayoría de los países aún se utilizan las semillas en la producción de portainjertos para aguacates injertados, pese a su variabilidad genética (Ben-Ya'acov & Michelson, 1995). California, Israel y Sudáfrica constituyen notables excepciones, ya que en dichos países los portainjertos clonados vegetativamente son ampliamente utilizados, a pesar de que la mayoría de los productores israelíes aún exigen aguacates propagados en portainjertos de semilla seleccionados (Homsky, 1995)

La semilla para el patrón o portainjertos se debe seleccionar de árboles adultos, que hayan tenido al menos dos cosechas, que estén bien formados y bien adaptados a las condiciones edafoclimáticas en las que se establecerá el cultivo, así como que sean productivos, que posean frutos de buena calidad, que estén sanos y que presenten resistencia o tolerancia a los principales problemas sanitarios. Los frutos se recogen en el segundo tercio del tiempo después de iniciada la cosecha y del tercio medio de la copa del árbol. Actualmente, se considera un buen patrón aquel que induzca copas de menor porte, con el fin de obtener árboles uniformes, de una mayor producción por área.

Los frutos de donde se extrae la semilla no se deben dejar sobremadurar en el árbol, para evitar que las semillas estén pregerminadas o deterioradas por problemas fitosanitarios; deben estar sanos, libres de plagas y enfermedades, tener el tamaño, forma, color y peso que cumplan con los estándares de calidad de un buen patrón, tales como semilla sana, poca pulpa, rusticidad, adaptación y resistencia a problemas bióticos y abióticos, entre otros. Para reducir el riesgo de contaminación de la semilla con el hongo *P. cinnamomi*, las semillas deben proceder de frutos recolectados directamente del árbol y nunca de aquellos caídos o en contacto con el suelo.

Una vez colectadas y extraídas, las semillas deben ser tratadas mediante una inmersión en agua caliente a 50 °C, durante 30 minutos; esta es una medida segura de evitar la contaminación de semillas por la enfermedad conocida con los siguientes nombres: "pudrición radical", la "chancrosis del tallo" y "el tizón de la plántula", cuyo agente causal es el hongo *P. cinnamomi*. El control de la temperatura es de vital importancia, ya que a 52 °C la semilla pierde su viabilidad (Bender & Whiley, 2007).

Después de este tratamiento, las semillas deben enfriarse con agua y colocarse en un lugar bien ventilado, bajo sombra parcial (Zentmyer, Paulus, & Burns, 1967,

Galán-Saúco, 1990). Otra medida recomendada para esta enfermedad consiste en aplicar un protectante a la semilla, para lo cual se sumerge en una solución preparada con un fungicida, un insecticida y un desinfectante (Galán-Saúco, 1990).

Semillero o germinador

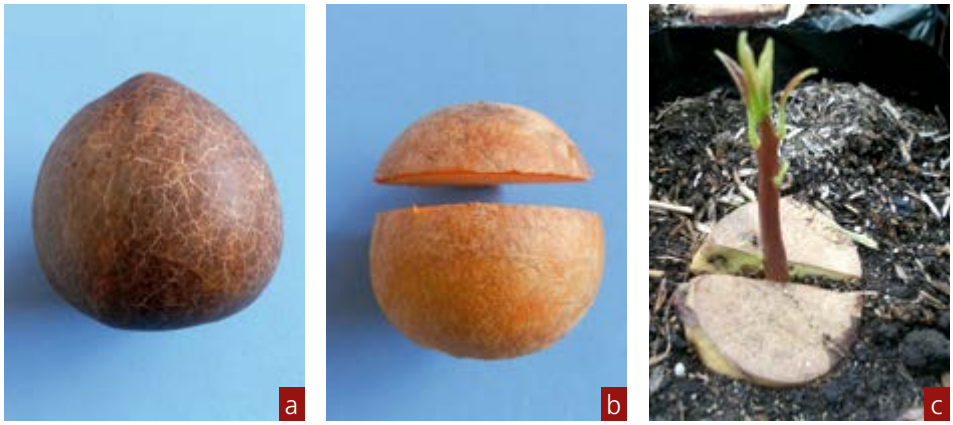
El semillero o germinador es el sitio donde se establece la semilla que posteriormente deberá ser trasplantada a bolsas de almácigo y que servirá para la injertación de las variedades mejoradas. A estos lugares se lleva la semilla para su germinación, y pueden ser móviles o fijos (figura 1.72); se deben ubicar cerca a la casa u otro sitio donde se les puedan brindar los máximos cuidados. Además, deben tener buena iluminación y estar cercados. La semilla del aguacate suele germinar lenta e irregularmente, lo que podría deberse al tratamiento poscosecha o a la línea de árboles de semilla elegida (Platt & Frolich, 1965; Leal, Krezdorn & Marte, 1976).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.72. Semillero en aguacate. a. Germinador fijo con sustrato en arena; b. Disposición de la semilla en el germinador; c. Semilla germinada lista para el trasplante a bolsa.

Cuando se van a poner a germinar, a las semillas se les elimina la cubierta y se les hacen cortes delgados hacia el extremo superior, para acelerar la germinación (figura 1.73). Se han realizado varios estudios sobre la germinación de las semillas de aguacate, que han analizado los efectos producidos por la remoción de la cubierta seminal o de secciones de cotiledones (proceso comúnmente llamado "escarificación") y el uso de reguladores de crecimiento para mejorar la germinación (Bender & Whiley, 2007). Burns, Mircetich, Coggins y Zentmyer (1965) observaron que al remover la cutícula seminal, cortar ambos extremos de la semilla y sumergirla en ácido giberélico había un aumento en la germinación de las semillas del cultivar Duke. Se ha comprobado que la remoción de la testa y corte en el ápice y base de los cotiledones aumenta el porcentaje de germinación.

Por otra parte, Kadman (1963) obtuvo los siguientes porcentajes de germinación a los 90 días de sembrada la semilla: corte de 2 cm en ápice y 0,5 cm en la base de la semilla, 30 % de germinación; corte de 2 cm en el ápice, 70 % de germinación; testa removida, 92,2 % de germinación; testigo sin tratamientos, 12,2 % de germinación. Muchas semillas que presentan dificultad o baja velocidad de germinación tienen algún tipo de inhibidores. La semilla del aguacate no es una excepción, pues contiene inhibidores en la testa, además de que el tamaño de los cotiledones dificulta su germinación. Del gran número de investigaciones realizadas se puede inferir que no existe ninguna duda de que la remoción de la cubierta seminal aumenta la tasa y la uniformidad de la germinación de las semillas de aguacate, especialmente si han sido almacenadas en ambientes fríos. Sin embargo, el mecanismo implicado en este proceso no ha sido comprendido a cabalidad.



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.73. Semillas de aguacate para la siembra en semillero o almácigo. a. Semilla entera; b. Semilla cortada en la parte superior para acelerar su germinación; c. Semilla germinada.

Las semillas de aguacate son sembradas con el extremo más ancho y plano hacia abajo y con el extremo agudo hacia arriba, es decir, de la misma manera como se encontraba cuando el fruto colgaba del árbol. El extremo superior debe quedar a ras del suelo y no enterrado (Platt & Frolich, 1965). El semillero debe conservarse húmedo y cuando se aplique el riego no se debe destapar la semilla; además, se debe mantener a una temperatura constante, lo que reduce el tiempo de germinación y aumenta su porcentaje. Cuatro semanas después de sembradas, germinan las semillas. Para las condiciones del trópico, las plantas pasan aquí tres meses. El semillero debe estar protegido del ataque de plagas, enfermedades y de la radiación directa de los rayos solares.

Vivero o almácigo

Las semillas de los patrones de aguacate se pueden sembrar, bien sea en camas de propagación, bien en semilleros o en bolsas de polietileno (figura 1.74).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.74. Almácigo en aguacate. a. Plántulas en crecimiento luego del trasplante a bolsa; b. Vista general del almácigo.

De la asepsia del sustrato depende la calidad de las plantas que se obtengan para llevar al campo, por lo que es fundamental tanto el uso de semillas de buena calidad como el sustrato empleado. En aguacate, se deben utilizar bolsas de polietileno calibre 3,5, de 22 cm de diámetro (boca) por 44 cm de altura (largo), perforadas hasta su base (figura 1.75).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.75. Plantas de aguacate en vivero. a. Portainjertos listos prara injertación. b. Árboles injertos debidamente rotulados en bolsas con las medidas recomendadas.

Entre las ventajas del sistema de propagar las semillas directamente en bolsas, se pueden mencionar: a) la facilidad para eliminar árboles contaminados sin perjudicar al resto, lo que no ocurre en un vivero tradicional, donde el agua de riego transmite problemas sanitarios a muchas plantas, ocasionando grandes pérdidas; b) el menor estrés en el trasplante, sin daño de raíces que ocasionen la entrada de patógenos, y c) la alta densidad de plantas por metro cuadrado.

El vivero o almácigo es el lugar donde se sitúan las plantas seleccionadas para ser injertadas y posteriormente llevadas al campo, luego de que las plantas pasen por un período de maduración y aclimatación a las condiciones de campo abierto. En este sitio, las plantas son protegidas de las condiciones extremas del clima y se preparan paulatinamente a las condiciones de campo. Después de injertadas las plantas, pasan 90 días en el vivero antes de ser llevadas al campo.

Preparación de los sustratos

Para el germinador o semillero, se hace una mezcla de tres partes de tierra y una de arena, con suelo preferiblemente franco, que no haya sido cultivado recientemente, y arena de río, gruesa y lavada. Esta mezcla se desinfecta empleando medios físicos (como la solarización), mecánicos (como el vapor y agua caliente) o químicos (utilizando desinfectantes); la mezcla se deposita sobre una superficie plana, formando una suave y mullida cama.

Para el almácigo o vivero, se prepara una mezcla de cuatro partes de tierra, dos partes de arena, siguiendo las mismas recomendaciones usadas para el semillero, y una parte de materia orgánica descompuesta y seca, gallinaza compostada o humus, que se desinfecta de la misma forma como se indicó en el semillero. Además, se le adiciona una enmienda y fertilizante químico compuesto.

Desinfección del sustrato

Esta práctica consiste en eliminar los organismos patógenos del medio en que se van a sembrar las semillas o las plántulas. La desinfección de los sustratos se puede realizar en forma química o física.

En la desinfección con productos químicos, se utilizan productos especiales como el dazomet o el formol al 40 %, teniendo cuidado en la cantidad utilizada del producto seleccionado, en el tiempo de desinfección y en la realización de una adecuada aireación, antes de proceder a la siembra del material de propagación. El dazomet es un producto químico granulado de acción nematicida, fungicida, insecticida y herbicida, de excelentes resultados en la desinfección del suelo.

Como método físico de desinfección se puede utilizar la solarización, que ha demostrado ser el más económico, limpio y sencillo para la desinfección del suelo. La solarización es un proceso hidrotérmico que permite la desinfección de los sustratos, utilizando la energía que proviene del sol, llamada "radiación solar" (Betancur & Mejía, 1990). La técnica consiste en tapar herméticamente el sustrato completamente húmedo, con un plástico o polietileno (figura 1.76a), calibre 6, transparente, para capturar la energía solar y así incrementar la temperatura en los primeros centímetros del suelo, y que tener en cuenta que el polietileno negro no presenta los mismos resultados que el polietileno transparente (Mesa & Rivera, 1996). La solarización se basa en un proceso físico, alternando altas y bajas temperaturas. La humedad del sustrato juega un papel importante, debido a que en las horas de mayor temperatura produce vapor y en las de menor temperatura (durante la noche) se condensa, dándose un proceso de pasteurización continua durante el tiempo que dure el tratamiento. Estas fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche rompen fácilmente el ciclo biológico de los patógenos presentes en el sustrato (Aguilar, Vitorelli, Molina, & Santisteban, 1989). El principio de este método es incrementar la temperatura del suelo hasta alcanzar niveles que resulten letales o subletales a muchos patógenos del suelo (Alcázar, Raymundo, & Salas, 1981).

La altura de la cama para la solarización no debe ser mayor de 20 cm, con el fin de garantizar la eficiencia del proceso (figura 1.76b). Los períodos de solarización oscilan entre 30 y 45 días, dependiendo de la zona y de las condiciones climáticas que se presenten. Un proceso de solarización bien realizado garantiza la muerte de muchos patógenos presentes en los sustratos, así como la de varias semillas de plantas no deseadas dentro del cultivo.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.76. Método físico de desinfección del suelo por solarización. a. Uso de polietileno transparente, calibre 6; b. Camas de solarización (20 cm de altura).

Propagación asexual

Por otra parte, la propagación asexual se hace empleando estructuras vegetativas, lo que garantiza plantas homogéneas, con las mismas características de la planta madre; además, se puede realizar por estaca, injerto o *in vitro*.

La propagación vegetativa es usada en aguacate, principalmente para perpetuar las características genéticas únicas de un portainjerto o cultivar, que lo hacen valioso en un sistema de producción. Se han realizado importantes investigaciones para enraizar estacas de aguacate, como una forma simple de aprovechar los rasgos genéticos de los materiales que han sido seleccionados por su potencial para mejorar el desempeño del árbol y que confieren atributos hortícolas deseables a la variedad injertada. Asimismo, se han desarrollado varias técnicas de injertación diferentes, para adecuarse a la multiplicación de los cultivares comerciales, tanto bajo condiciones de vivero como en campo. Este esfuerzo ha resultado en numerosas alternativas de las que se pueden seleccionar las técnicas adecuadas de acuerdo con las condiciones de cada caso (Bender & Whiley, 2007)

Propagación por estacas

La propagación por estacas es una técnica que no ha podido ser aplicada en el ámbito comercial, debido a que los resultados de las investigaciones han sido erráticos, con éxito solo en algunos cultivares. La formación de raíces en la propagación por estacas es altamente dependiente de la retención de hojas, cuyo rol estaría dado por el aporte de carbohidratos y reguladores del crecimiento para la rizogénesis, así como de promotores del crecimiento no identificados (Raviv & Reuveni, 1984). Cutting y Van Der Vuuren (1988) desarrollaron un método de propagación por estacas que consiste en asperjar las plantas madre con ácido giberélico (GA_3), para inducir un vigor "juvenil" en el siguiente "flujo" de crecimiento. Las aplicaciones de GA_3 producen un crecimiento vegetativo vigoroso y una menor dominancia apical. Al tratar con 0,2-0,3 % de ácido indol butírico se logra un 80 % de iniciación radical, después de 120-150 días bajo neblina artificial con calefacción basal.

Las estacas de tallo fisiológicamente juveniles, provenientes de plantas jóvenes de aguacate, enraízan con bastante facilidad (Eggers & Halma, 1937; Gillespie, 1957); sin embargo, solo unos pocos cultivares pueden ser enraizados exitosamente a partir de estacas de tallos fisiológicamente maduros (Hass, 1937a, 1937b; Wallace & North, 1957). Pese a estos logros limitados, es comúnmente aceptada la idea de que la propagación vegetativa del aguacate es difícil y que las estacas verdes no enraízan lo suficientemente bien para efectos de propagación comercial en viveros (Halma, 1953; Kadman & Ben-Ya'acov, 1965; Ben-Ya'acov & Michelson, 1995), aunque este método no se emplea comúnmente en aguacate, debido a la baja capacidad de enraizamiento. No se comprende aún las razones de la dificultad del enraizamiento de las estacas en la mayoría de los cultivares de aguacate (Kadman, 1976), pero Gómez, Soule y Malo (1971) sugirieron que la configuración del anillo del esclerénquima perivascular puede contribuir con la dificultad en el enraizamiento, al actuar como una barrera que impide la emergencia de las raíces en los tallos jóvenes.

El uso de reguladores del crecimiento vegetal para mejorar el enraizamiento de las estacas de madera dura, ha sido ampliamente descrito (Hartman & Kester, 1961). En aguacate, Gustafson y Kadman (1969) observaron que, en la mayoría de los casos, los tratamientos estándares con reguladores de crecimiento no afectaron el enraizamiento de las estacas verdes, pero sí mejoraron el desarrollo del sistema radical.

Se han realizado intentos por rejuvenecer fisiológicamente maderas duras de aguacate mediante el injerto de microestacas en portainjertos juveniles *in vitro* (Pliego-Alfaro

& Murasighe, 1987) o mediante inyecciones de giberelinas en los árboles donde se obtuvieron estacas (Cutting & Van Der Vuuren, 1988). Sin embargo, esto no ha tenido éxito. Queda claro que es necesario realizar más estudios sobre el mecanismo fundamental del enraizamiento de las estacas de aguacate fisiológicamente maduras. A pesar de la existencia de varias técnicas innovadoras, incluyendo algunas variables de las técnicas de etiolación y cultivo de tejidos, el enraizamiento comercialmente viable de estacas de aguacate parece ilusorio (Bender & Whiley, 2007).

Propagación por injerto

Este método, que es el más recomendado y utilizado mundialmente en aguacate, consiste en tomar una yema de una variedad mejorada, seleccionada por su calidad y rendimiento, e introducirla sobre una planta de una variedad criolla, regional o que resista una condición adversa como sequía, salinidad o enfermedad, como *P. cinnamomi*, entre otras, a la que se le denomina "patrón" o "portainjertos" (Whiley, 1992; Whiley, 2007). Este patrón o portainjertos puede ser obtenido sexualmente por semilla, o asexualmente por medio de estacas o *in vitro*.

Patrones o portainjertos

Para la elección del patrón, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones: facilidad en la consecución de la semilla; vigoroso crecimiento de las plántulas; adaptación; buen desarrollo radical; fácil injertación; alto grado de compatibilidad con la variedad a injertar, y resistencia o tolerancia a factores bióticos y abióticos limitantes en la zona o región donde se va a establecer el cultivo. Los patrones más usados en aguacate provienen de árboles de semilla, criollos o locales, que han mostrado los mejores resultados por su rusticidad y adaptabilidad al medio.

El injerto es la unión de dos porciones de tejido vegetal viviente para que se desarrolle como una sola planta. Predecir el resultado de un injerto es muy complicado, aunque de un modo general se puede decir que el éxito del injerto va íntimamente ligado a la afinidad botánica de los materiales que se injertan: por un lado, afinidad morfológica y anatómica de constitución de sus tejidos o, lo que es lo mismo, que los haces conductores de las dos plantas que se unen tengan tamaño semejante y estén, aproximadamente, en igual número; por otro, afinidad fisiológica y de funcionamiento, así como analogía de savia en cuanto a cantidad y constitución (Camacho-Ferre & Fernández-Rodríguez, 2000).

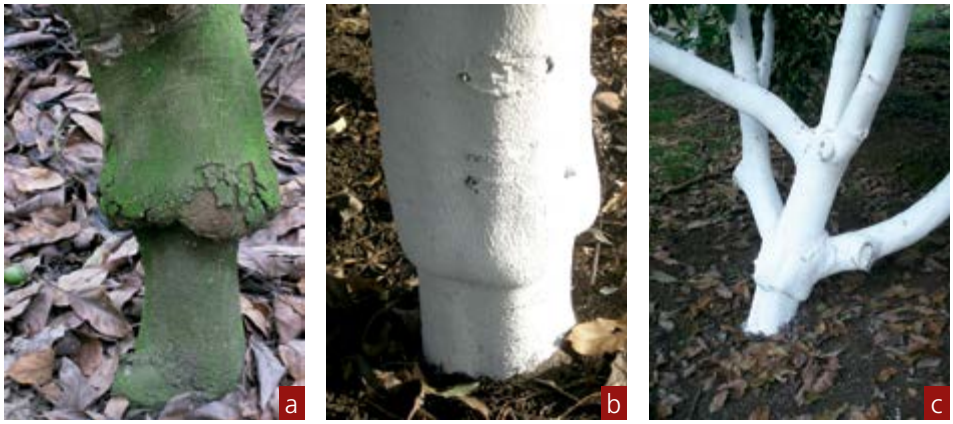
La realidad es la creación de una planta, cuyas raíces tienen que crecer y desarrollarse con la savia que le sintetizan los órganos verdes de otra planta, que a la vez crece y se desarrolla con la savia que le suministra una raíz que no es la suya. A esa capacidad de unión de dos plantas para desarrollarse de modo satisfactorio, desde el punto de vista de la producción como una sola planta compuesta, se le llama "compatibilidad". Es difícil definir entre compatibilidad e incompatibilidad de un injerto (Camacho-Ferre & Fernández-Rodríguez, 2000) pues, desde especies que se unen con facilidad hasta otras que son incapaces de unirse, hay una gama intermedia de posibilidades, que aún en conjunto muestran síntomas de falta de afinidad, bien en la zona del injerto o en sus hábitos de crecimiento (Camacho-Ferre & Fernández-Rodríguez, 2000).

Las incompatibilidades suelen manifestar algunos de estos síntomas:

- Porcentaje bajo en el prendimiento del injerto.
- Amarillamiento en hojas, a veces defoliación y falta de crecimiento.
- Muerte prematura de la planta injertada.
- Diferencias en la tasa de crecimiento entre portainjerto e injerto.
- Formación de un desarrollo excesivo en torno a la unión del injerto.
- Ruptura por la zona de unión del injerto.

A veces, la aparición de estos síntomas, de forma aislada, no significa incompatibilidad, ya que pueden producirse por condiciones ambientales inadecuadas. La incompatibilidad puede ser localizada (depende del contacto entre portainjertos e injerto) y traslocada (se produce degeneración del floema); la localizada se puede corregir con injerto puente (sobre patrón intermedio), mientras que la traslocada no se corrige de ese modo, ya que se debe fundamentalmente a dificultades en el movimiento de carbohidratos y otros compuestos en la zona del injerto (Camacho-Ferre & Fernández-Rodríguez, 2000).

En Colombia, en la mayoría de las áreas de siembra del cv. Hass, se presenta incompatibilidad entre el patrón y la copa, mostrándose un crecimiento menor en los patrones que en las copas (figura 1.77); sin embargo, no se tiene información sobre el efecto que esta condición tiene en la producción o en la vida útil del huerto. Generalmente, esta anomalía se atribuye a la desadaptación del portainjertos a las condiciones ambientales donde se estableció el cultivo, ya que la mayoría de los portainjertos pertenecen a las razas antillanas o híbridos entre antillanos por guatemaltecos, que aparentemente no están adaptados a las condiciones donde se establece el cultivo.



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.77. Incompatibilidad patrón-copa en aguacate cv. Hass. a. Incompatibilidad severa; b. Incompatibilidad moderada; c. Inflexión del árbol a causa del crecimiento desequilibrado entre el patrón y la copa por incompatibilidad.

En una investigación realizada por Bernal (2016), en siete localidades del departamento de Antioquia, se detectó que arboles de cv. Hass injertados sobre patrones criollos presentaron incompatibilidad entre el patrón y la copa, observándose en todas ellas diferencias en el crecimiento entre el portainjerto y la variedad injertada, en dos fechas de muestreo (2011- 2012). En estos, la circunferencia en los patrones era menor que en las copas; sin embargo, este fenómeno no se manifestó de manera uniforme presentándose variabilidad en el grado de compatibilidad (figura 1.78). Stassen, Davie y Snijder (1998) mencionan que los parámetros del crecimiento del tronco son sustanciales, debido a que se ha demostrado que hay una correspondencia entre el volumen de la copa del árbol, el rendimiento de frutos y la materia seca; por lo tanto, la circunferencia del tronco puede utilizarse para pronosticar el potencial de rendimiento, las necesidades nutricionales y otro tipo de información.

Similares resultados encontraron Díaz y Bernal (2017), quienes observaron diferencias en el crecimiento entre el portainjerto y la copa, en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia. La tendencia presentada mostró que en los lotes ubicados a menores alturas (< 2.000 m s. n. m.) se presentaron mayores incompatibilidades que en aquellas ubicadas por encima, percibiéndose un efecto ambiental (figura 1.79); sin embargo, en todas las localidades se presenta este fenómeno, lo que puede deberse en mayor proporción a un efecto genético entre los patrones y las copas. Generalmente, esta condición se ha atribuido a la desadaptación de los portainjertos a las condiciones ambientales donde se establece el cultivo, ya que la mayoría de ellos pertenecen a razas antillanas o a híbridos entre antillanos por guatemaltecos.

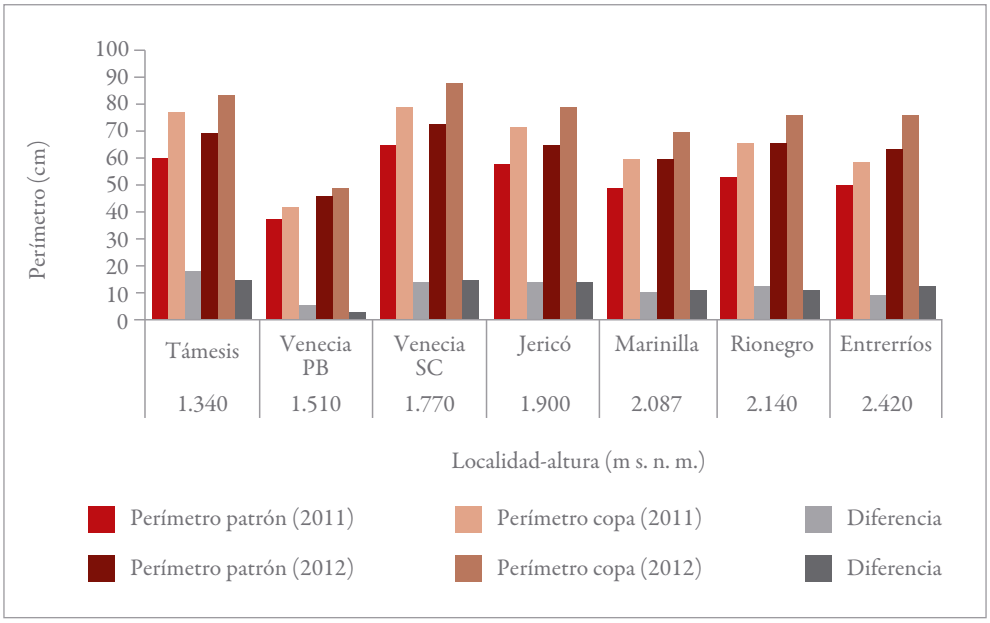


Figura 1.78. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Fuente: Elaboración propia

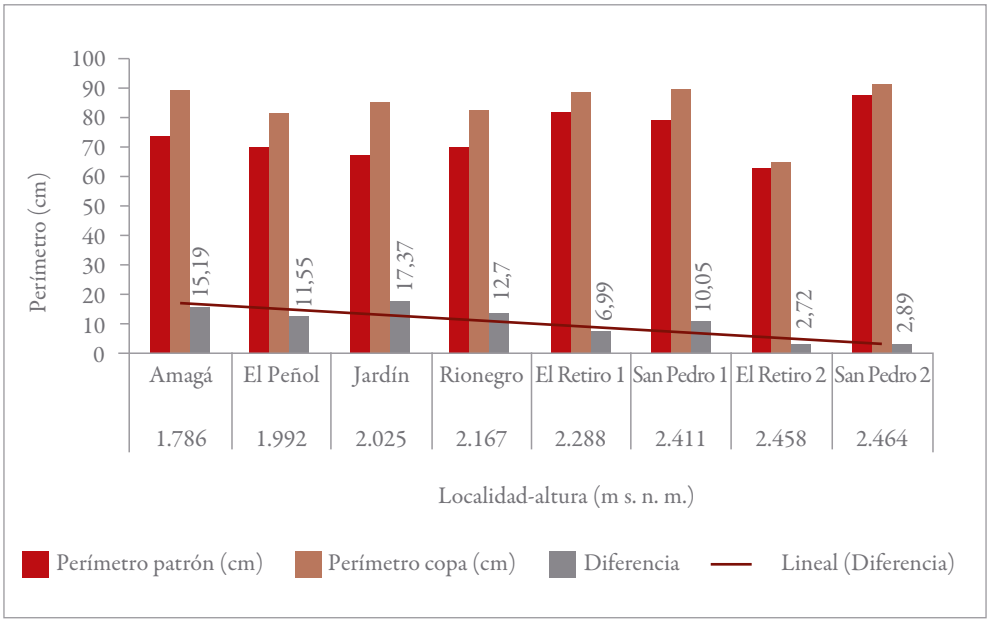


Figura 1.79. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia

En México, Barrientos-Villaseñor, Barrientos-Priego, Rodríguez-Pérez, Peña-Lomeli y Muñoz-Pérez (1999), utilizando aguacates criollos mexicanos como portainjertos para el cv. Hass, encontraron que el perímetro del portainjerto, ubicado 5 cm abajo de la unión con el interinjerto, presentó un comportamiento similar en magnitud y tendencia al cultivar, lo que evidenció una compatibilidad portainjerto/copa (figura 1.80). En California, donde se utilizan portainjertos clonales de cultivares de origen mexicano como Duke 7 y otros, esta incompatibilidad no se registra. Por lo anterior, en algunas zonas productoras de aguacate cv. Hass en Colombia se han venido realizando algunos ensayos comerciales, utilizando como patrón para el cv. Hass semillas de las variedades Hass, Reed y Fuerte, con el fin de obtener una mejor adaptación y afinidad entre el patrón y la copa, lo que sugiere una mejor respuesta productiva y una mayor vida útil de los árboles. Sin embargo, estos cultivos son jóvenes y aún no se conoce con certeza su respuesta en comparación con cultivos de aguacate del cv. Hass, establecidos sobre patrones antillanos o de origen desconocido (Bernal, 2012).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.80. Injertos de aguacte cv. Hass sobre patrones de origen mexicano sin signos de incompatibilidad patrón-copa. a. Crecimiento uniforme entre el patrón y la copa en árboles con ramificación baja; b. Crecimiento uniforme en árboles sin ramificación baja.

Las semillas para patrón deben provenir de frutas sanas, normales, de buen tamaño y recién cosechadas, en un estado óptimo de maduración. La viabilidad de esta semilla es de aproximadamente tres semanas; después de extraída esta, se conserva en un sitio fresco y germina más pronto si se le quita la cubierta protectora y el ápice.

Es necesario emplear patrones resistentes o tolerantes, tanto a las condiciones edáficas y climáticas donde se va a establecer el árbol, como a las enfermedades más limitantes y que más prevalezcan en la zona. La propagación vegetativa para el aguacate indispensablemente se hace para conservar las características originales de las variedades o cultivares comerciales. La propagación por semilla origina grupos de árboles desuniformes en producción, en vigor y calidad de la fruta. Casi siempre el árbol originado por semilla produce una fruta de inferior calidad. La forma ideal de reproducir los patrones de aguacate es clonalmente (estacas o a través de prácticas *in vitro*), ya que la reproducción de patrones por semilla sexual da como resultado su variabilidad genética, lo que tendrá diferentes respuestas sobre las copas injertadas.

Sin embargo, el medio más utilizado para propagar el aguacate vegetativamente es a través de la injertación sobre patrones seleccionados reproducidos por semilla. El uso de patrones en aguacate está muy extendido. El término "patrón" o "portainjertos" indica el árbol o planta sobre el que se injerta la variedad mejorada o seleccionada que se quiere cultivar, denominada "copa".

Con el patrón se persiguen varios objetivos: aislar la variedad del suelo para evitar las plagas o enfermedades que se encuentran en él; aprovechar el grado de resistencia del patrón a diferentes factores bióticos y abióticos limitantes del cultivo; usar el sistema radical del patrón y su capacidad de adaptación a diferentes climas y suelos, para inducir mejor desarrollo y mayor producción; y, finalmente, uniformizar las condiciones de producción y calidad de un huerto, al conservar la variedad original.

Desde hace varias décadas se han desarrollado estudios para la búsqueda de portainjertos, como estrategia para dar solución a problemas bióticos y abióticos que limitan la producción en varias regiones del mundo. Los atributos más importantes que deben tener los portainjertos del aguacate son la resistencia a *P. cinnamomi*, la tolerancia a la salinidad, la adaptabilidad a suelos calcáreos y que sean árboles de porte bajo, con producciones altamente sustentables (Whiley, 1992).

El primer programa de selección de portainjetros de aguacate se basó en la productividad y fue iniciado en la década de los cuarenta por F. F. Halma. Sin embargo, cuando en 1942 se descubrió que la *P. cinnamomi* era un patógeno devastador en las raíces de los aguacates californianos, Zentmyer enfocó la selección de portainjertos ya no en la productividad, sino en la búsqueda de la resistencia a la enfermedad (Ben-Ya'acov & Michelson, 1995). Así, hasta nuestros días, el desarrollo de los portainjertos resistentes a *P. cinnamoni* ha sido de interés principal en todos los países donde esta enfermedad es un problema importante. A pesar de esto, en la actualidad

no existen portainjertos disponibles que presenten una resistencia comercial completa (capaces de permanecer sanos sin tratamientos de fungicidas), aunque se ha alcanzado cierta tolerancia. El Duke 7, variedad descubierts por Zentmyer, es ampliamente utilizado en California y Sudáfrica como portainjerto clonal (Menge, 2001).

Portainjertos resistentes o tolerantes a *Phytophthora cinnamomi*

Como ya se ha adelantado, la resistencia o toleración de *P. cinnamomi* es uno de los aspectos más extensamente estudiados en aguacate; aunque se han encontrado especies o subespecies del género *Persea* tolerantes a este hongo del suelo, estas son incompatibles con el aguacate (Téliz, 2000). En particular, el Duke 7 es reconocido internacionalmente como un cultivar sobresaliente para ser utilizado como portainjertos (Téliz, 2000).

Los programas de mejoramiento en búsqueda de la tolerancia a esta enfermedad han contado con árboles de las diferentes razas hortícolas de aguacate. Así, de la raza mexicana se destacan los portainjertos Barr Duke (de un árbol de semilla de Duke 6), desarrollado en California; el D9, obtenido mediante irradiación de rayos gama de yemas de Duke, con características enanizantes; el Duke 6 y Duke 7, árboles de semilla obtenidos a partir de semillas de Duke, y el Thomas, recuperado de un escape del cultivar Fuerte, considerado uno de los patrones más resistentes a *P. cinnamomi* pero susceptible a *P. citricola* (Newett et al., 2007).

De la raza guatemalteca sobresale el Martin grande, obtenido a través de la hibridación de *P. americana* con *P. schiedeana*, y el portainjertos Velvick, obtenido en Australia a partir de árboles de semilla (Newett et al., 2007).

Portainjertos resistentes o tolerantes a las enfermedades conocidas como chancro (*Dothiorella* sp.) y marchitez (*Verticillium* sp.)

Se ha encontrado que los patrones provenientes de la raza mexicana son más tolerantes a estas enfermedades (Téliz, 2000; Halma, Zentmyer, & Wilhelm, 1954; Zentmyer, Paulus, Gustafson, Wallace, & Burns, 1965).

Portainjertos tolerantes al agua de riego salina

La raza antillana es más tolerante al riego con agua salina que la mexicana. Los cultivares de las razas antillana y guatemalteca se caracterizan por menor transporte de cloro en la parte aérea, mientras que la mexicana sí los transporta, pero sus tejidos

no resisten. De los trabajos de mejoramiento se han seleccionado los siguientes cultivares resistentes a la salinidad: de la raza mexicana, el GA13, y de la raza antillana, el Maoz y el Fuchs (Téliz, 2000).

Portainjertos tolerantes a sequía

El orden en la exigencia de agua de las tres razas de aguacate es de la siguiente manera: mexicana, guatemalteca y antillana. De un trabajo de selección a gran escala en el que estuvieron involucrados más de 60.000 árboles, con 100 diferentes portainjertos, se seleccionaron 10 portainjertos con buenas perspectivas, de los que se ha liberado el VC 51 de la raza antillana (Téliz, 2000).

Portainjertos tolerantes a suelos calcáreos

Se ha encontrado que la raza guatemalteca es la más susceptible a la clorosis producida por el efecto de suelos calcáreos. En la década de los sesenta, Israel inició un proceso en búsqueda de materiales tolerantes o resistentes a la clorosis causada por el suelo calcáreo, y casi una década después se seleccionaron como portainjertos los materiales Znfin 67 y Maoz, de la raza antillana (Téliz, 2000; Ben-Ya´acov, 1970).

Otros portainjertos desarrollados en Israel son los siguientes: TSriFin 99, Degania 117 y Ashdot 17, antillanos de semillas que toleran salinidad y suelos calcáreos; VC 207 y VC 256, antillanos vegetativos que toleran salinidad y *Phytophthora*, y VC 15, mexicano que parcialmente tolera la salinidad (Newett et al., 2007).

Efecto del portainjertos sobre la reducción en la altura del árbol

Al respecto, se han realizado trabajos con el cultivar Colín V-33; este cultivar se ha caracterizado por su baja altura y por ser inductor de esta característica (Téliz, 2000; Barrientos-Prieto, López, & Sánchez, 1987).

Efecto del portainjertos sobre la productividad

En el mundo se han realizado trabajos a largo plazo, que implican el establecimiento de multitud de ensayos en los que se evalúan cientos de combinaciones, para encontrar la combinación ideal entre patrones y copas, y así obtener plantas más productivas. La combinación más adecuada entre portainjerto y copa es la utilización de ambos de la misma raza o zona climática, ya que de esta manera hay mayor compatibilidad y mayor expresión de las características de la copa, incluyendo aumento de la producción (Téliz, 2000; Roe & Morudo, 1999).

Efecto del portainjertos sobre la calidad del fruto

El patrón tiene la capacidad de traslocar diferentes niveles de nutrimentos, lo que influye sobre el peso, forma, composición y calidad del fruto (Téliz, 2000). En algunas evaluaciones se ha encontrado que cuando se utiliza como patrón el Duke 7, la fruta producida tiende a ser más redonda; cuando se usan cultivares de la raza guatemalteca e híbridos que la contengan, el contenido de grasa es mayor que si se usan de otras razas; se ha encontrado además que, cuando se utiliza como patrón el cultivar Topa topa, se obtienen frutos con menor contenido de grasa (Téliz, 2000; Köhne, 1992).

También se han buscado patrones que reduzcan el tiempo en el que el fruto alcanza la madurez; en Israel se ha observado que, cuando se usa como patrón el cultivar Ettinger, es más corto el tiempo de producción que cuando se emplea el cultivar Nabal (Téliz, 2000; Ben-Ya´acov & Michelson, 1995).

Portainjertos en Colombia

La selección de patrones en aguacate no es tan intensa como en otros frutales, debido a la dificultad técnica de efectuar la propagación asexual. De todas maneras, es posible hacer una cierta selección de patrones basándose en la existencia de las razas mexicana, guatemalteca y antillana. Cada una de estas razas posee características específicas que pueden servir para ciertas selecciones. Así, dependiendo de las características del medio ambiente, del lugar y del cultivo, se puede elegir el tipo de patrón que mejor sirve para superar los problemas específicos del sitio de siembra (Ríos-Castaño et al., 2005). Cuando se pregunta qué patrón de aguacate se debe usar, la respuesta es muy difícil, debido a que existe un numeroso grupo de patrones experimentales en los que se buscan características deseables como tolerancia a *P. cinnamomi*, el buen estado sanitario, la tolerancia a sales y el rendimiento, entre otros. La primera respuesta debe estar enfocada en la idea del uso de patrones clonales, porque para maximizar la cosecha se requieren árboles uniformes e idénticos (Brokaw, 1986).

En Colombia no se reportan patrones para el aguacate. A pesar de ello, se han identificado árboles nativos en zonas de alta pluviosidad, como es el caso de la costa Pacífica, Putumayo, Tolima y la Sierra Nevada de Santa Marta. Si bien es cierto que no se reportan como tolerantes a enfermedades radicales o a enfermedades del follaje, presentan alta productividad en condiciones no aptas para el cultivo, como la alta precipitación y suelos saturados. Entre las selecciones adelantadas para patronaje de

aguacate están las de Tumaco y Lula, como las más acertadas por su vigor, productividad, tolerancia a la alcalinidad, salinidad y relativa tolerancia para soportar largos períodos de suelos expuestos a la saturación de guasa lluvias; sin embargo, hasta no hacer en Colombia patrones seleccionados y clonados, difícilmente se podrá contar con producciones elevadas, uniformes y de calidad garantizada.

Ríos-Castaño et al. (2005) reportan algunos patrones para su uso en Colombia, entre los que se desatacan los antillanos La Torre, Tumaco, Villagorgona y Waldin; el mexicano Duke 7; el guatemalteco G-755, y el híbrido guatemalteco × antillano Lula. A continuación, se describen tres de origen colombiano y dos de la Florida, usados comercialmente en Colombia como patrón.

Tumaco

El Tumaco es un patrón para aguacate de porte alto, recolectado en Tumaco (Nariño, Colombia) en 1936. Posee buena producción, con dos cosechas por año y frutos de 285 g, de buena calidad y sabor, de color verde amarillo (figura 1.81). Posee un sistema radical amplio que le da una ventaja en suelos de mayor contenido de arcillas. En viveros sus semillas son grandes, lo que le brinda buen desarrollo y rápido crecimiento de plantas para patronaje, lográndose injertar entre 50 y 60 días con semillas pregerminadas. No presenta incompatibilidad con ninguna de las variedades comerciales, y es tolerante a salinidad y a alcalinidad (Ríos-Castaño et al., 2005).

Foto: Danilo Ríos Castaño

Figura 1.81. Cultivar antillano para patrón Tumaco.

La Torre

Esta variedad para patrón fue seleccionada por Danilo Ríos, en el corregimiento La Torre del municipio de Palmira (Valle del Cauca, Colombia), por su productividad y calidad de sus frutos. Presenta tolerancia a salinidad y a alcalinidad, con semillas grandes (figura 1.82) que permiten su injertación entre 50 y 60 días después de germinadas. El peso promedio de sus frutos es de 410 g y no presenta incompatibilidad con ninguna de las variedades comerciales (Ríos-Castaño et al., 2005).

Foto: Danilo Ríos Castaño

Figura 1.82. Cultivar antillano para patrón La Torre.

Villagorgona

Este árbol es proveniente de semilla del corregimiento Villagorgona, del Municipio de Candelaria (Valle del Cauca, Colombia). Como patrón, esta variedad ofrece la ventaja de poseer una semilla grande, para el manejo y desarrollo en vivero (figura 1.83). Los patrones de esta variedad se encuentran listos para la injertación entre los 50 y 60 días, con semillas pregerminadas. No presenta incompatibilidad con ninguna de las variedades comerciales. Sus frutos son en promedio de 400 g y presenta tolerancia a salinidad y a alcalinidad (Ríos-Castaño et al., 2005).

Foto: Danilo Ríos Castaño

Figura 1.83. Cultivar antillano para patrón Villagorgona.

Lula

El Lula es un patrón para aguacate, híbrido entre guatemalteco × antillano. Originado en Miami (Florida, EE. UU.) por el viverista George B. Cellon e introducido en 1912, se considera como uno de los más importantes cultivares en ese estado. El árbol sobresale por ser vigoroso, precoz y productivo (Calabrese, 1992), con tolerancia a salinidad y a alcalinidad, pero susceptible a inundaciones. Además, presenta frutos grandes (380,21 g), de color verde oscuro (figura 1.84), con un 62,86 % de pulpa y 12,44 % de grasa.

Foto: Danilo Ríos Castaño

Figura 1.84. Cultivar guatemalteco × antillano para patrón Lula.

Waldin

Esta variedad de aguacate para patrón es de origen Antillano. Originado en Homestead (Florida, EE. UU.) por B. A. Waldin e introducido en 1917, tiene un árbol que sobresale por ser muy precoz y productivo, con tolerancia a salinidad y a alcalinidad, pero susceptible a inundaciones y no se adapta bien a suelos sueltos y arenosos; además, presenta deficiencias de zinc, hierro y manganeso (Newett et al., 2007). Produce frutos grandes (376,40 g), de color verde claro (figura 1.85), con un 67,77 % de pulpa y apenas un 6,47 % de grasa. Sus frutos son poco aceptados comercialmente por poseer una semilla grande (25,38 %) y por tener susceptibilidad a Cercospora (Ríos-Castaño et al., 2005).

Foto: Danilo Ríos Castaño

Figura 1.85. Cultivar antillano para patrón Waldin.

Injertación

La injertación es una práctica de propagación vegetativa de plantas, que consiste en unir una porción de tejido procedente de una planta (la variedad o injerto propiamente dicho), sobre otra ya establecida (patrón o portainjerto), de tal manera que la combinación de ambos crezcan como un solo organismo. Este método se usa, principalmente, para multiplicar variedades de valor comercial, en terrenos o condiciones que les son desfavorables, aprovechando la mayor resistencia o rusticidad del patrón utilizado, o para asegurarse que las particularidades productivas de un individuo se mantengan intactas, debido a la segregación genética que representa la reproducción sexual (Rojas-González, García-Lozano, & Alarcón-Rojas, 2004).

La injertación solo es viable entre especies estrechamente relacionadas, debido a que, de otro modo, los tejidos resultan incompatibles y la conexión vascular, necesaria para la supervivencia de la variedad, no se realiza. Normalmente, el límite está dado por la pertenencia a un mismo género, aunque existen excepciones. La resistencia a enfermedades del suelo que limitarían el normal desarrollo de las variedades es una de las finalidades principales en las especies de interés comercial, del uso de este tipo de propagación vegetativa. De esta manera, el ejemplar de alta calidad que podría resultar afectado, no entra realmente en contacto con los patógenos, mientras que el patrón que es resistente cumple la función de estrato intermedio aislante. Así mismo, los injertos se pueden utilizar para plantar variedades con requerimientos relativamente estrictos en materia de nutrición sobre patrones más rústicos (Avilán et al., 1989; Cotanceu, 1964; Hartman & Kester, 1961; Rojas-González, García-Lozano, & Alarcón-Rojas, 2004).

La propagación por injerto permite, además, la reproducción de híbridos con características deseables, ya que sexualmente la heterogenidad de la progenie obtenida haría perder las propiedades superiores de estos. De otra parte, con esta técnica se acelera la madurez repoductiva de las plantas obtenidas, es decir, se induce a la precocidad, lo que implica el inicio de la producción más temprano que plantaciones por semilla. En algunos casos, ciertos patrones inducen la enanificación de los árboles obtenidos lo que facilita las cosechas. También permiten tener mayor cantidad de plantas en una superficie dada sin que la reducción del rendimiento de cada una de ellas sea proporcional a su reducción de tamaño. Así se pueden alcanzar mayores producciones, sobre todo, cuando el enanismo se potencia con la precocidad (Hartman & Kester, 1961; Rojas-González, García-Lozano, & Alarcón-Rojas, 2004).

Selección extracción y preparación de las yemas para injertar

La selección de un buen material de propagación es una de las tareas más importantes para el propagador. Las yemas adecuadas pueden encontrase en crecimientos terminales maduros, quiescentes. Los crecimientos terminales más valorados son aquellos que portan yemas latentes y vigorosas, de color verde oscuro. Las estacas con yemas muy grandes pueden ser florales y, por lo tanto, no producir crecimiento vegetativo. Otras yemas que deben evitarse son las yemas delgadas y alargadas, con hojas pequeñas en sus extremos, pues no están maduras (Whitsell et al., 1989). Una vez seleccionadas las variedades a propagar y el patrón utilizado, se procede a tomar las yemas de los árboles madres, que deben reunir las siguientes condiciones: alto rendimiento (se debe llevar un registro de producción de los árboles en el huerto

madre), buena calidad de la fruta (color, tamaño, contenido de grasa, entre otros) y libre de plagas y enfermedades limitantes. La mejor yema para el injerto es la del brote terminal de las ramas. El brote debe estar bien desarrollado y maduro, justo en el momento en que la yema apical esta próxima a iniciar la brotación vegetativa.

Al seleccionar las yemas para injertar, es mejor cortar brotes de 20 a 25 cm de largo y 5 a 6 mm de diámetro, con al menos una yema cerca al extremo terminal, sin yemas axilares en la zona basal, para no causar irregularidades en la unión del cámbium durante el proceso de injertación (Platt & Frolich, 1965).

Las estacas seleccionadas deben usarse en corto tiempo para evitar su deshidratación; una forma de reducir la pérdida de agua de las estacas seleccionadas consiste en remover sus hojas a 6 mm de distancia de las yemas, e inmediatamente ser envueltas en bolsas de polietileno u otro medio apropiado, con aserrín o un paño húmedo, en las que pueden almacenarse hasta por una semana, sin pérdida importantes de su capacidad de prendimiento (Platt & Frolich, 1965); incluso, sin refrigerar y enceradas, pueden durar entre una a dos semanas (Avilán et al., 1989). Las estacas deben ser seleccionadas de árboles que no estén sometidos a estrés hídrico y es mejor seleccionarlas temprano en la mañana para evitar el calor y el viento que pueden causar deshidratación en el árbol, al cortar el material (Bender & Whiley, 2007).

Tipos de injerto

Existen varios tipos de injerto que, de acuerdo con su forma, reciben diferentes nombres: púa, escudete, parche, hendidura, lengüeta, corona, enchapado, lateral, cuña, terminal, bisel, doble bisel y aproximación, entre otros. A continuación se describen los más comunes y de mejores resultados en aguacate.

Injerto de púa terminal

El injerto más usado por la facilidad de operación y el alto porcentaje de prendimiento es el de yema terminal, también llamado “punta de rama” o “púa terminal”, como en el mango (Ríos-Castaño et al., 1977). Este método es rápido y la tasa de éxito es alta, ya que normalmente ambos lados de la púa coinciden con el cámbium del porta-injertos de diámetro similar (Whitsell et al., 1989).

Las yemas de la variedad para injertar se toman de las puntas de las ramas en pleno crecimiento; no deben estar brotadas y deben tener las hojas maduras y firmes al

tacto. Además, se puede utilizar la parte principal de su punta (Ríos-Castaño et al., 1977). En el momento de proceder al injerto, se deben alistar los patrones, quitando las hojas del tallo cerca del punto donde se va a injertar y eliminando algunas ramas laterales si ya el arbolito está desarrollado (Ríos-Castaño et al., 1977).

El patrón se despunta a unos 15 a 20 centímetros de altura, y se le hace un corte en vertical de 6 a7 cm, mientras que a la ramita del injerto se le hace un corte en doble bisel o púa, de modo que los dos cortes casen perfectamente entre sí. Las superficies así obtenidas por los cortes se ponen en contacto y se atan con cinta de polietileno (Ríos-Castaño et al., 1977) (figura 1.86).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.86. Injerto de púa terminal. a. Detalle de la púa cortada en doble bisel; b. Corte transversal en el patrón o portainjertos; c. Postura de la púa en el patrón; d. Injerto protegido con bolsa de polietileno; e. Injerto "prendido".

La atadura se hace de abajo hacia arriba, envolviendo la cinta en un mismo sentido, templando a la vez y procurando que la punta inferior de la cinta quede pisada en la primera vuelta; al terminar, se introduce la punta superior por debajo de la última vuelta y se aprieta. Los injertos pueden ser cubiertos con una bolsa plástica transparente y perforada o de papel parafinado, que facilita la entrada de los rayos solares y evita la deshidratación de la yema injertada. Esta bolsa debe retirarse una vez se observen los primeros brotes en la yema.

A los injertos debe proveérseles sombra del 40 % al 50 %, mínimo durante dos o tres semanas después de efectuados; posteriormente, se les retira gradualmente el sombrío, lo mismo que la cinta de polietileno, cuando se observe que los injertos han pegado bien y estén adquiriendo un desarrollo normal (Ríos-Castaño et al., 1977).

Entre 60 y 90 días después de efectuado el injerto, dependiendo de las condiciones climáticas, los arbolitos están listos para ser llevados al sitio definitivo. Si se dispone de bolsas de polietileno de buen tamaño, de unos 22 cm de diámetro o boca por 44 centímetros de altura, no es necesario un vivero para este material injertado, pues en estas bolsas adquieren un buen desarrollo, si se les prestan los cuidados necesarios y se manejan en forma adecuada. Existen otros tipos de injertos usados en aguacate (de púa lateral o cuña, de bisel, de enchapado, de yema etc.), pero requieren mayor pericia del operario y tienen menor porcentaje de prendimiento que el anteriormente descrito, ya que de esta forma se tiene mejor área de contacto y una mejor cicatrización (Ríos-Castaño et al., 1977).

A los arbolitos injertados se les pueden hacer ligeras aplicaciones de un abono rico en nitrógeno y fósforo. Se recomienda regar tres veces por semana en épocas secas, mientras que en épocas húmedas se deben hacer aspersiones con fungicidas a base de cobre, en la base del tallo, para controlar enfermedades (Ríos-Castaño et al., 1977).

Injerto de bisel

Este injerto se hace cortando el tallo del patrón a 20 cm de altura, haciendo un corte en bisel, de 6 a 7 cm de longitud. Se toma una rama de la variedad que se desea propagar, que tenga de 10 a 15 cm de largo, y que contenga varias yemas. El extremo donde se hizo el corte de la rama del árbol se corta en forma de bisel, y se coloca en contacto con el corte hecho en el portainjertos, procurando que la madera coincida en ambos (figura 1.87); después, se debe envolver y ajustar con cinta plástica, de 12 cm de largo y 0,5 cm de ancho, o cubrir con cera la zona del injerto (Álvarez de la Peña, 1979; Avilán et al., 1989). Posterior a la injertación, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el injerto de púa terminal.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.87. Detalle de un injerto en bisel. a. Corte en bisel tanto del patrón como de la copa; b. Vista frontal de los cortes; c. Empalme de ambas partes para el injerto.

Injerto de púa lateral o cuña

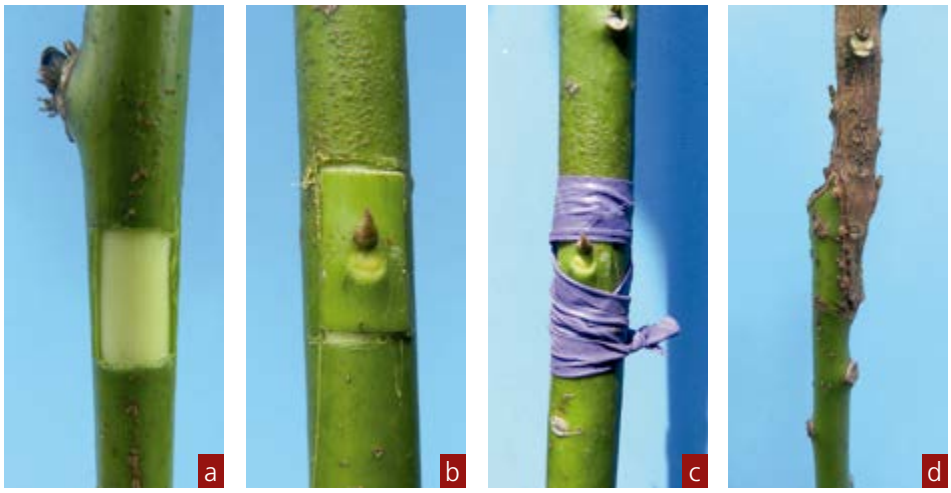
Por el sistema de injerto de púa lateral o cuña se puede injertar una púa, entre la corteza y la madera, en un lado del patrón, sin previa decapitación de este. Para ello, se hace un corte de 5 cm en forma de lengüeta, sobre el patrón; la yema a injertar se corta en forma de púa. Una vez cortada la yema, se debe insertar en el corte hecho en el patrón, a modo de cuña, procurando que coincidan los cortes (figura 1.88); luego se cubre el sitio con una cinta plástica, de 12 cm de largo y 0,5 cm de ancho, que se enrolla alrededor del sitio, ejerciendo una leve presión. Después de realizado el injerto, se deja cubierto por 20 días, al cabo de los cuales se destapa para verificar si prendió. Si esto sucede, la rama que brota se deja crecer un poco, después de lo cual se corta el patrón de 2 a 5 cm por encima de este (Holmquist, 1965; Ibar, 1979; Avilán et al., 1989).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.88. Injerto de púa lateral o cuña. a. Corte en el patrón a modo de cuña; b. Inserción y amarre de la yema en el corte; c. Cicatrización del injerto; d. Corte del patrón.

Injerto de enchapado

Consiste en realizar un corte de 5 a 6 cm en forma de escudo en el patrón. De la variedad que se desea propagar se selecciona una rama terminal que contenga varias yemas, de las que se extrae una del mismo tamaño y forma de la que se sacó del patrón; esta se coloca sobre el patrón, buscando que coincidan el corte y la yema y, a continuación, se amarran con cinta (Holmquist, 1965; Avilán et al., 1989) (figura 1.89).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.89. Injerto de enchapado en aguacate. a. Corte del patrón en forma de escudo; b. Inserción (enchapado) de la yema de la variedad deseada sobre el patrón; c. Amarre del injerto; d. Cicatrización de la zona de injertación.

Injerto de escudete

Este método es el más antiguo de propagación asexual utilizado en los viveros de aguacate. Aún se usa cuando las estacas son escasas o muy caras, pero su utilización se limita a las épocas en que la corteza puede ser removida del portainjertos. La tasa de éxito no es muy alta, como la obtenida con el injerto de púa terminal (Bender & Whiley, 2007).

Este método consiste en tomar una yema con una pequeña porción de la madera subyacente de la variedad a injertar, mediante un solo corte realizado con un cuchillo filoso, comenzando con un corte a 10 mm por debajo de la yema y terminando a la misma distancia sobre ella. El corte es realizado dejando suficiente madera subyacente como para que la yema se mantenga firme (Whitsell et al., 1989).

El patrón a ser injertado debe tener un diámetro de al menos 12 mm (más o menos el grosor de un lápiz). Se hace un corte vertical de aproximadamente 12 mm a lo largo de la corteza y otro corte horizontal en la parte superior del primero, de modo que se forme una T; luego, la yema con forma de escudete es insertada bajo la lengüeta de los dos lados del corte vertical, deslizándola desde la parte superior. La yema es amarrada con una tira de polietileno o con una cinta de injertación de polivinil, dejando la yema expuesta (figura 1.90). La yema puede ser forzada mediante la poda del portainjertos justo por encima de esta, ya sea inmediatamente al momento del injerto o dos semanas después (Bender & Whiley, 2007).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.90. Injerto de escudete. a. Corte del patrón en forma de T invertida; b. Inserción de la yema de la variedad en forma de escudete sobre los cortes laterales del patrón; c. Amarre del injerto con cinta flexible; d. Brotación de la variedad deseada.

Manejo de los árboles injertados en el vivero

En climas cálidos o en épocas de verano, las plantas jóvenes injertadas pueden sufrir deshidratación antes de que se produzca la unión fisiológica entre la estaca y el patrón. Las plantas producidas en invernaderos pueden ser colocadas en el exterior, para "endurecerlas", lo que requiere utilizar una malla de polisombra, con una retención entre 40 a 50 %, una vez comience el crecimiento vigoroso de los injertos. Dos semanas después, las plantas pueden ser expuestas a la radiación directa del sol, a modo de aclimatación, por dos semanas más, período después del cual las plantas estarán listas para ser llevadas al campo para su siembra o comercialización.

Injertación directa en campo

Esta práctica de injertación, que se ha venido difundiendo en los últimos años por parte de algunos productores de aguacate, consiste en la siembra directa de los patrones en el campo, para luego ser injertados con la variedad deseada, utilizando los diferentes tipos de injertación anteriormente descritos, siendo el más común el de púa terminal.

Una vez realizado el injerto, este debe protegerse con una bolsa de papel parafinado, para evitar la deshidratación de la yema y los daños por la radiación directa del sol. Esta práctica presenta tanto ventajas como desventajas. Entre las ventajas, está el hecho de que el patrón que logra crecer satisfactoriamente en el sitio definitivo de siembra garantiza su supervivencia e indica que está adaptado a las condiciones del lugar. Además, una vez que la copa logra prender, el desarrollo de estos árboles puede ser superior a los obtenidos en el vivero, por estar ya aclimatados; sin embargo, existen algunas desventajas que hacen que esta práctica no sea la más utilizada, entre las que se destaca el bajo prendimiento en campo, lo que ocasiona gran pérdida de tiempo y obviamente de dinero.

Injerto de renovación de copa

Las ramas principales de los aguacates pueden ser injertadas en el campo cuando se necesita un polinizante o cuando es necesario cambiar un cultivar para atender especificaciones del mercado; también puede realizarse en árboles viejos, con daños físicos o patológicos que pueden renovarse total o parcialmente. Además, se puede pensar en cambiar la variedad mediante la eliminación de la copa y posterior injertación con otra variedad. En algunos casos, es común introducir cultivares pertenecientes a grupos florales opuestos, que permiten la polinización cruzada, para aumentar la producción del cultivar principal, mediante el injerto de una rama o de árboles seleccionados. Árboles en buen estado de desarrollo son fáciles de injertar, creciendo más rápido que árboles de vivero, comenzando a producir frutos a los 2 o 3 años de injertados (Bender & Whiley, 2007).

Para realizar el injerto de renovación de copa es necesario cortar la copa del árbol hasta dejar un tocón, por debajo del comienzo de las ramas principales o de aproximadamente 75 cm por encima de la superficie del suelo, dependiendo del caso (figura 1.91); posteriormente, se realiza el injerto, que puede ser efectuado de diferentes maneras.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.91. Detalle de un árbol para renovación o reconversión de copa.

Injerto de corona o corteza

El injerto de corona o corteza es un método en el que estacas puntiagudas son insertadas por debajo de la corteza, en la superficie del cámbium del tronco cortado. Antes de comenzar el procedimiento, la corteza debe despegarse fácilmente del tronco, ya que esto indica que el cámbium está en crecimiento activo. Las púas aptas para este tipo de injerto deben tener entre 1 y 2 cm de diámetro y de 15 a 20 cm de largo. La parte de la púa que se proyecta sobre el tronco cortado debe tener entre dos y tres yemas, y sobresalir unos 8 cm sobre el tronco. En troncos grandes, normalmente se insertan cuatro púas, mientras que en troncos de menor tamaño (15 cm de diámetro) se insertan tres púas, y en los de menos de 10 cm, solamente dos púas. Las púas son fuertemente atadas al tronco cortado con una cinta de polivinil de 5,0 cm de ancho. El amarre correcto se realiza comenzando por la parte superior del tronco y continúa bajando en espiral, para terminar con un nudo, justo debajo de los cortes verticales. La superficie de corte del tallo debe ir sellada con una emulsión pura de asfalto o pintura acrílica blanca, para impedir la pérdida de humedad o la entrada de patógenos que puedan causar su pudrición (Bender & Whiley, 2007) (figura 1.92).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.92. 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.

Injerto de chupones

Para el injerto de chupones, se deben rebajar los árboles a un tocón de 45 a 60 cm. A este tocón se le estimula para el crecimiento de chupones desde las yemas quiescentes en la base de los árboles. Cuando crecen los brotes, debe eliminarse parte de ellos, dejando de tres a cinco, bien ubicados y de mejor desarrollo, para posteriormente proceder a injertarlos (figura 1.93). El método más común de injertación de estos brotes es el de púa terminal. Una vez hay prendimiento y los injertos han crecido, se eliminan los brotes indeseados, así como los injertos no prendidos.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.93. Injerto de renovación de copa, mediante el uso de chupones. a. Chupones aptos para su injertación; b. Injertos realizados.

Propagación *in vitro*

Este sistema consiste en propagar plantas vegetativamente, utilizando diferentes partes de ella, bien sea tejido, órgano o célula, para cultivarlo en un medio nutritivo y bajo condiciones asépticas, con el fin de obtener plantas idénticas en gran cantidad.

En general, para la mayoría de las especies frutales se utiliza el llamado "meristemo" o "punto de crecimiento apical", como parte de la planta para propagar. Los meristemos se obtienen de las partes apicales de crecimiento y se siembran en un medio preestablecido y bajo condiciones asépticas. El enfoque de la biotecnología es útil para desarrollar portainjertos de aguacate por las siguientes razones (Pliego, Witjaksono, Barceló-Muñoz, Litz, & Lavi, 2007):

- Las selecciones de portainjertos podrán ser propagadas a menores precios.
- La identificación de variantes somaclonales con una mayor tolerancia a la pudrición de raíz por *Phytophthora* (Van den Bulk, 1991) podría ser posible, en especial porque la resistencia a *P. cinnamomi* a nivel celular parece ser similar a la que se da a nivel de planta (Philips, Weste, & Hinch, 1991).
- Puede explorarse la posibilidad de lograr una transformación con genes de proteínas relacionada con la patogénesis, tales como la 1, beta-glucosa y la chitinasa (Pliego et al., 2007).

Son diversos los estudios de propagación *in vitro* realizados en aguacate, entre los que se destacan la morfogénesis *in vitro*, el cultivo de brotes (jóvenes y adultos) (figura 1.94), el cultivo de embriones, el cultivo de callos, la embriogénesis somática, el aislamiento de protoplastos, entre otros; muchos de ellos son producto, además, de transformación genética, mutagénesis, hibridación somática o aclimatación, con resultados aún no concluyentes (Pliego et al., 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.94. Propagación *in vitro* de aguacate, mediante microestacas.

Esta técnica de propagación es ideal para la reproducción clonal de patrones, sobre los que posteriormente se injertan las variedades mejoradas; además, ha mostrado ventajas en comparación con los sistemas tradicionales de propagación vegetativa, permitiendo una producción clonal masiva y rápida de plantas seleccionadas, bajo condiciones controladas, en un espacio o infraestructura reducida y con poca mano de obra; además, esta técnica permite un mayor control sobre la sanidad del material, así como obtener plantas libres de virus, y se facilita el transporte del material *in vitro* para la siembra (Pliego et al., 2007).

Los procedimientos *in vitro* para el aguacate son versátiles. Las plantas pueden ser regeneradas mediante ramificación axilar y embriogénesis somática. La micropropagación del tejido juvenil seguramente será de utilidad para propagar selecciones patentadas de portainjertos, mientras que la micropropagación de plantas adultas, podría utilizarse en la reproducción de portainjertos a un menor costo. La embriogénesis somática en el aguacate facilita la manipulación genética de las células somáticas, tales como la mutación *in vitro* y la selección, la transformación genética y la hibridación somática, mediante la generación de una nueva variabilidad no

disponible mediante el mejoramiento convencional. Sin embargo, las frecuencias de regeneración, particularmente de los embriones somáticos, son muy bajas, por lo que es necesario mejorarlas (Pliego et al., 2007).

Como en otras muchas especies de frutales, se ha trabajado activamente en la búsqueda de técnicas de cultivo de tejidos, aunque por el momento no existe ninguna técnica segura y divulgable que haya ido más allá de trabajos experimentales. No obstante, los estudios prosiguen bien a partir de embriones inmaduros o a partir de yemas o tallos etiolados, previamente rejuvenecidos por injerto. Se debe destacar la utilidad de la inoculación de hongos micorrízicos para estimular el crecimiento de las plantas propagadas por cultivo de tejidos (Galán-Saúco, 1990).

En Colombia, Mejía et al. (2009) injertaron yemas de árboles antillanos, seleccionados por presentar "escape" a *Phytophthora* spp., sobre patrones antillanos, para la producción de plantas madre que surtieran de yemas el proceso de clonación. Patrones clonales fueron producidos utilizando yemas aisladas de estas, mediante la técnica de etiolación-doble injertación (EDI). Eficiencias de prendimiento, etiolación y enraizamiento de yemas de 83, 91 y 90 %, respectivamente, fueron obtenidas.

Propagación clonal de plantas etioladas

Esta técnica de propagación vegetativa fue desarrollada con el propósito de obtener patrones clonales de aguacate con resistencia o tolerancia a enfermedades o a factores abióticos (sequía, salinidad, alcalinidad, entre otros), utilizando para ello una doble injertación. La etiolación de brotes (crecidos en ausencia de luz) para estimular la producción de raíces fue descrita ya en 1937, y ha probado ser una técnica útil para especies de difícil enraizamiento (Gardner, 1937; Knight & Witt, 1937; Hartman & Kester, 1961). Frolich (1951) fue el primero en referirse al éxito de la etiolación para el enraizamiento de estacas fisiológicamente maduras de la raza guatemalteca. El equipo del vivero Brokaw, en California, modificó y mejoró la técnica de clonación creada por Frolich y Platt (1972), gracias a lo cual obtuvieron en 1977 una patente para utilizarla en los Estados Unidos. Posteriormente, otros viveros adoptaron el método "Brokaw" bajo un acuerdo de licencia, hasta que la patente expiró en 1994 (Bender & Whiley, 2007).

Este tipo de propagación se puede realizar en el ámbito comercial, adoptando los siguientes o similares pasos basados en la técnica de Frolich y Platt (1972), modificada por Fernández-Galván y Galán-Saúco (1986).

Injerto en planta nodriza

En este método se siembra una semilla nodriza de aguacate a un tercio de distancia del fondo de una bolsa de polietileno, de 30 cm de largo por 7 de ancho, doblada por la mitad, hacia afuera. Cuando las plantas alcanzan un diámetro de tallo de 7 mm, se injertan los cultivares a enraizar, con una púa del portainjertos deseado, con dos yemas, a 5-6 cm de los cotiledones (Galán-Saúco, 1990) (figura 1.95).

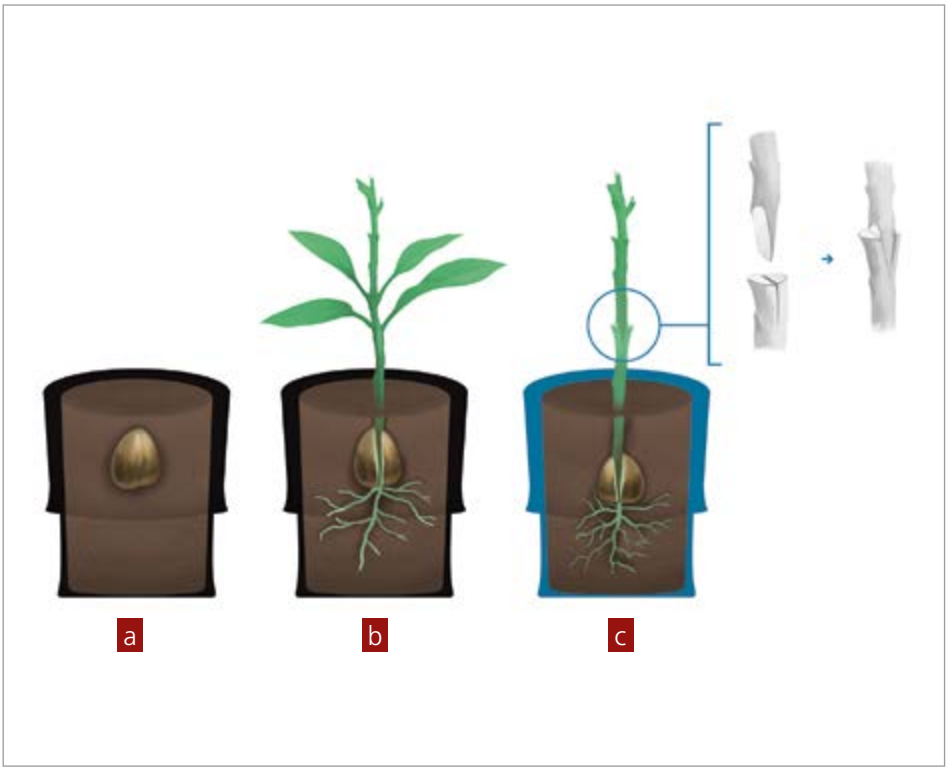


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.95. Injerto en planta nodriza. a. Siembra de la semilla de la planta nodriza en una bolsa a medio llenar; b. Planta nodriza lista para ser injertada; c. Injerto de la planta nodriza con el portainjerto deseado (p. ej., Duke 7).

Etiolación

Una vez prendido el injerto y cuando las yemas empiezan a brotar, se llevan las plantas a una cámara oscura mantenida a una temperatura entre 18 y 25 °C, donde permanecen hasta que desarrollan brotes etiolados, de unos 30 cm de longitud, con diámetro en la base algo inferior a 5 mm (Galán-Saúco, 1990).

Anillado y reembolsado

A continuación, se sacan las plantas de la cámara, seleccionando el brote más vigoroso y eliminando, en su caso, los restantes. Se coloca entonces un anillo de polipropileno rígido de 15 mm de largo, 5 mm de diámetro inferior y 1,5 mm de grosor de pared, seguido de una arandela metálica de 7 mm de diámetro interior y 14 mm de diámetro exterior. Si el grosor del brote etiolado fuese superior a 5 mm, los anillos deben ser de mayor diámetro (Galán-Saúco, 1990). En este momento, la bolsa es extendida a su tamaño completo y rellenada con un sustrato húmedo. El anillo, entonces, induce el enraizamiento en el patrón deseado y al mismo tiempo, por causa del estrangulamiento, mata la planta nodriza (Bender & Whiley, 2007). A partir de este momento, las plantas se dejan crecer normalmente, proceso que tarda un año, dejando a la estaca enraizada como un nuevo portainjertos clonal (Galán-Saúco, 1990) (Figura 1.96).

Otra modificación de esta técnica es la utilizada en Sudáfrica, en donde, para compensar los altos costos del vivero y la necesidad de obtener clones a bajo precio, para el uso en plantaciones de alta densidad (Ernst, 1999), se producen dos microclones, permitiendo el crecimiento durante la etiolación, que posteriormente son tratados como plantas individuales, colocando la base etiolada de cada brote dentro de un microcontenedor de polietileno de 55 mL de capacidad, los que se rellenan con un sustrato enraizante. Con este sistema se ha obtenido mayor producción de plantas que con el sistema original de semilla nodriza (Bender & Whiley, 2007).

El proceso completo de propagación desde la semilla nodriza hasta los microclones aclimatados tarda entre 8 y 12 meses, y otros 8 meses para lograr un árbol para ser plantado en el campo. La semilla nodriza puede ser reutilizada para producir uno o dos clones más, siempre que esta tenga buen vigor (Ernst, 1999). Este sistema posee ventajas sobre el método “Brokaw”, ya que se pueden producir varios clones a partir de una planta nodriza y existe una completa separación de los dos sistemas radicales del microclón y de la planta nodriza, de modo que el enraizamiento del microclón puede ser establecido definitivamente (figura 1.97). Además, los pequeños microclones pueden ser transportados a bajo costo hacia otros viveros (dentro y fuera del país) donde pueden continuar su crecimiento hasta la venta (Enrst, 1999).

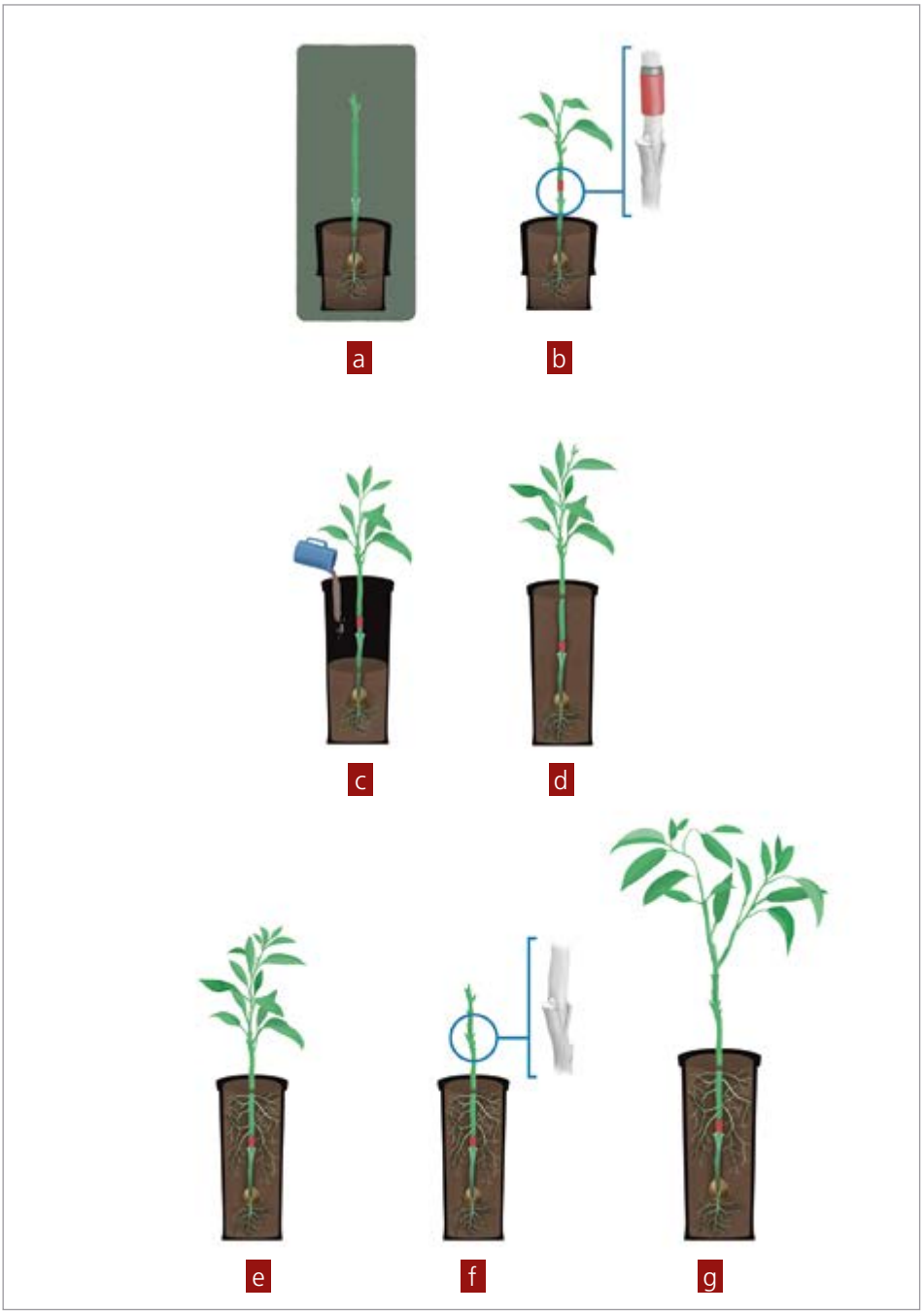


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.96. Propagación clonal de plantas etioladas. a. Planta de aguacate con brote etiolado; b. Anillamiento del brote etiolado; c. Bolsa extendida a su tamaño completo y rellenada con un sustrato húmedo; d. Recubrimiento de la base del brote etiolado; e. Emergencia de las raíces adventicias del brote etiolado; f. Injerto de la variedad a ser propagada; g. Brotaciones del nuevo injerto y planta clonal en recipiente lista para trasplante en campo.

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 1.97. Sistema de propagación por microclones utilizado en Sudáfrica (Ernst, 1999). a. Siembra de la semilla madre o nodriza en bolsa plástica con sustrato desinfectado; b. Planta lista para ser injertada; c. Injerto del cultivar que se desea aprovechar (p. ej., portainjerto tolerante); d. Etilolación y desarrollo de brotes en la oscuridad; e. Brotes envueltos en la base por mini-contenedores con sustrato (suelo) desinfectado y con la aplicación de hormonas de enraizamiento; f. Enraizamiento y elongación de los brotes etiolados; g. Injerto de la variedad comercial; h. Separación de los microclones de la planta madre; i. Después de la separación, la plántula nodriza injertada originalmente regresa a la etapa d para repetir el proceso; j. Microclones listos para la comercialización sembrados en bandejas; k. Microclón trasplantado en bolsa plástica; l. Planta lista para el trasplante en campo.

Establecimiento del cultivo

La máxima expresión económicamente aprovechable de un recurso vegetal perenne, como el aguacate, depende en gran medida de las condiciones edafoclimáticas, pero es influida definitivamente por las prácticas que se realicen a partir de su establecimiento en campo. Cualquier error que se cometa en las partes iniciales de la instalación del huerto es muy difícil de corregir porteriormente. En la instalación de un huerto se deben considerar la localización de la plantación, la preparación del terreno, la elección del sistema de siembra, la densidad de plantación, el trazado, el hoyado y el trasplante (Calderón, 1983; Kramer, Achuricht, & Friedrich, 1982; Escobar & Sánchez, s. f.).

Selección del lote

La elección del lugar donde se piensa establecer el cultivo de aguacate es de fundamental importancia, ya que al ser una especie perenne, con una vida útil superior a 10 años, una buena ubicación es la base para un adecuado manejo, mayor productividad y vida útil.

El lote debe estar ubicado cerca a vías carreteables, que faciliten el transporte de insumos, materiales y de la fruta, y que permitan la coordinación y supervisión de las prácticas agrícolas (figura 1.98). Además, debe contar con una adecuada disponibilidad en calidad y cantidad de agua durante todo el año para la aplicación de agroquímicos (insecticidas, fungicidas y fertilizantes foliares).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.98. Lote apto para la siembra de aguacate.

Para elegir un lote donde se piensa establecer un cultivo de aguacate, se deben descartar zonas que puedan afectar cuencas y microcuencas hidrográficas, así como que estén cubiertas por bosques protectores conservadores o arreglos vegetales de flora en vía de extinción. La topografía más apropiada para el establecimiento del aguacate es la de tipo ondulada, con pendientes inferiores al 30 %, ya los suelos con pendientes superiores dificultan la realización de las prácticas de manejo agronómico. La principal característica física que debe tener el suelo para el establecimiento de un huerto de aguacate es que este no debe tener más del 28 % de contenido de arcillas; suelos con contenidos mayores bajo ninguna circunstancia deben ser sembrados con aguacate.

Preparación del suelo

La adecuada preparación del suelo antes del establecimiento del cultivo es una práctica importante para alcanzar un buen desarrollo. Cuando se presentan subsuelos pesados o capas endurecidas, denominados "hardpan", es necesario romperlas o subsolarlas para facilitar el drenaje y la aireación del suelo. No se debe sembrar si no hay un buen drenaje interno y externo.

Labranza mínima

La siembra con labranza mínima o reducida se ha generalizado en algunas zonas productoras. Para la preparación del lote, se debe cortar la vegetación existente a ras del suelo, guadañar o sobrepastorear; después, se debe esperar a que esta rebrote para aplicar un herbicida en cada sitio de siembra, preferiblemente sistémico, en el caso de que el lote posea una especie gramínea agresiva. A continuación, se realiza el trazado del lote con azadón u otra herramienta apropiada; se debe remover la vegetación y picar el suelo en el área circundante a un metro de radio, a partir del centro del sitio de siembra.

Aunque la utilización de la labranza mínima es una práctica recomendable para la conservación del suelo, en muchas zonas del país se ha demostrado que la implementación de un subsolado y posterior rastrillado del suelo favorece el desarrollo y crecimiento de los árboles de aguacate en el campo.

Diseño del huerto

El principio fundamental de los sistemas de cultivo es obtener luz (energía) y convertirla en dividendos económicos, principalmente en forma de productos vegetales basados en carbohidratos aceites o fibras. Para incrementar la productividad, el diseño de cualquier sistema de cultivo debe optimizar la interceptación de la luz, durante la vida del cultivo, de modo que se maximice la producción y se mantenga a través del tiempo. Debido a las necesidades de acceso a la plantación, los cultivos en huertos normalmente solo interceptan cerca de un 70 % de la radiación incidente sobre las copas, que puede demorar varios años en desarrollarse, dependiendo del espaciamiento de la plantación (Jackson, 1980). En el aguacate, el desafío es reducir el tiempo entre la plantación y el desarrollo completo de la copa, así como el mantenimiento de la productividad del huerto una vez el árbol llega a su pleno desarrollo (Whiley, 2007).

Trazado

Esta labor se realiza 45 a 60 días antes de la siembra, y consiste en señalar los sitios donde se van a sembrar las plantas de aguacate; esto se hace empleando estacas, señalando con azadón o con cal cada sitio, de acuerdo con la densidad de siembra. El tipo de trazado depende fundamentalmente de la topografía del terreno, teniendo en cuenta además la dirección del recorrido del sol, de tal manera que, ya sea que se siembre en cuadro o en tresbolillo (triángulo), se procure que los árboles no se den sombra unos a otros.

Distribución espacial

La distribución espacial es la forma como son distribuidas las plantas en un terreno, y depende de factores topográficos, edáficos y climáticos; el aguacate se siembra en el piso térmico frío, medio y cálido, donde la topografía es ondulada a quebrada, raras veces plana, por lo que el sistema más adecuado para la conservación de los suelos es siguiendo las curvas de nivel. Dependiendo de la pendiente del terreno, se utiliza la siembra en cuadro o tresbolillo. En general, en lotes con pendientes mayores del 20 %, se recomienda la siembra en tresbolillo (figura 1.99a). Por este sistema se siembra un 15 % más de árboles por unidad de área que en el sistema en cuadro. En lotes de topografía plana es preferible sembrar en cuadro (figura 1.99b) o rectángulo.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.99. Distribución de siembra de aguacate. a. En triángulo o tresbolillo; b. En cuadro.

Densidad de siembra

La densidad de la siembra es el número de plantas que se pueden sembrar por unidad de superficie, lo que depende de diversos factores como la arquitectura de la planta, la variedad, la pendiente del terreno, las condiciones físicas y químicas del suelo, la HR y la luminosidad, entre otras (Whiley, 2007).

Al establecer un huerto, la elección de la densidad de siembra determina en gran medida el tiempo que tarda en desarrollarse completamente la copa, logrando la máxima interceptación de la luz. Sin embargo, son muchas las opciones de densidad de siembra y diseño del huerto para una determinada condición ambiental, social y económica. La elección debe apuntar a un balance apropiado entre la simpleza y la complejidad que corresponda con las habilidades que se posean para manejar y mantener el huerto (Whiley, 2007).

En lugares donde el costo de la tierra es bajo, se pueden utilizar mayores distancias entre y sobre las hileras (desde 8 × 8 m, hasta 10 × 10 m, con 100 a 156 árboles/ha). Esto produce menores retornos en los primeros años del huerto y árboles más grandes y altos costos de cosecha (Hofshi, 1999). Sin embargo, las ventajas son el ahorro en los costos de remoción de árboles (práctica utilizada en altas densidades) y, generalmente, menores gastos en el manejo del riego, fertilizantes, etc. (Newett et al., 2001). Para el aguacate en Colombia, se emplean diferentes distancias de siembra, que se describen en la tabla 1.20.

Tabla 1.20. Distancias de siembra más utilizadas en el cultivo del aguacate

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

Las investigaciones de Stassen, Davie y Snijder (1995, 1998) han promovido el interés y el debate sobre el manejo de la copa en los huertos de aguacate, cuyo resultado ha sido el desarrollo de nuevas técnicas de manejo basadas en sus conceptos. Algunas de ellas son discutidas a continuación.

Huertos de media y alta densidad

El diseño de la mayoría de los huertos modernos de aguacate utiliza densidades de siembra medias (9 × 7 m, con 159 árboles/ha) a altas (6 × 4 m, con 416 árboles/ha). 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 el huerto. En California, Platt, Goodall, Gustafson y Lee (1975) propusieron sembrar aguacate a una menor distancia, recomendando una estrategia de raleo (remoción) gradual de los árboles para combatir el enmarañamiento del huerto. Basándose en un espaciamiento inicial de 6 × 4,8 m (347 árboles/ha), antes que las copas empiecen a tocarse, se deben remover alternadamente los árboles dentro de las hileras (es decir, los que están a una distancia de 4,8 m), quedando inicialmente el huerto a

una distancia de 9,6 × 6 m; de nuevo, una vez que las copas de los árboles empiezan a tocarse, se eliminan en forma alterna los surcos completos de árboles que están a 6 m de espaciamiento, quedando finalmente el huerto a una distancia de 9,6 × 12 (87 árboles/ha). Esta práctica también puede hacerse con distancias iniciales de 6 × 6 m (278 árboles/ha), para luego obtener un huerto a una distancia de 12 × 12 m (69 árboles/ha) (Whiley, 2007).

Huertos de ultra alta densidad

El tamaño de los árboles de aguacate es uno de los mayores problemas que enfrenta la industria mundial de esta especie (Köhne & Kremer-Köhne, 1991). El negocio agrícola basado en producción de aguacates para la exportación exige diseñar huertos altamente productivos en el corto y mediano plazo, con fruta de calibre exportable y con árboles fáciles de manipular, en cuanto a labores agrícolas se refiere (Stassen, 1999).

Los huertos de ultra alta densidad han venido ganando espacio entre los cultivadores de aguacate en Chile, con el fin de aumentar su productividad. Actualmente, se pueden encontrar huertos comerciales de aguacate con distancias de plantación de 4 × 4, 4 × 3 y 4 × 2 m, con poblaciones de 625, 833 y 1.250 árboles/ha, respectivamente (figura 1.100). Cabe anotar que la textura del suelo en la mayoría de las zonas productoras chilenas es de tipo franco arcillosas, con drenaje imperfecto, lo que obliga a la construcción de camellones de 60 cm de altura y, además, con sistema de riego por goteo o microaspersión (Whiley, 2007).

Foto: Francisco Mena Volker

Figura 1.100. Huerto de aguacate sembrado en ultra alta densidad en Chile.

Los árboles de menor tamaño en huertos de alta densidad, por encima de los 1.000 árboles por hectárea, además de mantener estructuras con mejor capacidad de producción y fruta de mayores calibres, permiten optimizar todas las labores agrícolas; sin embargo, se hace necesario el uso de estrategias de manejo para controlar el tamaño final de los árboles, luego de que estos ocupan su espacio asignado, evitando así emboscamientos y pérdida de doseles productivos (Stassen, 1999). Esto obliga a realizar podas de renovación en forma constante durante toda la vida del proyecto; por lo tanto, es necesario buscar mecanismos pasivos de control del vigor sobre los árboles en el tiempo (figura 1.101).

Foto: Francisco Mena Volker

Figura 1.101. Forma columnar de los árboles sembrados en ultra alta densidad.

Existen múltiples herramientas técnicas para el control del tamaño de los árboles; sin embargo, todas ellas representan un costo importante dentro de las labores agrícolas. Por este motivo, cobra gran importancia potenciar la capacidad natural del árbol de mantener un tamaño de dosel controlado, con el objetivo de mantener costos competitivos en el negocio agrícola (Cristoffanini, Lienlaf, & Ramella, 2011).

El tamaño de los árboles se reduce con un menor espacio asignado en el marco de plantación (Razeto, Fichet, & Longueira, 1992), lo que se potencia con la designación de un espacio de perfil de suelo limitado (camellón), un sistema de riego con mojamiento restringido al diámetro de copa deseado, el control de programas nutricionales y de la tendencia de los aguacates a crecer en forma vigorosa y a veces improductiva (Stassen, 1999) al competir con otro árbol en la sobrehilera.

En esquemas de alta densidad, es necesaria la conducción y formación del árbol desde la etapa de plantación (Stassen, 1995); la conducción más relevante es el manejo de poda hasta que el árbol ocupa su espacio asignado. Luego, la manutención del árbol dentro del marco de plantación es fundamental (Razeto, Fichet, & Longueira, 1995): la regulación del vigor por la vía de la generación de flores y producción frutal precoz en los primeros años de desarrollo —y estable durante el período del proyecto— cobra especial relevancia (Cristoffanini et al., 2011), ya que, además de controlar el vigor de los árboles (Snijder & Stassen, 1998), atenúa los problemas de añerismo o alternancia en esta especie frutal.

En marcos de alta densidad, cuando se ocupa el espacio asignado, bajo condiciones de crecimiento vigoroso, la luz puede ser un factor de producción limitante (Stassen, 1999). Plantaciones en marco rectangular y una conducción de árboles en setos piramidales aseguran una continua actividad fotosintética, además de un efectiva intercepción y penetración de la luz en el dosel (Stassen, 1999), lo que permite generar brotes y entrenudos con capacidad productiva (Cristoffanini et al., 2011).

La mejor orientación para un seto piramidal es la de norte-sur (Stassen, 1999). El control natural del tamaño del árbol en un seto piramidal permite podas menos intensas y bastantes simples, situación a considerar en plantaciones de grandes superficies. Por otra parte, la utilización de marcos cuadrados y conducción de árboles individuales con iluminación de cinco caras permite un aprovechamiento eficiente de la luz (Hofshi, 2004), sobre todo en orientaciones inadecuadas, como la de huertos ubicados en pendiente con camellones. Por otra parte, marcos cuadrados podrían ser más difíciles de manipular en temporadas con condiciones climáticas desfavorables para la floración o cuajamiento, generando problemas de producción, con efectos secundarios en el aumento del vigor (Whiley, 2007).

En Sudáfrica, Köhne y Kremer-Köhne (1990, 1991) estudiaron la producción de aguacate en huertos de Hass en ultra alta densidad, a 800 árboles/ha. Bajo estas condiciones, el manejo del huerto se realizó con la ayuda del inhibidor del crecimiento Paclobutrazol, aplicado al suelo en árboles jóvenes, además del anillado y el raleo de árboles. El anillado fue usado estratégicamente 3,5 años después de la siembra. Las ramas más largas de cada segundo árbol del lote fueron anilladas y, después de la siguiente cosecha, dichos árboles fueron removidos.

El reciente auge de la ultra alta densidad en California se ha basado en la premisa de mantener todos los árboles sembrados durante toda la vida del huerto, que se estima

entre 10 y 12 años (Whiley, 2007). Los cultivares con una fuerte dominancia apical (acrotonía débil) que producen un único tronco dominante (Thorp & Sedgley, 1993) están siendo utilizados para extender la vida productiva de los huertos de aguacate en ultra alta densidad. Los cultivares Gwen, Lamb Hass y Reed son ejemplos de cultivares con un solo tronco dominante.

La poda en los huertos de ultra alta densidad está dirigida a mantener la forma del árbol, su altura, la interceptación de luz y los accesos al huerto, además de asegurar la productividad continua. Esta debe ser implementada de tal manera que la carga de frutos se mantenga, ya que estos tienen un rol principal en la reducción del vigor y la limitación del crecimiento horizontal, ya que el peso de la fruta empuja las ramas hacia abajo haciéndolas más verticales (Whiley, 2007).

Si bien parecen existir ventajas en el flujo de caja de los huertos de alta densidad, existen algunas desventajas que deben ser consideradas antes de adoptar esta estrategia. Algunos diseños de plantaciones, particularmente aquellos en los que se elige un trazado cuadriculado, determinan que la orientación de las hileras (el acceso al huerto) se verá modificado cada vez que se renueve un árbol. Por esta razón la topografía del lugar debe ser apropiada para permitir el acceso desde varias direcciones. Pese a que actualmente la eliminación de árboles está altamente mecanizada, aún es costosa y deberá planificarse de modo de acomodarla a los ciclos de cosecha (Whiley, 2007).

Finalmente, hay que considerar el riesgo de padecer enfermedades, particularmente la pudrición de raíces causada por *Phytophthora*, a pesar de que en algunas situaciones la marchitez debida a *Verticillium* también puede ser problemática (Whiley, 2007).

Para Colombia, el establecimiento de huertos en alta y ultra alta densidad, especialmente con la variedad Hass para la exportación, presenta muchas limitaciones, por varias razones (aún con la remoción o entresaca de árboles). La mayoría de nuestras zonas productoras presentan condiciones climáticas que limitan este tipo de sistema de siembra, pues exhiben altas humedades relativas (mayores al 80 %) y altas precipitaciones (mayores de 1.800 mm/año), lo que facilita la dispersión de plagas y enfermedades. Existe además una mayor diversidad de plagas y enfermedades, que se ven favorecidas por este sistema.

Asimismo, en Colombia, bajo condiciones tropicales donde no existen épocas marcadas con bajas temperaturas, los árboles exhiben un crecimiento continuo de flujos vegetativos, mezclados con flujos reproductivos, lo que supone un manejo muy complicado en la programación del cultivo; además, los suelos colombianos son de origen volcánico, de mediana a alta fertilidad y con contenidos medios a altos de materia orgánica, que trae como consecuencia un crecimiento exuberante de los árboles, lo que supondría podas intensivas durante todo el año, aumentando de esta manera los costos de producción. En este caso, habría que establecer la relación costo/beneficio en cuanto al valor de la mano de obra, respecto a la productividad esperada, y así definir el establecimiento de esta práctica. Es necesario entonces, mediante trabajos de investigación, evaluar huertos con altas y ultra altas densidades en aguacate, antes de establecer cultivos comerciales sin la información disponible que avale dicha práctica.

Huertos en forma de seto

Los huertos de aguacate plantados en forma de seto, en los que no se necesita remover árboles, son cada vez más aceptados y siguen un desarrollo similar al de las industrias de cítricos, mango y manzana (Jackson, 1985; Crane, Bally, Mosquera-Vasquez, & Tomer, 1997). La orientación norte-sur de las hileras favorece la máxima interceptación de luz, factor que se vuelve más importante en las latitudes más altas (Whiley, 2007).

El sistema de formación en setos podado mecánicamente para lograr la forma piramidal es, actualmente, muy popular en Australia, Israel y Sudáfrica (Lahav, 1999; Newett, 1999; Toerien, 1999), en lugares donde la topografía permite el tránsito de maquinaria pesada a través de los huertos (figura 1.102); sin embargo, debido al hábito de fructificación periférico del aguacate y a la persistencia de los frutos en el árbol, se requiere de estrategias de poda que minimicen el daño a la cosecha, manteniendo la productividad y regulando el tamaño del árbol (Whiley, 2007). La poda mecánica en forma de seto produce una pared densa de follaje, que dificulta la penetración de la luz y las aplicaciones foliares de agroquímicos (pesticidas o fertilizantes) al interior del seto, lo que puede ser evitado podando sus paredes laterales, siguiendo una estrategia de remoción periódica de las ramas largas. Esto se realiza normalmente una vez al año (Whiley, 2007).

Foto: Francisco Mena Volker

Figura 1.102. Forma piramidal de los árboles sembrados en seto. a. Poda apical o *topping*; b. Poda lateral.

Para obtener los beneficios de esta forma de manejo de la copas, es importante que la poda sea realizada en la época correcta, particularmente en relación con la obtención de brotes florales maduros, ya que el mantenimiento de los árboles en estado productivo es la forma más efectiva de restringir el crecimiento de los brotes. También es importante cosechar la fruta tan pronto alcance la madurez comercial, para mantener cargas de fruta aceptables en los árboles (Whiley, 2007).

En Colombia, este sistema en forma de seto sería más adecuado que las siembras de alta y ultra alta densidad, utilizando para ello distancias de 3,5 × 7 m, 4 × 7 m, 5 × 7 m, para poblaciones de 408, 357 y 285 árboles/ha, manejando los huertos con poda manual. Este sistema permite una mayor circulación del aire entre las calles del huerto, disminuyendo así las poblaciones de plagas y enfermedades que afectan al cultivo. Los árboles dentro del surco no se podan, permitiendo que se entrecrucen; las podas, por lo tanto, se hacen en forma lateral, con lo que, como su nombre lo indica, los árboles así manejados forman un seto.

No todas las estrategias de manejo del cultivo del aguacate utilizadas a nivel mundial serán económicamente viables en todos los lugares donde se cultiva aguacate; por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al transferir tecnologías de un ambiente a otro, aunque hayan demostrado ser exitosas en países con mayor avance técnico. Estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta cuando se pretenden establecer en Colombia prácticas como la siembra en altas densidades que, aunque se utilizan con éxito en Chile, California o Sudáfrica, no han sido suficientemente evaluadas en nuestro país como para ser adoptadas por todos los cultivadores de esta especie frutal, teniendo en consideración que nuestras condiciones tropicales difieren enormemente de aquellas donde esta práctica es comúnmente utilizada, en condiciones subtropicales, con un ambiente muy diferente al nuestro.

Además de las respuestas del árbol a distintas prácticas de manejo, los productores deberán considerar la relación costo/beneficio, ya que el valor de dichas prácticas y los retornos de la fruta pueden variar significativamente, tanto entre países distintos como dentro de un mismo país productor de aguacate.

Ahoyado

Esta labor se hace un mes antes de la siembra; consiste en hacer huecos en los sitios previamente demarcados, que tienen las siguientes dimensiones: desde 40 a 80 cm de diámetro × 40 a 80 cm de profundidad (figura 1.103). En suelos más sueltos, se utiliza otra práctica para la siembra, que consiste en romper y picar en forma profunda el sitio de siembra, empleando una gambia (azadón de hoja más larga y angosta), dejando preparada un área de 90 cm de diámetro y 90 cm de profundidad.

Una vez se tengan los hoyos para la siembra, o una vez picado el sitio, en ellos se deben depositar e incorporar de 2 a 5 kg de materia orgánica seca y descompuesta, que puede ser gallinaza compostada, humus o cualquier fuente orgánica comercial, con 500 g de cal agrícola o dolomítica, 250 g de roca fosfórica y suelo negro, suficiente para llenar el hoyo. Además, se ha demostrado que la inoculación de las raíces del aguacate en el momento de la siembra, con un buen inóculo de micorrizas vesículo-arbusculares (50 a 100 g/planta), aumenta considerablemente el desarrollo de las plantas, favoreciendo su nutrición. En etapa de vivero, las plantas también pueden ser inoculadas con micorrizas con la misma dosis, y reinocularlas al momento de la siembra.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.103. Hoyos para la siembra de aguacate. a. Hoyo en froma circular; b. Hoyo en forma rectangular.

Trasplante al campo

Esta labor se hace una a dos semanas después del inicio del período lluvioso, aproximadamente 180 a 200 días después del trasplante a bolsa; al momento de la siembra en el lote, las plantas tienen entre 60 y 120 cm de altura. En esta etapa, a las plantas cuya raíz principal haya superado la longitud de la bolsa se les puede hacer una poda de raíces; cuando las raíces se encuentran torcidas, se deben descartar las plantas para la siembra.

En el sistema tradicional de ahoyado, se deposita la planta sin la bolsa en el hoyo y sin disturbar el suelo que rodea las raíces; a continuación, se llena el hueco con el suelo preparado, como se mencionó anteriormente, y se pisa para extraer el exceso de aire. El árbol debe quedar en un montículo de 30 cm por encima del nivel del suelo, para evitar encharcamientos y pudriciones posteriores (figura 1.104).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.104. Siembra del aguacate en campo. a. Preparación del árbol injerto para su siembra; b. Retirada de la bolsa sin disturbar el cespedón; c. Introduccción o siembra del árbol en el hoyo y apisonado del suelo alrededor de este; d. Árbol sembrado en montículo, 30 cm por encima del nivel del suelo; e. Aspecto general de un árbol dos meses después de sembrado.

Plateo

Esta práctica tiene como propósito eliminar la competencia ejercida por otras especies alrededor del tallo del árbol y estabilizar el área circundante. El área circundante al área de siembra debe quedar desprovista de vegetación, al menos unos 140 cm de diámetro. Esta labor se debe hacer previamente a la siembra de las plantas en el campo; una vez establecido el cultivo, los plateos deben realizarse a mano o con productos químicos.

Uso de coberturas (*mulching* o acolchado)

El aguacate es originario de los bosques nubosos de las tierras altas y bajas de México y Centroamérica, donde se adaptó a suelos con abundantes desechos orgánicos superficiales que le proporcionan un sustrato bien aireado, rico en microorganismos y con alta capacidad de retención de agua (Wolstenholme, 2007). Bajo estas condiciones, se desarrolla un denso colchón de raicillas "alimentadoras" para aprovechar los nutrientes liberados por la vegetación descompuesta y absorber el agua de modo que satisfaga los requerimientos del árbol (Whiley, 2007).

La zona de desechos orgánicos también proporciona un tampón entre la interfase aire/suelo, moderando el impacto de los cambios atmosféricos en el ambiente radical y protegiendo las raíces carnosas de la deshidratación y los grandes cambios de temperatura (Gregoriou & Rajkumar, 1984) (figura 1.105).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.105. Uso de cobertura (*mulch*) en huerto de aguacate.

La domesticación del aguacate ha introducido este frutal a un sistema de monocultivo, dependiente de fertilizantes químicos y pesticidas para reducir los costos de producción. Para ello, hace tiempo se conocen los beneficios del uso de altos niveles de materia orgánica en suelos para suprimir la actividad de la *Phytophthora cinnamomi* (pudrición radical) (Broadbent & Baker, 1974; Pegg & Whiley, 1987).

Antes de que se desarrollaran fungicidas efectivos para el control de la pudrición de raíz a finales de la década de los setenta, el *mulch* con sustancias orgánicas para mantener la salud del árbol era una práctica ampliamente utilizada en algunos países (Pegg & Whiley, 1987). Sin embargo, la disponibilidad de fungicidas sistémicos baratos y efectivos (como el ácido fosforoso) durante la década de los ochenta redujo la dependencia del uso de coberturas orgánicas, lo que a su vez disminuyó su uso generalizado en los huertos de aguacate (Whiley, 2007). Pero no solamente el beneficio del uso de las coberturas se limita al control de enfermedades radicales, pues se ha demostrado en diversos estudios que su uso proporciona beneficios adicionales, representados en aumento en peso promedio de frutos, en el número de frutos por árbol y en el rendimiento por ha. En Sudáfrica, en estudios llevados a cabo por Moore-Gordon, Wolstenholme y Levin (1996), Moore-Gordon, Cowan y Wolstenholme (1997) y Wolstenholme, Moore-Gordon y Cowan (1998), en los que se aplicó una capa de 15 cm de corteza de pino compostada en un cultivo de Hass, se demostró que durante tres años de estudio el promedio de peso de los frutos aumentó un 6,6 %; el número promedio de frutos por árbol aumento un 14,7 %, y la producción (t/ha) se incrementó en un 22,6 %.

Los beneficios en el desempeño del árbol probablemente se deben a un mayor crecimiento de las raíces en los árboles con cobertura y a una reducción del estrés, lo que se tradujo en una menor temperatura del follaje (cerca de 3 °C menos), una menor cantidad de hojas fotoinhibidas durante el verano y otoño, y una reducción del anillo necrótico del fruto (*ring-neck*) (47 % menos) y de la degeneración prematura de la cubierta seminal (39 % menos) (Wolstenholme et al., 1998).

Un material adecuado para la cobertura de los árboles de aguacate es aquel que posee una relación carbono:nitrógeno (C:N) entre 25:1 y 100:1, para evitar una fuerte reducción del nitrógeno como la que puede ocurrir, por ejemplo, con el uso de aserrín (relación C:N de 400-500:1) (Wolstenholme et al., 1998).

En conclusión, en la mayoría de los casos, la práctica de reforzar los desechos naturales de las hojas bajo los árboles de aguacate con materiales de cobertura es, probable-

mente, beneficiosa para la salud del árbol y para su desempeño productivo, aunque es esencial hacer una cuidadosa elección del material y su manejo para obtener todos los beneficios de esta práctica. La elección de la cobertura y su aplicación alertarán sin duda los requerimientos de riego y de nutrientes del árbol, que deberán ser cuidadosamente monitoreados para asegurarse de mantener un balance correcto. El uso de coberturas es también compatible con la sostenibilidad del huerto en un mundo donde la preocupación ambiental es creciente (Whiley, 2007).

En Colombia, bajo nuestras condiciones de cultivo, es recomendable que, luego de realizar la práctica del plateo alrededor de los árboles, así como la desyerba mecánica en las calles del huerto, estos residuos sean incorporados en el plato del árbol, con el fin de formar un *mulch* o acolchado (figura 1.106), que, como se mencionó anteriormente, presenta ventajas ampliamente demostradas.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.106. Uso de cobertura en huerto adulto de aguacate.

Podas

Antes de comenzar la práctica de la poda, es oportuno examinar con detenimiento el mecanismo fisiológico que regula el crecimiento de la planta de aguacate. El aguacate posee yemas terminales y laterales. No todas las yemas tienen la misma probabilidad de convertirse en brotes vegetativos. El crecimiento vegetativo tiene lugar, sobre todo, a partir de yemas apicales. Una buena parte de las yemas axilares se desprende y otra parte permanece en estado latente, y esto se cumple más escasamente para aquellas yemas formadas durante el período de máximo crecimiento vegetativo.

La caída de yemas se da con menor intensidad hacia el final del período vegetativo, de forma que en el vástago que ha detenido su vegetación las yemas latentes están particularmente concentradas justo por debajo de la yema apical, en la zona de la rama que se caracteriza por entrenudos cortos (Calabrese, 1992).

Las condiciones tropicales en Colombia suponen un manejo del árbol muy particular, por lo que el tema de la poda debe ser analizado con detenimiento. La necesidad de recurrir a la poda aparece sobre todo en los países de la zona templada que producen aguacate, donde se requiere habitualmente aumentar al máximo la productividad de la superficies disponibles y disminuir los costos de producción (Calabrese, 1992).

La poda del aguacate es una práctica que se está extendiendo por las respuestas positivas obtenidas en plantaciones comerciales. El aguacate, por ser una especie siempre verde, requiere una poda específica, distinta a la empleada en los árboles caducifolios. Por esta misma razón existe la tendencia a no podar el huerto, permitiendo que los árboles se desarrollen naturalmente y realizando solamente algunos aclareos cuando hay una cierta superpoblación en el cultivo. La poda en aguacate es una opción que se debe tomar con precaución y adoptando una forma racional para que los resultados sean positivos; además, esta práctica dependerá de la variedad, vigor y tendencia de crecimiento del árbol y de las condiciones de clima y suelo (Rodríguez, 1982).

En general, para la planificación de las podas se debe tener en cuenta los siguientes principios:

- Evitar el desequilibrio entre el follaje y la fructificación, pues existe una relación entre la cantidad de hojas (que sintetizan hidratos de carbono) y el desarrollo de los frutos (que se alimentan de los fotoasimilados producidos por las hojas), de cuya relación dependen los niveles de rendimiento por árbol y por hectárea (Rodríguez, 1982). Se estima que son necesarias aproximadamente 50 hojas para el llenado de un fruto de aguacate (Bisonó & Hernández, 2008).
- Para obtener buenos rendimientos, es necesaria una cantidad adecuada de ramas productivas; si estas son podadas, se estimulará solo el crecimiento de hojas. En el aguacate las inflorescencias se presentan en las terminales.
- El desarrollo de la copa que constituye el árbol debe ser armónico, sólido, bien equilibrado, aireado, vigoroso y con ramas dispuestas de tal manera que se faciliten todas las labores culturales, se obtengan ramas que resistan la acción de los vientos y protejan el árbol de la acción directa de los rayos solares.

- Una vez formados los árboles de aguacate, se debe conseguir un perfecto equilibrio entre la producción de frutos y el desarrollo correcto y equilibrado de las demás partes del árbol; de no ser así, se tendrán unos años de gran producción de frutos, seguidos de otros en los que el árbol, al haber disminuido las reservas y tener que recuperarlas, sería de poca producción, es decir, irregular; esta es la llamada "poda de producción".
- Es necesario conocer las diferencias que presentan los árboles en cuanto a la forma de la copa o dosel, dependiendo de la variedad que se está cultivando. Por ello, hay que considerar copas de tipo columnar, piramidal, obovada, rectangular, circular, semicircular, semi elíptica, irregular u otra, para así dirigir la poda adecuadamente a nuestras condiciones (IPGRI, 1995).

La poda en aguacate dependerá en gran medida de la densidad de siembra y, por tal razón, los huertos de alta y ultra alta densidad requerirán podas sistemáticas para mantener los árboles con suficiente luz, para lograr altas producciones. Contrariamente, la poda en árboles sembrados a menores densidades serán manejados de tal manera que no compitan entre sí, lo que supone un menor uso de esta práctica.

Recomendaciones para realizar las podas

Al efectuar la poda, y con el fin de perjudicar lo menos posible al árbol y conseguir su pronta recuperación, se deben tomar las siguientes precauciones:

- Esta práctica se debe hacer en las primeras horas de la mañana, para reducir el estrés sobre la planta.
- Se deben usar herramientas, tijeras o navajas con buen filo; los cortes deben ser limpios y en bisel, teniendo cuidado de no magullar la corteza. Es necesario desinfestar las herramientas al pasar de una planta a otra, para lo cual se pueden emplear soluciones a base de hipoclorito de sodio o a base de yodo; la dilución de estos productos debe ser al 1 %. Por lo anterior, es aconsejable emplear dos herramientas: una que permanece sumergida en el desinfectante y otra con la que se realiza la labor de poda. Para prevenir la entrada de enfermedades por las heridas hechas, se debe aplicar un fungicida (i.a. mancozeb, en dosis de 3,0 g/L) dirigido a los cortes de las plantas podadas.
- Cuando el grosor de la rama cortada supera 1 cm, se recomienda aplicar sobre la herida una pasta cicatrizante, que se puede hacer mezclando un insecticida, un fungicida y un sellante. También se puede usar pintura a base de agua para cubrir los cortes después de la poda.

Poda de formación

La poda de formación consiste en cortar ramas, con el propósito de dirigir el crecimiento, estimulando la brotación de nuevas ramas y dándole una estructura equilibrada a la planta para potencializar su área productiva; esta poda se da en el vivero y en el campo. Antes de sacar las plantas del vivero, se les debe hacer la poda adecuada para poderlas plantar en el sitio definitivo, sin otra poda posterior.

Los aguacates, cuando se cultivan por semilla, tienen un crecimiento muy elevado, por lo que se recomienda despuntarlos a una altura de 1,2 m. En el caso de los árboles injertos, estos tienen un crecimiento más desordenado y en forma lateral; por lo tanto, solo se recortan las ramas que tienen dirección al suelo o que están muy cerca de este, para evitar posibles enfermedades, y el resto del árbol se deja a libre crecimiento o se despunta en caso de presentar chupones con marcada dominancia apical.

Es necesario advertir que, tanto en el vivero como en los primeros años de establecimiento del cultivo, es necesario realizar la poda de brotes o chupones que crecen por debajo de la zona del injerto, ya que estos son más vigorosos que la copa o variedad injertada; por lo tanto, si no se los elimina, terminarán creciendo a un ritmo mayor y finalmente, por competencia, eliminarán la copa. El deschupone consiste en remover manualmente los brotes, cuando estos están jóvenes.

El aguacate se desarrolla mejor cuando se deja crecer en libertad, de tal forma que la poda de formación solo se debe limitar a pequeñas modificaciones, las más indispensables y juiciosamente elegidas. Solamente en el caso bastante frecuente de que el árbol crezca sin ramificaciones, dando lugar a un solo tronco muy elevado, se deberá corregir, cortando esta rama a una altura conveniente para conseguir una ramificación oportuna. Así, solo los cultivares de porte erecto requieren una poda de formación (Galán-Saúco, 1990); por ejemplo, en el cultivar Reed, que presenta un comportamiento de crecimiento vertical, es recomendable realizar podas del líder central, con el fin de reducir su dominancia apical y estimular la brotación de ramas laterales.

Respecto a la poda de formación, Lynce-Duque (2011) menciona que la arquitectura ideal de árboles para las condiciones tropicales y en densidades medias es la de forma de copa, con un tronco principal y cuatro tallos distribuidos espacialmente en el dosel, que se comportan como árboles individuales dentro del mismo árbol, dejando un espacio central no forzado, que permite entrada de luz a toda la copa desde su base. La selección de ejes principales se realiza a partir de los tres meses después

del trasplante en campo y consiste en la selección de cuatro brotes o ejes en los árboles distribuidos en cuatro puntos cardinales, que serán sus tallos principales. El sentido de la poda es promover la formación lateral de los árboles a partir de estos cuatro ejes, con la emisión permanente de brotes hacia la parte externa de la copa, con una base estructural bien formada.

Poda de mantenimiento

La poda de mantenimiento consiste en la eliminación de la ramas enfermas, afectadas por insectos o muertas, brotes improductivos (generalmente los que nacen dentro de la copa y compiten por nutrientes) y ramas que ya produjeron, que podrían ser foco de patógenos y afectar partes vitales del árbol, incluyendo los frutos. La poda debe efectuarse tratando de modificar en lo posible el crecimiento irregular del árbol. Con podas ligeras y frecuentes se pueden conservar las plantas a una altura adecuada a cada variedad y en función del suelo y el clima. Asimismo, se deben eliminar aquellas ramas que compitan entre sí. Dentro de esta poda se considera la poda de descope de los árboles en producción, que consiste en retirar la parte terminal de los árboles, de forma tal que no superen una altura superior al 70 % de la distancia entre plantas. Por lo tanto, árboles sembrados a una distancia de 7 m entre sí deben mantenerse en una altura inferior a los 4,9 m.

Poda de renovación, cambio de copa y reconversión

Cuando en un huerto las copas de los árboles han sobrepasado su distancia de siembra y los árboles entrecruzan sus ramas, es necesario recurrir a ciertas podas para mantener distancias adecuadas en la plantación, de tal forma que permitan una buena iluminación y circulación del aire y, por ende, un crecimiento equilibrado de los árboles, con miras a una producción máxima. En otros casos, cuando se tienen árboles poco productivos, de un material de baja calidad comercial o indeseado para las necesidades particulares, por no satisfacer las necesidades del mercado, se puede recurrir también a un sistema de cambio de copa. En estos casos se recurre a la poda de renovación, que consiste en el corte de las ramas que forman la copa del árbol, para estimular la formación de una nueva o para renovarla por medio de injertos, utilizando para ello variedades mejoradas o variedades locales o regionales, destacadas por su aceptación en el mercado y seleccionadas en la finca o zona de producción.

La poda de renovación debe realizarse gradualmente para no afectar en forma severa la producción; para ello, se recurre a diferentes sistemas de poda, ya sea eliminando

las ramas principales del árbol, dejando solo un tronco principal a 1,5 m de altura y permitir que el árbol crezca de nuevo y se renueve, o haciéndolo en surcos intercalados o realizando podas laterales, podando solo el 50 % del árbol entre los surcos, para posteriormente hacerlo en la otra mitad del mismo, una vez se logre producción en la parte que se podó.

Existe una modificación a la poda de renovación, denominada "poda de reconversión", que consiste en podar los troncos de los árboles a una altura aproximada de 1,5 m, surco de por medio y, posteriormente, realizar injertos en corona con la variedad deseada. Por lo general, esta práctica se realiza en cultivos de edad avanzada, con frecuencia establecidos a bajas densidades (10 × 10 m, 100 árboles/ha o 12 × 12 m, 70 árboles/ha). En ese caso, con la poda de reconversión se aprovecha para incrementar la densidad de siembra, estableciendo dentro del surco un árbol y, de esta manera, queda el huerto a una distancia de 5 × 10 m (200 árboles/ha) o 6 × 12 m (140 árboles/ha).

En general, las podas deben realizarse en épocas de buena disponibilidad hídrica, pues si se realizan en épocas secas pueden tener un efecto negativo en el árbol, causando deshidrataciones severas y hasta su muerte.

Manipulación de los crecimientos vegetativos y reproductivos

El aguacate puede tener una floración abundante por un período prolongado. Al mismo tiempo que la floración progresa, se incrementa la competencia entre el fruto y el crecimiento vegetativo. Esta competencia se hace más aguda en inflorescencias indeterminadas, en las que el ápice vegetativo inicia su crecimiento durante o después de la elongación de la inflorescencia. El brote vegetativo continúa su expansión durante la antesis y amarre del fruto (Zilkah, Klein, Feigenbaum, & Wepaum, 1987; Cutting & Bower, 1990; Whiley, 1990; Bower & Cutting, 1992). En forma individual o en combinación, estos factores pueden reducir el amarre de frutos. La manipulación de la floración para cambiar estas relaciones en forma temporal podría ayudar a incrementar el amarre de frutos y el rendimiento (Téliz, 2000).

La poda, el anillado y la aplicación de reguladores de crecimiento son prácticas culturales que se usan comercialmente en algunas regiones aguacateras. Su propósito es el de regular el crecimiento vegetativo para manipular la intensidad de floración y reducir la alternancia productiva (Téliz, 2000). Contrario a lo que tradicionalmente

se ha publicado sobre el cultivo del aguacate, se sabe ahora que la poda es necesaria para controlar la arquitectura de la copa del árbol, así como la complejidad de sus ramas y, con esto, aumentar la productividad; sin embargo, la información disponible sobre esta práctica parece ser contradictoria (Téliz, 2000), especialmente en condiciones tropicales.

Thorp, Aspinall y Sedgley (1993) como resultado de la poda obtuvieron un mayor crecimiento vegetativo comparado con los brotes no podados de la misma edad. Los brotes vegetativos resultantes produjeron pocas flores y tuvieron menos amarre de frutos que los brotes no podados. Probablemente el uso de retardantes de crecimiento, como paclobutrazol, pudiera ayudar a reducir la magnitud del crecimiento vegetativo resultante de la poda. El efecto de la poda selectiva del brote vegetativo producido por las inflorescencias indeterminadas sobre el tamaño y calidad del fruto fue estudiado por Bower y Cutting (1992), quienes no observaron incremento en el rendimiento; sin embargo, debido a la poda continua se incrementó tanto el tamaño del fruto como su contendido mineral. Esto confirmó la existencia de competencia entre el fruto en desarrollo y el brote vegetativo de las inflorescencias terminales (Téliz, 2000).

Alternancia productiva

Los problemas de poco amarre de frutos y baja producción pueden ser incrementados por otro problema que es común a la mayoría de las áreas productoras de aguacate: la alternancia productiva. La alternancia, vecería, añerismo o bianualidad productiva es un fenómeno que se caracteriza por un año de cosecha abundante (año “alto”), seguido por un año de baja producción (año “bajo”) (Monselise & Goldschmitdt, 1982). La magnitud de la alternancia es variable entre diferentes zonas productoras y entre cultivares de las distintas razas (Téliz, 2000). La presunta inhibición de la floración, debido a la presencia del fruto, es variable entre árboles y entre ramas de un mismo árbol (Hoad, 1984; Téliz, 2000).

El rendimiento en huertos jóvenes de aguacate bien manejados normalmente muestra una tendencia ascendente o solo una ligera variación, a medida que el huerto crece. Un ciclo de alternancia, por lo general, será el resultado de condiciones de manejo del huerto o de las condiciones del medio ambiente, que resultan ya sea en una excepcional carga de los cultivos o en una muy pobre (Garner & Lovatt, 2008). Previo a esto, el balance vegetativo/reproductivo favorece el crecimiento vegetativo. Aunque

el fruto de aguacate, con su alto y costoso contenido energético de aceite, hace que haya altas demandas en la fábrica fotosintética de las hojas; bajas producciones son fácilmente obtenidas a pesar de poseer un gran número de éstas (Wolstenholme, 1991).

Salazar-García y Lovatt (2000) encontraron que la alternancia productiva parece ser un problema más severo en climas subtropicales templados como en California, Chile, Sudáfrica, España, Nueva Zelanda y Australia. En clima semicálido húmedo, como en Uruapan (Michoacán, México), la alternancia productiva parece ser de menor magnitud. Una cosecha abundante puede suprimir el número e intensidad de los flujos vegetativos, así como reducir la intensidad de la floración y retardar el tiempo de la antesis (Hodgson & Cameron, 1935; Lahav & Kalmar, 1977; Salazar-García et al., 1998).

La primera producción en un año "alto" en un cultivo cambia su balance a favor de un crecimiento reproductivo (floración, cuajamiento y crecimiento del fruto), lo que pone a la copa del árbol bajo una muy grande demanda fotosintética. Aunque la tasa fotosintética aumenta en las hojas cerca a los frutos, estas no pueden suministrar las necesidades, debido a las altas demandas de carbón (energía) por parte de estos. Menores reservas de carbón son entonces dejadas para los renuevos vegetativos (raíces y flujos de crecimiento) y para los nuevos sitios de fructificación, esenciales para la próxima estación de fructificación. El resultado es un año de baja producción, por lo que la alternancia empieza a ser "arrastrada", debido al efecto detrimental del año "alto" en la subsecuente floración y fructificación del siguiente año (Schaffer, Aloni, & Fogelman, 1987),

La alternancia varía con las condiciones ambientales, el cultivar, el portainjertos y el manejo agronómico. Esta es peor en ambientes bajo estrés (de clima y suelo) y puede llegar a ser un problema a escala nacional, regional, en diferentes lotes dentro de un cultivo y aún en diferentes ramas en un árbol. Una vez es "arrastrada", esta solo puede ser reducida hasta cierto punto, mediante un paquete completo de intervenciones de manejo (Lomas & Zamet, 1994).

Alternativamente, fuertes fenómenos ambientales como ciclones, tormentas, huracanes, granizo, sequías o inundaciones, entre otros, pueden cambiar este patrón. Enfermedades (especialmente pudrición por *Phytophthora*, agravada por el estrés de una pesada carga) y plagas agravan la alternancia. Condiciones climáticas desfavorables en el período crítico de floración/fructificación pueden causar en el cultivo una falla en el inicio de un año "alto" (Lomas & Zamet, 1994).

Dos principales teorías han sido propuestas para explicar por qué el desarrollo del fruto (en un año "alto") inhibe la floración y fructificación en la próxima estación (cultivo "off"). La teoría del "agotamiento del almidón" resultado de un año "alto" implica que la floración y fructificación para el año "bajo" tendrá lugar en árboles con una gran reducción de reservas en la energía de los carbohidratos.

Esto es totalmente cierto en aguacate, especialmente cuando la cosecha es demorada o mantenida en el árbol (Whiley et al., 1996a, 1996b), pero no es una explicación muy satisfactoria de la alternancia. El estatus de reservas de los carbohidratos es en el mejor de los casos un índice del estado general de los árboles, pero muy variable bajo diferentes escalas, ambientes y tecnologías de manejo, de tal forma que puedan ser una medida rutinaria de predicción. Scholefield, Sedgley y Alexander (1985) fueron los primeros en establecer la estrecha relación entre las reservas de almidón y la producción en aguacate.

Una versión más reciente de la hipótesis del agotamiento de nutrientes (principalmente carbohidratos), en un cultivo de aguacate muy cargado, establece que las semillas de los frutos inhiben la floración por la exportación de hormonas, especialmente giberelinas (GA), que tienen un efecto antifloración. Aplicaciones de GA inhiben la floración en muchos huertos frutales, donde las concentraciones de esta hormona en las semillas son muy altas. Sin embargo, una explicación alternativa igualmente válida es la que establece que las semillas compiten con los ápices de crecimiento por la hormona de la floración (Dennis & Neilsen, 1999).

En aguacate, es fácil observar el efecto inhibitorio de una fructificación alta sobre la iniciación floral de los brotes en una rama, comparada luego con una producción muy baja en esta. Wolstenholme (2001) sugiere que la alternancia es mejor entendida si se establece como una jerarquía de factores controlables (hormonas, reservas de carbohidratos, decisiones de manejo) e incontrolables (clima y suelo, cultivar y portainjertos, evolución, ecofisiología) que la causan, siendo el principal factor el gen que causa la alternancia, pero aún debe ser identificado.

La alternancia o vecería es más común en cultivares como el Hass o el Fuerte, siendo una característica muy marcada en zonas subtropicales (Bergh, 1986; Téliz, 2000). Con el fin de evitar esta alternancia, se realizan algunas prácticas como la poda y el anillado que se usan comercialmente en algunas zonas aguacateras. Su propósito es el de regular el crecimiento vegetativo, para manipular la intensidad de la floración y reducir la alternancia productiva (Téliz, 2000).

En determinados cultivares establecidos al sur de España, como el Hass, se acostumbra a podar las ramas en la parte superior de la copa de los árboles, para equilibrar la producción y combatir la alternancia. De hecho, ha sido recomendada esta poda, en fase de prefloración, después de un año sin producción ("bajo"), como práctica para aumentar el rendimiento en Hass (Farré, Hermoso, & Pliego, 1987; Galán-Saúco, 1990).

El efecto positivo de esta práctica, según sus autores, puede explicarse por el hecho frecuentemente observado de que, cuando se obtiene una fructificación excesiva en Hass, no se emite el brote vegetativo que ocurre normalmente al final de cada panícula, con lo que se produce un crecimiento vegetativo inadecuado y, en consecuencia, se reduce considerablemente la próxima floración. Se consigue además evitar golpes de sol, ya que la brotación que sigue a la poda protege el resto del árbol (Farré et al., 1987; Galán-Saúco, 1990).

Anillado de las ramas o incisión anular de ramas

El anillado o incisión anular de ramas es una práctica complementaria de la poda; su función es la de estimular la fructificación o aumentar el tamaño de los frutos. Se ha sugerido que una floración pobre en las áreas tropicales se debe a una falta de reservas de carbohidratos, posiblemente debido a las altas tasas de respiración en condiciones de temperaturas cálidas. Se ha reportado que el anillado, que incrementa las reservas dentro de las ramas anilladas, aumenta la formación de yemas florales y, por ende, la producción.

"Anillado", "incisión anular" o "rayado de corteza" son términos utilizados en horticultura para describir la separación completa del floema de una rama o tronco de un árbol, ya sea mediante la incisión angosta o mediante la remoción de una franja de corteza (de 1 a 2 cm de ancho), sin dañar el tejido del cámbium subyacente (Noel, 1970) (figura 1.107); si es llevado a cabo correctamente, la herida resultante producirá un tejido calloso y finalmente sanará, recuperando las funciones fisiológicas normales de la parte afectada del árbol (Whiley, 2007). El anillado se debe realizar en una o varias de las ramas principales del árbol. El efecto del anillado es restringir el transporte vía floema de las hojas a las raíces, lo que resulta en la acumulación (en la parte superior al sitio del anillado) de carbohidratos, nitrógeno y otros nutrientes y hormonas.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.107. Anillado en aguacate. a. Incisión o anillo realizado en una rama secundaria; b. Cicatrización del corte.

Se ha propuesto que el anillado promueve la floración en aguacate (Ticho, 1971), pero no se tiene evidencia que sustente tal afirmación. Los efectos del anillado sobre el rendimiento del aguacate han sido muy erráticos (Lahav, Gefen, & Zamet, 1971; Bergh, 1986). El uso de esta práctica para estimular la floración en árboles que tardan en pasar del estado vegetativo al reproductivo sí tiene un efecto positivo muy marcado; para tal situación, se recomienda, el anillado en la base, de dos o tres ramas principales, para repetir de nuevo la práctica al siguiente año.

La mayoría de los reportes que existe a cerca de podas y anillado en aguacate no especifica el estado de desarrollo de las yemas al momento del tratamiento. Es importante considerar la fenología del brote vegetativo y de la inflorescencia para poder hacer una interpretación confiable de los resultados. La falta de esta información podría explicar el éxito limitado de las prácticas de poda y anillado en aguacate (Téliz, 2000). El anillado ha tenido una amplia aplicación práctica en cultivos arbóreos, pero es utilizado más comúnmente para aumentar la floración y cuajamiento de frutos, a pesar de que sus resultados no son siempre los esperados. Desde los comienzos de la tecnificación del cultivo del aguacate, el uso del anillado para la manipulación de los árboles ha tenido resultados diversos. Durante un tiempo, la técnica fue adoptada por algunos agricultores innovadores; sin embargo, pasados los años, perdió popularidad (Whiley, 2007).

Recientemente, en trabajos realizados en cultivos tecnificados durante varios años y en diferentes zonas productoras del país, se ha logrado establecer que el anillado, en las condiciones tropicales, incrementa la productividad de los árboles que son sometidos a la labor. Esto se da no solo por el aumento de la producción en kilogramos de frutas por unidad, sino por el ingreso extra que puede percibirse, al tener la posibilidad de programar las cosechas para las épocas de mayor precio de venta. Para aguacate Hass, un anillo de 1,2 cm de ancho hecho en una rama se cierra entre cinco y siete semanas, con un inicio de floración entre ocho y diez semanas después de haberse anillado y, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar (>altura>tiempo), presentaría cosecha a las 34-50 semanas luego de la floración. Para aguacate Lorena y otras variedades de consumo interno, el cierre del anillo e inicio de floración son iguales, pero la cosecha se da a las 22-28 semanas luego de la floración (Lynce-Duque, 2011).

Según Lynce-Duque (2011), para las condiciones tropicales, el anillado de ramas se puede realizar prácticamente en cualquier momento del año, obteniendo los mismos resultados citados, salvo en los momentos donde las brotaciones vegetativas son muy fuertes y ocupan toda la copa del árbol. La mayor respuesta de los árboles se da cuando el anillado se realiza en las ramas con alto número de hojas maduras. El anillado de ramas no puede realizarse en árboles con síntomas de estrés marcados; hacerlo en estos árboles incrementa su posibilidad de muerte.

Reguladores de crecimiento

Los reguladores de crecimiento son normalmente definidos como componentes sintéticos aplicados exógenamente para modificar el crecimiento de las plantas y pueden estar relacionados ya sea por compuestos químicos que imitan la acción hormonal, ya sea por ser idénticos a la hormona natural. Los reguladores de crecimiento son muy utilizados en la horticultura y juegan cada vez un papel más importante en la producción del aguacate (Whiley, 2007).

De los reguladores de crecimiento, el que más se ha usado como una herramientas para manejar la época e intensidad de la floración en frutales es el GA_3, que inhibe la floración y retrasa la fecha de antesis (Téliz, 2000). En ese sentido, aplicaciones de giberelinas puede controlar la alternancia productiva, inhibiendo la excesiva floración, mientras se favorece el crecimiento vegetativo de brotes; de esta manera, se evita un año "alto" y se regula producción del huerto. Salazar-García y Lovatt (1998, 2000) han utilizado aspersiones de GA_3 para manipular la floración en aguacate,

tanto en ramas individuales como en todo el árbol. Aspersiones de 100 mg/L de GA_3, aplicadas en el inicio del invierno antes de la floración, redujo el número de inflorescencias, incrementó el número de brotes vegetativos y redujo la producción en un año "alto" hasta en un 47 %, lo que indica una respuesta deseable para quebrar o modificar la alternancia.

Por otro lado, los triazoles son un grupo de reguladores de crecimiento vegetal químicamente relacionados, que inhiben la biosíntesis de las giberelinas al ser aplicados a la planta en forma exógena (Davis, Henderson, Kobayashi, & Clegg, 1998). Estos, contrariamente a lo que sucede con las giberelinas, tiene un efecto marcado sobre el crecimiento vegetativo al inhibirlas, favoreciendo de esta forma la floración (Whiley, 2007). Dentro de este grupo, el paclobutrazol y uniconazol tienen un igual modo de acción al ser aplicados a las plantas (Noguchi, 1987).

Fisiología en el aguacate

La comprensión de las respuestas fisiológicas y de crecimiento del aguacate al medio ambiente es fundamental para minimizar el impacto negativo de las condiciones ambientales adversas y desarrollar así estrategias de manejo, con el fin de conseguir una máxima productividad (Schaffer & Andersen, 1994). El conocimiento de la fenología, hábitos de crecimiento y ecología del aguacate es esencial para interpretar las respuestas fisiológicas a los factores ambientales (Schaffer & Whiley, 2007).

Fotosíntesis

La actividad fotosintética es un indicador del crecimiento y la productividad de un cultivo. En efecto, el crecimiento y la producción dependen marcadamente del reparto de carbohidratos. Aumentar la producción en especies subtropicales de fructificación poliaxial terminal, como es el caso del aguacate, plantea un desafío para el manejo agronómico, ya que el árbol presenta una tendencia natural al crecimiento vegetativo, lo que resulta en una mayor asignación de materia seca, en detrimento del desarrollo de órganos reproductivos (Whiley et al., 1988; Wolstenholme, 1990).

Factores medioambientales tales como la luz, temperatura y concentración de CO_2 afectan la fotosíntesis, la respiración y el reparto de carbohidratos. Así, árboles de aguacate sin fruto sometidos durante seis meses a una atmósfera enriquecida con CO_2 incrementaron la producción de materia seca, principalmente en las raíces (Schaffer, While, & Searle, 1999).

La distribución de fotoasimilados está regulada por las interacciones fuente-sumidero. Las fuentes son exportadores y los sumideros importadores netos de fotoasimilados (Ho, 1988). El orden de prioridad de la demanda es función de la tasa de crecimiento (actividad del sumidero) y del tamaño del sumidero (número de frutos). El orden, generalmente, es: semilla > pulpa de los frutos = ápices de brotes y hojas > cámbium > raíces > tejidos de almacenamiento (Wolstenholme, 1990). Las hojas jóvenes, mientras se hallan en expansión, son fuertes sumideros que compiten con otros órganos demandantes de la planta hasta que alcanzan su tamaño definitivo, momento en que se convierten en exportadoras netas (Ho, 1988).

Radiación solar

La disponibilidad de luz incidente es el factor que, probablemente, ejerce la mayor influencia sobre la fotosíntesis en un huerto frutal. En el aguacate, dependiendo de la magnitud en el crecimiento de los flujos vegetativos, la transmisión de luz es variable; así, en flujos abundantes, el traspaso de luz hacia la zona de fructificación se reduce a un 40 %, respecto a la zona de plena iluminación, y a distancias de 0,5 y 1,0 m dentro de la copa desde la zona de fructificación, ésta se reduce a 14 % y 10 %, respectivamente. Por otro lado, en flujos más tenues, la transmisión de la luz a la zona de fructificación con plena iluminación disminuye a un 13 %, y en los puntos internos (0,5 y 1,0 m) a 9,7 % y 6,3 %, respectivamente (Whiley, Saranah, & Wolstenholme, 1992). La intensidad y duración de la iluminación son factores determinantes de la floración (Coutanceau, 1964) y es de amplio conocimiento que la floración y fructificación son menos abundantes a la sombra que bajo plena luz (Meyer, 1960).

Cuando la iluminación es baja, respecto de sus requerimientos, el crecimiento vegetativo se reduce, tanto en número como en longitud de los brotes, así como en el tamaño de las hojas, resultando en un menor desarrollo del árbol y una menor actividad fotosintética. Esto provoca diferencias de crecimiento entre las zonas sombreadas y soleadas de un árbol. Así, las partes altas de la planta, tienden a formar copas aparasoladas debido a una falta de renovación del material vegetativo que debería originarse desde las partes internas del árbol (Gil-Albert, 1992). De este modo, en el interior del árbol se originan numerosas ramificaciones y la densidad de ramillas exteriores reduce la iluminación y, por lo tanto, la floración en su interior; solo la parte exterior de la copa con iluminación adecuada presenta floración satisfactoria (Coutanceau, 1964).

En las hojas de la mayor parte de las especies el máximo de actividad fotosintética se alcanza con intensidades lumínicas muy por debajo de la luz solar. Gil-Albert (1992) señala que la falta de luz afecta la inducción y diferenciación floral, en razón del bajo nivel de carbohidratos acumulados. Adicionalmente, el desarrollo de las flores y la posterior fructificación también se ven afectadas.

La tendencia al crecimiento vegetativo ayuda a superar la competencia por luz en las copas del bosque tropical lluvioso, y el bajo punto de compensación lumínico contribuye a maximizar la fotosíntesis de los árboles en su hábitat espontáneo (Wolstenholme, 1990). Copas completas solo absorben un 65-70 % de la energía radiante disponible, limitando de esta forma el potencial de producción (Jackson, 1980). En la mayoría de los huertos de cultivos templados, métodos tales como podas selectivas permiten la maximización de la luz absorbida por la copa. Pero la tecnología para los frutales tropicales no está tan avanzada y no es posible, generalmente, una poda selectiva, debido al crecimiento continuo que comporta la falta de un período de latencia. Así, los resultados con especies frutales de clima templado han demostrado los beneficios de maximizar la absorción de la luz dentro de la copa; sin embargo, falta todavía información sobre estos fenómenos en especies tropicales, como es el caso del aguacate (Whiley & Schaffer, 1994).

Fenología y desarrollo vegetativo del aguacate

El aguacate se caracteriza por tener un crecimiento rítmico monopodial, es decir, con un crecimiento de una yema vegetativa terminal del eje central de cada brote que permanece y continúa su desarrollo año tras año, y es un ejemplo del modelo arquitectónico de Rauh, uno de los más frecuentes de las zonas templadas y tropicales (Thorp, 1992). El tronco forma ramas que son morfogenéticamente idénticas al tronco y las flores se originan lateralmente sin tener un efecto sobre el crecimiento de los brotes, aunque en algunos brotes existen flores en posición terminal, siendo el crecimiento subsecuentemente simpodial. Los brotes son los elementos más pequeños de este modelo arquitectónico, presentan un patrón de crecimiento predeterminado y se pueden formar por prolepsis o silepsis. El predominio relativo de prolepsis y silepsis es establecido por la interacción entre la dominancia apical y la acrotonía. Esta interacción parece estar genéticamente determinada y refleja diferencias en la forma de los árboles entre los distintos cultivares (Thorp & Sedgley, 1992).

Las yemas pueden ser axilares o apicales. El árbol crece principalmente desde las yemas apicales, debido a que las yemas axilares se desprenden o permanecen en estado

latente (Calabrese, 1992). El vigor del crecimiento completo del árbol y la producción de fruta dependen del tiempo y extensión de los eventos fenológicos, lo que está bajo el control de la disponibilidad de carbono y energía y de su distribución (Wolstenholme & Whiley, 1989) en respuesta a las condiciones medioambientales (Scholefield et al., 1985). Las hojas requieren alrededor de 40 días desde su salida de la yema hasta la transición de sumidero a fuente (Whiley, 1990). Durante este período pueden competir por fotoasimilados con los frutos en desarrollo (Biran, 1979; Buchholz, 1986; Cutting & Bower, 1990).

El aguacate, a lo largo del año, puede tener uno o más ciclos vegetativos seguidos de un período de crecimiento radical. Las raíces comienzan su crecimiento cuando el primer crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente, comienza un segundo período de crecimiento vegetativo, restableciéndose de esta manera el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra vegetativa (Calabrese, 1992; Hernández, 1991).

Biología reproductiva del aguacate

La producción del aguacate tiende a ser escasa y errática. A pesar de que esta especie frutal potencialmente puede superar las 30 t/ha, el promedio de los huertos más productivos en áreas subtropicales secas, apenas alcanza las 15 t/ha y en las húmedas las 25 t/ha (Wolstenholme & Whiley, 1998). Existen muchos factores en aguacate que podrían ser responsables de que los huertos no alcancen su potencial producivo, entre los cuales se pueden mencionar la floración, la polinización, la viabilidad funcional de los órganos reproductivos, el proceso de fertilización, el cuajado y el desarrollo y absición de los frutos (Davenport, 1986; Gazit & Degani, 2007).

Floración y fenología

La fisiología de la floración en árboles frutales ha recibido poca atención, especialmente bajo condiciones tropicales (Téliz, 2000; Mullins, Plummer, & Snowball, 1989). Los principales factores que influencian la transición a la floración son el fotoperíodo, la temperatura y la disponibilidad de agua. La temperatura es el factor que bajo condiciones tropicales mayor influencia tiene en la floración (Téliz, 2000; Bernier, Havelange, Houssa, Petitjean, & Lejeune, 1993).

Cuando se presentan períodos con temperatura por debajo de 6 ºC, se da el estímulo para que el árbol pase del estado vegetativo al estado reproductivo. El crecimiento vegetativo del aguacate se da en distintos flujos que pueden presentarse una, dos, tres o más veces durante el año. No todas las ramas contribuyen a cada flujo, lo que da como resultado una copa compuesta por hojas y brotes de varias edades. Debido a la presencia de brotes y yemas de diferentes edades y estados de desarrollo, hay una variación considerable en la proporción de ápices vegetativos que continuarán ya sea el crecimiento de los brotes o la formación de inflorescencias (Téliz, 2000).

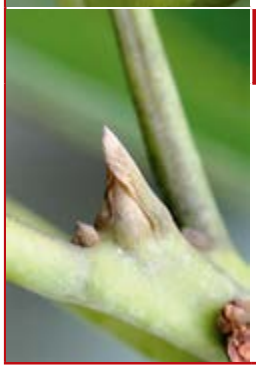
Las flores del aguacate están dispuestas en panículas que se forman en la parte terminal de las ramas (Calabrese, 1992; Galán-Saúco, 1990). Las inflorescencias del aguacate pueden ser de dos tipos: determinadas, en las que el meristemo del eje primario forma una flor terminal, e indeterminadas (figura 1.108a), en las que se forma una yema en el ápice del eje primario de la panícula que continúa con el crecimiento de un brote (figura 1.108b) (Reece, 1942; Schroeder, 1944; Salazar-García & Lovatt, 1998; Salazar-García, 2000)

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.108. Tipos de inflorescencias que se presentan en aguacate.
a. Inflorescencia determinada; b. Inflorescencia indeterminada.

No obstante, esta definición no es del todo cierta, pues se ha observado que las inflorescencias determinadas pueden presentar yemas vegetativas latentes, que eventualmente brotan luego de cuajado el fruto o permanecen latentes o mueren durante su desarrollo, lo que indica que finalmente ambos tipos son indeterminados, pero con diferencias en el tiempo.

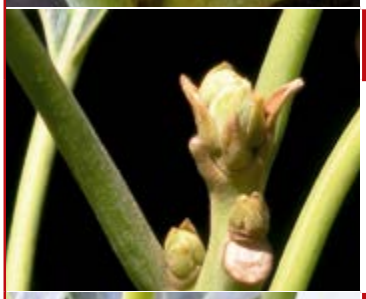
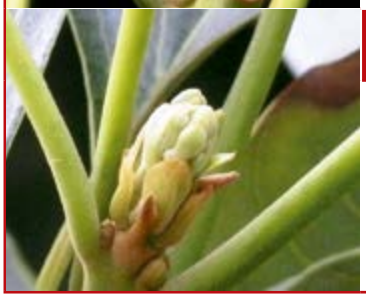
Aubert y Lossois (1972) describieron 13 estados fenológicos dentro de la fenología de las especies arbustivas, repartidos en tres períodos: cinco estados para la fase vegetativa, cinco estados para la floración y tres estados de fructificación. Sin embargo, dicha escala gráfica no clarifica la evolución de dichos estados y excluye el proceso dicógamo de la floración del aguacate. Salazar-García et al. (1998) plantearon en el aguacate una escala macroscópica y microscópica de 11 estados desde la yema cerrada hasta la antesis de la flor (figura 1.109 y tabla 1.21). Esta escala relaciona el aspecto externo de las yemas con el grado de desarrollo del meristemo floral, pero tampoco refleja la evolución, en este caso, de los estados femenino y masculino de la flor, ni los estados de fruto cuajado.

	Estado 1 Yema cerrada y puntiaguda localizada dentro de las dos últimas hojas sin expandir del brote.
	**Estado 2** Yema cerrada y puntiaguda; las dos últimas hojas están expandidas y maduras.

Fotos: Alexander Rebolledo Roa

(Continúa)

(Continuación figura 1.109.)

	Estado 3 Yema cerrada y puntiaguda. Senescencia parcial de las escamas de la yema.
	Estado 4 Escamas separadas. Expansión de las brácteas de la inflorescencia hacia todos los lados de la yema.
	Estado 5 Aumento del tamaño de la yema. Escamas separadas.
	**Estado 6** Yema redondeada. Solo las bases de las escamas exteriores permanecen. Presencia de las brácteas de inflorescencia que la protegen.
	**Estado 7** Las brácteas de la inflorescencia se abren. La inflorescencia empieza a emerger.

Fotos: Alexander Rebolledo Roa

(Continúa)

(Continuación figura 1.109.)

Estado 8

Elongación marcada de los ejes secundarios (estado de coliflor). Los ejes terciarios todavía están cubiertos por sus brácteas. Se observan flores pequeñas sin abrir.

Estado 9

Elongación de ejes terciarios. La cima de flores es evidente. La yema vegetativa en el ápice de la inflorescencia indeterminada es visible.

Estado 10

Las flores están completamente diferenciadas pero cerradas.

Estado 11

Antesis. Rompimiento de la yema vegetativa en el ápice de la inflorescencia indeterminada. Se inicia el flujo vegetativo.

Fotos: Alexander Rebolledo Roa

Figura 1.109. Escala de desarrollo floral en aguacate propuesta por Salazar-García et al. (1998).
Fuente: Elaboración propia con base en Salazar-García et al. (1998).

Estados fenológicos en aguacate

Cabezas, Hueso y Cuevas (2003) realizaron una identificación de estados-tipo dentro del ciclo de la floración y fructificación del aguacate, considerando aspectos morfológicos de las yemas y el comportamiento de la floración respecto a la dicogamia que presenta. Los autores presentan un modelo fenológico con diez estados, desde yema en latencia hasta el fruto tierno, basado en la propuesta de Aubert y Lossois (1972). A continuación, se describe el modelo propuesto:

- **Estado A (yema en latencia):** las yemas se muestran cerradas, de forma aguda, color amarillo-grisáceo y cubiertas por escamas pubescentes visibles y no lignificadas. Estas yemas aparecen en los brotes del ciclo vegetativo anterior y pueden ser terminales o axilares en la parte superior del brote, siempre cercanas a la yema apical (figura 1.110).
- **Estado B (yema hinchada)**: las escamas oscurecidas de las yemas se separan y extienden hacia el exterior. La yema se hincha y redondea como consecuencia de la morfogénesis de la inflorescencia. Las brácteas anaranjadas que protegen la inflorescencia se hacen visibles (figura 1.111).

Figura 1.110. Yema en estado A.

Figura 1.111. Yema en estado B (hinchada).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **Estado C (aparece la inflorescencia):** las brácteas de la inflorescencia se han abierto. Los botones florales de color verde pálido se aprecian entre las bracteolas amarillo-verdosas, que protegen los primordios de los racimos de la panícula y los botones florales (figura 1.112).

- **Estado D_1 (botones florales; eje secundario visible):** el eje primario y los ejes secundarios de la inflorescencia sufren su elongación y se hacen visibles. Los botones florales se diferencian individualmente pero se muestran agrupados en la panícula. Las bracteolas aún protegen los botones florales en los racimos de la panícula. En la base de la inflorescencia, permanecen las brácteas y escamas iniciales, algo más oscurecidas (figura 1.113).

Figura 1.112. Yema en estado C.

Figura 1.113. Yema en Estado D_1

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **Estado D_2 (botones florales; eje terciario visible):** se produce la elongación de los ejes terciarios de la inflorescencia. El eje primario y los ejes secundarios continúan su alargamiento. Los botones florales se separan y se reconocen los racimos en la panícula. Las bracteolas, presentes aún en la base de los ejes terciarios, se muestran extendidas hacia el exterior y desecadas (figura 1.114).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.114. Yema en estado D_2

- **Estado E (botón amarillo):** los ejes de la inflorescencia están completamente elongados y las flores diferenciadas en los racimos de la panícula. La mayoría de las bractéolas se han desprendido y, si las hay, se encuentran marchitas. Los tépalos de los botones florales son evidentes y presentan solo en su extremo distal un leve viraje de verde a amarillo; dejan de estar fuertemente unidos (figura 1.115).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.115. Yema en estado E (botón amarillo).

- **Estado F (floración):** La antesis de las flores de la panícula se produce de forma escalonada y sincronizada. El estado F se divide a su vez en 10 subestados fenológicos donde cada flor realiza dos aperturas; una como estado femenino, expresado con el subíndice f, y desarrollado en tres subestados; otra en estado masculino, expresado con el subíndice m, y representado por cinco subestados diferentes. Entre ambas fases, se produce un cierre intermedio y, por último, el cierre definitivo de la flor (subíndice c). A continuación, se describen los subestados en cuestión.

Fase femenina

- **Subestado F_{1f} (flor abriendo en fase femenina):** la antesis de la flor ha comenzado. Los tépalos se abren hasta un ángulo aproximado de 45º. El pistilo, de color blanco-verdoso, se muestra erecto y con el estigma fresco. Los estambres presentan un filamento corto y verde, y se encuentran apoyados y protegidos sobre los tépalos. En las anteras blanquecinas se distinguen las valvas cerradas. Los estaminodios, de color amarillo, comienzan a segregar néctar (figura 1.116).

- **Subestado F_{2f} (flor abierta en fase femenina):** la flor está completamente abierta. Los tépalos se disponen en un plano perpendicular al eje de la flor. El pistilo continúa erecto con el estigma fresco. Los estambres, más cortos que los tépalos, se muestran flexionados sobre estos y con las anteras no dehiscidas. Los estaminodios se encuentran erectos y segregan gran cantidad de néctar (figura 1.117).

Figura 1.116. Subestado F_{1f}

Figura 1.117. Subestado F_{2f}

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **Subestado F_{3f} (flor cerrando en fase femenina):** los estambres con anteras no dehiscidas se levantan e inclinan hacia el centro de la flor hasta tocar el pistilo, aproximadamente a un tercio de su longitud. A la par que los estambres, se levantan los estaminodios (que segregan poco néctar) y los nectarios. Un poco más retrasados, los tépalos empiezan a cerrar. El pistilo continúa erecto y el estigma fresco (figura 1.118).
- **Subestado F_{1c} (flor cerrada):** los tépalos están completamente plegados protegiendo en su interior las estructuras reproductivas; en este subestado presentan mayor longitud que antes de su antesis y un leve viraje a amarillo. En la mitad de cada tépalo se observa un pequeño surco resultado de su plegamiento en la primera apertura (figura 1.119).

Figura 1.118. Subestado F_{3f}

Figura 1.119. Subestado F_{1c}

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Fase masculina

- **Subestado F_{1m} (flor abriendo en fase masculina):** la segunda apertura de la flor ha comenzado. Los tépalos más alargados que en la fase anterior abren hasta un ángulo de 45º. El estigma comienza a oscurecerse. Los estambres del verticilo interior se encuentran erectos y alcanzan la altura del pistilo. Los estambres del verticilo exterior acompañan a cada tépalo en la apertura, curvados y distanciados del pistilo. Las anteras aún no están dehiscidas pero se distinguen las valvas de apertura. Los estaminodios y los nectarios se observan frescos aunque segregan poco néctar (figura 1.120).
- **Subestado F_{2m} (flor abierta en fase masculina; anteras no dehiscidas):** la flor está abierta. Los tépalos amarillean y alcanzan la perpendicular al eje de la flor. Los estambres del verticilo exterior quedan a un ángulo de 45º. Las anteras continúan cerradas. Los estambres del verticilo interior permanecen unidos al pistilo. El pistilo permanece erecto pero el estigma se ha oscurecido (figura 1.121).

Figura 1.120. Subestado F_{1m}

Figura 1.121. Subestado F_{2m}

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **Subestado F_{3m} (flor abierta en fase masculina; primera dehiscencia):** las anteras de los primeros estambres abren sus valvas. Los tépalos continúan su despliegue más allá de la perpendicular al eje de la flor. Los nectarios se muestran levantados y segregan gran cantidad de néctar. Los estaminodios comienzan a marchitarse (figura 1.122).

- **Subestado F_{4m} (flor abierta en fase masculina; dehiscencia completa):** la flor alcanza la apertura máxima. El verticilo exterior de tépalos se dobla hacia abajo, mientras que el verticilo interior permanece perpendicular al eje de la flor. Todos los estambres muestran sus anteras abiertas. El estigma aparece marchito. Los nectarios continúan frescos y segregando néctar. Los estaminodios se desecan (figura 1.123).

Figura 1.122. Subestado F_{3m}

Figura 1.123. Subestado F_{4m}

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **Subestado F_{5m} (flor cerrando en fase masculina):** la flor está cerrando. Primero se levantan los estambres del verticilo exterior hacia el pistilo y seguidamente los tépalos, ahora amarillos, se pliegan hacia el centro de la flor. El pistilo aparece sinuoso y con el estigma oscuro. Los nectarios han dejado de segregar néctar (figura 1.124).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.124. Subestado F_{5m}

- **Subestado F_{2c} (flor cerrada de forma definitiva):** la flor ha cerrado definitivamente. Los tépalos son largos y muestran en la mitad de su longitud las marcas de las dos aperturas anteriores. En el interior, los estambres han rodeado al pistilo y el ovario queda protegido (figura 1.125).
- **Estado G (marchitez de tépalos):** los tépalos se marchitan desde el ápice hacia la base. Las flores toman forma cónica. Las piezas verticiladas del interior permanecen agrupadas (figura 1.126).

Figura 1.125. Subestado F_{2c}

Figura 1.126. Estado G (marchitez de pétalos).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **Estado H (cuajado):** el ovario de color verde engrosa en el centro de las flores que han sido polinizadas y fecundadas. El estigma y el estilo desecos aparecen unidos al extremo superior del ovario. Las restantes piezas florales, también marchitas, se abren forzadas por el crecimiento del ovario. Los restos del androceo aún persisten (figura 1.127).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.127. Estado H (cuajado).

- **Estado I (fruto tierno):** los restos de tépalos y androceo se han desprendido y el pedúnculo del fruto ha engrosado. La expansión de la pequeña baya da lugar a un fruto de forma piriforme, globosa u ovalada, con un número variable de lenticelas en su epidermis según cultivar (figura 1.128).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.128. Estado I (fruto tierno).

Otras escalas fenológicas

Por su parte, Bárcenas et al. (2002) proponen tres escalas fenológicas para el cultivo del aguacate cv. Hass, que comprende cinco etapas en las fases vegetativas, de floración y de fructificación (figuras 1.129 a 1.143).

Fase vegetativa

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.129. Etapa 1. Corresponde a una rama que ha tomado su crecimiento y que posee una yema terminal cerrada y puntiaguda.

Figura 1.130. Etapa 2. La yema terminal está hinchada, de coloración amarillenta, y las escamas que la cubren empiezan a separarse.

Figura 1.131. Etapa 3. En el extremo del brote aparecen cuatro o cinco hojitas.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.132. Etapa 4. Se trata de un brote juvenil más avanzado, cuyas hojas presentan una coloración rojo oscuro. a. Brote nuevo con un tono rojizo profundo; b. Brote juvenil con tonalidades verde rojizas.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.133. Etapa 5. Finaliza la maduración de las hojas, que toman una coloración verde.

Fase de floración

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.134. Etapa 1. La yema apical, amarilla e hinchada, tiene separación de escamas superiores (etapa 2 de la fase vegetativa), mientras que las yemas axilares se hinchan y se tornan de color verde claro.

Figura 1.135. Etapa 2. Las brácteas se abren y la inflorescencia empieza a emerger; además, se distinguen claramente los botones florales.

Figura 1.136. Etapa 3. Los ejes florales secundarios se alargan.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.137. Etapa 4. Elongación de ejes terciarios, las flores están completamente diferenciadas pero cerradas. a. En una inflorescencia indeterminada. b. En una inflorescencia determinada.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.138. Etapa 5. Los pedúnculos florales se separan y se abren los sépalos (apertura de la flor o antesis). a. Inflorescencia completa en antesis; b. Flores en completa apertura.

Fase de fructificación

Figura 1.139. Etapa 1. Frutos de 1 a 15 mm de diámetro. De amarre (secos, recubren el ovario y están visibles) a aceitunas.

Figura 1.140. Etapa 2. Frutos de 16 a 39 mm de diámetro.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.141. Etapa 3. Frutos de 40 a 50 mm de diámetro.

Figura 1.142. Etapa 4. Frutos de más de 51 mm de diámetro, que aún conservan el color verde claro.

Figura 1.143. Etapa 5. Frutos de más de 51 mm de diámetro, pero de color verde oscuro, listos para corte (3/4 de sazón).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Factores que afectan a la floración del aguacate

La temperatura es uno de los factores principales del cambio de la fase vegetativa a la reproductiva. Los cultivares de aguacate subtropicales pueden solo producir yemas florales si se mantienen bajo un régimen de temperaturas frías. Para el cultivar Hass, el régimen 23 ºC/18 ºC (día/noche) es el punto crítico cercano para la floración. Después de la inducción floral, el desarrollo de las yemas florales ocurre adecuadamente para temperaturas de 25 ºC/20 ºC (día/noche) (Nevin & Lovatt, 1989; Salazar-García et al., 1999).

El estrés hídrico no induce la floración bajo un régimen no inductivo de alta temperatura, pero la aumenta bajo un régimen inductivo de bajas temperaturas. Sin embargo, en este caso, la floración se retrasa y solo se presenta alrededor de un mes después de que ha cesado el estrés hídrico (Chaikiattiyos, Menzel, & Rasmussen, 1994).

La aplicación de GA_3 influye en la iniciación y desarrollo floral, pero su efecto depende del estado de desarrollo en el momento de la aplicación (Salazar-García & Lovatt, 1998, 1999, 2000; Salazar-García et al., 1998). Durante la inducción floral o dos semanas más tarde, aplicaciones de 100 mg/L de GA_3 a las yemas apicales no interfiere en el proceso de inducción y la producción de inflorescencias apicales no se ve afectada. No obstante, cuando aplicamos a yemas axilares al final del período de bajas temperaturas, una gran proporción de estas permanecen latentes, aparentemente suprimidas por el brote apical.

Inducción y diferenciación floral

Poco se sabe aún sobre la biología reproductiva de esta especie, y la mayoría de los trabajos se han hecho para la zona de California. Se ha señalado que los primeros signos anatómicos de la iniciación floral son detectables en otoño o comienzos de invierno, dependiendo de la raza de aguacate y de la localidad (Scholefield et al., 1985; Thorp et al., 1993). Además, se ha sugerido que el proceso de iniciación floral ocurre solo después de que los brotes entran en un período de reposo (Davenport, 1982, 1986).

La diferenciación y desarrollo florales en el aguacate ocurren, generalmente, en otoño e invierno, cuando la duración del día es inferior a 12 h y las temperaturas son relativamente bajas. La temperatura es el principal factor responsable de los cambios de

la fase vegetativa a la fase reproductiva. Los cultivares de aguacates subtropicales, que se desarrollan con éxito en los trópicos a elevadas altitudes y en los subtrópicos con inviernos moderados, pueden producir yemas florales solo si se mantienen bajo regímenes de temperaturas frías (Gazit & Degani, 2007).

Cuajado y caída de órganos reproductivos

Los cultivares de aguacate pueden llegar a producir miles de inflorescencias, cada una de las cuales, a su vez, puede estar constituida por más de 100 flores, de forma que el número total de flores por árbol puede ser más de un millón (Sedgley & Alexander, 1983). Un millón de flores parece ser un número típico para un árbol de aguacate adulto (Bergh, 1986); sin embargo, tan solo uno o dos frutos por cada inflorescencia podrían alcanzar la madurez.

Un buen número de frutos cosechados por árbol puede estar entre 200 y 300 (Bergh, 1986; Whiley et al., 1988), aunque esto puede variar entre cultivares, pudiendo llegar hasta 1.000 frutos por árbol. Así, la producción de frutos en el aguacate pueden representar tan solo del 0,002 al 0,02 % de la cantidad de flores producidas por un árbol (Salazar-García, 2007), aunque el amarre o cuajamiento varía entre el 0,02 al 0,1 % (Chandler, 1958; Bergh, 1967). El amarre inicial de fruto en el aguacate es relativamente alto, pero la caída de frutos pequeños al inicio de su desarrollo es considerable (Téliz, 2000).

La mayoría de las inflorescencias que produce un árbol son indeterminadas y raramente forman una nueva inflorescencia (Schroeder, 1944), aunque bajo ciertas condiciones ambientales esto puede variar, como en el cv. Hass en Michoacán, México (Salazar-García, 2007). Se estima que del 5 al 20 % de todas las inflorescencias producidas por un árbol de aguacate son determinadas (Schroeder, 1944; Salazar-García & Lovatt, 1998). El potencial de amarre de cada tipo de inflorescencia es diferente. Basados en datos de amarre inicial de frutos, Bertling y Köhne (1986) predijeron un amarre de frutos más alto para las inflorescencias determinadas del aguacate cv. Fuerte.

Se cree que el reducido amarre de fruto en las inflorescencias indeterminadas se debe a una competencia con el crecimiento vegetativo, que se desarrolla en el momento en que las inflorescencias están amarrando frutos, lo que supone que si al momento de la floración se establece un programa incorrecto de fertilización, riego, poda, etc., prácticas que estimulan el crecimiento vegetativo durante el período crítico para

la retención del fruto, se da como resultado un incremento en la caída del fruto y pérdida de producción. Esto se debe a que existe una competencia por carbohidratos, agua o reguladores de crecimiento, entre otros (Téliz, 2000). Los frutos de aguacate que no cuajan se dividen en dos grupos: provenientes de flores polinizadas, pero en las que no se alcanzó la fertilización, y provenientes de flores polinizadas y fertilizadas, que dan lugar a un embrión normal y semillado (Lovatt, 1990).

Bajo condiciones favorables, los aguacates cuajan más frutos que los que el árbol es capaz de llevar hasta la madurez. En estas condiciones, la planta ajusta su capacidad de nutrir a los frutos modificando su número, esto es, provocando la caída masiva de frutos recién cuajados durante las primeras tres a cuatro semanas y, nuevamente, cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 y un 40 % de su tamaño final (Whiley et al., 1988; Wolstenholme, Whiley, & Saranah, 1990).

Sedgley (1987) observó que, durante la primera semana después de la antesis, el 80 % de los frutos caídos procedían de flores polinizadas pero no fertilizadas. Sin embargo, un mes después de la antesis todos los frutos caídos habían sido fertilizados y presentaban un normal desarrollo del embrión y del endospermo. Por su parte, Razeto (2000) señala que esta caída de frutos podría tener su origen en un aporte limitado de asimilados o en una fuerte competencia por ellos entre frutos y brotes vigorosos que se desarrollan a la vez; además, menciona que una última caída puede ocurrir en épocas secas, como consecuencia de un aporte insuficiente de agua y una elevación de la temperatura ambiente.

El fruto de aguacate permanece verde desde el cuajado hasta la madurez y tiene una alta densidad estomática, con estomas activos similares a los de las hojas, lo que facilita el intercambio gaseoso (Blanke & Bower, 1990). Por otra parte, la concentración de clorofilas totales en el mesocarpo es solo un 12 a 13 % de la que posee la piel (Cran & Possingham, 1973; Blanke, 1991; Blanke & Whiley, 1995), de esta forma, un fruto tiene el potencial de realizar actividad fotosintética, contribuyendo así a sus propios requerimientos de carbono durante el crecimiento. La fotosíntesis de frutos es una acumulación de CO_2 en los espacios libres internos, obtenido de la atmósfera y de la respiración tanto de hojas como de los mismos frutos.

Al respecto, Whiley (1990) estableció que la tasa neta de asimilación de CO_2 del fruto de aguacate, expuesto a la luz fue de 0,4 a 2,5 % del de las hojas completamente expandidas, lo que indica que el fruto del aguacate contribuye a su propios requerimientos de carbono por medio de CO_2 asimilado, durante estados tempranos de su desarrollo.

Todo lo anterior, es decir, la fijación de CO_2 en la luz y que la contribución relativa de la fotosíntesis del fruto es mayor durante sus primeros estados de desarrollo, podría indicar un factor que influye en la retención del fruto de aguacate, debido a que esta se produce al mismo tiempo que el período de competencia por fotoasimilados entre los sumideros vegetativos y reproductivos (Blumenfeld, Gazit, & Argaman, 1983; Wolstenholme et al., 1990). Esto se extiende alrededor de 42 días después de que el crecimiento de brotes ha comenzado (Whiley, 1990), período durante el cual los frutos tienen una tasa fotosintética neta positiva y así contribuyen levemente a sus propios requerimientos de carbono para el crecimiento (Whiley et al., 1992). A medida que el fruto avanza en su desarrollo, su tasa de fotosíntesis neta llega a ser menor que el desprendimiento de CO_2 (respiración oscura) y la contribución relativa de sus propios requerimientos de carbono es muy escasa (Whiley et al., 1992; Whiley & Schaffer, 1994).

Partenocarpia en aguacate

La partenocarpia es la formación de los frutos sin fertilización del óvulo. Existen referencias con respecto a algunas variedades que difieren en su habilidad para cuajar frutos sin que ocurra polinización cruzada, pero comúnmente hay más diferencias en el comportamiento floral dentro de una misma variedad en diferentes localidades, que entre diferentes variedades. Dependiendo de las condiciones climáticas durante la floración, una variedad se puede volver autofértil, pudiendo producir buenas cosechas, sin necesidad de tener que plantarse con variedades diferentes (Muñoz & Nuñez, 1983).

La variedad Fuerte es excepcionalmente sensible al frío o al tiempo excesivamente caluroso durante la floración y la formación del fruto. Cuando las condiciones para la polinización no son buenas, una gran parte de la cosecha puede originar frutas sin semilla, de forma alargada, de 2 a 6 cm de largo, y de 1 a 2 cm de ancho, llamados dedos o pepinillos (figura 1.144). Estos frutos conservan su agradable sabor y la semilla queda abortada. En esta variedad se produce una especie de partenocarpia natural inducida por condiciones ambientales desfavorables para la polinización (Muñoz & Nuñez, 1983).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 1.144. Detalle de un fruto partenocárpico en aguacate.

Parece que la práctica del anillado, que produce un efecto positivo sobre la producción, en algunos casos induce la producción de frutos partenocárpicos. Cuando se presenta una gran floración y fructificación, producto de un anillado, también se presenta una gran competencia por sustancias reguladoras, trayendo como consecuencia que algunos frutos no alcancen a formar semilla, dado que no alcanzan a ser suministradas dichas sustancias. Se sabe que la cubierta de la semilla de aguacate contiene un gran nivel de hormonas de crecimiento, ejerciendo un fuerte efecto de vertedero por fotoasimilados (Muñoz & Nuñez, 1983).

Otra forma de inducir partenocarpia en aguacate es con aspersiones de 2,4 D, auxina, aplicado a los árboles de la variedad Fuerte, lo que aumenta el número de frutos sin semilla, pero no el número total de frutos formados en el árbol. Con lo anterior se concluye que en aguacate hay tres formas para que se produzcan aguacates sin semilla o partenocárpicos: 1) naturalmente por condiciones extremas de temperaturas, bajas o altas, 2) anillado y 3) con aspersiones del 2,4 D. Además, se ha encontrado que el ataque de los comúnmente conocidos como trips u otros insectos del fruto, en etapas tempranas de fructificación, da como resultado frutos partenocárpicos.

Duración del ciclo productivo

El ciclo productivo del aguacate en forma natural puede superar los 40 años, pero cuando se siembra en forma comercial, su ciclo alcanza hasta los 15 años; sin embargo, en países como México existen cultivos comerciales de hasta 50 años con excelentes producciones. El inicio del ciclo productivo depende de la variedad o cultivar, del clima donde se encuentre el cultivo y del tipo de propagación empleado. Para cultivares propagados por semilla, la producción se inicia después del cuarto o quinto año, entrando en plena producción después del noveno año. Los cultivares propagados por injerto comienzan a producir a partir del segundo año, entrando en plena producción hacia el tercer o cuarto año, y con una vida útil promedia de la plantación de 15 años.

Llenado de frutos

El proceso del desarrollo del fruto es puesto en movimiento normalmente por dos estímulos consecutivos: por un parte, las auxinas y las giberelinas producidas durante el crecimiento del tubo polínico actúan como el estímulo primario que inicia el desarrollo (Lee, 1987); por otra, el estímulo secundario emana de la semilla en desarrollo y, en particular, del endospermo (Luckwill, 1959; Lee, 1987), que empieza a crecer rápida e inmediatamente después de la fertilización, produciendo altos niveles de auxinas. Asimismo, Lee (1987) sugiere que el hecho de que el fruto aborte o madure depende de su fuerza como demanda metabólica ("vertedero") o de su habilidad para inhibir químicamente el desarrollo de frutos vecinos. Además, Blumenfeld y Gazit (1972) encontraron que es en la cubierta de la semilla en desarrollo donde varias fitohormonas están activas a altos niveles, convirtiéndose en fuertes sitios de demanda de fotoasimilados.

El llenado de frutos es el lapso de tiempo que transcurre entre la polinización y la maduración fisiológica del fruto. En el aguacate, el fruto alcanza su madurez fisiológica en el árbol y puede permanecer allí después de este período hasta por tres meses o más. Una vez el fruto es separado del árbol, sigue un período de respiración y desprendimiento de etileno, hasta alcanzar su madurez de consumo. El período entre la polinización y la cosecha del fruto depende de la raza, del cultivar y del clima donde se sitúe el huerto, y puede oscilar entre 27 y 60 semanas. Para el cultivar Fuerte, este tiempo toma de ocho a diez meses; para Hass, en países subtropicales, toma de 10 a 12 meses y, en Colombia, de 9 a 12 meses, dependiendo de la altura donde se establece el cultivo.

Bernal (2012) encontró que existe una influencia de la altura sobre el período de floración a cosecha, en aguacate cv. Hass en Antioquia, Colombia. De esta forma, encontró que los árboles sembrados a 2.410 m s. n. m. tardaron 12 meses en producir después de la floración; a 2.180 m s. n. m., tardaron entre 10 a 11 meses; a 1.900 entre 9 y 10 meses, y a 1.340 m s. n. m., entre 7 y 8 meses.

Cosecha

Existe una creciente preocupación a cerca de las interacciones entre todos los elementos del sistema de producción y poscosecha, en relación con la calidad de la fruta. En general, la máxima calidad del fruto se alcanza en la cosecha y los sistemas de poscosecha están diseñados para minimizar las pérdidas durante el manejo y la distribución. Un mayor conocimiento y comprensión de estas interacciones conduce a un mayor desarrollo en los sistemas de la cadena de distribución, para abarcar los complejos tópicos involucrados en la producción y comercialización hortícola (Hofman, Fuchs, & Milne, 2007). Cualquier actividad que se realice en el huerto antes y durante el desarrollo del fruto influirá sobre el período poscosecha; sin embargo, la etapa con mayor repercusión comienza desde el momento que se corta el fruto de aguacate, ya que desde ahí hasta su presentación al consumidor final transcurre un período de tiempo considerable, durante el cual el fruto puede sufrir diferentes tipos de daños mecánicos y fisiológicos que lo hacen susceptible al ataque de diferentes fitopatógenos (Nieto, Acosta, & Téliz, 2007). Se debe considerar que en el lapso comprendido entre la cosecha de un producto vegetal hasta llegar a su consumo, ocurren pérdidas tanto en calidad como en cantidad. Esa pérdida puede ser del 5 al 25 %, en países desarrollados, y del 20 al 50 %, en los países en vías de desarrollo (Sánchez et al., 2001).

Definición de la época de cosecha

La cosecha es el punto en el que el fruto está óptimo para ser recolectado, determinado por el grado de maduración, por el mercado para el cual se dirige la producción y por el piso térmico en el que se encuentre la plantación. Para el aguacate, además de las consideraciones anteriores, hay que conocer las características que tiene cada variedad cuando el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, ya que el color puede variar o no.

La época apropiada de cosecha, es la etapa en la que el fruto ha alcanzado el estado de madurez adecuado para su comercialización. La cosecha del aguacate se hace manualmente, empleando tijeras o navaja para cortar el pedúnculo (Carvajal, 1996).

Madurez

Al contrario de la mayoría de los frutos, el aguacate no alcanza su fase climatérica (esto es, no alcanza su madurez de consumo) mientras que permanece en el árbol. La mayoría de las variedades comerciales de aguacate pueden permanecer en el árbol durante varios meses, salvo los de la raza antillana, sin que se produzca la abscisión y correspondiente caída de los frutos. De hecho, y salvo para aquellos cultivares que cambian de color en la madurez, es difícil apreciarla visualmente.

Aunque esta particularidad es sin duda ventajosa, ya que se puede acomodar en gran parte la recolección a las necesidades del mercado, conlleva algunos riesgos tanto de recolección temprana (bajo contenido de aceite, presencia de fibras en la pulpa, fruto de aspecto arrugado) o demasiado tardía (corta vida en anaquel, maduración irregular y calidad gustativa mediocre, excesivo contenido de aceite, germinación de la semilla) (Galán-Sauco, 1990).

De ahí que sea preciso encontrar técnicas específicas que permitan determinar una evaluación *in situ* de la madurez (Galán-Saúco, 1990). Para la cosecha del aguacate se utilizan varios criterios indicadores para definir el momento del corte, entre ellos: el tamaño y forma de los frutos, cambios físicos en la corteza de los frutos (cambio de tonalidades brillantes a opacas, aparición marcada de las lenticelas), cambio en la coloración del pedúnculo (amarillamiento), el color interno del mesocarpio o pulpa, fecha asignada a la cosecha (días transcurridos después del amarre de la fruta), contenido de aceite y materia seca, así como el cambio en la coloración de la testa de la semilla, la tasa de respiración del fruto y la pérdida de peso (Coria, 2008; Cerdas, Montero, & Díaz, 2006).

En Colombia, los principales criterios de cosecha son el cambio de color de la cáscara, de verde claro a verde oscuro, y la desaparición del brillo, que ha mostrado bastante imprecisión por ser una medición subjetiva que depende de la experiencia del cosechador. Estos criterios de cosecha no siempre se ajustan a los criterios de selección utilizados en los centros de acopio y mucho menos a los criterios para la exportación, lo que se traduce en porcentajes de rechazo muy altos, principalmente por fruta inmadura, que luego muestra problemas por no alcanzar la madurez de consumo; además, la capa exterior de la semilla se adhiere a la pulpa y no se logra desprender de ésta, y el sabor y la firmeza de la fruta no se desarrollan adecuadamente. Para nuestro país, la combinación de las diferentes variables climáticas que imperan en las áreas productoras de aguacate propicia la presencia de un período de

floración bastante amplio, que para un mismo huerto puede ser de hasta cuatro meses y, en consecuencia, existe fruta con diferentes grados de madurez durante la mayor parte del año. Este período de floración tan amplio ocasiona que exista una gran variación en tamaño, edad y diferente grado de madurez de la fruta, fenómeno que se complica si se considera que el período de floración presenta variaciones importantes, conforme se eleva la altitud del huerto y decrece la temperatura (Báez, 2005).

Contenido de aceite y materia seca

La concentración de aceite en el aguacate aumenta durante su desarrollo y es significativamente determinante para su palatabilidad. Para 1983, la industria aguacatera de California (EE. UU.) adoptó la técnica de determinación del contenido de materia seca como método oficial para estimar la madurez del aguacate (Lee, Young, Schiffman, & Coggins, 1983; Bergh, Kumamoto & Chen, 1989) y continúa siendo el indicador más confiable (Kaiser, 1994). Pese a ello, su costo y la dificultad de su medición han hecho necesarias investigaciones en busca de alternativas.

El porcentaje de materia seca (MS) está fuertemente relacionado con el contenido de aceite y la calidad (Lee et al., 1983; Brown, 1984; Ranney, 1991). El contenido total de aceite y la humedad son recíprocos y, generalmente, se suman a una constante para cualquier cultivar (Swarts, 1978). Por lo tanto, el porcentaje de MS es utilizado actualmente como un índice de madurez en Australia, Israel, Nueva Zelanda y Estados Unidos, entre otros. En la tabla 1.21 se presentan los índices actuales de maduración según el porcentaje de MS legal utilizados en varios países.

Tabla 1.21. Porcentaje promedio de materia seca (% MS) de la pulpa, requerido para asegurar una calidad de maduración aceptable en varios cultivares de aguacate

Índice de Maduración (% MS)			
Cultivar	**País**	**Promedio (%)**	**Referencia**
Hass	Australia	21,0	Brown (1984)
Hass	Estados Unidos	21,6	Ranney (1991)
Hass	Estados Unidos	21,8	Lee et al. (1983)
Hass	Sudáfrica	23,0	Milne (1994)

(Continúa)

(Continuación tabla 1.21.)

Índice de Maduración (% MS)			
Cultivar	**País**	**Promedio (%)**	**Referencia**
Hass	México	22,0	Sánchez (1993)
Hass	Chile	23,0	Waissbluth y Valenzuela (2007)
Hass	España	23,0	Galán-Saúco (1990)
Fuerte	Australia	21,0	Brown (1984)
Fuerte	Estados Unidos	19,9	Ranney (1991)
Fuerte	Estados Unidos	21,0	Lee et al. (1983)
Fuerte	Sudáfrica	20,0	Milne (1994)
Fuerte	España	22,0	Galán-Saúco (1990)
Bacon	Estados Unidos	18,5	Ranney (1991)
Bacon	Estados Unidos	20,0	Lee et al. (1983)
Bacon	España	21,0	Galán-Saúco (1990)
Zutano	Estados Unidos	18,8	Ranney (1991)
Zutano	Estados Unidos	20,2	Lee et al. (1983)
Zutano	España	22,0	Galán-Saúco (1990)
Gwen	Estados Unidos	25,9	Ranney (1991)
Ryan	Sudáfrica	20,0	Milne (1994)
Edranol	Sudáfrica	25,0	Department of Agriculture (1990)
Pinkerton		20,0	Kruger y Abercrombie (2000)
Ettinger	España	21,0	Galán-Saúco (1990)

Fuente: Elaboración propia

Acondicionamiento del aguacate para el mercado fresco

El manejo del aguacate durante y después de la cosecha debe ser cuidadoso para garantizar al consumidor la calidad e inocuidad de la fruta que se requiere. Los operarios que laboran en el campo y en la planta empacadora deben conocer bien el producto, sus atributos de calidad y los principales defectos, así como su tolerancia para que no sean considerados factores de rechazo. Adicionalmente, deben poder identificar las posibles fuentes de contaminación de la fruta y tomar las medidas correctivas para llevar al consumidor productos seguros. También deben conocer cuáles son las mejores condiciones para su manejo, que permitan extender su vida comercial (Cerdas et al., 2006).

Los procesos de cosecha y acondicionamiento del aguacate deben tomar en cuenta los requerimientos de los clientes y consumidores finales en el mercado objetivo, así como el tiempo desde la cosecha hasta la exhibición en los puntos de venta y los cambios esperados durante el transporte, tales como cambios en la textura y color propios de la maduración y cualquier síntoma de deterioro debido a patógenos, insectos y daños físicos en la fruta (Cerdas et al., 2006).

El contenido de grasa es un criterio de madurez confiable pero es difícil de determinar; sin embargo, existe un alto grado de correlación entre el contenido de grasa y el de materia seca en el aguacate, y este último se determina por un método simple, barato y rápido con un horno para secar. Esto ha permitido que en California y en la mayoría de las áreas productoras de aguacate de otros países se utilice el contenido de MS como índice de madurez para definir el momento de cosecha, que debe alcanzar de 19 a 25 %, dependiendo del cultivar (Promoción de Exportaciones Agrícolas no Tradicionales [PROEXANT], 2002; Kader, 1992).

Las variedades que se cultivan en Florida tienen menor contenido de aceite y se utiliza como criterio de cosecha el número de días después de la floración. Cuando se utiliza el contenido de grasa, este debe ser de al menos el 8 % en California, pero en Israel el valor debe ser de 10 % para la variedad Hass (Cerdas et al., 2006).

Desde el punto de vista práctico, la determinación del porcentaje de grasa es difícil de llevar a cabo, pues requiere la extracción y determinación del contenido de grasa, lo que demora varios días en un laboratorio especializado y tiene un costo elevado por muestra (aproximadamente US$ 15-18/muestra). Por su parte, la determinación del contenido de MS es bastante más simple y más barata (US$ 8/muestra en un

laboratorio privado) y su implementación en una planta empacadora de aguacate es relativamente sencilla como se explica a continuación (Cerdas et al., 2006).

Los resultados de contenido de MS se obtienen en unas pocas horas, por lo que se pueden utilizar para determinar si un lote de la plantación está listo para cosechar y para realizar análisis a los frutos cosechados en caso de duda sobre el grado de madurez; el corto tiempo permite dar información oportuna a los productores para modificar (afinar) los criterios de cosecha. El equipo requerido incluye un horno de microondas, una balanza analítica, un desecador y cápsulas (tipo placas de Petri o similar) para colocar las muestras. El método consiste en cortar aproximadamente 10 g de pulpa en rebanadas muy delgadas (con un pelador de papas), y colocarlas en el horno de microondas a secar hasta peso constante, proceso que tarda entre 5 y 15 minutos (Yahia, 2001).

El uso combinado de dos indicadores de cosecha como la opacidad de la cáscara y contenido de MS para determinar el momento de cosecha del aguacate resulta conveniente y de aplicación muy práctica, porque facilita la cosecha en el campo al usar el primero, mientras que con el segundo se comprueba la madurez fisiológica del fruto, y sus resultados sirven para mantener una buena comunicación con el productor, de forma que se hagan los ajustes en los casos en que el contenido de MS sea más bajo que el requerido (fruta inmadura) (Cerdas et al., 2006).

Rendimientos

Como ya se expuso, los árboles de aguacate producen un gran número de flores (1 a 2 millones de flores por árbol); sin embargo, solo 1 a 2 frutos de cada inflorescencia alcanzan la madurez. Un buen número final de frutos cosechados por árbol podría estar entre 200 y 300 (Bergh, 1986; Whiley et al., 1988), aunque esto puede variar entre cultivares, pudiendo llegar hasta 1.000 frutos por árbol. Así, la producción de frutos en el aguacate podría representar tan solo del 0,002 al 0,02 % de la cantidad de flores producidas inicialmente (Téliz & Mora, 2007).

En huertos comerciales de aguacate, los bajos rendimientos por hectárea han sido una causa de preocupación mundial por muchos años. En California, un buen rendimiento para el aguacate Fuerte está entre 5,6 y 11,2 t/ha, mientras que para el Hass de 7,8 a 13,4 t/ha (Gustafson & Rock, 1976). En México, el promedio nacional de producción de todas las variedades de aguacate en 1987 fue de 7,5 t/ha (Centro

de Desarrollo Frutícola [Conafrut], 1988). Información más reciente para el cultivar Hass en Michoacán (México) indicó que una producción común para un huerto adulto (100 árboles/ha) con manejo intermedio oscila entre 11 y 15 t/ha (Aguilera-Montañez & Salazar-García, 1996). Una idea sobre el potencial de producción del aguacate se puede obtener al comparar el costo energético de la fructificación con la capacidad fotosintética del árbol (Wolstenholme, 1986). El fruto del aguacate es rico en grasas (aceites) mono y poli-insaturadas. Así, el aguacate tiene un "costo energético" más alto que el de los frutos acumuladores de azúcar con poco peso similar, por ejemplo, manzanas o cítricos (Téliz, 2007). La consecuencia es una producción más baja por hectárea (Wolstenholme, 1986, 1987). Si el promedio de producción potencial de un huerto de manzano de alta densidad y manejo intensivo sobre portainjertos enanos es de 100 t/ha, el costo de energía equivalente para el aguacate sería de 32,5 t/ha (Téliz, 2000).

Una de las posibles causas de los bajos rendimientos del aguacate en Colombia y en varias áreas productoras del mundo es que la mayoría de la producción está basada en cultivares comunes, que tienen un bajo nivel de domesticación (Wolstenholme & Whiley, 1992; Téliz & Mora, 2007). Los árboles nativos de aguacate son originarios de los bosques húmedos, con ramas de complejidad simple y un bajo potencial de producción, caracterizado por un fruto pequeño, con bajo contenido de aceite (Wolstenholme & Whiley, 1992; Téliz & Mora, 2007). La domesticación ha tenido éxito en aumentar la complejidad del árbol, pero también ha resultado en una competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, en etapas críticas de la fenología del árbol. El mejoramiento y la selección para calidad de fruto han resultado en un fruto que puede tener un contenido de aceite superior al 20 %, haciendo del aguacate un fruto "energéticamente costoso" (Wolstenholme & Whiley, 1992; Téliz & Mora, 2007).

Los rendimientos en un huerto están determinados por factores bióticos, abióticos y de manejo cultural. Se pueden establecer para el trópico de altura o clima frío en Colombia, o con adecuadas características ecológicas y de manejo para las variedades Hass y Fuerte, rendimientos promedios que oscilan entre 8 y 12 t/ha, aunque bajo condiciones óptimas de clima, suelo, cultivar y manejo estos rendimientos se pueden duplicar. En plantaciones en plena producción y cultivos muy especiales, un árbol puede llegar a producir 500 kg de fruta/año o más. La producción de aguacate varía de acuerdo con la variedad, edad, estado sanitario, manejo, clima y fertilidad del suelo.

Calendario de cosechas

Las épocas de cosecha en Colombia, de acuerdo con series estadísticas de Corabastos, se presentan en la tabla 1.22.

Tabla 1.22. Disponibilidad de las variedades de aguacate más comunes en Colombia

Variedades	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Papelillo												
Choquette												
Booth 8												
Trinidad												
Común												
Semil												
Santana												
Venezolano												
Curumaní												

Alta oferta Baja oferta

Fuente: Elaboración propia con base en Velásquez (2006) y Vega (2012)

De acuerdo con una investigación de Díaz y Bernal (2017), los flujos florales en ocho localidades del departamento de Antioquia en aguacate cv. Hass tuvieron una duración e intensidad diferente, lo que implica floraciones sucesivas. Este comportamiento fenológico origina la presencia simultánea de fruto de diferentes edades en el árbol, que es cosechado durante la mayor parte del año en los distintos climas de la región.

En todos los huertos, la floración de mayor intensidad se observa en el primer trimestre del año. Al respecto, se pudo observar que anualmente se presenta una floración

principal y una de menor intensidad, lo que corresponde a la cosecha principal y la traviesa. Se observó, además, que el árbol presenta distintos flujos vegetativos durante el año, que pueden coincidir con las épocas de floración, lo que da cuenta de la presencia de las inflorescencias indeterminadas (flores y brotes vegetativos en forma simultánea) en esta especie frutal.

También pudo establecerse que la época de la cosecha principal se presenta en las zonas más bajas (Jardín, Amagá y El Peñol, con una temperatura promedio más alta), en los meses de septiembre a diciembre, mientras que en las zonas más altas (San Pedro y El Retiro) esta se presenta entre los meses de enero y febrero. Similar comportamiento se observa con la cosecha traviesa que se da en las primeras localidades, entre abril y junio, y en las otras entre junio y julio. Cabe destacar que en Antioquia solo existen dos épocas con baja disponibilidad de fruta que corresponde a marzo y agosto; sin embargo, se ha observado que en estas épocas cierta cantidad de fruta se cosecha y, a pesar de no ser cantidades considerables, representan una oferta casi constante durante todo el año (tabla 1.23).

Tabla 1.23. Épocas de cosecha de aguacate cv. Hass en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017)

Finca	Altura (m s. n. m.)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
I	1.786												
LA	1.992												
BV	2.025												
LE	2.167												
EG	2.288												
CS	2.411												
EC	2.458												
EB	2.464												

Cosecha principal Cosecha traviesa

Fuente: Elaboración propia

En un estudio realizado por Bernal (2016), se observó que las épocas de cosecha del cv. Hass en 2011 y 2012, en siete ambientes del departamento de Antioquia, presentaron un comportamiento similar al reportado por Díaz y Bernal (2017), donde se visualizan varias épocas de cosecha que corresponden a la "principal" y la "traviesa", las dos de diferente intensidad y duración (Tablas 1.24 y 1.25).

Tabla 1.24. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011)

Localidad	Altura (m s. n. m.)	2011											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Támesis	1.340		■	■	■								■
Venecia PB	1.510								■				
Venecia SC	1.770						■	■					
Jericó	1.900						■		■		■		■
Marinilla	2.087								■		■		
Rionegro	2.140		■					■		■	■		■
Entrerríos	2.420							■		■	■		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.25. Épocas de cosecha en huertos de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2012)

Localidad	Altura (m s. n. m.)	2012												2013		
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Támesis	1.340	■		■			■	■								
Venecia PB	1.510			■		■										
Venecia SC	1.770	■					■			■			■			
Jericó	1.900					■						■	■			
Marinilla	2.087		■						■						■	
Rionegro	2.140	■						■							■	
Entrerríos	2.420															■

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con información de los productores de aguacate cv. Hass en Antioquia, las épocas de cosecha principal y traviesa de las fincas en evaluación han acortado sus períodos de recolección, debido a la exportación, que exige fruta con madurez fisiológica cercana al 23 % de MS. Anteriormente, los agricultores acostumbraban dejar su cosecha un mayor período en el árbol, con el fin de conseguir mejores precios en el mercado nacional, cosechando la fruta con MS de hasta un 35 a 38 %. Por otra parte, se ha observado (datos no mostrados) que los períodos de cosecha puede anticiparse o alargarse según las temperaturas promedio de las épocas de recolección; es así como en épocas secas, la cosecha se adelanta y, en pocas de lluvia, donde la temperatura promedio es más baja, la cosecha se prolonga.

Beneficio

Es el proceso que se realiza a los frutos de aguacate cosechados, para mejorar la calidad de los frutos a comercializar y comprende los siguientes procesos:

Lavado

El lavado es una práctica que no se realiza normalmente en el mercado nacional. Para mercados más especializados y de exportación, el lavado y la desinfección de la fruta son tareas necesarias para una mejor presentación del producto. El lavado consiste en limpiar el aguacate, quitándole los residuos de fungicidas, insecticidas o fertilizantes foliares y polvo.

Desinfección

Este proceso se realiza utilizando una solución desinfectante, en la que se sumergen los frutos.

Selección

En esta actividad, se separan los aguacates que no tiene un color uniforme, que tienen cicatrices sobre la epidermis, que están rajados o atacados por enfermedades o plagas, y que no se pueden comercializar.

Clasificación

Por este proceso se separan los frutos del aguacate por categorías de acuerdo a su color, intensidad y tamaño, categorías que están determinadas por el mercado.

Bodega

La bodega consta de una construcción situada cerca al cultivo, donde se procede a la selección y acondicionamiento de los frutos.

Transporte

Para el transporte interno, dentro del país, los frutos son llevados en camiones de estacas, a temperatura ambiente. Estos frutos son transportados a las centrales mayoristas de abastos de las principales ciudades; solo una pequeña parte de la fruta, que es comercializada en los almacenes de cadena, es transportada en camiones refrigerados dentro de canastillas plásticas.

Para los mercados de exportación, se hace en camiones refrigerados, dentro de cajas de cartón; para ser transportados a los mercados externos, se lleva en aviones o barcos, en contenedores refrigerados.

Acopio

Los sitios para el acopio deben ser salones amplios, de piso de cemento, baldosa o madera, bien aireados, donde se almacena la fruta para ser distribuida a los centros de comercialización.

Empaque

Para el empaque de los frutos de aguacate, se utilizan diferentes materiales, tales como costales de fibra y fique, cajas de madera y guadua, canastillas de madera, canastillas plásticas y cajas de cartón, entre otros.

Almacenamiento

Los frutos de aguacate se deben guardar en un lugar fresco, seco, bien aireado; no se deben almacenar con agroquímicos, detergentes, sustancias tóxicas, combustibles, pinturas u otros productos que emitan olores fuertes. Si se desean almacenar por más de ocho días, se recomienda recurrir al almacenamiento en frío, de 5 °C a 7 °C, y 85 a 90 % de humedad relativa, donde se conservan hasta por dos semanas. Los frutos empacados en sacos o costales deben arrumarse como máximo de a tres, mientras que los organizados en cajones plásticos y cajas de cartón pueden ser apilados máximo de a 10. Para evitar que se produzca una maduración generalizada y rápida, el aguacate no se debe almacenar con vegetales de alta tasa de producción de CO_2.

Referencias

Aguilar, J., Vitorelli, C., Molina, J., & Santisteban, O. (1989). *Desinfecte el sustrato de siembre por el método de la solarización, para la producción de tubérculos-semillas de categoría básica de papa*. Lima, Perú: Convenio INIAA-COTESU-CIP.

Aguilera-Montañez, J. L., & Salazar-García, S. (1996). *Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y tamaño del fruto de aguacate*. Uruapan, México: INIFAP, Campo Experimental.

Alcázar, J., Raymundo, S. A., & Salas, R. (1981). Influencia del tiempo de exposición, grosor de plástico, plástico usado o nuevo y profundidad del suelo en la eficiencia de la solarización en el control de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Fitopatología*, *26*(2), 92-99.

Alexander, D. McE. (1975). Flowering Times of Avocado in the Murray Valley. *The Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, *41*, 264-267.

Alfonso, B. J. A. (2008). *Manual Técnico del Cultivo del Aguacate Hass* (Persea americana L.). Honduras: Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola [FHIA].

Allan, P., Lamb, D., & Chalton, D. (1981). Sterilization and Pasteurization of Soil Mixes. *South Africa Avocado Growers' Association Yearbook*, *4*, 124-127.

Álvarez de la Peña, F. (1979). El Aguacate. Madrid: Ministerio de Agricultura.

Amórtegui, F. I. (2001). *El cultivo del aguacate. Módulo Educativo para el Desarrollo Tecnológico de la Comunidad Rural*. Ibagué: Corporación para la Promoción del Desarrollo Rural y Agroindustrial del Tolima [PROHACIENDO].

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. En *Actas VI Congreso Mundial del Aguacate*. Viña del Mar, Chile.

Arpaia, M. L., Stottlemyer, D., Bates, L., Manor, W., Fjeld, K., Sievert, J., & Focht, E. (2004). Enhancement of Avocado Productivity. Plant Improvement: Selection and Evaluation of Improved Varieties and Rootstocks. *Proceedings of the California Avocado Research Symposium* (pp. 9-23). Riverside, California: University of California.

Aubert, B., & Lossois, S. (1972). Considérations sur la phénologie des espèces arbustives. *Fruits*, *27*(4), 269-286.

Avocado Source. (s. f.). *Variety database search results for...* Recuperado de http://www.avocadosource.com/AvocadoVarieties/QueryDB.asp.

Avilan, L., & Rodríguez, M. (1995). Época de floración y cosecha del aguacate (*Persea* ssp.) en la región norte de Venezuela. *Agronomía Tropical*, *45*(1), 35-50.

Avilán, L., Leal, F., & Bautista, D. (1989). Lauraceae. En *Manual de Fruticultura, Cultivo y Producción* (pp. 666-776). Chacaito: América.

Avilán, L., Leal, F., & Bautista, D. (1992). Lauraceae. En *Manual de Fruticultura, Principios y Manejo de la Producción (*pp. 666-776). Chacaito: América.

Avilán, L., Rodríguez, M., Carreño, R., & Dorantes, I. (1994). Selección de variedades de aguacate. *Agronomía Tropical*, *44*(4), 593-618.

Báez, A. J. M. (2005). *Caracterización del ciclo de maduración de la fruta de aguacate por ambiente altitudinal en Michoacán* (tesis profesional). Uruapan, Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo [UMSNH].

Baíza, V. H. (2003). Guía técnica del cultivo del aguacate. *Programa Nacional de Frutas de El Salvador-Frutal ES*. San Salvador, El Salvador: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, y Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Bárcenas, O. A. E. (2000). Ecología del Aguacate. En *III Seminario Taller sobre el aguacate* (pp. 7-14). Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Bárcenas, O. 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 Urapan, Michoacán. *Revista de divulgación de la Coordinación de Investigación Científica de la UMSNH*, (5)23-30.

Barrientos-Priego, A. F., López, J., & Sánchez, C. (1987). Effect of Colin V-33 as Interestock on Avocado (*Persea americana* Mill.) Growth, Cv. Fuerte. *South African Avocado Grower´s AssociationYearbook*, *10*, 62-63.

Barrientos-Priego, A. F., Muñoz-Pérez, R. B., Borys, M. W., & Martínez-Damián, M. T. (2000). Cultivares y portainjertos del aguacate. En D. Téliz, H. González, J. Rodríguez & R. Dromundo (Eds.), *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 35-54). México D. F., México: Mundi-Prensa.

Barrientos-Priego, A. F., & López-López, L. (2002). Historia y genética del aguacate. En *Memoria de la Fundación Salvador Sánchez Colín* (pp. 100-121). Coatepec de Harinas, México: Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México.

Barrientos-Priego, A. F., Muñoz-Pérez, R. B., Reyes-Alemán, J. C., Borys, M. W., & Martínez-Damian, M. T. (2007). Taxonomía, cultivares y portainjertos. En D. Téliz, & A. Mora (Eds.), *El aguacate y su manejo integrado*. (pp. 31-62, 2.ª ed.). Ciudad de México, México: Ediciones Mindiprensa.

Barrientos-Villaseñor, A., Barrientos-Priego, A. F., Rodríguez-Pérez, J. E., Peña-Lomeli, A., & Muñoz-Pérez, R. (1999). Influencia del interinjerto cv. Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *5*, 103-116.

Bender, G. F., & Whiley, A. W. (2007). Propagación. En A. W. Whiley, B. Schaffer, B. N. Wolstenholme (Eds.). *El Palto. Botánica, Producción y Usos* (pp. 177-197). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Bender, G. (s. f.). *Lamb Hass vs Hass Avocado. Are we missing something?* Recuperado de http://www.californiaavocadogrowers.com/sites/default/files/documents/Lamb-Hass-vs-Hass-Avocado-Are-We-Missing-Something.pdf

Ben-Ya´acov, A. (1970). Inarching. En *The division of subtropical horticulture: The volcani Institute of Agricultural Research 1960-1969* (pp. 43-46). Israel: Peli Printing Works.

Ben-Ya‘acov, A., & Michelson, E. (1995). Avocado Rootstocks. *Horticultural Reviews*, *17*, 381-429.

Bergh, B. O. (1957). Avocado breeding in California. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 70*, 284-290.

Bergh, B. O. (1961). Breeding Avocados at California Resources Corp. *California Avocado Society Yearbook*, *45*, 67-74.

Bergh, B. O. (1967). Reasons for Low Yields of Avocados. *California Avocado Society Yearbook*, *5*, 161-172.

Bergh, B. O. (1969). Avocado (*Persea americana* Miller). En F. P. Ferwerda, & F. Wit (Eds.), *Outlines of Perennial Crops Breeding in the Tropics* (pp. 23-51). Waginengen, The Netherlands: Landbouwhogeschool.

Bergh, B. O. (1977a). Avocado breeding of selection. En J. Suals, P. L. Phillips, & L. K. Jackson (Eds.), *Proceedings of the First International Tropical Fruits Short Course: The Avocado* (pp. 24-33). Gainesville, Florida: University of Florida.

Bergh, B. O. (1977b). Avocado breeding in California. *Proceedings of the Florida State Horticultural*, *70*, 284-290.

Bergh, B. O. (1984). Avocado Varieties for California. *California Avocado Society Yearbook*, *68*, 75-93.

Bergh, B. O. (1986). *Persea americana*. En A. B. Halevy (Ed.). *CRC Handbook of Flowering* (pp. 253-268). Boca Raton, Florida: CRC Press.

Bergh, B. O. (1992). The Origin, Nature, and Genetic Improvement of the Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, *76*, 61-75.

Bergh, B. O., & Whitsell, R. H. (1974). Self-Pollinated Hass Seedlings. *California Avocado Society Yearbook*, *57*, 118-123.

Bergh, B. O., & Whitsell, R. H. (1982). Three New Patented Avocados. *California Avocado Society Yearbook*, *66*, 51-56.

Bergh, B. O., & Lahav, E. (1996). Avocados. En J. Janick, & J. N. Moore (Eds.). *Fruit Breeding, Tree and Tropical Fruits* (pp. 113-166). West Lafayette, Indiana: John Wiley & Sons.

Bergh, B. O., Kumamoto, J., & Chen, P. (1989). Determining Maturity in Whole Avocados. *California Avocado Society Yearbook*, *73*, 173-176.

Bernal, J. A. (1986). *Informe Anual de Actividades en Frutales*. Rionegro: Corpoica.

Bernal, J. A., & Moncada, J. (1988). *Informe Anual de Frutales*. Rionegro: Corpoica.

Bernal, J. A. (2012). *Estudio y evaluación del comportamiento agronómico y productivo de la variedad de aguacate Hass en diferentes pisos térmicos del departamento de Antioquia. Informe Técnico Final*. Rionegro, Antioquia: Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia [SADRA] y Corpoica.

Bernal, J. A. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia*. [Tesis de doctorado]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Bernier, G., Havelange, A., Houssa, C., Petitjean, A., & Lejeune, P. (1993). Physiological Signals that Induce Flowering. *The Plant Cell*, *5*(1), 1147-1155. doi:10.2307/3869768

Bertling, I., & Köhne, S. (1986). Investigation into Fruit Set of Avocado. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *9*, 59-62.

Betancur, O., & Mejía, J. (1990). *Solarización un método de control de patógenos del suelo. Seminario Ingeniero Agrónomo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Biran, D. (1979*). Fruitlet Abscision and Spring Growth Retardation: Their Influence on Avocado Productivity*. [Tesis inédita]. Rehovot, Israel: The Hebrew University of Jerusalem.

Bisonó, P. S. M., & Hernández, B. J. R. (2008). *Guía tecnológica sobre el cultivo del aguacate*. Santo Domingo: Consejo Nacional de Competitividad y Clúster del Aguacate Dominicano.

Blanke, M. M. (1991). Photosynthesis of Avocado Fruit. En C. J. Lovatt, P. A. Holthe, & M. L. Arpaia (Eds.). *Proceedings of the Second World Avocado Congress* (pp. 179-190). California, Riverside: University of California.

Blanke, M. M., & Bower, J. P. (1990). Surface Features of the Avocado Fruit. *Tropical Agriculture*, *67*, 379-381.

Blanke, M. M., & Whiley, A. W. (1995). Bioenergentics, Respiration Cost and Water Relations of Developing Avocado Fruit. *Journal of Plant Physiology*, *145*, 87-92.

Blumenfeld, A., & Gazit, S. (1972). Gibberelin-like Activity in The Developing Avocado Fruit. *Physiology Plant*, *27*, 116-120.

Blumenfeld, A., Gazit, S., & Argaman, E. (1983). *Factors Involved in Avocado Productivity. Special Publication*, *222*, 84-85. Bet Dagan, Israel: The Volcani Center.

Bower, J. P., & Cutting, J. G. M. (1992). The Effect of Selecting Pruning on Yield and Fruit Quality in "Hass" Avocado. *Acta Horticulturae*, *296*, 55-58.

Broadbent, P., & Baker, F. K. (1974). Behavior of *Phytophthora cinnamomi* in Soils Suppressive and Conducive to Root Rot. *Australian Journal of Agricultural Research*, *25*, 121-137.

Brokaw, W. H. (1986). Selecting Rootstock. *California Avocado Society Yearbook*, *70*, 111-114.

Brooks, R. M., & Olmo, H. P. (1997). *The Brooks and Olmo Register of Fruit & Nut Varities*. Alexandria, Virginia: American Society for Horticultural Science [ASHS] Press.

Brown, B. I. (1984). Market Maturity Indices and Sensory Properties of Avocados Grown in Queensland. *Food Technology in Australia*, *37*, 474-476.

Buchholz, A. (1986). *Young Vegetative Growth as a Possible Factor Envolved with Fruitlet Abscision in Avocado*. [Tesis de maestría]. Rehovot, Israel: The Hebrew University of Jerusalem.

Burns, R. M., Mircetich, S. M., Coggins, C. W. Jr., & Zentmyer, G. A. (1965). Gibberellin Increases Size of 'Duke' Avocado Seedlings. *California Avocado Society Yearbook*, *50*, 118-120.

Cabezas, C., Hueso, J. J., & Cuevas, J. (2003). Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea americana* mill.). En *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate)* (pp. 237-242).

Calabrese, F. (1992). El aguacate. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

California Avocados. (2017). *California difference*. Recuperado de https://www.californiaavocado.com/the-california-difference/avocado-history

California Avocado Society [CAS]. (1950). Report from Honduras. *Yearbook, 34*, 116-123. Recuperado de http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_35_1950/CAS1950_PG_116-123.pdf

Camacho-Ferre, F., & Fernández-Rodríguez, E. J. (2000). *El cultivo de sandía apirena injertada, bajo invernadero, en el litoral mediterráneo español*. Recuperado de http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/agricultura/el-cultivo-de-sandia-apirena-injertada.pdf

Carvajal, J. G. (1996). *Manual práctico para el cultivo del aguacate*. Rionegro, Antioquia: Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA].

Calderón, A. E. (1983). *La poda de árboles frutales*. Ciudad de México, México: Editorial Limusa.

Cerdas, A. M., Montero, C. M., & Díaz, C. E. (2006). *Manual de manejo pre y poscosecha de aguacate* (Persea americana). Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica, Consejo Nacional de Producción Fundación para el Fomento, y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica.

Chaikiattiyos, S., Menzel, C. M., & Rasmussen, T. S. (1994). Floral Induction in Tropical Fruit Trees: Effects of Temperature and Water Supply. *Journal of Horticultural Science*, *69*, 397-415.

Chanderbali, A. S., Albert, V. A., Ashworth, V. E. T. M., Clegg, M. T., Litz, R. E., Soltis, D. E., & Soltis, P. S. (2008). *Persea americana* (Avocado): Bringing Ancient Flowers to Fruit in the Genomics Era. *BioEssays*, *30*, 386-396. doi:10.1002/bies.20721.

Chandler, W. H. (1958). *Evergreen Orchards* Philadelphia: Lea & Febiger.

Clark, O. I. (1923). Avocado Pollination and Bees. En *California Avocado Association Annual Report*, *8*, 57-62.

Centro de Desarrollo Frutícola [CONAFRUT]. (1988). *Inventario Frutícola de 1987*. México: Comisión Nacional de Fruticultura, Subdirección de Planeación y Evaluación.

Coria, A. V. M. (2008). Cosecha. En *Tecnología para la producción de aguacate en México* (pp. 167-180). Uruapan, Michoacán: INIFAP.

Cossio-Vargas, L., Salazar-García, S., González-Durán, I., & Medina-Torres, R. (2008). Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *14*(3), 319-324.

Coutanceau, M. (1964). *Fruticultura*. España: Ediciones de Occidente.

Cran, D. G., & Possingham, J. V. (1973). The Fine Structure of Avocado Plastids. *Annals of Botany*, *37*, 993-997.

Crane, J. H., Bally, I. S. E., Mosquera-Vasquez, R. V., & Tomer, E. (1997). Crop production. En R. E. Litz (Ed.). *The Mango: Botany, Production and Uses* (pp. 203-256). Welingford, United Kingdom: CABI.

Cristoffanini, L., Lienlaf, P., & Ramella, A. F. (2011). Efecto de la distancia de plantación en huertos de alta densidad en palto cv. Hass: primer avance. En *VII Congreso Mundial del Aguacate 2011*. Cairns, Queensland.

Cummings, K., & Schroeder, C. A. (1942). Anatomy of the Avocado Fruit. *California Avocado Society Yearbook*, *27*, 56-64.

Cutting, J. G. M., & Bower, J. P. (1990). Spring Vegetative Flush Removal: The Effect on Yield Size Fruit Mineral Composition and Quality. *South African Avocado Growers' Yearbook*, *13*, 33-94.

Cutting, J. G. M., & Van Der Vuuren, S. P. (1988). Rooting Leafy Non-Etiolated Avocado Cuttings from Gibberellin Injected Trees. *Scientia Horticulturae*, *37*, 171-176.

Davenport, T. L. (1982). Avocado Growth and Development. *Proceedings Florida State Horticultural Society*, *95*, 92-96.

Davenport, T. L. (1986). Avocado Flowering. *Horticultural Reviews*, *8*, 257-289.

Davis, J., Henderson, D., Kobayashi, M., & Clegg, M. T. (1998). Genealogical Relationships Among Cultivated Avocados as Revealed Through RFLP Analyses. *Journal of Heredity*, *89*, 319-323.

Dennis, F. G., & Neilsen, J. C. (1999). Physiological Factors Affecting Biennial Bearing in Tree Fruit: The Role of Seeds in Apple. *Horticultural Technology*, *9*, 317-322.

Department of Agriculture. (1990). Export Standards and Requirements (Avocados), Std No. C-3. En South African Department of Agriculture, Pretoria, South Africa. Recuperado de http://www.nda.agric.za/doaDev/sideMenu/foodSafety/doc/Avocados.reg(2008).DOC.

Díaz, C. A., & Bernal, J. A. (2017). *Desarrollo Tecnológico Productivo y Comercial del Aguacate en el departamento de Antioquia. Informe Final. Sistema General de Regalías*. Medellín: Gobernación de Antioquia y Corpoica.

Eggers, E. R., & Halma, F. F. (1937). Rooting Avocado Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *21*, 121-125.

Ellstrand, N. (1992). Sex and the single variety. *California Grower*, *16*(1), 22-23.

Ernst, A. A. (1999). Micro Clonning: A Multiple Clonning Technique for Avocado Using Micro Containers. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *5*, 217-220.

Escobar, M. E. (2001). *Presentación de Yotoco. Reserva Natural. Flora: Plantas Vasculares.* Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Litotamara S. A.

Escobar, W., & Sánchez, L. A. (s. f.). *Fruticultura colombiana Guanábano*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Farré, J. M., Hermoso, J. M., & Pliego, F. (1987). Effects of Pre-Bloom Pruning on Leaf Nutrient Status, Growth and Cropping of the Avocado Cv. Hass. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *10*, 71-72.

Faostat. (s. f.). *Cultivos*. Recuperado de http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC

Fernández-Galván, D., & Galán-Saúco, V. (1986). Adaptabilidad de distintos patrones de aguacate (*Persea americana* Mill.) a la propagación clonal. *Actas del II Congreso Nacional de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas* [SECH], 1, 51-58.

Frolich, E. F. (1951). Rooting Guatemalan Avocado Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *36*, 136-138.

Frolich, E. F., & Platt, R. G. (1972). Use of the Etiolation Technique in Rooting Avocado Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *55*, 97-109.

Gaillard, J. P., & Godefroy, J. (1995). Avocado. *The Tropical Agriculturist Series*. London: The Tropical Agriculturalist [CTA]/Macmillan Education.

Galán-Saúco, V. (1990). Aguacate. En *Los frutales tropicales en los subtrópicos. I. Aguacate, mango, litchi y longan* (pp. 25-58). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Galindo, M. E., & Arzate-Fernández, A. M. (2010). Consideraciones sobre el origen y primera dispersión del aguacate (*Persea americana*, Lauracea). *Cuadernos de Biodiversidad*, *33*(sept), 11-15. doi:10.14198/cdbio.2010.33.02.

Gardner, F. E. (1937). Etiolation as a Method of Rooting Apple Variety Stem Cuttings. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, *34*, 323-329.

Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2008). The Relationship Between Flower and Fruit Abscission and Alternate Bearing of 'Hass' Avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *133*, 3-10.

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). Gainesville, Florida: University of Florida.

Gazit, S., & Degani, C. (2007). Biología reproductiva. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.). *El Palto. Botánica, Producción y Usos* (pp. 103-131). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Gil-Albert, F. (1992). *La Ecología del Árbol Frutal*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Gillespie, L. H. (1957). Stem-rooting Clones by Means of "Juvenile Growth Phase" Leafy-stem Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *41*, 94-96.

Ginsburg, O., & Avizohar-Hershenson, Z. (1980). Observations on Vesicular-arbuscular Mycorrhiza Associated with Avocado Roots in Israel. *Transactions of the British Mycological Society*, *48*, 101-104.

Gómez, R. E., Soule, J., & Malo, S. E. (1971). Avocado Air Layers: A Study of Seven Varieties During a Year´s Cycle. En *Proceeedings of the American Society for Horticultural Science, Tropical Region*, *15*, 113-120.

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*, 109-117.

Griswold, H. (1950). Report on the Committee on Foreign Explorations. *California Avocado Society Yearbook*, *34*, 28-30.

Gustafson, C. D., & Bergh, B. O. (1966). History and Review and Studies on Cross Pollination of Avocados. *California Avocado Society Yearbook*, *50*, 39-49.

Gustafson, C. D., & Kadman, A. (1969). Effects of Some Plant Hormones of the Rooting Capacity of Avocado Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *53*, 97-100.

Gustafson, C. D., & Rock, R. C. (1976). Costs to Produce Avocados in San Diego County. *California Avocado Society Yearbook*, *60*, 22-24.

Gutiérrez, V. G. (1970). Familia Laurácea. En *Manual práctico de botánica taxonómica* (pp. 221-249). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Gutiérrez, V. G. (1984). *Manual práctico de botánica taxonómica. Tomo I*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Hallé, F., Oldeman, R. A. A., & Tomlinson, P. B. (1978). *Tropical Ttrees an Forest: An Architectural Analysis*. Berlin: Springer Verlag.

Halma, F. F., Zentmyer, G. A., & Wilhelm, S. (1954). Susceptibility of Avocado Rootstocks to Verticillium Wilt. *California Avocado Society Yearbook*, *38*, 153-155.

Halma, F. F. (1953). Avocado Rootstock Experiments: A 10 Year Report. *California Avocado Society Yearbook*, *38*, 79-86.

Hartman, H. T., & Kester, D. E. (1961). *Plant Propagation Principles and Practices*. New Jersey: Prentice-Hall.

Hass, A. R. C. (1937a). Propagation of the Fuerte Avocado by Means of Leafy Twig Cutting. *California Avocado Society Yearbook*, *21*, 126-130.

Hass, A. R. C. (1937b). Progress in the Rooting of Fuerte Avocado Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *21*, 130-132.

Hernández, F. (1991). *Aproximación al ciclo fenológico del palto* (Persea americana *Mill.*) *cultivar Hass, para la zona de Quillota, V región* (taller de licenciatura). Quillota, Chile: Universidad Católica de Valparaíso.

Ho, L. C. (1988). Metabolism and Compartmentation of Imported Sugars in Sink Organs in Relation to Sink Strength. *Annual Review of Plant Physiology*, *39*, 355-378.

Hoad, G. (1984). Hormonal Regulation of Fruit Bud Formation in Fruit Trees. *Acta Horticulturae*, *149*, 3-23.

Hodgson, R. W. (1950). The Avocado: A Gift Grom the Middle Americas. *Economic Botany*, *4*, 253-293.

Hodgson, R. W., & Cameron, S. H. (1935). Studies on the Bearing Behavior of the Fuerte Avocado Variety. *California Avocado Society Yearbook*, *19*, 156-165.

Hofman, P. J., Fuchs, Y., & Milne, D. L. (2007). Cosecha, embalaje, tecnología de poscosecha, transporte y procesamiento. En A. W. Whinley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.). *El Palto. Botánica, Producción y Usos* (pp. 331-364). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Hofshi, R. (1999). High-Density Avocado Planting: An Argument for Replanting Trees. *Subtropical Fruit News*, *7*(1), 9-13.

Hofshi, R. (2004). Más allá de la producción: Reingeniería en el palto. En *Segundo Seminario Internacional de Paltos* (pp. 1-3). Quillota, Chile: Sociedad Gardizábal y Magdahl.

Holmquist, J. (1965). *Ensayo comparativo de injertación del Aguacate* (Persea americana *Mill.*). Maracay: Universidad Central.

Homsky, S. (1995). The Avocado Industry in Israel: An Overview. *Alon Hanotea*, *49*, 479-488.

Ibar, L. (1979). El Aguacate. En *Aguacate, chirimoyo, mango, papaya* (pp. 9-120). Barcelona: Aedos.

Illsley, C., Brokaw, R., Ochoa, S., & Brewuer, T. (2011). Hass Carmen®. A Precocious Flowering Avocado Tree. En *Memories of VII Word Avocado Congress*. Cairns, Queensland, Australia. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC7/Section_14/IllsleyCarlos2011b.pdf

International Plant Genetic Resources Institute [Ipgri]. (1995). *Descriptores para aguacate (Persea spp.).* Italia, Roma: IPGRI.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]. (2011). *Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. Tecnología-produce aguacate en Michoacán*. Recuperado de http://www.aproam.com/CULTIVO/produccion.htm.

Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1991a). Possible Routes of Avocado Tree Pollination by Honeybees. *Acta Horticulturae*, *288*, 225-233.

Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1991b). New Insight into Avocado Flowering in Relation to its Pollination. *California Avocado Society Yearbook*, *75*, 125-137.

Jackson, J. E. (1980). Light Interception and Utilization by Orchard Systems. *Horticultural Review*, *2*, 208-267.

Jackson, J. E. (1985). Future Fruit Orchard Design: Economics and Biology. En M. G. R. Cannell, & J. E. Jackson (Eds.). *Attributes of Trees as Crop Plants* (pp. 441-459). Abbots Ripton, Huntington: Institute of Terrestrial Ecology.

Jaramillo, V. J., Mejía, A., Villamizar J. P., Orozco M. L., Arenas, A., Mejía, J. F., Llano, G., … González, A. (2010). *Colección, caracterización y multiplicación clonal de selecciones criollas de aguacate con énfasis en la identificación de patrones con tolerancia a Phytophthora spp.* [Informe final]. Palmira, Valle del Cauca: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Kader, A. A. (1992). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, *3311*. Oakland, EE. UU.: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.

Kadman, A. (1963). Germination Experiments with Avocado Seeds. *California Avocado Society Yearbook*, *47*, 58-60.

Kadman, A. (1976). Effects of the Age of Juvenile Stage Avocado Seedlings of the Rooting Capacity of Their Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *65*, 41-42.

Kadman, A., & Ben-Ya'acov, A. (1965). A Review of Experiments on Some Factors Influencing the Rooting of Avocado Cuttings. *California Avocado Society Yearbook*, *49*, 67-72.

Kadman, A., & Ben-Ya'acov, A. (1976). Selection of Avocado Rootstock for Saline Conditions. *Acta Horticulturae*, *57*, 189-197.

Kaiser, C. (1994). Evaluation of Maturity Standards in Avocado Fruit. *Subtropica*, *15*, 18-20.

Kaiser, C., & Wolstenholme, B. N. (1994). Aspects of Delayed Harvest of "Hass" Avocado (*Persea americana* Mill.) Fruit in a Cold Subtropical Climate. II. Fruit Size, Yield, Phenology and Whole-tree Starch Cycling. *Journal of Horticultural Science*, *69*, 447-457.

Köhne, S. (1992). Field Evaluation of 'Hass' Avocado Grown on 'Duke 7', 'G6' and 'G755C' Rootstock. En C. Lovatt, P. A. Holthe, & M. L. Arpaia (Eds.). *Proceedings of the Second Word Congress 'The Shape of Things to Come'* (pp. 301-303). Riverside, California: University of California Riverside.

Köhne, J. S., & Kremer-Köhne, S. (1990). Results of a High Density Avocado Planting. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *13*, 31-32.

Köhne, J. S., & Kremer-Köhne, S. (1991). Avocado High Density Planting: A Progress Report. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *14*, 42-43.

Knight, R. J. (2007). Historia, distribución y usos. En A. W. Whinley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.). *El Palto. Botánica, Producción y Usos* (pp. 13-24). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Knight, R. C., & Witt, A. W. (1937). The Propagation of Fruit Tree Stocks by Stem Cuttings. II. Trials with Hardand Soft-wood Cuttings. *Journal of Pomology*, *6*, 47-60.

Knight, R. J., & Campbell, C. W. (1999). Florida's Contribution to the World Avocado Industry. En *Proceedings of the Annual Meeting of Florida State Horticultural Society*, *112*, 233-236.

Kopp, L. E. (1966). A taxonomic revision of the genus *Perseae* in the Western Hemisphere (Perseae-Lauraceae). *Memoirs of the New York Botanical Garden*, *14*, 1-120.

Kramer, S., Achuricht, R., & Friedrich, G. (1982). *Fruticultura*. Ciudad de México, México: Editorial Continental.

Kruger, F. J., & Abercrombie, R. (2000). *Timely Nitrogen Fertilising Recommendations for Pinkerton Growers. Advisory leaflet, Institute for Tropical and Subtropical Crops*. Nelspruit, South Africa: Institute for Tropical and Subtropical Crops.

Lahav, E., Gefen, B., & Zamet, D. (1971). The Effect of Girdling on the Productivity of the Avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *96*, 396-398.

Lahav, C. (1999). Issues and Strategies for Canopy Management of Avocado Orchards in the Jordan Valley of Israel. En M. L. Arpaia, & R. Hofshi (Eds.). En *Proceedings of Avocado Brainstorming '99* (pp. 49-51). Riverside, California: California Avocado Commission and the University of California.

Lahav, E., & Kalmar, D. (1977). Water Requirement of Avocado in Israel. II. Influence On Yield, Fruit Growth and Oil Content. *Australian Journal of Agricultural Research*, *28*, 869-877.

Lahav, E., Lavi, U., Zamet, D., Degani, C., & Gazit, S. (1989). Iriet: A New Avocado Cultivar. *HortScience*, *24*, 865-866.

Lahav, E., & Lavi, U. (2007). Genética y mejoramiento clásico. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 47-74). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

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). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Lavi, U., Lahav, E., Degani, C., Gazit, S., & Hillet, J. (1993). Genetic Variance Components and Heritabilities of Several Avocado Traits. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, *188*, 400-404.

Leal, F. (1966). Enraizamiento de estacas de aguacate. *Agronomía tropical*, *16*(2), 141-145.

Leal, F. J., Krezdorn, A. H. & Marte, R. J. (1976). The Influence of Giberelic Acid On the Germination of Avocado Seeds. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, *89*, 258-261.

Lee, T. D. (1987). Patterns of Fruit and Seed Production. En J. L. Doust, & L. L. Doust (Eds.), *Plant Reproductive Ecology: Patterns and strategies* (pp. 169-202). Oxford: Oxford University.

Lee, S. K., Young, R. E., Schiffman, P. M., & Coggins, C. W. (1983). Maturity Studies of Avocado Fruit Based on Picking Dates and Dry Weight. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, *108*, 390-394.

Lesley, J. W., & Bringhurst, R. S. (1951). Environmental Conditions Affecting Pollination of Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, *35*, 169-173.

Lomas, J., & Zamet, D. (1994). Long-Term Analysis and Modeling of Agroclimatic Effects on National Avocado Yields in Israel. *Agricultural and Forest Meteorology*, *61*, 315-336.

Lovatt, C. (1990). Factors Affecting Fruit Set/Early Fruit Drop in Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, *71*, 193-199.

Luckwil, L. C. (1959). Fruit Growth in Relation to External and Internal Chemical Stimuli. En D. Ruchnick (Ed.), *Cell Oragnism and Milieu* (pp. 223-251). New York: Ronald Press Company.

Loupassaki, M. H., Vasilakakis, M., & Androulakis, S. (1995). The Time of Flowering of Avocado and the Female and Male Opening of Flowers in Crete. *Advances in Horticultural Science*, *9*, 37-42.

Lynce-Duque, D. (2011). Poda del aguacate en Colombia. *VII Congreso Mundial de Aguacate*. Cairns, Autralia. Recuperado de http://www.congresomundialdelaguacate2011.com/.

McGregor, S. E. (1976). Insect pollination of cultivated crop plants. *USDA Agriculture Handbook*, *496*, 93-98.

Markle, T. (1994). Gwen Variety Update. *California Avocado Society Yearbook*, *78*, 27-30.

Mejía, A. E. (2011). *Informe de Gestión Secretaría Técnica*. Bogotá: Consejo nacional del aguacate.

Mejía, A. E. (2017). Entorno del aguacate Hass en Colombia. Ponencia presentada *en Curso de Actualización Tecnológica del Cultivo de Aguacate. Medellín, Colombia.*

Mejía, J. A., Villamizar, J. P., Orozco, M. A., Arenas, A., Álvarez, E., Carmona, J. A. … González, A. (2009). Identificación, desinfección y clonaje de "escapes" de aguacate (Persea americana Mill.) de cultivos devastados por pudrición radicular. *Ponencia presentada en el III Congreso Latinoamericano del Aguacate, Medellin, Colombia*.

Menge, J. A. (2001). Non-fungicidal Control Strategies for *Phytophthora Cinamonni* Root Rot of Avocado. En *Proceedings of the Australian and New Zealand Avocado Grower's Conference "Vision 2020"* (CD). Brisbane: Australian Avocado Growers Federation.

Menge, J. A., La Rue, J., Labanauskas, C. K., & Johnson, E. L. V. (1980). The Effect of Two Mycorrhizal Fungi Upon Growth and Nutrition of Avocado Seedlings Grown with Six Fertilizer Treatments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105, 400-404.

Mesa, D. C. E., & Rivera, L. C. M. (1996). *Evaluación de diferentes materiales plásticos en la solarización de suelos para semillero* (tesis de Tecnología Agropecuaria). Rionegro, Colombia: Universidad Católica de Oriente.

Meyer, B. (1960). *Introducción a la fisiología vegetal*. Buenos Aires: Eudeba.

Milne, D. L. (1994). Postharvest Handling of Avocado, Mango and Lychee for Export From South Africa. En B. R. Champ, E. Highley, & G. I. Johnson (Eds.), *Postharvest/handling of Tropical Fruits* (pp. 73-89). Canberra: ACIAR.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *Anuario estadístico del sector agropecuario 2019. Resultados Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Recuperado de https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59

Monselise, S. P., & Goldschmidt, E. E. (1982). Alternate Bearing in Fruit Trees. *Horticultural Reviews*, *4*, 128-173.

Moore-Gordon, C., & Wolstenholme, B. N. (1996). The Hass Small Fruit Problem: Role of Physiological Stress and its Amelioration by Mulching. *South Africa Avocado Growers' Association Yearbook*, *19*, 82-86.

Moore-Gordon, C., Wolstenholme, B. N., & Levin, J. (1996). Effect of Composted Pine Bark Mulching of *Persea americana* Mill. Cv. Hass. Fruit Growth and Yield in a Cold Subtropical Environment. *Journal of South African Society for Horticultural Science*, 6, 23-26.

Moore-Gordon, C., Cowan, A. K., & Wolstenholme, B. N. (1997). Mulching of Avocado Orchards to Increase Hass Yield and Fruit Size and Boost Financial Rewards a Three Season Summary of Research. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *20*, 46-49.

Morton, J. F. (1987). Lauraceae. Avocado. En *Fruits of Warm Climates* (pp. 91-102). Greensboro, Florida: Media Incorporated.

Mullins, M. G., Plummer, J. A., & Snowball, A. M. (1989). Flower Initiation: New Approaches to the Study of Flowering in Perennial Fruit Plants. En C. J. Wright (Ed.), *Manipulation of Flowering* (pp. 65-77). London: Butterworths.

Muñoz, C. D., & Nuñez, L. E. (1983). Partenocarpia en aguacate. En *Seminario de Frutales*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

Nevin, J. N., & Lovatt, C. J. (1989). Changes in Starch and Ammonia Metabolism During Low Temperature Stress-induced Flowering in Hass Avocad: A Preliminary Report. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *12*, 21-25.

Newett, S. (1999). Current Status of Canopy Management in Australia. En M. L. Arpaia, & R. Hofshi (Eds.), *Proceedings of Avocado Brainstorming '99* (pp. 56-59). Riverside, California: California Avocado Commission and the University of California.

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). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Newett, S., Whiley, A., Dirou, J., Hofman, P., Ireland, G., Kernot, I.; … Waite, G. (2001). Growing the Crop. En N. Vock (Ed.), *Avocado Information Kit* (pp. 3-54). Brisbane: Queensland Department of Primary Industries.

Nieto, A. D., Acosta, R. M., & Téliz, O. D. (2007). El manejo poscosecha en aguacate. En D. Téliz, & A. Mora (Eds.). *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 209-219). México: Mundi-Prensa.

Nirody, B. S. (1922). Investigations in Avocado Breeding. *California Avocado Association Annual Report* (pp. 65-68).

Noel, A. R. A. (1970). The Girdled Tree. *Botanical Review*, *36*, 162-195.

Noguchi, H. (1987). New Plant Growth Regulators and S-3307D. *Japan Pesticide Information*, *51*, 15-22.

Ocampo, C. H., Gallego, G., Duque, M. C., Sánchez, I., Ríos-Castaño, D., & Debouck, D. G. (2006). Diversidad genética de la colección colombiana de aguacate (*Persea americana* Mill.). En *Memorias del Primer Congreso Colombiano de Horticultura*. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Papademetriou, M. K. (1976). Some Aspects of the Flower Behavior, Pollination and Fruit Set of Avocado (*Persea Americana* Mill.) in Trinidad. *California Avocado Society Yearbook*, *60*, 106-153.

Patiño, V. M. (2002). Lauráceas. En *Historia y dispersión de los frutales nativos del neotrópico* (pp. 77-88). Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT].

Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). The Tropics, its Soils and Horticulture. *Tropical Fruits*, 20, 400.

Pegg, K. G., & Whiley, A. W. (1987). *Phytophthora* Control in Australia. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *10*, 94-96.

Pegg, K. G., Coates, L. M., Korsten, L., & Harding, R. M. (2007). Enfermedades foliares, del fruto y el suelo. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 275-309). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Pennock, W., Soto, T., Abrans, R., Gandia, R., Perez, A., & Jackson, G. (1963). *Variedades selectas de aguacates de Puerto Rico. Estación Experimental Agrícola Río Piedras. Boletín*, *172*. Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico.

Peterson, P. A. (1955). Dual Cycle of Avocado Flowers. *California Agriculture*, *39* (6-7), 13.

Peterson, P. A. (1956). Flowering Types in Avocado with Relation to Fruit Production. *California Avocado Society Yearbook*, *40*, 174-177.

Phillips, D., Weste, G., & Hinch, J. M. (1991). Resistance to *Pytophthora cinnamomi* in Callus Derived from Three Avocado Cultivars. *Canada Journal of Botany*, *69*, 2026-2032.

Piccone, M. F., & Whiley, A. W. (1986). Don´t Rush Into Planting Pinkerton. *Queensland and Vegtable News*, *57*, 26-31.

Platt, R. G. (1976). Avocado Varieties Recently Registered with the California Avocado Society. *California Avocado Society Yearbook*, *59*, 41-51.

Platt, R. G., & Frolich, E. F. (1965). *Propagation of Avocados. California Agriculture Experiment Station Extension Service Circular, 351*. California: University of California.

Platt, R., Goodall, G., Gustafson, C., & Lee, B. (1975). *Thinning Avocado Orchards*. Berkeley, California: University of California.

Pliego-Alfaro, F., Witjaksono, A., Barceló-Muñoz, A., Litz, R. E., & Lavi, U. (2007). Biotecnología. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 199-213). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Pliego-Alfaro, F., & Murashige, T. (1987). Possible Rejuvenation of Adult Avocado by Graftage Onto Juvenile Rootstock *in Vitro. Horticultural Science*, *22*, 1321-1324.

Popenoe, W. (1935). Origin of the Cultivated Races of Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, *20*, 184-194.

Popenoe, W. (1919). *The avocado in Guatemala, Bulletin 743*. United States Department of Agriculture [USDA].

Popenoe, W. (1920). *Manual of Tropical and Subtropical Fruits*. London: Macmillan.

Popenoe, W. (1952). Avocado. *Ceiba*, *1*, 269-376.

Popenoe, W., & Williams, L. O. (1947). The Expedition to Mexico of October. *California Avocado Society Yearbook*, 22-28.

Popenoe, W., Zentmyer, G. A., & Schieber, E. (1997). The Avocado Has Many Names. *California Avocado Society Yearbook*, *81*, 155-162.

Pozorski, S. G. (1976). *Prehistoric subsistence patterns and site economics in the Moche valley, Peru* (PhD thesis). University of Texas, Austin.

Promoción de Exportaciones Agrícolas no Tradicionales [PROEXANT] (2002). *Aguacate (Avocado): proyectos exitosos para el sector agropecuario*. Ecuador: Corporación PROEXANT.

Ranney, C. (1991). Relationship Between Physiological Maturity and Percent Dry Matter of Avocados. *California Avocado Society Yearbook*, *75*, 71-85.

Raviv, M., & Reuveni, O. (1984). Endogenous Content of Leaf Substance(s) Associated with Rooting Ability of Avocado Cuttings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *109*, 284-287.

Razeto, B. (2000). El palto: un árbol magnífico, pero de discreta producción. *Revista Aconex*, *68*, 5-9.

Razeto, B., Fichet, T., & Longueira, J. (1995). Close Planting of Avocado. *Proceedings of The World Avocado Congress III* (pp. 227-232).

Razeto, B., Fichet, T., & Longueira, J. (1992). Close Planting of Avocados. *Proceeding of Second World Avocado Congress* (pp. 273-279).

Reece, P. C. (1942). Differentiation of Avocado Blossom Buds in Florida. *Botanical Gazette*, *104*, 323-328.

Ríos-Castaño, D., Román, C. A., & Serna, J. (1977). Aguacate. En *Frutales* (pp. 127-154). Bogotá: Corpoica.

Ríos-Castaño, D. (1982). Características de las variedades de aguacate para los distintos pisos térmicos del trópico. En *Fruticultura Tropical. Federación nacional de Cafeteros de Colombia. Programa de Desarrollo y Diversificación de Zonas Cafeteras* (pp. 207-212). Bogotá, Colombia.

Ríos-Castaño, D., & Tafur-Reyes, R. (2003). Variedades de aguacate para el trópico: Caso Colombia. *Actas del V Congreso Mundial de Aguacate* (pp. 143-147). Málaga, España.

Ríos-Castaño, D., Corrales, M. D. M., & Daza, G. G. J. (2003). *Principios básicos para el manejo de plántulas producidas en viveros. Profrutales-Productora de Plántulas Frutales*. Cali, Colombia: Impresora Feriva S. A.

Ríos-Castaño, D., Corrales-Medina, D. M., Daza-Gómez. G. J., & Aristizábal-Gallo, A. (2005). *Aguacate: Variedades y patrones importantes para Colombia*. Palmira, Colombia: Feriva.

Robinson, T. R. (1931). Some Aberrant Forms of Flower Mechanisms in the Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, *16*, 107-111.

Robinson, T. R., & Savage, E. M. (1926). Pollination of the Avocado. *United States of Agriculture Circular*, *387,* 1-16.

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

Rodríguez, S. F. (1982). El aguacate. México: AGT Editor, S. A.

Roe, D. J., & Morudo, T. N. (1999). Performance of New Avocado Rootstock at Westfalia Estate. *South Africa Avocado Growers' Association Yearbook*, *22*, 34.

Rojas-González, S., García-Lozano, J. & Alarcón-Rojas, M. (2004). *Propagación asexual de plantas: conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas*. Bogotá, Colombia: Corporación colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Programa Nacional de Transferencias de Tecnología Agropecuaria (Pronatta).

Romero, S. M. A. (2011). *Comportamiento fisiológico del aguacate* (Persea americana *Mill.*). *Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima*. [Tesis de maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Ruehle, G. D. (1963). The Florida Avocado Industry. *University of Florida Agriculturtal Experiment Station Bulletin*, *602.*

Salazar-García, S. (2000). Fisiología reproductiva del aguacate. En D. Telíz (Ed.). *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 57-83). México: Mundi-Prensa.

Salazar-García, S. (2007). Floración y fructificación. En D. Telíz, & A. Mora (Eds.). *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 64-86). México: Mundi-Prensa.

Salazar-García, S., & Lovatt, C. J. (1998). GA_3 Application Alters Flowering Phenology of 'Hass' Avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *123*, 791-797.

Salazar-García, S., Lord, E. M., & Lovatt, C. J. (1998). Inflorescence Development of the "Hass" Avocado (*Persea americana* Mill.) During "On" and "Off" Crop Years. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *72*, 339-345.

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*, 69-73.

Salazar-García, S., Lord, E. M., & Lovatt, C. J. (1999). Inflorescence Development of the "Hass" Avocado: Commitment to Flowering. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(5), 478-482.

Salazar-García, S., & Lovatt, C. J. (2000). Use of GA_3 to Manipulate Flowering and Yield of 'Hass' Avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *125*(1), 25-30.

Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L., González-Durán, I., & Lovatt, C. (2007). Desarrollo floral del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Influencia de la carga de fruto y edad de los brotes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *13*(1), 87-92.

Sams, C. E. (1999). Pre-harvest Factors Affecting Post-harvest Texture. *Postharvest Biology and Technology*, *15*(3), 249-254.

Sánchez-Colin, S., & Barrientos-Priego, A. (1987). Avocado Production and Breeding in Mexico. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *10*, 24-26.

Sánchez, P. J., Alcantar, R. J. J., Coria, A. V. M., Vidales, F. I., Aguilera, M. J. J., Vidales et al. (2001). *Tecnología para producir aguacate en México*. Uruapan, Michoacán, México: SAGARPA, INIFAP.

Sánchez, P. J. (1993). *Índices de madurez en aguacate: Muestreo de frutos en campo y determinación de materia seca*. Uruapan, Michoacán, México: SARH, INIFAP, CIRPAC.

Sandoval, A. A., Forero, L. F., & Garcia, L. J. (2010). *Poscosecha y transformación de aguacate: Agroindustria rural innovadora*. Espinal, Tolima: Corpoica, Centro de Investigación Nataima.

Schaffer, A. A., Aloni, B., & Fogelman, E. (1987). Sucrose Metabolism and Accumulation in Developing Fruit of Cucumis. *Phytochemistry*, *26*, 1883-1887.

Schaffer, B., & Andersen, P. C. (1994). Introduction. En B. Schaffer, & P. C. Andersen (Eds.), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops. Subtropical and Tropical Crops* (pp. 165-197). Boca Raton, Florida: CRC Press.

Schaffer, B., & Whiley, A. W. (2007). Fisiologia ambiental. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 133-154). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Schaffer, B., Whiley, A. W., & Searle, C. (1999). Atmospheric CO2 Enrichment, Root Restriction, Photosynthesis, and Dry-matter Partitioning in Subtropical and Tropical Fruit Crops. *HortScience*, 34, 1033-1037.

Schaffer, B., Wolstenholme, B. N. & Whiley, A. W. (2013). Introduction. En B. A, Schaffer, Whiley, A. W.., & Wolstenholme B. N. (Eds.), *The avocado botany, and uses* (pp. 1-9). Oxfordshire, Reino Unido: CAB International Publishing.

Schieber, B., & Zentmyer, G. (1977). Collecting *Persea schiedeana* in Guatemala. *California Avocado Society Yearbook*, *6*, 91-94.

Schieber, E., & Bergh, B. (1987). *Persea zentmyerii*: a new species from Guatemala. *California Avocado Socitey Yearbook*, *71*, 199-203.

Scholefield, P. B., Sedgley, M., & Alexander, D. McE. (1985). Carbohydrate Cycling in Relation to Shoot Growth, Floral Initiation, and Development and Yield in the Avocado. *Scientia Horticulturae*, *275*, 425-434.

Schroeder, C. (1944). The avocado inflorescence. *California Avocado Society Yearbook*, *28*, 39-40.

Schroeder, C. (1974). *Persea schiedeana*, the Coyo, a Possible Rootstock for Avocado in South Africa. *California Avocado Society Yearbook*, *57*, 18-23.

Scora, R. W., & Bergh, B. (1992). Origin and Taxonomy Relationships within the Genus Persea. En C. Lovatt, P. A. Holthe, & M. L. Arpaia (Eds.), *Proceedings of the Second World Avocado Congress* (pp. 505-514). Riverside, California: University of California.

Scora, R. W., Wolstenholme, B. N., & Lavi, U. (2007). Taxonomía y botánica. En A. W. Whinley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos*. (pp. 25-46). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Scott, F. M., Bistrom, B. G., & Bowler, E. (1963). *Persea americana*, Mesocarp Cell Structure, Light and Electron Microscope Study. *Botanical Gazzette*, *124*, 423-428.

Sedgley, M. (1977). The Effect of Temperature on Floral Behaviour, Pollen Tube Growth, and Fruit-Set in the Avocado. *Journal of Horticultural Science*, *52*, 135-141.

Sedgley, M., & Alexander, D. M. (1983). Avocado Breeding Research in Australia. *California Avocado Society Yearbook*, *67*, 129-135.

Sedgley, M., & Grant, W. J. R. (1983). Effect of Low Temperature During Flowering on Floral Cycle and Pollen Tube Growth in Nine Avocado Cultivars. *Scientia Horticulturae*, *18*, 207-213.

Sedgley, M. (1987). Flowering, Pollination and Fruit-set of Avocado. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *10*, 42-43.

Serpa, D. (1968). Avocado Culture in Venezuela. *California Avocado Society Yearbook*, *52*, 153-168.

Smith, C. E. (1966). Archeological Evidence for Selection in Avocado. *Economic Botany. 20*(2), 169-175. doi: 10.1007/BF02904012.

Smith, C. E. (1969). Additional Notes on Pre-conquest Avocados in Mexico. *Economic Botany*, *23*(2) 135-140. doi:10.1007/BF02860618.

Smith, N. J. H., Williams, J. T., Plunknett, D. L., & Talbot, J. P. (1992). *Tropical Forest and their Crops*. New York: Comstok Publishin Associates, Cornell University Press.

Snijder, B., & Stassen, P. J. C. (1998). Manipulation of Avocado Trees to Control Tree Size a Four Year Progress Report Avocado High Density Planting: A Progress Report. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *21*, 58-62.

Stassen, P. J. C. (1995). Training Young Hass Avocado Trees into a Central Leader for Accommodation in Higher Density Orchards. En *Proceeding of The World Avocado Congress III* (pp. 251-254).

Stassen, P. J. C. (1999). Results with Spacing, Tree Training and Orchard Maintenance in Young Avocado Orchards. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *5*, 159-164.

Stassen, P. J. C., Davie, S. J., & Snijder, B. (1995). Principles Involving in the Tree Management of Higher Density Avocado Orchards. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *18*, 47-50.

Stassen, P. J. C., Davie, S. J., & Snijder, B. (1998). Training Young ´Hass´ Avocado Trees Into a Central Leader for Accommodation in Higher Density Orchards. *Proceedings of World Avocado Congress III*. Tel Aviv, Israel.

Storey, W. B., Bergh, B., & Zentmyer, G. A. (1986). The Origin in the Genus Range and Dissemination of the Avocado. *California Avocado Society Yearbook*, *70*, 127-133.

Stout, A. B. (1923). A Study in Cross-pollination of Avocado in Southern California. *California Avocado Association Annual Report*, *7*, 29-45.

Stout, A. B. (1924). The Flower Mechanism of Avocado with Reference to Pollinitation and Production of Fruit. *Journal of New York Botanical Gardens*, *25*, 1-9.

Stout, A. B. (1927). The Flowering Behavior of Avocado. *Memoirs of the New York Botanical Gardens*, *7*, 145-203.

Swarts, D. H. (1978). The No-nonsense Determination of Oil Content for Avocados. *Citrus and Subtropical Fruit Research Institute Information Bulletin*, *42*, 4.

Tapia-Vargas, L. M., Vidales-Fernández, I., & Larios-Guzmán, A. (2007). Manejo del riego y el fertirriego en aguacate. En D. Téliz (Ed.), *El aguacate y su manejo integrado* (pp. 107-122). México D. F.: Ediciones Mundi-Prensa.

Tapia, V. L. M., Larios, G. A., & Vidales, F. I. (2011). Caracterización hidrológica del aguacate en Michoacán. Ponencia en el *VII Congreso Mundial de Aguacate. Cairns, Australia*. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC7/Section_08/TapiaVargasLM2011b.pdf

Téliz, D. (2000). *El aguacate y su manejo integrado*. México: Ediciones Mundi-Prensa.

Teliz, D., & Mora, A. (2007). *El aguacate y su manejo integrado*. México: Ediciones Mundi-Prensa.

Terravocado. (2015). *Oferta de precio y compra*. Recuperado de https://mail.google.com/mail/u/0/#search/terravocado/14bdf43f589fa8e6

Thorp, T. G. (1992). *A Study of Modular Growth in Avocado* (Persea americana *Mill*.). Ph. D. Dissertation. South Australia: The University of Adelaide.

Thorp, T. G., & Sedgley, M. (1992). Shoot Growth and Tree Architecture in Range of Avocado Cultivars. En *Proceedings of Second World Avocado Congress* (pp. 237-240). California.

Thorp, T. G., Aspinall, D., & Sedgley, M. (1993). Influence of Shoot Age on Floral Development and Early Fruit Set in Avocado (*Persea americana* Mill.) Cv. 'Hass'. *Journal of Horticultural Science*, *68*, 645-651.

Thorp, T. G., & Sedgley, M. (1993). Architectural Analysis of Tree Form in a Range of Avocado Cultivars. *Scientia Horticulturae*, *53*, 85-98.

Traub, H. T., Pomeroy, C. S., Robinson, R., & Aldrich, W. W. (1941). *Avocado Production in the United States*. United States Department of Agriculture Circular.

Ticho, R. J. (1971). Girdling a Means to Increase Avocado Fruit Production. *California Avocado Society Yearbook*, *54*, 90-94.

Toerien, J. C. (1999). Integrated Management of Avocados. En M. L. Arpaia, & R. Hofshi (Eds.), *Proceedings of Avocado Brainstorming '99* (pp. 68-69). Riverside, California: California Avocado Commission and the University of California.

Tomer, E., & Gottreich, M. (1978). Abnormalities in Avocado (*Persea americana* Mill.). Ovule development. *Botanical Gazette*, *139*, 81-86.

Turner, B. L., & Miksiek, C. H. (1984). Economic Plant Species Associated with Prehistoric Agriculture in the Maya Lowlands. *Economic Botany*, *38*(2), 179-173.

University of California. (2013). *Avocado varieties*. Recuperado de http://ucavo.ucr.edu/avocadovarieties/VarietyFrame.html.

Van den Bulk, R. W. (1991). Application of Cell and Tissue Culture and *in Vitro* Selection for Disease Resistance Breeding: A Review. *Euphytica*, *56*, 269-285.

Van der Werff, H. (2002). A synopsis of Persea (Lauraceae) in Central America. *Novon*, *12*(4), 575-586.

Vargas, W. G. (2002). Lauráceas. En *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales* (pp. 329-358). Manizales: Universidad de Caldas.

Vega, J. Y. (2012). *El aguacate en Colombia: Estudio de caso de los Montes de María, en el Caribe colombiano*. Serie Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional. Cartagena: Publicación del Banco de la República.

Velásquez, P. J. A. (2006). *Identificación del aguacate como un rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado* (p. 93). Secretaría de Productividad y Competitividad.

Waissbluth, R., & Valenzuela, J. (2007). Determinación del porcentaje mínimo de materia seca para autorizar la cosecha de paltas cv. Hass para ser exportadas. En *Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate)*. Viña Del Mar, Chile.

Waite, G. K., & Martínez-Barrera, R. (2007). Insectos y Ácaros plagas. En A. W. Whiley, B. Schaffer, B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 311-330). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Wallace, A., & North, C. P. (1957). The Scott Avocado. *California Avocado Society Yearboo*k, 41, 82-84.

Whiley, A. W. (1990). CO_2 Assimilation of Developing Fruiting Shoots of Cv. Hass Avocado (*Persea americana* Mill). *South African Avocado Growers' Association Yearbook,* 13, 28-30.

Whiley, A. W. (1992). Avocado Varieties and Rootstocks: A Review. *Proceedings of the Avocado Research Workshop* (pp. 15-20). Brisbane: Queensland Department of Primary Industries.

Whiley, A. W. (1994). *Ecophysiological Studies and Tree Manipulation for Maximization of Yield Potential in Avocado* (Persea americana *Mill*.). [Tesis doctoral]. South Africa: University of Natal Pietermaritzburg.

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). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Whiley, A. W., & Schaffer, B. (1994). Avocado. En B. Schaffer, & P. C. Andersn (Eds.), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops. Subtropical and Tropical Crops* (pp. 165-197). Boca Raton, Florida: CRC Press.

Whiley, A., Saranah, J., & Wolstenholme, B. N. (1992). Effect of Paclobutrazol Bloom Sprays on Fruit Yield and Quality of Cv. Hass Avocado Growing in Subtropical Climates. *Proceeding Of Second World Avocado Congress* (pp. 227-232).

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*, 29-36.

Whiley, A. W., Rasmussen, T., Saranah, J., & Wolstenholme, B. (1996a). Delayed Harvest Effects on Yield, Fruit Size and Starch Cycling in Avocado (*Persea americana* Mill.) in Subtropical Environments. I. The Early-maturing Cv. Fuerte. *Scientia Horticulturae*, *66*, 23-34.

Whiley, A. W., Rasmussen, T., Saranah, J., & Wolstenholme, B. (1996b). Delayed Harvest Effects on Yield, Fruit Size and Starch Cycling in Avocado (*Persea americana* Mill.) in Subtropical Environments. II. The Late-maturing Cv. Hass. *Scientia Horticulturae*, *66*, 35-49. doi:10.1016/0304-4238(96)00908-9.

Whitsell, R. H., Martin, G. E., Bergh, B. O., Lypps, A. V., & Brokaw, W. H. (1989). *Propagating Avocado: Principles and Techniques of Nursery and Filed Grafting. Division of Agriculture and Natural Resources Publication*, *21461*. California: University of California.

Williams, L. O. (1977a). The Botany of the Avocado and its Relatives. *Proceedings of the First International Tropical Fruit Short Course. The Avocado* (pp. 9-15). Gainesville, Florida: University of Florida.

Williams, L. O. (1977b). The Avocados, a Synopsis of the Genus Persea, Subg. *Persea*. *Economic Botany*, *31*(3), 315-320. doi:10.1007/BF02866883.

Wolstenholme, B. N. (1986). Energy Costs of Fruiting as a Yield-limiting Factor, with Special Reference to Avocado. *Acta Horticulturae*, *175*, 121-126.

Wolstenholme, B. N. (1987). Theoretical and Applied Aspects of Avocado Yield as Affected by Energy Budgets and Carbon Partitioning. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *10*, 58-61.

Wolstenholme, B. N. (1990). Resource Allocation and Vegetative Reproductive Competition: Opportunities for Manipulation in Evergreen Fruit Trees. *Acta Horticulturae*, *275*, 451-459.

Wolstenholme, B. N. (1991). Making an Avocado Fruit: Energy Expensive But Mineral Cheap. *Avokad*, *11*, 8-9.

Wolstenholme, B. N. (2001). Understanding the Avocado Tree: Introductory Ecophysiology. En E. A. de Villiers (Ed.), *The Cultivation of Avocado*. Nelspruit, South Africa: Institute for Tropical and Subtropical Crops.

Wolstenholme, B. N. (2007). Ecología: El clima y el ambiente edáfico. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), El Palto. Botánica, producción y usos (pp. 75-101). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (1989). Ciclos de carbohidratos y fenológicos como herramientas de manejo para los huertos de paltos. *Asociación de Cultivadores de Paltos de Sudáfrica Yearbooks*, *12*, 33-37.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (1992). Requirements for Improved Fruiting Efficiency in the Avocado Tree. En C. Lovatt, P. A. Holthe, & M. L. Arpaia (Eds.), *Proceedings Second World Avocado Congress* (pp. 161-167). Riverside, California: University of California.

Wolstenholme, B. N. & Whiley, A. W. (1998). Strategies for maximising avocado productivity: an overview. En *Proceedings of World Avocado Congress III*. (pp. 61–70). Tel Aviv, Israel: WAC.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (1999). Ecophysiology of the Avocado (*Persea americana* Mill.) Tree as a Basis for the Preharvest Management. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *5*, 77-88.

Wolstenholme, B. N., Whiley, A. W., & Saranah, J. B. (1990). Manipulating Vegetative: Reproductive Growth in Avocado (Persea americana Mill.) with Paclobutrazol Foliar Sprays. *Scientia Horticulturae*, *41,* 317-327.

Wolstenholme, B. N., Moore-Gordon, C., & Ansermino, S. D. (1996). Some Pros and Cons of Mulching Avocado Archards. *South Africa Avocado Growers' Association Yearbook*, *19*, 87-91.

Wolstenholme, B. N., Moore-Gordon, C., & Cowan, A. K. (1998). Mulching of Avocado Orchards: Quo Vadis? *South Africa Avocado Growers' Association Yearbook*, *21*, 26-28.

Yahia, E. M. (2001). Manejo postcosecha del aguacate. En *Memorias del Primer Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate* (pp. 295-304). Uruapan. Michoacán, México.

Zilkah, S., Klein, I., Feigenbaum, S., & Wepaum, S. A. (1987). Translocation of Foliar-Applied Urea 15N to Reproductive and Vegetative Sinks of Avocado and its Effects on Fruit Set. *Journal of the American Society for Horticultural*, *112*, 1061-1065.

Zentmyer, G. A., Paulus, A. O., Gustafson, C. D., Wallace, J. M., & Burns, R. M. (1965). *Avocado Diseases. Extension Service Circular, 534*. Riverside, California: California Agricultural Experiment Station.

Zentmyer, G. A., Paulus, A. O., & Burns, R. M. (1967). *Avocado Root Rot. Extension Service Circular*, 511. Riverside, California: California Agricultural Experiment Station.

Zentmyer, G. A., & Ohr, H. D. (1978). *Avocado Root Rot*. Berkeley: University of California.

Capítulo II

Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano

Cipriano Arturo Díaz Díez
Jorge Alonso Bernal Estrada
Álvaro Tamayo Vélez

Introducción

La productividad de una planta está determinada por el genotipo (variedad y fenología), el medioambiente y el manejo que se le proporcione en búsqueda de una mayor cantidad de fruta de alta calidad. En cuanto al medioambiente, este es producto de la interacción entre el clima, el suelo y el manejo del cultivo. El clima, por su parte, se compone de fenómenos abióticos como la radiación, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la evaporación y el viento. El suelo presenta características como la textura, el pH, la salinidad, los contenidos de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la humedad y la fertilidad. Finalmente, el manejo presenta distintos componentes, entre los cuales se destacan la densidad de siembra, la fertilización, el riego, el manejo integrado de plagas y enfermedades, las podas, la cosecha y la poscosecha; todos ellos juegan un rol importante en la productividad.

El clima hace referencia a las condiciones atmosféricas predominantes por un tiempo determinado en un territorio, para cuya identificación se han venido utilizado las variables meteorológicas. La forma como se distribuyen en espacio y tiempo estas variables permite establecer esquemas de comportamiento del clima en una región (Pabón, Eslava, & Gómez, 2001). En la Región Andina, el régimen de temperatura del aire se caracteriza por la presencia de los llamados *pisos térmicos*, que consisten en la disminución de la temperatura media del aire a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar. El gradiente vertical de la temperatura (disminución de esta por cada 1.000 m de altitud) oscila entre 4,62 °C en la Costa Pacífica y 6,13 °C en la Región Andina, con un promedio para toda Colombia de 5,53 °C (Eslava, 1992).

Las regiones tropicales, en términos generales, se caracterizan por poseer condiciones particulares que se enmarcan en una gran diversidad de climas y suelos. Estos cambios en la región tropical andina colombiana se deben a la fisiografía y, más especialmente, a la altitud, lo que genera una enorme biodiversidad (Jaramillo-Robledo, 2005). En ese orden de ideas, el aguacate (cuyos orígenes varietales le permiten establecerse en todos los ambientes climáticos del país) es actualmente considerado como uno de los renglones frutícolas con mayores proyecciones en el mercado nacional e internacional.

Colombia dispone de áreas con buenas condiciones agroecológicas para la siembra de aguacate cv. Hass, así como de empresarios con iniciativa y dinámica, cercanía de mercados especializados y la infraestructura necesaria para la exportación del producto; sin embargo, no todas las áreas con aparentes condiciones similares son aptas para su siembra. Esta tiene sus propias exigencias y rangos de tolerancia para los diferentes factores ambientales, lo que genera la necesidad de estudios que orienten sus áreas de distribución a aquellas zonas que presenten ventajas comparativas y competitivas. El país cuenta con una importante organización de la cadena productiva de aguacate nacional que ha demostrado gran dinamismo y está procurando asegurar, entre otras acciones, el posicionamiento de este producto en mercados internacionales. También se ha avanzado en la identificación de las principales limitantes que este sistema de producción tiene en Colombia, con el fin de construir una agenda de investigación y desarrollo tecnológico que responda a las necesidades reales de la especie (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2012).

Desde 2007, Antioquia ha venido incrementando su participación en la producción nacional. En 2006, participó solo con el 6,23 % del total del país, mientras que para 2015 había incrementado su participación con el 13,16 %, un reflejo del acelerado impulso que viene presentando esta actividad en el departamento. En 2018, Antioquia

contó con 13.734 hectáreas sembradas con aguacate Hass, de las cuales 6.867 hectáreas cosechadas produjeron unas 103.000 toneladas ese año, lo cual lo ubicó como el segundo productor del país (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia [Sadra], 2019).

Las principales subregiones donde se produce aguacate Hass en Antioquia son el suroeste, el oriente y el altiplano norte (figura 2.1). Estas zonas presentan suelos denominados andisoles (de origen volcánico): con una alta capacidad de fijación de fosfatos, considerados de baja fertilidad (porque presentan contenidos bajos en nutrientes y, en general, con desbalances nutricionales), con pH entre fuertemente ácido y moderado (4,6-5,5) y con altos contenidos de aluminio (Tamayo & Osorio, 2014). Estos suelos presentan altos contenidos de materia orgánica en la parte superior, además de una buena retención de humedad y, por ende, un buen desarrollo del sistema radical por su porosidad con texturas francas. Los horizontes más profundos de estos suelos tienen limitaciones físicas, por lo cual no permiten un buen desarrollo de las raíces a profundidades mayores de 50 cm. Este fenómeno es común en los suelos planos aluviales (Muñoz, 1998).

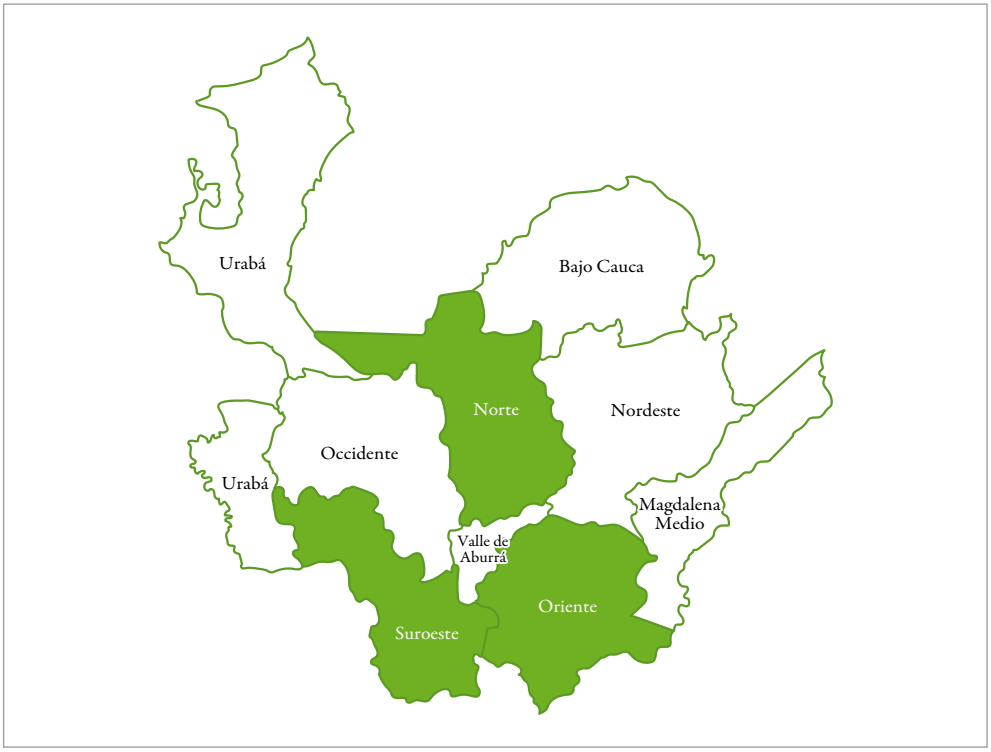


Figura 2.1. Subregiones donde se cultiva aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

La ventaja de la producción del aguacate cv. Hass en Antioquia radica en un conjunto de factores que incluyen los suelos, el clima, el buen comportamiento fisiológico de los árboles y una época de floración que coincide con un momento adecuado del mercado. Esto último significa que una franja de su cosecha principal, en la mayoría de regiones de Antioquia, se presenta en los meses en que escasea la oferta de este producto en otros países exportadores. La idea es ampliar la producción de aguacate cv. Hass en Antioquia, dada la importancia del cultivo en el mercado globalizado, las condiciones climáticas que posee el departamento y los contenidos internos de la fruta, que aporta elementos para combatir el colesterol, conservar la visión y ayudar al cuidado del corazón (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2012).

En trabajos realizados por Bernal (2016) y Díaz y Bernal (2017) se evaluó el comportamiento ecofisiológico, agronómico, de rendimiento y de calidad del aguacate cv. Hass en diferentes ambientes del departamento de Antioquia, para determinar sus zonas óptimas de cultivo. En dichos trabajos se seleccionaron lotes de aguacate cv. Hass de al menos cinco años, ubicados en distintos ambientes de tres subregiones (suroeste, oriente y norte) del departamento de Antioquia. A continuación, se describen los principales resultados de estos estudios, los cuales comprendieron temas como la determinación de la altura de los árboles; el diámetro de las copas; los flujos de crecimiento vegetativo, reproductivo (floración) y productivo (fructificación); el crecimiento de frutos y de raíces; el rendimiento y la calidad de la fruta; la caracterización cuantitativa y cualitativa de los árboles de aguacate cv. Hass; la caída de hojas, flores y frutos; y la remoción de nutrientes.

Altura de los árboles

De acuerdo con Bernal (2016), en un estudio realizado en siete localidades del departamento de Antioquia sobre aguacate cv. Hass, durante 2011 y 2012, la altura de los árboles (figura 2.2) aumentó en los años evaluados en todas las localidades (figura 2.3). Además, se observó que a medida que aumenta la altitud sobre el nivel del mar, los árboles presentan menor altura por efecto del ambiente. Las localidades consideradas en ese estudio fueron las siguientes: Támesis, Venecia (finca Piedras Blancas [PB] y finca Santa Cruz [SC]), Jericó, Marinilla, Rionegro y Entrerríos.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.2. Diagrama de la toma de información sobre la altura y el diámetro cruzado de la copa (norte-sur [NS] y este-oeste [EO]) de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

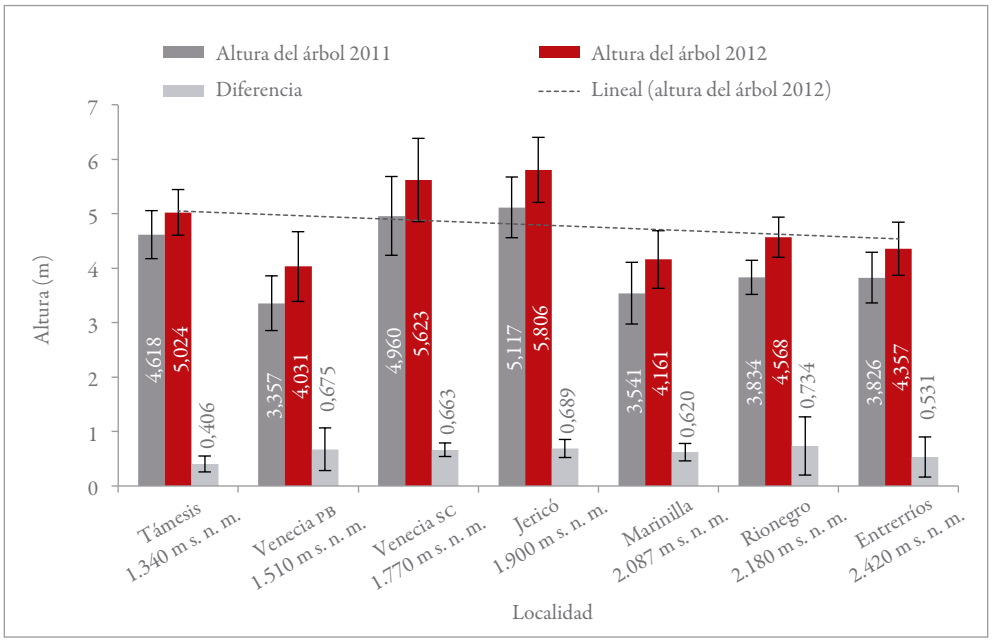


Figura 2.3. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Fuente: Elaboración propia

Similares resultados obtuvieron Díaz y Bernal (2017), en los cuales la altura (m) de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho ambientes en Antioquia disminuyó a medida que los ambientes eran más fríos, lo que muestra el efecto climático sobre el crecimiento de los árboles. Los árboles con mayor altura estaban ubicados en la zona del suroeste, mientras que los ubicados en la zona del altiplano norte de Antioquia presentaron una menor altura (figura 2.4).

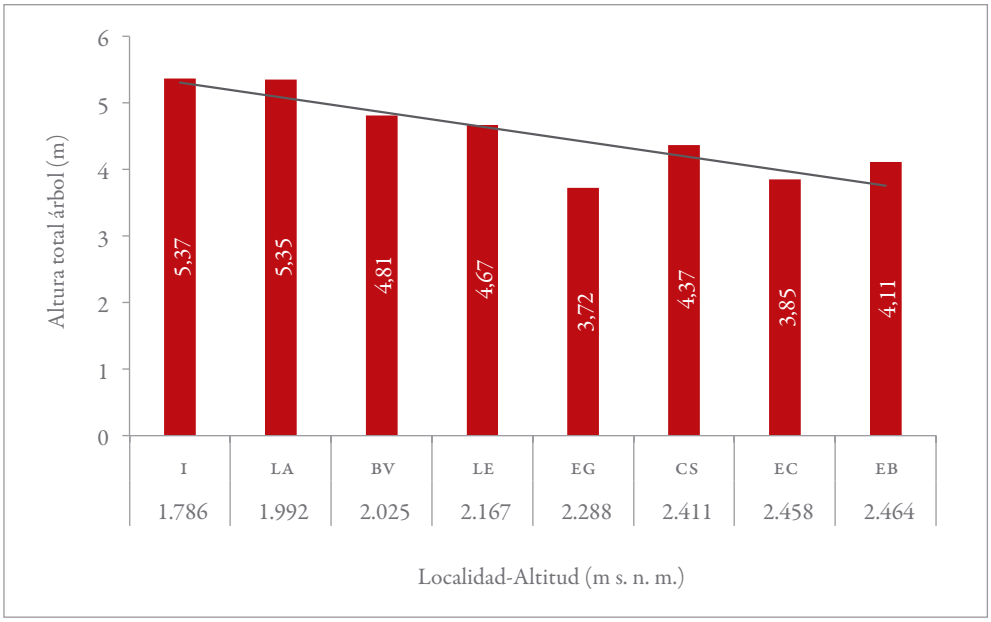


Figura 2.4. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho huertos del departamento de Antioquia (2016).
Fuente: Elaboración propia

Diámetro de la copa

En la figura 2.5, de acuerdo con los estudios realizados por Bernal (2016), se observa que los árboles de Venecia SC alcanzaron los mayores diámetros de copa en los dos años de medición, seguidos por los de Támesis, Rionegro, Jericó, Entrerríos, Marinilla y Venecia PB. La diferencia entre los árboles de mayor diámetro de copa (Venecia SC) con los más bajos (Venecia PB) en 2011 fue de 2,23 m (desviación estándar de 0,80 m) y en 2012 fue de 2,52 m (desviación estándar de 0,876 m), lo cual muestra una cierta similitud en el desarrollo de los árboles. La localidad con mayor tasa de aumento en el crecimiento de copa fue Entrerríos, seguida de Támesis, Marinilla,

Rionegro, Jericó, Venecia SC y Venecia PB (desviación estándar de 0,17 m). En el año de observación, los árboles crecieron en altura y diámetro del dosel (figura 2.5), sin embargo, no se tiene evidencia de que el incremento registrado en los parámetros mencionados sea atribuible al ambiente; se requerirían más años de evaluación para determinar este efecto.

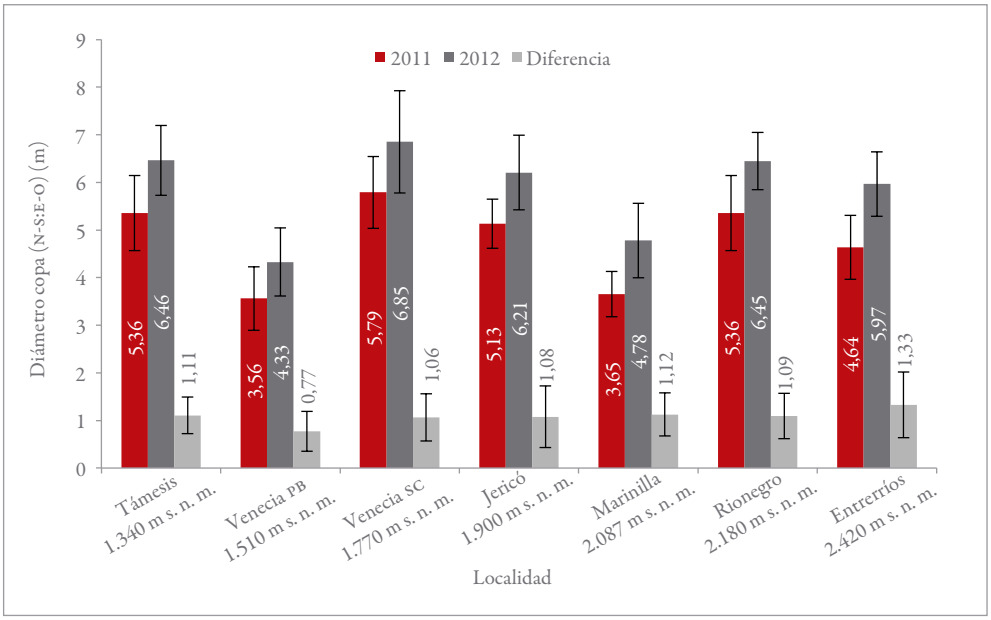


Figura 2.5. Diámetro promedio de las copas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).
Fuente: Elaboración propia

De otra parte, Díaz y Bernal (2017) encontraron que en la mayoría de los árboles se presentan escasas diferencias entre el crecimiento de las copas en ambas orientaciones, norte-sur (NS) y este-oeste (EO), a excepción de La Escondida (LE) (Rionegro), donde el diámetro NS superó al diámetro EO, y de El Guarango (EG) (El Retiro), donde esta tendencia fue contraria y mostró crecimientos desiguales en sus copas (figura 2.6). La localidad con mayor tasa de crecimiento de la copa fue EG (El Retiro), seguido de Imperio (I) (Amagá), Cantabria la Sierra (CS) (San Pedro), Buena Vista (BV) (Jardín), El Banco (EB) (San Pedro), Los Abuelos (LA) (El Peñol), La Escondida (LE) (Rionegro) y El Cebadero (EC) (El Retiro). En general, no se observó que el ambiente tuviera un efecto marcado sobre el crecimiento de las copas; sin embargo, al observar el volumen del dosel de los árboles, se registró la tendencia a la disminución a medida que los ambientes eran más fríos, lo que podría atribuirse a un efecto ambiental.

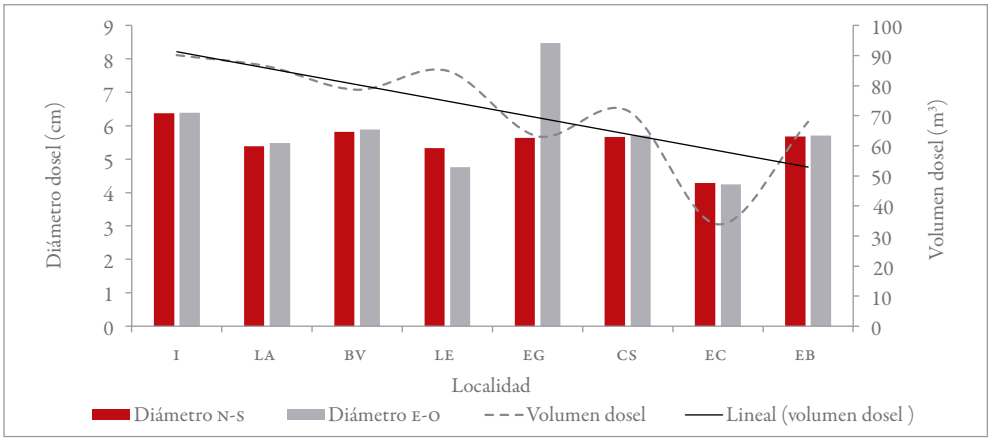


Figura 2.6. Diámetro promedio de las copas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

Flujos de crecimiento

De acuerdo con un diagrama fenológico ajustado por Alcaraz, Thorp y Hormaza (2013) (figura 2.7), Díaz y Bernal (2017) tomaron la información correspondiente a 120 ramas terminales de 30 árboles plantados en ocho ambientes del departamento de Antioquia. En las figuras 2.8 a 2.15 se muestra el comportamiento de los árboles de aguacate cv. Hass en los distintos ambientes evaluados y se detallan los eventos fenológicos encontrados, tales como flujos de crecimiento vegetal, floración y fructificación, así como las épocas de crecimiento de los frutos y de la cosecha; lo anterior fue contrastado con la precipitación ocurrida durante el periodo de evaluación.

En el estudio realizado, el aguacate cv. Hass presentó diferencias en número e intensidad en los flujos vegetativos dependiendo de la localidad. En todos los huertos se observaron al menos dos flujos vegetativos al año, los cuales coinciden con lo reportado por Davenport (1986), quien menciona que en el aguacate ocurren generalmente dos o tres flujos al año y pueden o no incluir la totalidad del árbol. En algunos casos, estos flujos estuvieron acompañados por crecimientos vegetativos de menor intensidad que pudieron obedecer a las prácticas de manejo agronómico realizadas en cada huerto. Esta situación es similar a la reportada por Scora, Wolstenholme y Lavi (2002) y por Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán y Cossio-Vargas (2011a), quienes mencionan que, en la mayoría de los frutales de hoja persistente, como el aguacate, el crecimiento de los brotes vegetativos está sincronizado en flujos que varían en vigor, duración y magnitud (figuras 2.8 a 2.15).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.7. Diagrama fenológico utilizado para medir los flujos de crecimiento vegetativo, de floración y de fructificación en árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).

Fuente: Elaboración propia ajustada de la escala fenológica de Alcaraz et al. (2013)

Se pudo establecer que las precipitaciones influyeron en los periodos de crecimiento del árbol, ya que en la época de menor precipitación (enero-marzo) en todas las localidades, los flujos de crecimiento vegetativo disminuyeron. De acuerdo con Avilán, Soto, Pérez, Rodríguez y Ruiz (2007), la ocurrencia de los flujos vegetativos está asociada a los meses de mayor precipitación; además, dado que en esas fechas se presenta la mayor floración, existe una competencia por fotoasimilados, que son distribuidos por el árbol, lo cual potencializa el cuajamiento en detrimento del crecimiento vegetativo. Se produjeron, también, flujos simultáneos de crecimiento vegetativo, reproductivo y productivo, los cuales corroboran lo planteado por Salazar-García, Cossio-Vargas, Lovatt, González-Durán y Pérez-Barraza (2006), Salazar-García, Cossio-Vargas, González-Durán y Lovatt (2007) y Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán y Medina-Torres (2011b), quienes mencionan que el número de flujos vegetativos depende de las condiciones ambientales, que la magnitud de cada flujo es variable y que usualmente uno de ellos es el principal responsable de la producción del flujo de crecimiento reproductivo.

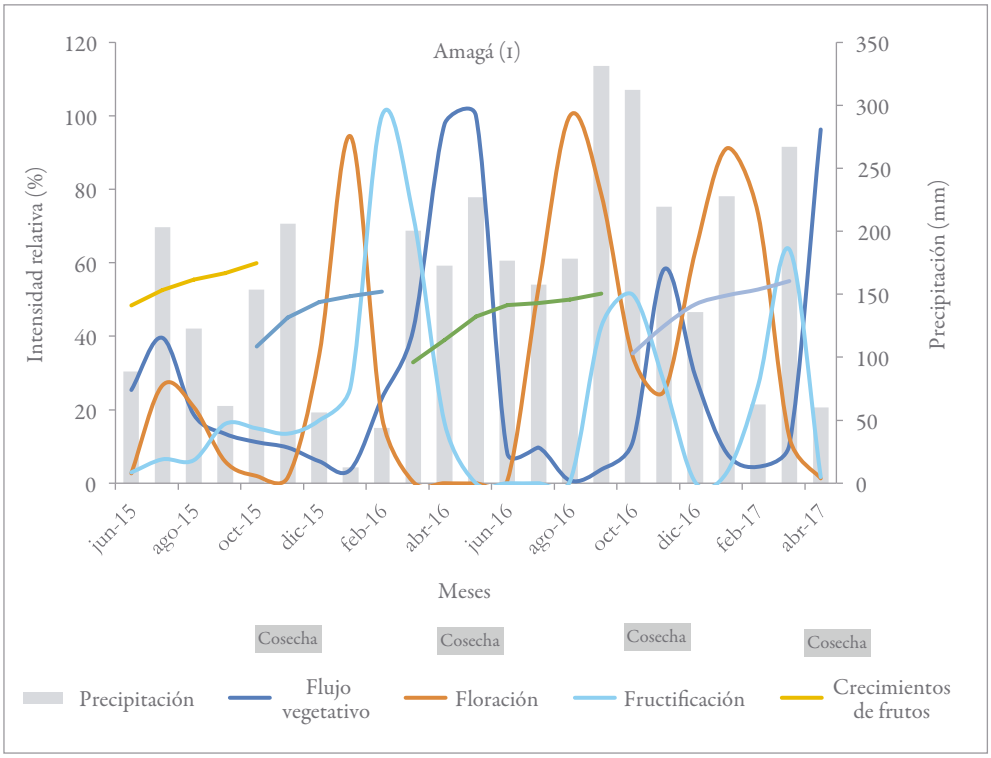


Figura 2.8. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Amagá (1), Antioquia (1.786 m s. n. m.), entre 2015 y 2017.
Fuente: Elaboración propia

Como en la mayoría de los frutales de hoja persistente, el crecimiento de los brotes vegetativos del aguacate está sincronizado con flujos que varían en vigor, duración y magnitud (Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán, & Cossio-Vargas, 2011a; Scora et al., 2002). Dichos flujos ocurren generalmente dos o tres veces al año y pueden o no incluir la totalidad del árbol (Davenport, 1986). El número de flujos vegetativos depende de las condiciones ambientales y la magnitud de cada flujo es variable: usualmente uno de ellos es el principal responsable de la producción del flujo de crecimiento reproductivo (Rocha-Arroyo et al., 2011b; Salazar-García et al., 2006, 2007). La ocurrencia de los flujos vegetativos está relacionada con los meses de mayor precipitación (Avilán et al., 2007).

En el subtrópico húmedo de veranos lluviosos, los árboles se caracterizan por presentar un flujo primaveral de crecimiento de brotes que comienza con la floración y tiene su nivel más alto a principios del verano. Luego, la proporción de brotes terminales y subterminales en crecimiento activo se reduce al mínimo, para después continuar con un segundo flujo de crecimiento de brotes (Rocha-Arroyo et al., 2011b; Scora et al., 2002). Estos resultados, en los que se pueden diferenciar dos flujos fuertes y dos flujos suaves, concuerdan con lo reportado por Arpaia (1998), Whiley, Saranah, Cull, y Pegg (1988) y Sánchez-Pérez et al. (2001), quienes mencionan que en el aguacate se observan al menos dos flujos de crecimiento al año: uno en primavera y otro en verano u otoño.

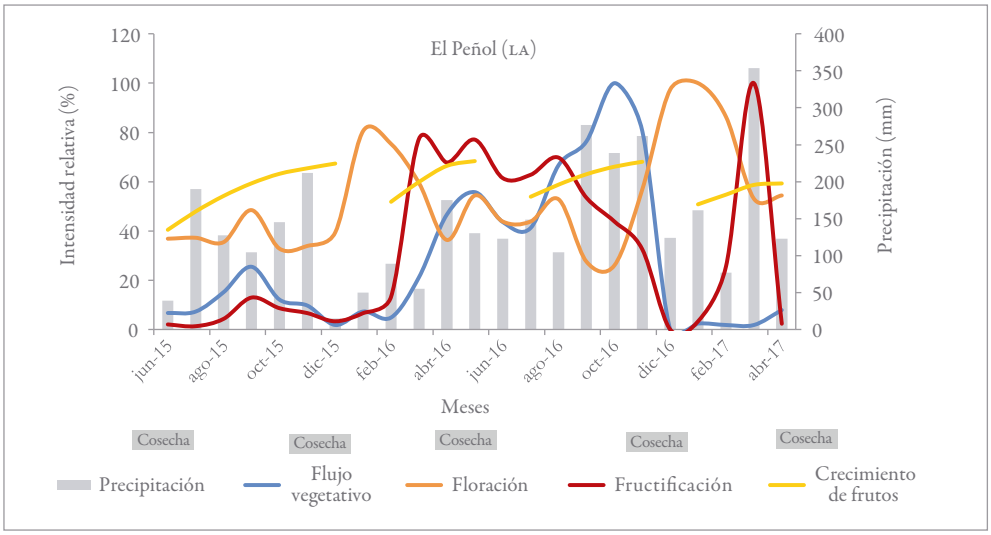


Figura 2.9. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Peñol (LA), Antioquia (1.992 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

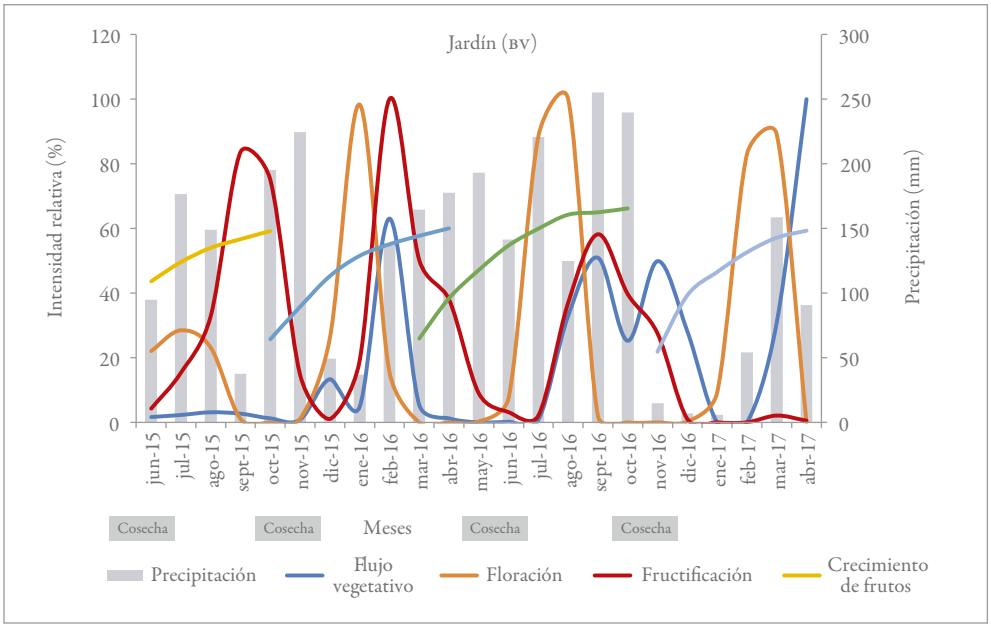


Figura 2.10. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Jardín (BV), Antioquia (2.025 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

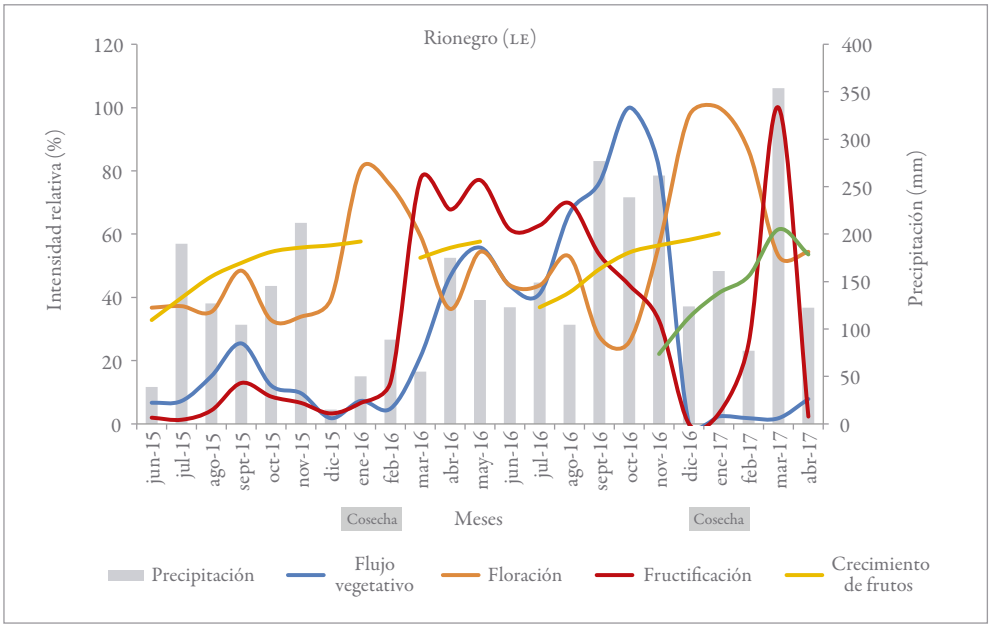


Figura 2.11. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Rionegro (LE), Antioquia (2.167 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

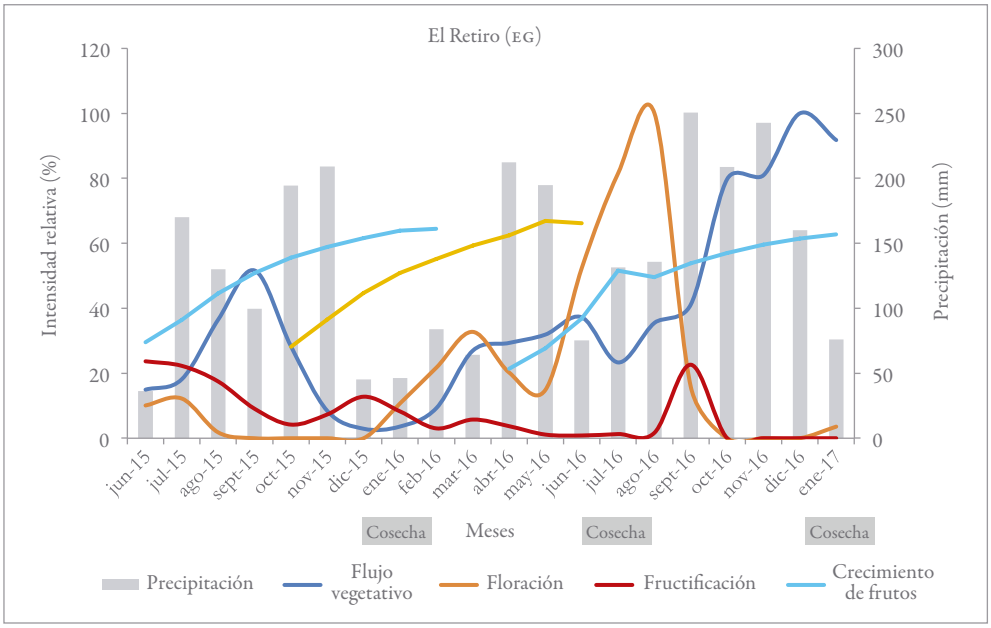


Figura 2.12. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Retiro (EG), Antioquia (2.288 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

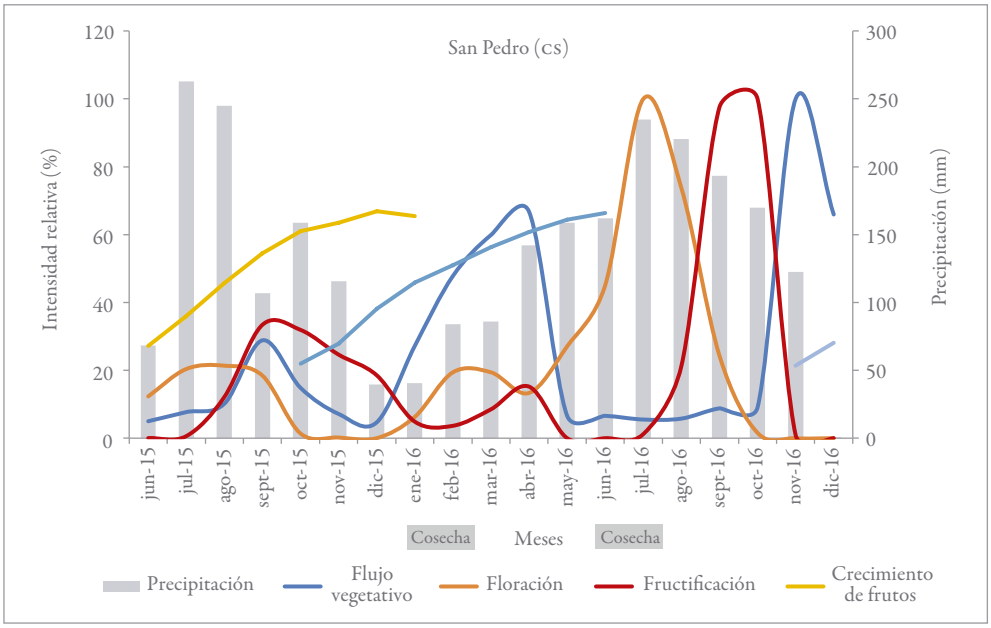


Figura 2.13. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de San Pedro (CS), Antioquia (2.411 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

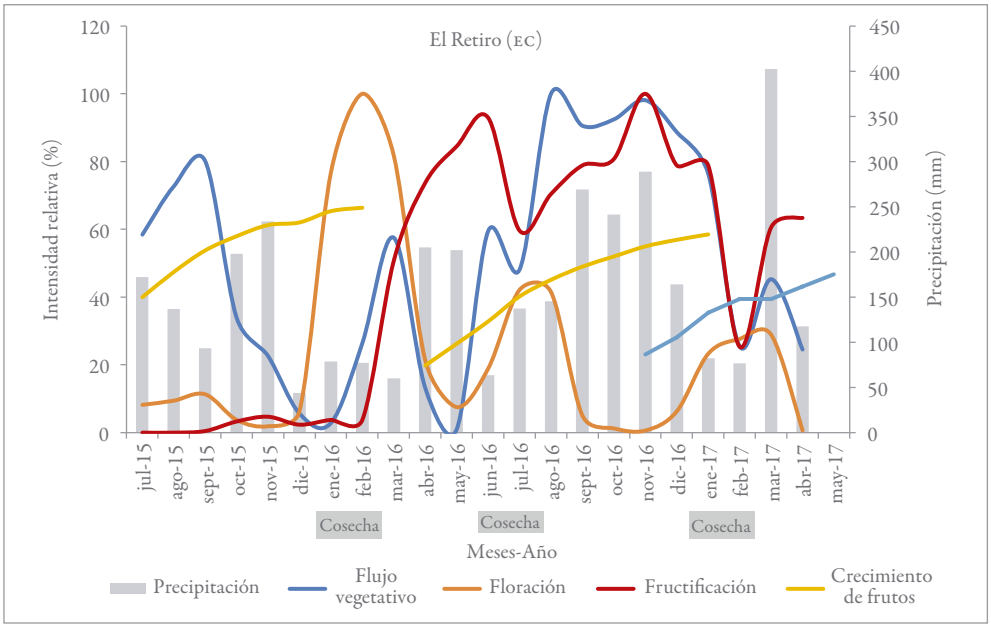


Figura 2.14. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Retiro (EC), Antioquia (2.464 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

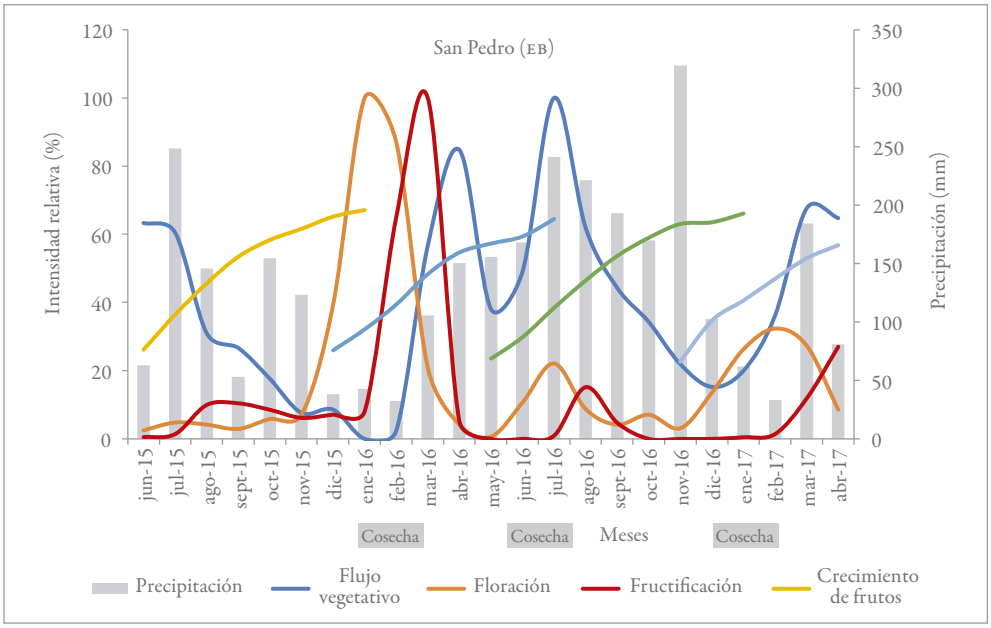


Figura 2.15. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de San Pedro (EB), Antioquia (2.458 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

Flujos reproductivos (floración)

De acuerdo con la investigación de Díaz y Bernal (2017), los flujos florales en ocho localidades del departamento de Antioquia tuvieron una duración e intensidad diferentes, lo cual implica floraciones sucesivas (figura 2.16). Este comportamiento fenológico origina la presencia simultánea de fruto de diferentes edades en el árbol, que es cosechado durante la mayor parte del año en los distintos climas de la región. En todos los huertos, la floración de mayor intensidad se observa en el primer trimestre del año. Se observó además que el árbol presenta distintos flujos vegetativos durante el año, los cuales pueden coincidir con las épocas de floración; esto da cuenta de la presencia de las inflorescencias indeterminadas (flores y brotes vegetativos en forma simultánea) en esta especie frutal.

En el presente estudio se observó que existe una influencia climática sobre el comportamiento fenológico del aguacate cv. Hass. Las ocho localidades presentaron dos flujos florales por año de distinta intensidad, pero en todos los casos se manifestaron entre enero y abril y entre julio y septiembre, en las épocas de menor precipitación, lo cual evidenció un comportamiento cíclico en este estado fenológico (figura 2.17). Tal comportamiento se vio reflejado en dos cosechas en todas las localidades, correspondientes a una cosecha principal y una traviesa. Las localidades de Rionegro (LE) y El Peñol (LA) presentaron —además del comportamiento descrito— pequeñas floraciones durante todo el periodo de evaluación, que pudieron reflejarse en la caída continua de flores, mas no en una mayor disponibilidad de fruta.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.16. Detalle de un árbol de aguacate cv. Hass en plena floración.

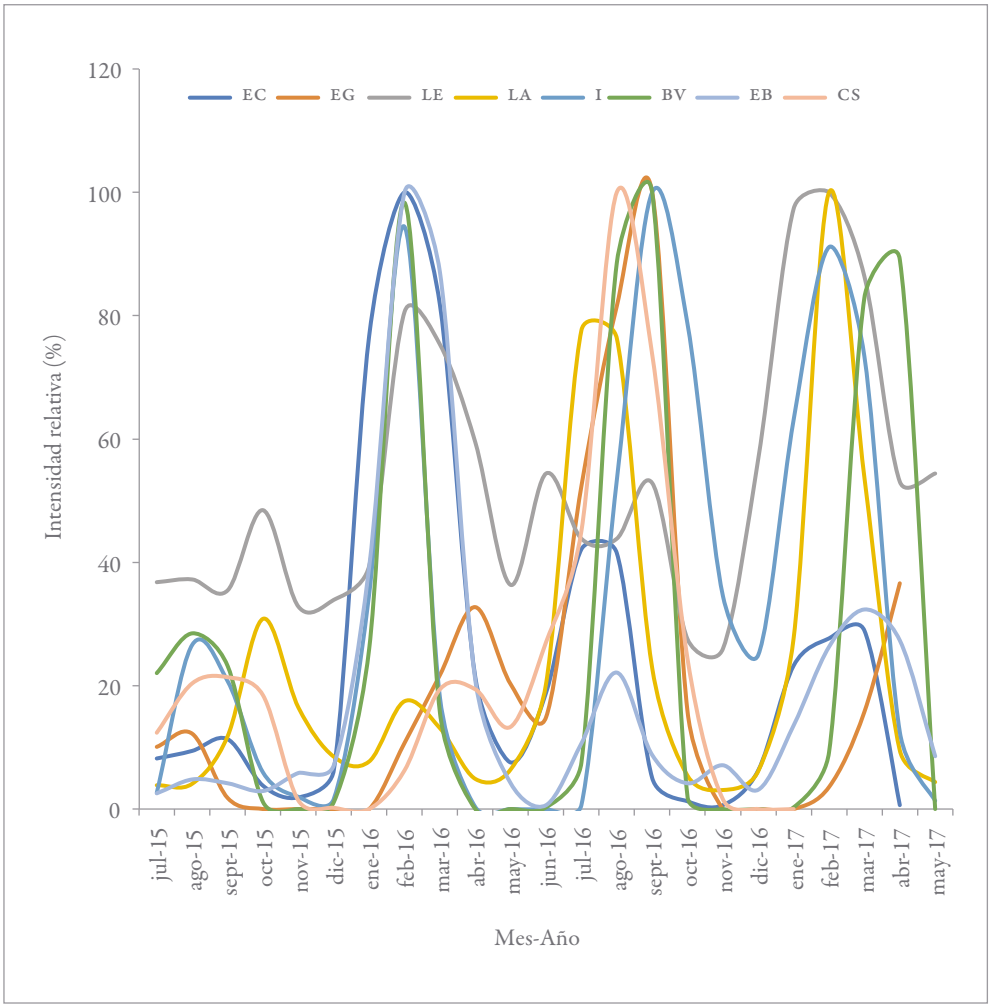


Figura 2.17. Desarrollo floral en árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

En países productores de aguacate cv. Hass —como Australia, Chile, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Perú, Sudáfrica y México—, este producto suele presentar un flujo de floración al año (Dixon, Cotterell, Hofstee, & Elmsly, 2008; Liu, Hofshi, & Arpaia, 1999; Mena-Volker, 2004; Salazar-García et al., 2007; Thorp, Aspinall, & Sedgley, 1993). En el presente estudio, sin embargo, se observó una situación diferente: se evidenciaron dos flujos florales. Una situación única en el mundo, se presenta en Michoacán (México), donde se registran cuatro flujos florales de diferente intensidad, evento que merece ser estudiado para entender mejor la floración del cv. Hass (Salazar-García et al., 2006).

Crecimiento de las raíces

En el aguacate, generalmente, el crecimiento de las raíces alterna con el crecimiento de la parte aérea (Arpaia, 1998; Ploetz, Ramos, & Parrado, 1992); sin embargo, dado que en la zona de estudio y en general en la región andina de Antioquia existen condiciones favorables para el crecimiento vegetativo (precipitaciones prácticamente todo el año), se presentaron inhibiciones de un crecimiento sobre el otro y viceversa. En las figuras 2.18 a 2.25 se registra la dinámica e intensidad de los flujos de crecimiento de raíces y su relación con la precipitación, registrada en las ocho localidades. En casi todas las localidades, a excepción de San Pedro (CS), el mayor crecimiento de raíces se presentó en forma alternada con los crecimientos vegetativos; en la mayoría de los casos, este hecho coincidió con la máxima fructificación —Amagá (I), El Peñol (LA), Rionegro (LE) y El Retiro (EG)— y con el inicio de la época de lluvias del primer semestre de 2017.

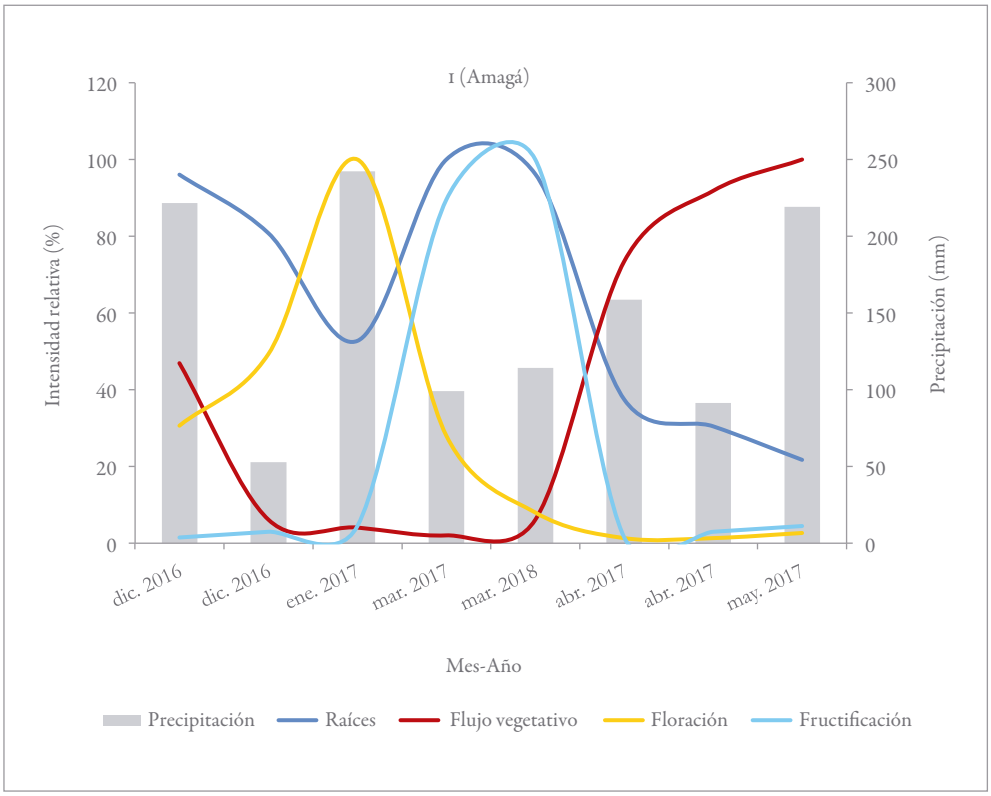


Figura 2.18. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Amagá (I), Antioquia (1.786 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

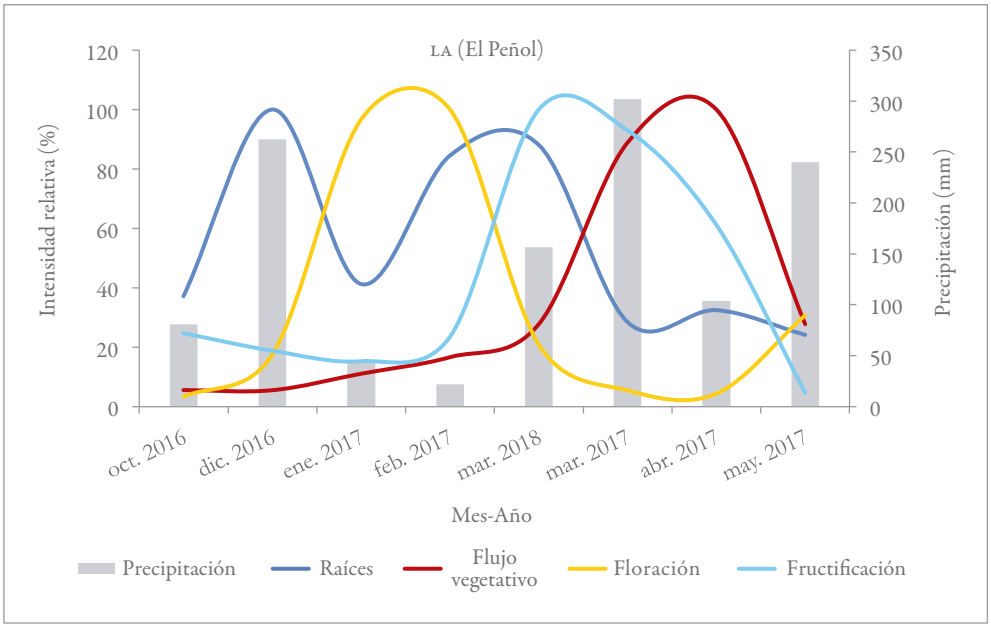


Figura 2.19. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Peñol (LA), Antioquia (1.992 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

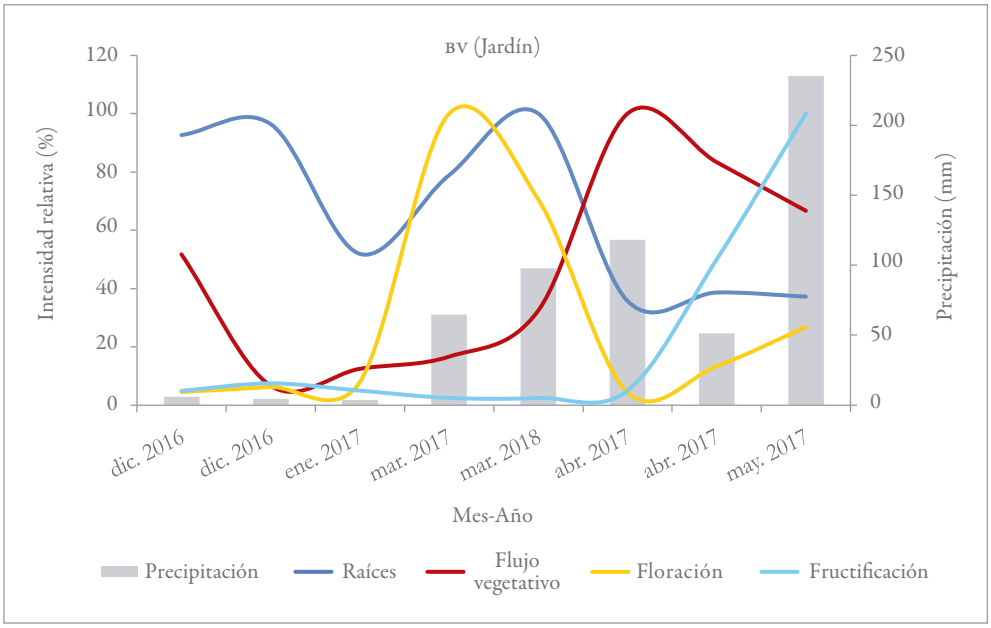


Figura 2.20. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Jardín (BV), Antioquia (2.025 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

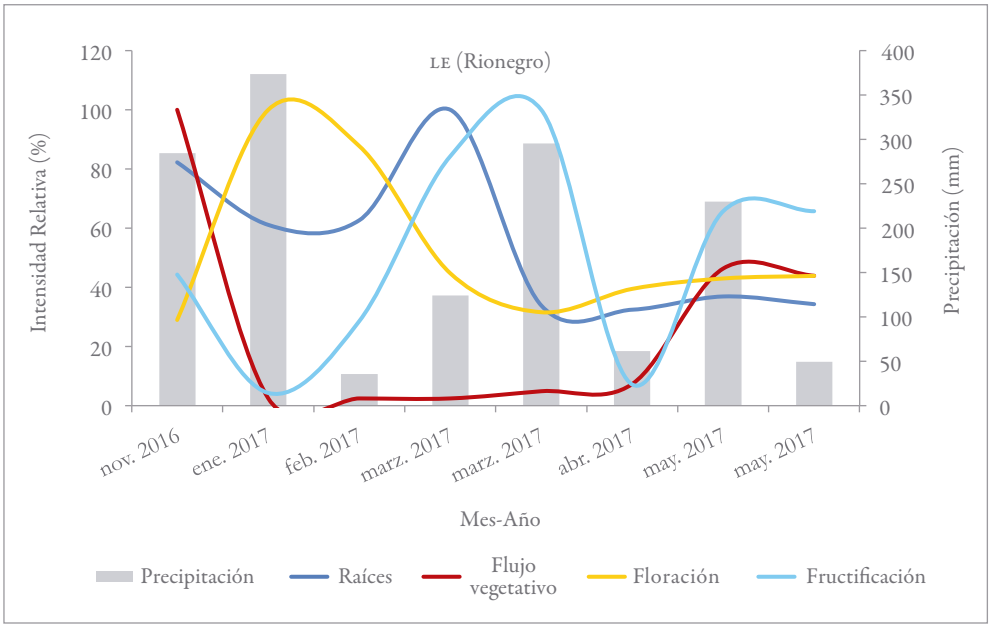


Figura 2.21. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Rionegro (LE), Antioquia (2.167 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

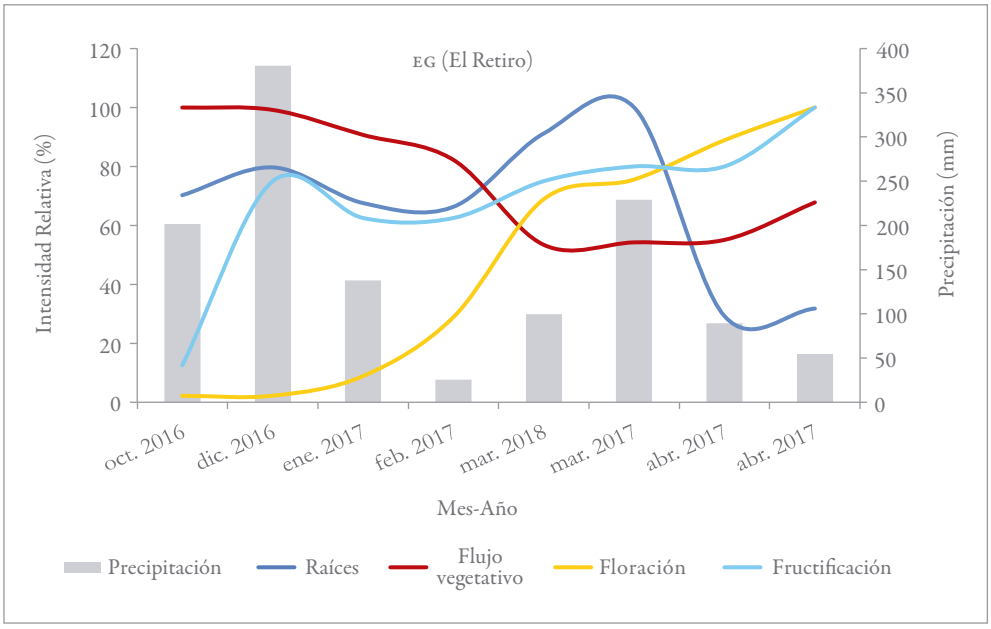


Figura 2.22. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Retiro (EG), Antioquia (2.288 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

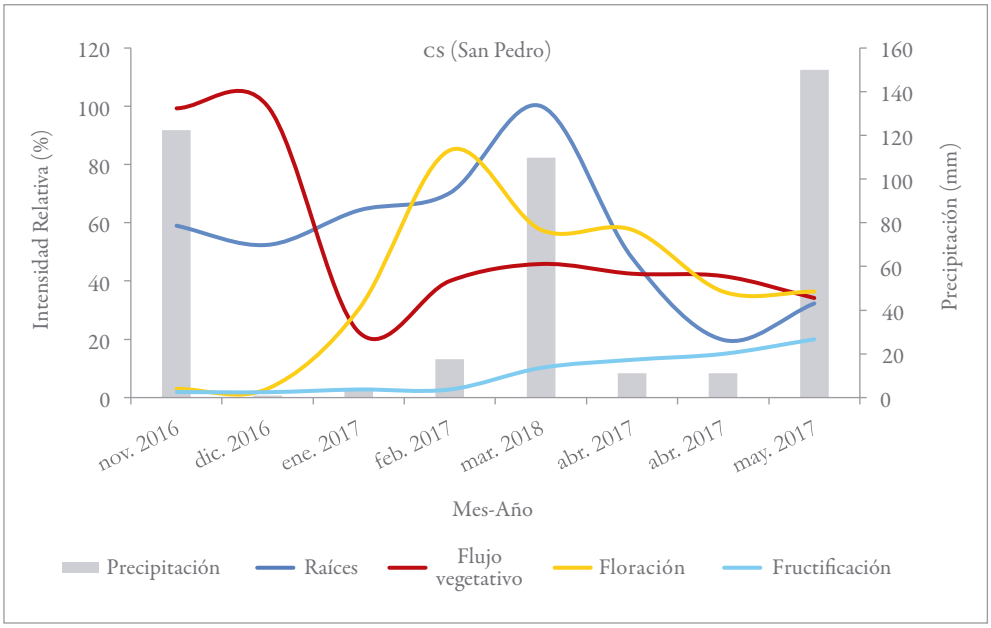


Figura 2.23. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de San Pedro (CS), Antioquia (2.411 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

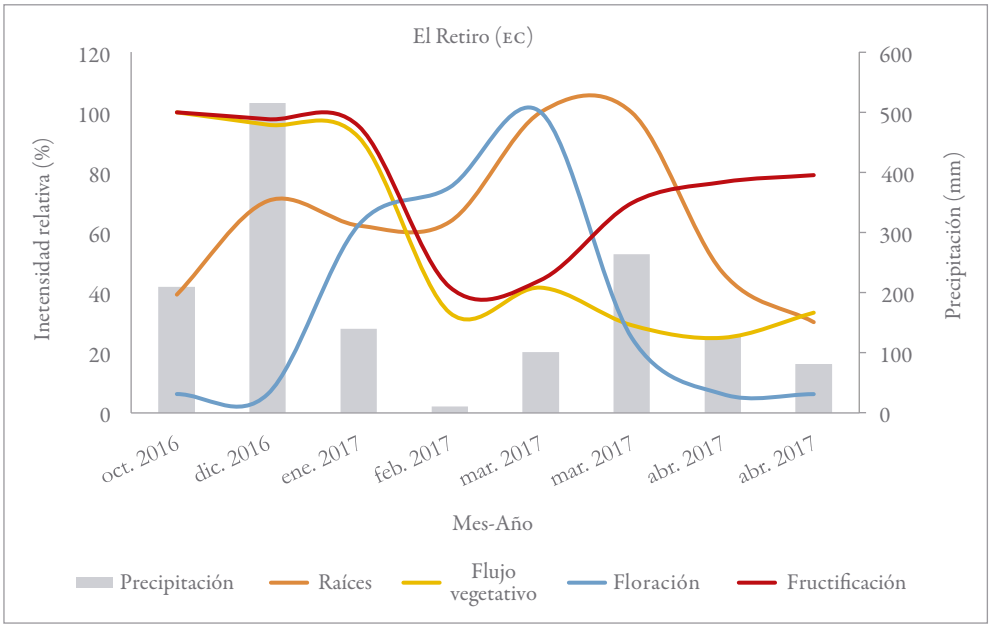


Figura 2.24. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Retiro (EC), Antioquia (2.458 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

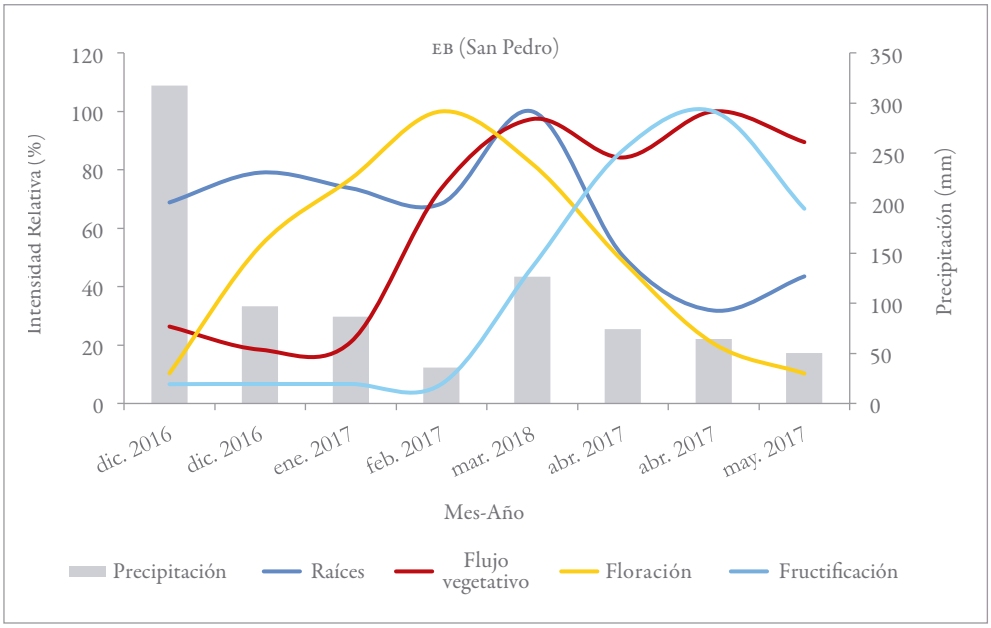


Figura 2.25. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de San pedro (EB), Antioquia (2.464 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

Cuando se analizó la tendencia de crecimiento de las raíces en todas las localidades (figura 2.26), se observó que se presentaron dos flujos marcados durante el tiempo de análisis (seis meses). El primero, de menor intensidad (87 %), coincidió con la época de lluvias del segundo semestre de 2016 y se presentó después de un flujo de crecimiento vegetativo con poca fructificación. El segundo, de mayor intensidad (100 %), se presentó al inicio de las lluvias de 2017 y coincidió con la mayor fructificación y con una escasa aparición de flujo vegetativo, 30 días después de la antesis; a partir de esa fecha, se presentó una gran abscisión de fruta, debido a la competencia por fotoasimilados en favor de las raíces, situación normal en esta especie que trata de equilibrar las reservas.

El crecimiento vegetativo se observó 60 días después del máximo crecimiento de raíces, lo cual quiere decir que el árbol primero distribuye su alimento hacia la formación de las raíces, para luego apoyar la formación del nuevo follaje, que demanda gran cantidad de savia elaborada por el sistema radical. En términos generales, se pudo establecer que los flujos de crecimiento de raíces se alternan con los de crecimiento vegetativo, lo que implica un equilibrio en la dinámica interna de la fisiología del árbol. Este comportamiento es acorde con lo reportado por Tapia

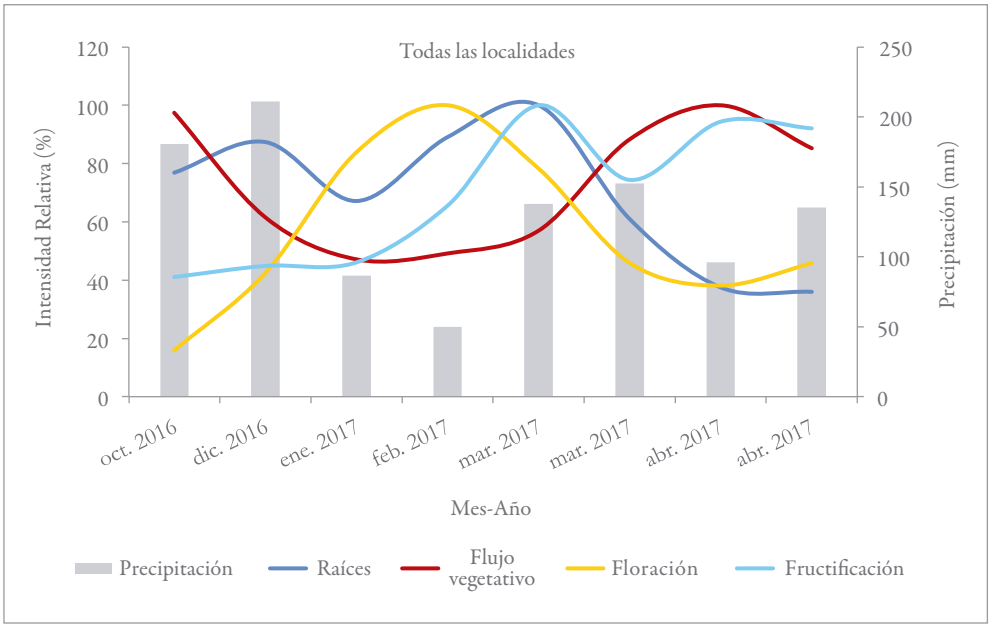


Figura 2.26. Tendencia del crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass en ocho localidades del departamento de Antioquia (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

y Gardiazábal (1993) y Calabrese (1992), quienes mencionan que el aguacate, a lo largo del año, puede tener uno o más ciclos vegetativos seguidos por un periodo de crecimiento radical. Las raíces comienzan su crecimiento cuando el primer crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente, comienza un segundo periodo de crecimiento vegetativo, de forma que se reestablece el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra de crecimiento vegetativo.

Dinámica de la abscisión de hojas, flores y frutos en aguacate cv. Hass en Antioquia

La descomposición de la hojarasca está determinada por un grupo de procesos físicos y químicos, por medio de los cuales esta se reduce a sus constituyentes químicos básicos (Aerts, 1997). Estos procesos regulan la cantidad y el contenido bioquímico de la materia orgánica producida en los ecosistemas (Aber & Melillo, 1991) y son responsables de la formación de sustancias húmicas que contribuyen a la calidad y fertilidad del suelo (Berg & McClaugherty, 2008; Tamayo & Osorio, 2014).

Por otra parte, la hojarasca, en su proceso de descomposición y aún con algún contenido de nutrientes, aporta minerales de nuevo a la planta desde el suelo para contribuir con todos los procesos metabólicos de esta. Además, mejora las condiciones físicas del suelo del árbol, ya que funciona como controlador de arvenses, mantiene la humedad del suelo en épocas secas, regula la temperatura de este en épocas extremas y lo protege de la erosión, tal como está demostrado en diversos estudios (Barlow, Gardner, Ferreira, & Peres, 2007; Schessl, Silva, & Gottsberger, 2008).

Con este aporte continuo de la hojarasca, se garantiza la renovación y mantenimiento de los ecosistemas de forma natural (Wang, Wang, & Huang, 2008). La acumulación de residuos vegetales en la superficie del suelo tiene efectos positivos sobre la productividad de estos y ha motivado el estudio de tales aportes y de sus procesos de descomposición, tanto en sistemas naturales como en aquellos de producción agrícola o forestal (Domisch et al., 2008; Palma, Prause, Fontanive, & Jiménez, 1998; Prause, 1997; Prause, Lifschitz, Dalurzo, & Agudo, 2002).

Cada año, una buena parte de los nutrientes que son absorbidos por las plantas se devuelven al suelo por medio de la descomposición de las hojas, los restos de la poda, la abscisión de órganos, etc. Por ello, es primordial conocer y maximizar los beneficios de la descomposición de estos residuos, así como las tasas de ciclado de sus nutrientes. Los nutrientes confinados en la hojarasca foliar constituyen una fuente importante de recursos, por lo que la cuantificación de su producción y naturaleza son cruciales para comprender el ciclo de los nutrientes.

Caída de hojas

AGROSAVIA realizó un estudio para caracterizar descriptivamente la producción de hojarasca, de flores y de frutos pequeños caídos en huertos de aguacate de ocho localidades, en tres zonas productoras del departamento: oriente, suroeste y norte antioqueño.

La producción de hojarasca se evaluó en 18 árboles por localidad. Para tal fin, se instalaron trampas de hojarasca de plástico polisombra de máxima retención de luz, en el área que proyecta la copa del árbol en el suelo (5 × 4 m) (figura 2.27). Durante 22 meses se recolectó semanalmente la hojarasca caída, toda la cual se reunió y se secó en horno a 65 °C, hasta obtener un peso constante, para luego determinar su masa seca por mes.

Fotos: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 2.27. Trampas de recolección de hojarasca.

La contribución de la hojarasca suele variar de acuerdo con el ecosistema considerado. De hecho, la caída de hojas y flores fue diferencial en todas las localidades: fue mayor en el suroeste, en los municipios de Jardín (19,94 kg/planta) y Amagá (15,24 kg/planta); seguida por San Pedro (15,60 kg/planta), en el norte; mientras que los menores aportes se presentaron en el oriente antioqueño con El Peñol, El Retiro y Rionegro (14,54, 14,13 y 11,92 kg/planta, respectivamente) (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Caída de hojarasca y flores en las diferentes localidades

Localidad	Hojas planta^{-1} (g)	Flores planta^{-1} (N.º)
El Retiro 1	14.125 bc	128.912 d
El Retiro 2	10.576 c	75.850 g
Rionegro	11.916 bc	73.447 h
El Peñol	14.546 bc	198.733 e
Amagá	15.242 b	85.963 f
Jardín	19.935 a	754.974 a
San Pedro	14.181 bc	210.950 c
San Pedro	15.596 bc	272.360 b
p	< 0,0006	< 0,0001

* Los promedios con la misma letra no difieren estadísticamente (Duncan al 5 %).
Fuente: Elaboración propia

La caída de flores también fue más alta en la localidad de Jardín (754.974 flores por planta), a la que le siguen, en su orden, las localidades de San Pedro y El Retiro (272.360 y 128.912, respectivamente).

Los mayores aportes de hojarasca en todas las localidades se presentaron durante las épocas más secas (figura 2.28). Este comportamiento puede estar relacionado con los flujos de biomasa o con los cambios en los estados fisiológicos encontrados recientemente por Bernal (2016). La hoja, antes de cumplir su ciclo y caer, "devuelve" su contenido nutricional al árbol, que es utilizado en su mayor parte para el llenado de la fruta. Además, el árbol se renueva con un flujo vegetativo que viene acompañado de la floración (inflorescencias indeterminadas).

Las hojas que caen son las hojas más viejas, que están a la sombra de otras ramas y que, antes de caer, traspasan buena parte de sus nutrientes móviles (N, P, K, Mg) a hojas nuevas, flores o frutos en formación. En este proceso de senescencia, las hojas se vuelven cloróticas. Vale la pena resaltar que el Ca, como elemento poco móvil, tiende a permanecer en las hojas que caen, de forma que su aporte potencial tiende a ser mayor en el suelo.

Tamayo (2016), en trabajos realizados sobre la descomposición de la hojarasca, mostró que el patrón general de liberación de nutrientes es el siguiente: K > Ca > Mg > N > P. Se ha reportado ampliamente que la rápida liberación de K se debe a su carácter móvil, pues este elemento no está ocluido en las estructuras orgánicas de los tejidos foliares, sino en forma libre, por lo cual es fácilmente lavado o removido (Parker, 1983; Tukey, 1970). De hecho, el orden en que se aportaron los nutrientes en kg/ha/año en este proceso se dio, en promedio, de la siguiente manera: Ca (74) > N (62) > S (27) > K (18) > Mg (16) > P (6).

Los aportes anuales de P en la hojarasca fueron, de hecho, muy bajos en los tres sitios. Las diferencias en las cantidades de nutrientes liberados se explican mejor por los aportes de la hojarasca (en kg/ha/año, con las siguientes cifras: Jericó 6.931, Támesis 4.785 y Entrerríos 3.600) que por su concentración en las hojas: N (1,2-1,3 %), P (0,10-0,12 %), K (0,28-0,35 %), Ca (1,3-1,6 %) y Mg (0,29-0,31 %).

En cuanto a los micronutrientes, las concentraciones en µg/g fueron muy variables entre los lugares estudiados, ya que las diferencias fluctuaron entre dos y cinco veces de un sitio a otro, así: Fe (73-176), Mn (20-97), Cu (10-26), Zn (22-58) y B (21-44).

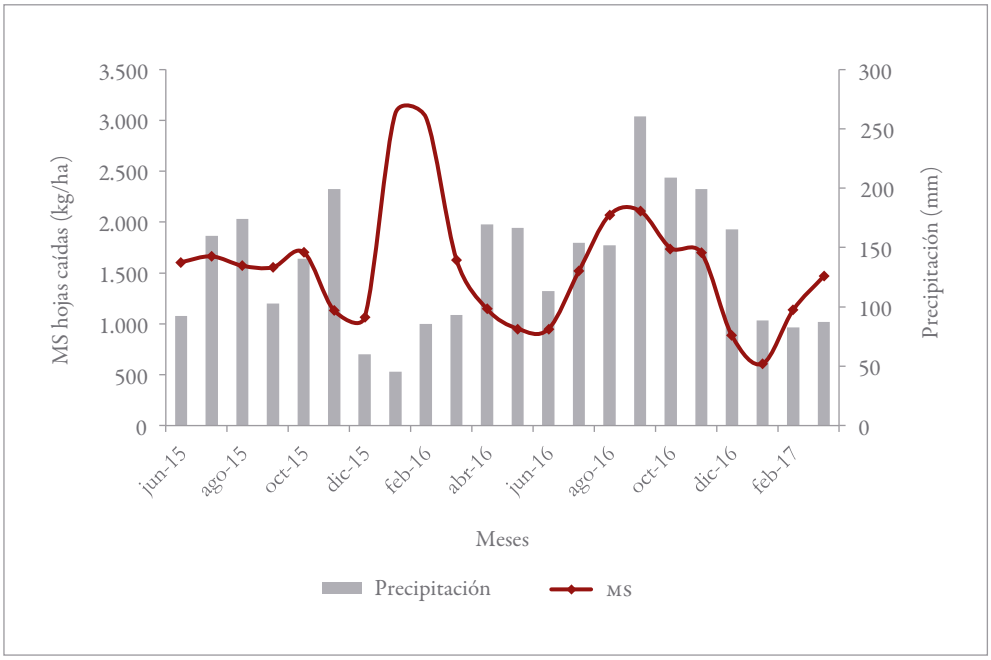


Figura 2.28. Relación entre la caída de las hojas y la precipitación.
Fuente: Elaboración propia

Dado que estos son elementos de baja movilidad en la planta, se espera que el aporte de la hojarasca sea relativamente alto y pueda mejorar la disponibilidad de estos en el suelo alrededor de los árboles. Desafortunadamente, no hay mucha información que permita comparar los aportes potenciales de la hojarasca, ya que la mayoría de los estudios se concentran en algunos elementos mayores (N, P y K). Es claro que el aporte más alto de micronutrientes en kg/ha/año se da en Mn y el más bajo tiende a ser en B, así: Mn (1,7) > Fe (0,58) > Cu (0,38) Zn > (0,16) > B (0,12).

Caída de flores

En trabajos realizados sobre aguacate cv. Lorena, se encontró una relación entre el periodo seco y los estadios del desarrollo floral (Romero, 2011). El comportamiento encontrado para el trópico colombiano coincide con los reportes hechos por Wolstenholme y Whiley (1999), quienes identifican el estrés hídrico como el factor inductor de la floración en el trópico. Lo anterior puede estar relacionado con una respuesta del árbol a la falta de agua, ya que, al eliminar algunas hojas, se reduce la pérdida del líquido por transpiración (Schaffer & Whiley, 2007).

Se ha demostrado que puede presentarse un aumento en la abscisión de flores y frutos como resultado de numerosos factores: temperaturas extremas, deficiencias nutricionales y causas genéticas, entre otros. Aun en condiciones óptimas, la abscisión de flores y frutos del aguacate es excesiva (Romero, 2011).

En aguacate cv. Hass, se ha encontrado que un árbol puede llegar a producir hasta dos millones de flores, más de mil veces la cantidad de frutos que puede soportar, pero se ha estimado que únicamente llegan a cuajado entre el 0,001 % y 0,1 % (Can-Alonzo et al., 2005; Cossio-Vargas, Salazar-García, González-Durán, & Medina-Torres, 2007a; Dixon & Sher, 2002; Scora, Wolstenholme, & Lavi, 2007; Whiley et al., 1988).

En general, los cultivares de aguacate son notorios por el hecho de producir miles de inflorescencias, cada una con más de 100 flores, de forma que el número total de flores por árbol llega al millón de flores (Sedgley & Alexander, 1983), un número típico para un árbol adulto; sin embargo, solo uno o dos frutos por cada inflorescencia alcanzan la madurez. En efecto, los trabajos realizados por AGROSAVIA muestran una cantidad importante de caída de flores con alguna variabilidad entre localidades (figura 2.29): la mayor producción y caída de flores se presentó en las localidades del suroeste antioqueño, seguida por la región del norte (tabla 2.1).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.29. Inflorescencias del aguacate cv. Hass.

Caída de frutos

El cuajado y el desarrollo del fruto dependen del suministro de carbohidratos y elementos minerales, así como del contenido hormonal endógeno. Estos componentes proceden de la movilización de las reservas acumuladas en la planta, de la síntesis de carbohidratos, de la absorción de elementos minerales y de la síntesis y transporte de hormonas (Romero, 2011).

Como se comentó en el apartado anterior, los árboles de aguacate producen entre uno y dos millones de flores por árbol, pero solo uno o dos frutos de cada inflorescencia alcanzan la madurez, de forma que la producción de frutos llega a representar solo del 0,002 % al 0,02 % respecto del total de flores producidas inicialmente. En el presente trabajo se encontró que, en las diferentes localidades de Antioquia, el 57 % de los frutos que se caen tiene diámetros menores de 0,5 cm y el 24 % tiene diámetros entre 0,5 y 1 cm, es decir, aproximadamente el 80 % de los frutos caídos presenta diámetros menores a 1 cm. Ya cuando el fruto empieza a desarrollarse, el porcentaje de caídas disminuye considerablemente (figura 2.30).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.30. Tamaño de los frutos que se caen normalmente en el árbol de aguacate cv. Hass.

El bajo porcentaje de cuajado de frutos de aguacate se explica por la competencia entre flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo (Scholefield, Sedgley, & Alexander, 1985; Sedgley, 1987; Zilkah, Klein, Feigenbaum, & Wepaum, 1987), el alto gasto energético para la producción del fruto (Wolstenholme, 1986), la participación de nutrientes como el boro y el nitrógeno (Jaganath & Lovatt, 1995) y el balance endógeno de hormonas, como las gibelinas, involucradas en los procesos de floración (Paz-Vega, 1997; Rossouw & Robbertse, 2001; Salazar-García & Lovatt, 2002).

Las mayores caídas de fruto se presentaron en las localidades del suroeste, seguidas por las del norte. Es de anotar que estas dos zonas fueron las más productivas tanto en floración como en caída y rendimiento de frutos.

Esta primera caída de fruto coincide con lo reportado por Wolstenholme y Whiley (1998), Rosales, Parodi y Carlini (2003) y Cossio-Vargas, Salazar-García, González-Durán y Medina-Torres (2007b), quienes aseguran que en el aguacate se presenta una caída importante del fruto debido a la competencia entre el crecimiento vegetativo, radical y el desarrollo del fruto, lo cual afecta directamente la productividad.

Whiley et al. (1988) y Wolstenholme, Whiley y Saranah (1990) indican que la planta de aguacate ajusta su capacidad de nutrir los frutos modificando su número mediante la caída masiva de aquellos recién cuajados, durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño.

También se cree que cuando la floración es muy abundante y hay un cuaje de frutos adecuado (10 %), se produce una abscisión masiva de frutos jóvenes. El número de frutos jóvenes caídos por árbol se ha estimado en 100.000 para el cv. Hass. La mayor parte de la abscisión ocurre durante el primer mes; la abscisión continúa con una tasa menor y finaliza cuando los frutos están a punto de madurar (Lahav & Zamet, 1999).

La caída del fruto cuando este ha alcanzado 2/3 o más del tamaño se puede ver acentuada por la aplicación única o excesiva de fertilizantes nitrogenados. El exceso de nitrógeno estimula un flujo vegetativo vigoroso, que aumenta este problema (Salazar-García, 2002).

Trabajos realizados por Cutting y Bower (1990) refuerzan la hipótesis de que podría existir una competencia de los frutos con el crecimiento vegetativo, el cual se desarrolla en el momento en que las flores de las inflorescencias indeterminadas están amarrando el fruto, puesto que ellos lograron incrementar el amarre inicial del fruto

de las inflorescencias indeterminadas mediante la remoción del brote vegetativo, lo cual puede ser explicado por la competencia por carbohidratos, agua o reguladores de crecimiento, entre otros (Salazar-García, 2007; Téliz, 2000).

Una idea sobre el potencial de la producción de frutos del aguacate se puede obtener al comparar el costo energético de la fructificación con la capacidad fotosintética del árbol (Wolstenholme, 1986). El fruto del aguacate es rico en grasas (aceites) mono- y poliinsaturadas. Así, el aguacate tiene un "costo energético" más alto que el de los frutos acumuladores de azúcar con peso similar, como manzanas o cítricos (Téliz & Mora, 2007). A consecuencia de ello, se da una producción más baja por hectárea (Wolstenholme, 1986, 1987).

Si el promedio de producción potencial de un huerto de manzano de alta densidad y manejo intensivo sobre portainjertos enanos es de 100 t/ha, el de un huerto de aguacate con características similares sería de 32,5 t/ha (Téliz, 2000). Una de las posibles causas de los bajos rendimientos del aguacate en Colombia y en varias áreas productoras del mundo es que la mayoría de la producción está basada en cultivares comunes, los cuales tienen un bajo nivel de domesticación (Téliz & Mora, 2007; Wolstenholme & Whiley, 1992).

Remoción de nutrientes en aguacate

Por muchos años la rentabilidad de la producción de aguacate se midió en términos de producción total de fruta por árbol o por hectárea. Sin embargo, este parámetro ha perdido importancia debido a la globalización del mercado. Hoy día, factores como la fecha de cosecha, el tamaño y la calidad de la fruta (tanto externa como interna) son considerados como principales en el mercadeo exitoso del aguacate. Para determinar el adecuado manejo de una nutrición que sostenga una producción de fruta del tamaño y calidad requeridos, es necesario tener información sobre la remoción de nutrientes del cultivo de aguacate en cada región (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001).

Tradicionalmente, los huertos de aguacate han utilizado poco fertilizante, de acuerdo con la idea preconcebida de que el árbol está adaptado a suelos de media a baja fertilidad. Debido al alto contenido de aceite de la fruta (hasta 20 %), la producción de rendimientos altos de aguacate requiere de un adecuado suplemento de nutrientes, especialmente potasio (K). En México, los dueños de huertos viejos argumentan que

hace 30 o 40 años era común obtener 20 t/ha de fruta sin fertilización; sin embargo, hoy esto es imposible debido a que la fertilidad nativa del suelo ha declinado significativamente (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001; Téliz & Mora, 2007).

Según Salazar-García (2002), los rendimientos promedio de aguacate en los huertos mexicanos variaron de 4 a 10 t/ha/año. En la mayoría de los huertos, las dosis de fertilización utilizadas varían de 0 a 100 kg de nitrógeno (N) y de 0 a 115 kg/ha de P_2O_5 y K_2O. La evidencia acumulada indica que los huertos manejados científicamente pueden producir con mayor facilidad rendimientos mayores a 25 t/ha/año, lo cual minimiza al mismo tiempo el problema de rendimientos bajos al año siguiente de una buena cosecha. A pesar de las mejoras en el manejo, no existe información local sobre la exportación de nutrientes de los huertos de aguacate (Salazar-García, 2002).

El peso fresco de la fruta es un parámetro común para estimar el rendimiento y la rentabilidad de un huerto de aguacate; sin embargo, esto no significa que la fruta más grande o una abundante cosecha de frutas grandes extraigan más nutrientes del suelo. La información sobre las diferencias en peso fresco de la fruta entre cultivares de aguacate se presenta en la figura 2.31, de acuerdo con un trabajo realizado por Salazar-García et al. (2006). La fruta de la variedad Hass (239 g/fruta) puede ser considerada pequeña comparada con Booth-8, Hall y Choquette. El contenido de materia seca presentó un comportamiento diferente respecto del peso en fresco (figuras 2.31 y 2.32).

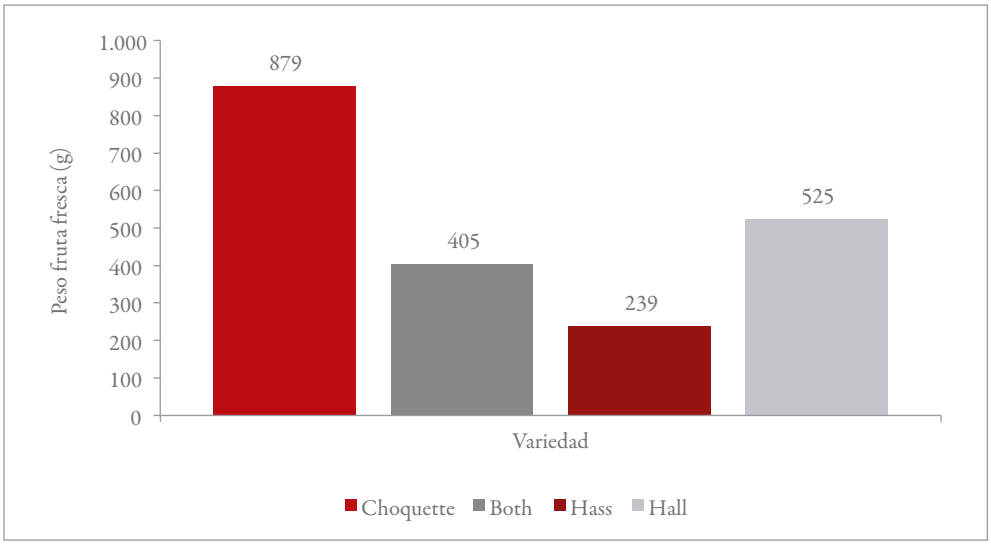


Figura 2.31. Promedio de peso fresco de cuatro cultivares de aguacate.
Fuente: Salazar-García et al. (2006)

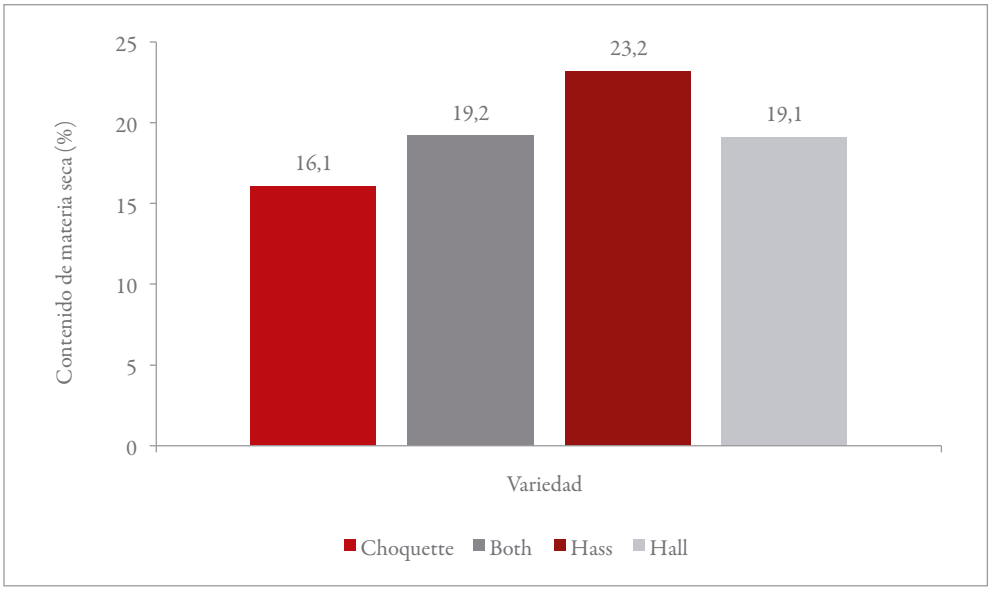


Figura 2.32. Promedio del contenido de materia seca en cuatro cultivares de aguacate.
Fuente: Salazar-García et al. (2006)

En comparación con otros cultivares, la fruta de cv. Hass tuvo el mayor contenido de materia seca (23,2 %). El estudio de Salazar-García et al. (2006) demostró que el tamaño de la fruta no está directamente relacionado con la remoción total de nutrientes. La remoción de nutrientes fue mucho mayor en la fruta pequeña de mayor contenido de materia seca, como la variedad Hass.

La materia seca está compuesta de carbono (C) y otros nutrientes acumulados durante el crecimiento y desarrollo de la fruta. Se usan también nutrientes en la síntesis de proteínas y aceite, ambos en altas cantidades en la fruta del cv. Hass (Wolstenholme, 1987). Por esta razón, se espera que la fruta con mayor contenido de materia seca y aceite requiera más nutrientes.

A pesar de que se han reportado muchos casos de rendimientos más altos en México, los cálculos de costo energético han establecido que el potencial de rendimiento del aguacate Hass es de 32,5 t/ha (Wolstenholme, 1986; Wolstenholme & Whiley, 1998). Es importante mencionar que los rendimientos de huertos de Choquette (con 100 árboles/ha) pueden ser mayores a 60 t/ha. Por esta razón, la remoción de nutrientes podría ser más alta si se calcula con estos rendimientos. Sin embargo, no se han hecho estudios para determinar el contenido de nutrientes para rendimientos máximos en este cultivar.

La extracción de nutrientes en la fruta fresca del aguacate en orden descendente sería la siguiente: K > N > P > Ca > Mg > S. Algunos autores han demostrado que es razonable esperar diferencias significativas en la remoción de nutrientes entre los diferentes cultivares de aguacate. En un estudio realizado por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2001), en México, la cantidad de N, P y K removidos por el cultivar Hass fue la más alta (figura 2.33).

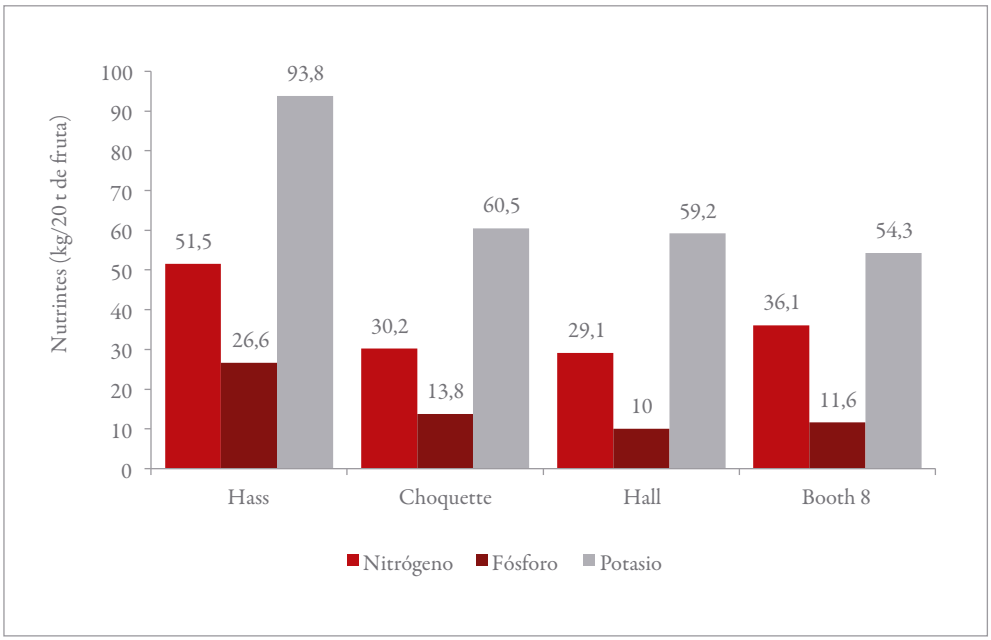


Figura 2.33. Remoción de nitrógeno, fósforo y potasio en 20 toneladas de fruta en cuatro variedades de aguacate.
Fuente: Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2001)

De acuerdo con Tamayo, Bernal y Díaz (2018), una producción de 20 t/ha de aguacate cv. Hass removió 52, 21 y 94 kg de N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente. La remoción de K por la fruta del cultivar Hass fue un 70, 77 y 39 % más alta que la de los cultivares Choquette, Hall y Booth-8, respectivamente.

La exportación de magnesio (Mg), azufre (S), zinc (Zn), boro (B) y molibdeno (Mo) por la fruta fue mayor en el cultivar Hass. La extracción de nutrientes del campo en la fruta cosechada puede ser un buen parámetro para determinar las dosis de nutrientes a aplicar (tabla 2.2) (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998).

Tabla 2.2. Extracción de nutrientes en fruta fresca de aguacate de árboles en plena producción

Nutriente	g/t de fruta fresca
Nitrógeno	3,152
Fósforo	0,736
Potasio	3,560
Calcio	0,547
Magnesio	0,474
Azufre	0,183
Boro	3,7
Cobre	3,0
Hierro	7,4
Manganeso	2,0
Molibdeno	0,02
Zinc	4,5

Fuente: Adaptada de Lazcano-Ferrat y Espinoza (1998)

La remoción de nutrientes de los cultivares Choquette, Booth-8 y Hall fueron similares, sin embargo, el cultivar Hall tuvo una menor remoción de varios nutrientes en comparación con Choquette o Booth-8 (tabla 2.3). Los resultados del estudio de Lazcano-Ferrat y Espinoza (1998) demuestran que es razonable esperar diferencias significativas en remoción de nutrientes entre los diferentes cultivares de aguacate. Los productores deben poner atención al potencial de rendimiento de cada cultivar y a la remoción total de nutrientes, y deben asegurar que se suplemente suficiente N y K para lograr el crecimiento y calidad deseados. Se debe monitorear que el contenido de nutrientes en el suelo sea suficiente y, si es necesario, se deben hacer aplicaciones de fertilizantes en el suelo o vía foliar (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001).

Tabla 2.3. Remoción de nutrientes de acuerdo con la producción de fruta fresca de varios cultivares de aguacate manejado sin riego en Nayarit, México

Nutriente	Remoción de nutrientes							
	g/100 kg de fruta fresca				g/20 t de fruta fresca			
	Hass	Choquette	Hall	Booth-8	Hass	Choquette	Hall	Booth-8
N	257,0	151,0	145,0	185,0	51,5	30,1	29,1	36,9
P_2O_5	103,0	69,2	49,9	58,2	20,6	13,0	10,0	11,6
K_2O	469,0	302,0	296,0	271,0	93,8	60,5	59,2	54,3
Ca	8,4	8,7	6,5	10,4	1,7	1,7	1,3	2,1
Mg	29,5	16,3	16,5	22,3	5,9	3,3	3,3	4,5
S	34,5	19,2	18,4	22,6	6,9	3,8	3,7	4,5
Cl	12,0	7,3	0,2	7,4	2,4	1,5	0,04	1,5
Fe	0,6	1,0	0,4	0,7	0,12	0,2	0,08	0,14
Cu	0,2	0,1	0,2	0,2	0,04	0,02	0,04	0,04
Mn	0,1	0,1	0,01	0,07	0,02	0,02	0,002	0,014
Zn	0,4	0,3	0,3	0,2	0,08	0,06	0,06	0,04
B	0,4	0,2	0,2	0,3	0,08	0,04	0,04	0,06
Mo	0,02	0,01	0,01	0,01	0,004	0,002	0,002	0,002
Na	1,0	0,6	0,8	1,0	0,2	0,12	0,16	0,2
Al	0,3	0,3	0,2	0,4	0,06	0,06	0,04	0,08

Fuente: Adaptada de Salazar-García et al. (2006)

Los programas de fertilización balanceada específicos para cada cultivar son esenciales para mejorar el rendimiento y la calidad de la fruta. Un programa de fertilización adecuado del aguacate debe incluir el análisis del contenido de nutrientes de la fruta, el análisis de suelo y el análisis foliar para estimar de la mejor manera los requerimientos de fertilización del huerto.

La cosecha de la fruta tiene mayor impacto sobre la pérdida de nutrientes del huerto que la abscisión natural de las hojas, flores y frutos. La cantidad de nutrientes que se pierden con la remoción del fruto puede ser fácilmente estimada, ya que la materia seca se ve menos afectada en cuanto a la concentración de estos que cualquier otra parte de la planta (Lahav, Whiley, & Turner, 2013).

Para tener un manejo apropiado de la fertilización y la producción y mantener unos niveles adecuados tanto en el tamaño como en la calidad de los frutos, es importante conocer la cantidad de los nutrientes extraídos desde el suelo por una cosecha (Tapias, Marroquín, Cortés, Anguiano, & Castellanos, 2007). Los requerimientos nutricionales del aguacate fluctúan de acuerdo con los contenidos de aceite en los frutos de cada variedad, los cuales pueden estar entre el 3 % y el 20 %. En la actualidad, la productividad de cultivos comerciales tiene en cuenta estos valores, y entre más cantidad de aceite tenga el fruto mayor será su extracción de nutrientes (Salazar-García, 2002, 2007).

Luego de que los nutrientes del suelo son absorbidos por las raíces, estos son trasformados en compuestos orgánicos e inorgánicos que son trasportados a los diferentes órganos de la planta. En cada cosecha, se retira de forma permanente una gran cantidad de nutrientes, mientras otra porción importante es removida de forma temporal por las flores, hojas, frutos pequeños abortados y raíces, que pueden ser ciclados en el cultivo (Tamayo, 2016).

Cuando el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, puede ser cosechado y retirado del árbol. En ese momento, se lleva con él cantidades significativas de los nutrientes que deben ser reintegrados al suelo mediante la fertilización química y orgánica o biológica, pues, de no ser así, podría ir disminuyéndose la fertilidad natural del suelo (Lahav & Zamet, 1999). Por lo anterior, es muy importante regresar al suelo al menos los nutrientes que han sido removidos por el fruto, para lo cual es necesario conocer la cantidad que ha sido extraída a través de la cosecha y que es retirada definitivamente del suelo (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001).

Se ha encontrado que la calidad poscosecha del fruto del aguacate está influenciada por la concentración de los nutrientes al momento de la cosecha (Arpaia, 1994); es así como se ha reportado en el aguacate cv. Hass que incrementos en la concentración de N en la hoja aumentan el contenido de N en la pulpa (Arpaia et al., 1996). De igual forma, trabajos realizados por Hofman, Marques, Searle, Stubbings y Moody (2005) con aplicaciones de Ca al suelo evidenciaron el incremento del Ca en la pulpa y el retraso en la maduración de los frutos en la poscosecha de aguacate cv. Reed.

Trabajos realizados por Tamayo, Bernal y Díaz (2018), con el fin de conocer la composición nutrimental de los diferentes tejidos del fruto (epidermis, pulpa, testa y semilla) y la cantidad de nutrientes removidos por la cosecha de aguacate cv. Hass en distintas localidades del departamento de Antioquia, encontraron que los tejidos del fruto mostraron diferencias en la cantidad de nutrientes removidos (tabla 2.4). Los elementos mayormente removidos en todos los tejidos fueron K, N y S. La pulpa mostró la mayor remoción de todos los elementos nutritivos analizados, tanto mayores como menores. La remoción por la epidermis y la semilla fue intermedia, aunque fue mayor la de la semilla. La remoción total de macronutrientes por el aguacate cv. Hass en kg/t fue mayor para K (4), N (3,3) y P (0,48). Los elementos menores que fueron mayormente removidos fueron Fe y B (0,45 y 0,2 g/t, respectivamente) (figura 2.34).

Tabla 2.4. Cantidad de nutrientes removidos por los tejidos del fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia

Tejido	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	kg/t						g/t				
Epidermis	0,280 c	0,032 c	0,310 c	0,025 b	0,039 b	0,043 c	34,8 b	2,5 c	6,1 b	11,77 b	20,7 b
Pulpa	1,296 a	0,266 a	1,758 a	0,090 a	0,174 a	0,222 a	126,7 a	9,4 a	23,6 a	32,71 a	50,7 a
Semilla	0,465 b	0,083 b	0,611 b	0,027 b	0,037 b	0,099 b	88,7 a	3,8 b	1,7 b	9,56 c	18,7 b
Testa	0,025 d	0,002 d	0,031 d	0,004 b	0,006 b	0,004 d	3,67 b	0,3 d	6,09 b	1,3 c	2,22 c
p	<0,00001	<0,0015	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,0001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001

Nota: Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes, según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$).
Fuente: Elaboración propia

La extracción de elementos como el N y el K por las cosechas agota la reserva natural del suelo, por lo que la práctica de fertilización debe efectuarse no solo con miras a nutrir el árbol, sino a mantener los niveles de fertilidad de la zona radical, necesaria para el equilibrio y la sostenibilidad del suelo como recurso.

Las diferencias en la cantidad de nutrientes removidos por los tejidos se deben a la proporción de cada estructura en el fruto. La pulpa presentó la mayor cantidad de nutrientes removidos, mientras que la epidermis presentó valores intermedios. La mayor remoción de la pulpa se debió a que el mayor porcentaje de la biomasa del fruto correspondió a este tejido. La testa fue el tejido con menor cantidad de nutrientes removidos, lo cual coincidió con los reportes de Mellado-Vásquez, Salazar-García, Álvarez-Bravo, Ibarra-Estrada y González-Valdivia (2015) en frutos de aguacate cv. Méndez en el sur de Jalisco (México).

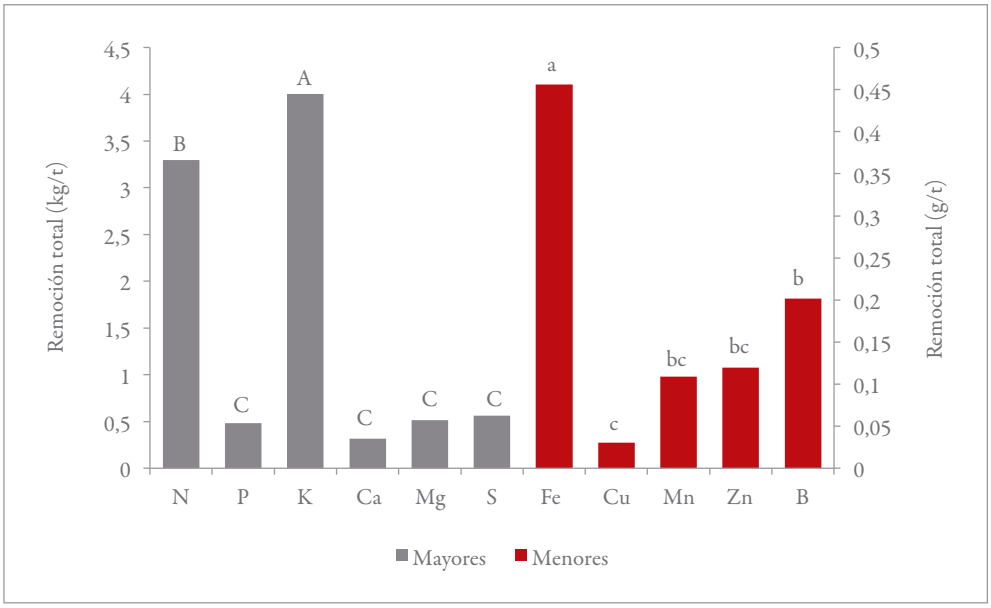


Figura 2.34. Remoción total en kg/t por el fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia. Medias con diferente letra mayúscula (macronutrientes) o minúscula (micronutrientes) en kg/t y g/t son estadísticamente diferentes según prueba de Duncan ($p \leq 0{,}05$).
Fuente: Elaboración propia

El tejido con mayor concentración de nutrientes fue la testa. El nutriente que presentó mayor concentración en los cuatro tejidos fue el K, seguido por el N. La mayor cantidad de nutrientes removidos se encontró en la pulpa, seguida por la semilla, la epidermis y la testa. El orden de remoción total de nutrientes por tonelada de fruta fresca fue K > N > S > Mg > P > Ca > Fe > B > Zn > Mn > Cu.

Características de los frutos

El peso del fruto presenta pequeñas variaciones en las diferentes localidades del departamento de Antioquia. Los cultivos establecidos en las mayores altitudes presentan mayores pesos en gramos por fruto: El Retiro (2.466 m s. n. m.) y San Pedro (2.436 m s. n. m.) presentan los mayores gramajes comparados con El Peñol (2.028 m s. n. m.) y Rionegro (2.171 m s. n. m.) (figura 2.35).

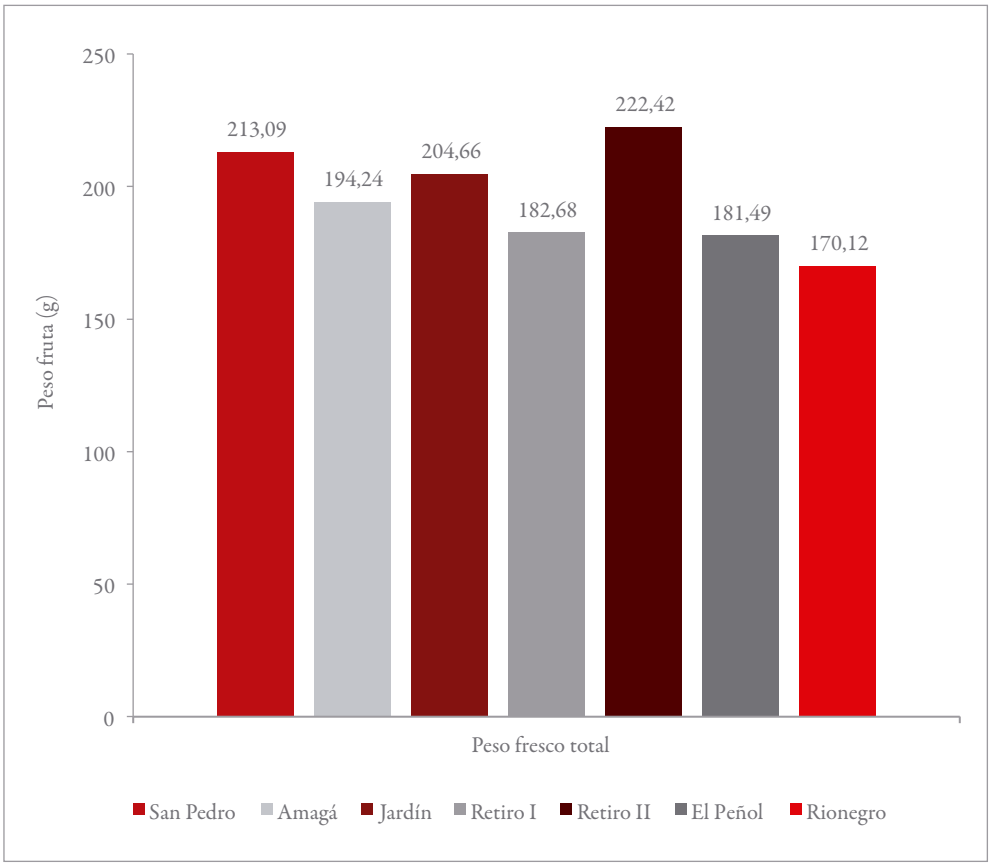


Figura 2.35. Comparación del peso fresco total del fruto en varias localidades de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

Las distintas partes del fruto contribuyeron de forma diferente al peso seco total del fruto. La pulpa y la semilla fueron los componentes del fruto que mayor influencia tuvieron sobre el peso seco. La cáscara fue variable en las diferentes localidades y la testa fue muy similar en todos los sitos evaluados (figura 2.36).

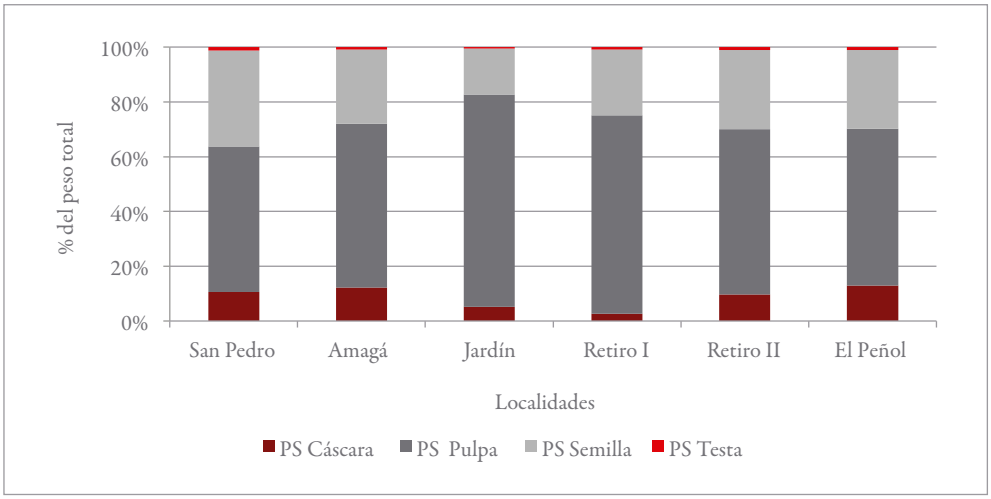


Figura 2.36. Contribución de las diferentes partes del fruto cv. Hass a su peso seco total en las diferentes localidades de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.37 se presenta una guía respecto a la cantidad de nutrientes (N, P y K) extraídos o removidos por diferentes volúmenes de cosecha de aguacate cv. Hass en Antioquia. A raíz de esta extracción, es necesario reintegrar dichos nutrientes —ya sea en forma orgánica o en forma de abonos o fertilizantes— para mantener la fertilidad del suelo en el cultivo.

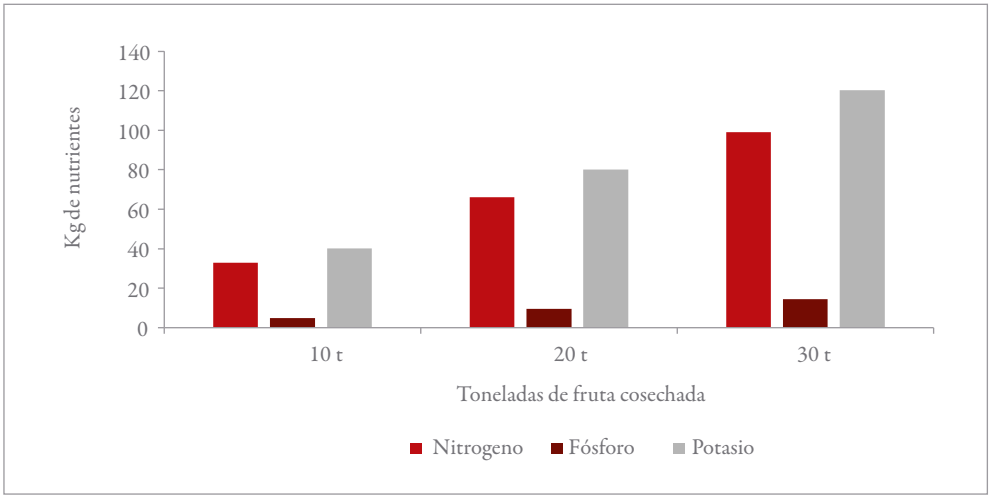


Figura 2.37. Cantidad de nutrientes removidos por los tejidos del fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

Referencias

Aber, J. D., & Melillo, J. M. (1991). *Terrestrial ecosystems* (2.ª ed). San Diego, EE. UU.: Academic Press.

Aerts, R. (1997). Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: A triangular relationship. *Oikos*, 79(3), 439-449.

Alcaraz, M. L., Thorp, T. G., & Hormaza, J. I. (2013). Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulture, 164*(2013), 434-439.

Arpaia, M. L. (1994). Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. *HortScience*, *29*, 982-985.

Arpaia, M. L. (1998). Enhancement of avocado productivity. I. Plant improvement - Selection and evaluation of improved varieties and rootstocks. *California Avocado Grower*, *2*, 1-2.

Arpaia, M. L., Meyer, J. L., Witney, G. W., Bender, G. S., Stottlemyer, D. S., & Robinson, P. R. (1996). The cashin creek nitrogen fertilizer trial –What did we learn? *California Avocado Society 1996 Yearbook*, *80*, 85-98.

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.

Barlow, J., Gardner, T. A., Ferreira, L. V., & Peres, C. A. (2007). Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, *247*(1-3), 91-97.

Berg, B., & McClaugherty, C. (2008). Plant litter. Decomposition, humus formation, carbon sequestration (2ª ed.). Berlín, Alemania: Springer-Verlag.

Bernal, J. A. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* (tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Calabrese, F. (1992). *El aguacate*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Can-Alonzo, C., Quezada-Euán, J. J. G., Xiu-Ancona, P., Moo-Valle, H., Valdovinos-Nunez, G. R., & Medina-Peralta, S. (2005). Pollination of 'criollo' avocados (*Persea americana*) and the behaviour of associated bees in subtropical Mexico. *Journal of Apicultural Research*, *44*(1), 3-8.

Cossio-Vargas, L. E., Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Medina-Torres, R. (noviembre, 2007a). *Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido*. Documento presentado en el VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile.

Cossio-Vargas, L. E., Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Medina-Torres, R. (noviembre, 2007b). *Modelos de predicción de la determinación irreversible a la floración en los aguacates 'Choquette' y 'Booth-8'*. Documento presentado en el VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile.

Cutting, J. G. M., & Bower, J. P. (1990). Spring vegetative flush removal: The effect on yield size, fruit mineral composition and quality. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, *13*, 33-34.

Davenport, T. L. (1986). Avocado flowering. *Horticultural Reviews*, *8*, 257-289. doi: 10.1002/9781118060810.ch7.

Díaz, C. A., & Bernal, J. A. (2017). Desarrollo tecnológico productivo y comercial del aguacate en el departamento de Antioquia. Informe final. Medellín, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Dixon, J., & Sher, D. (2002). Pollinitation of avocados. *NZ Avocado Growers Association Annual Research Report*, *2*, 1-2.

Dixon, J., Cotterell, C., Hofstee, B., & Elmsly, T. A. (2008). 'Hass' avocado tree phenology 2004-2009 in the Western Bay of Plenty. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report*, *8*, 35-58.

Domisch, T., Ohashi, M., Finér, L., Risch, A. C., Sundström, L., Kilpeläinem, J., & Niemelä, P. (2008). Decomposition of organic matter and nutrient mineralization in wood ant (*Formica rufa* group) mounds in boreal coniferous forests of different age. *Biology and Fertility Soils*, *44*, 539-545.

Eslava, J. (1992). Perfil altitudinal de la temperatura del aire en Colombia. *Geofísica Colombiana*, *1*, 37-52.

Hofman, P., Marques, R., Searle, C., Stubbings, B., & Moody, P. (septiembre, 2005). *Improving avocado fruit quality through tree nutrition - Present knowledge*. Documento presentado en la New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference '05, Tauranga, New Zealand.

Jaganath, I., & Lovatt, C. (1995). *Efficacy studies on prebloom canopy applications of boron and/or urea to 'Hass' avocados in California*. Documento presentado en el III World Avocado Congress, Riverside, EE. UU.

Jaramillo-Robledo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

Lahav, E., Whiley, A. W., & Turner, D. W. (2013). Irrigation and mineral nutrition. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *The avocado: Botany, production and uses* (2.ª ed., pp. 301-340). Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.

Lahav, E., & Zamet, D. (1999). Flowers, fruitlets and fruit drop in avocado trees. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *5*, 95-100.

Lazcano-Ferrat, I., & Espinoza, J. (1998). Manejo de la nutrición del aguacate. *Informaciones Agronómicas*, *31*, 3-6.

Liu, X., Hofshi, R., & Arpaia, M. L. (1999). 'Hass' avocado leaf growth, abscission, carbon production and fruit set. En M. L. Arpaia and R. Hofshi (Eds.), *Proceedings of avocado Brainstorming. Session 3. Canopy management* (pp. 52-55). Riverside, California: University of California.

Mellado-Vázquez, A., Salazar-García, S., Álvarez-Bravo, A., Ibarra-Estrada, M. E., & González-Valdivia, J. (septiembre, 2015). *Remoción de nutrimentos por el fruto de aguacate "Méndez" en el sur de Jalisco, México*. Documento presentado en el VIII Congreso Mundial de la Palta, Lima, Perú.

Mena-Volker, F. (septiembre, 2004). *Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo.* Documento presentado en el 2.º Seminario Internacional de Paltos. Quillota, Chile. Documento recuperado de https://goo.gl/8uoEiJ.

Muñoz, R. (1998). Fertilización de la papa en Antioquia. En R. Guerrero (Ed.), *Fertilización de cultivos en clima frío* (pp. 28-46). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.

Palma, R. M., Prause, J., Fontanive, A. V., & Jiménez, M. P. (1998). Litterfall and littter decomposition in a forest of the Parque Chaqueño Argentino. *Forest Ecology and Management*, *106*, 205-210.

Pabón, J., Eslava, J., & Gómez, R. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*, (4), 47-59.

Parker, G. G. (1983). Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, *13*, 57-133.

Paz-Vega, S. (1997). Alternate bearing in the avocado (*Persea americana* Mill.). *California Avocado Society 1997 Yearbook*, *81*, 117-148.

Ploetz, R. C., Ramos, J. L., & Parrado, J. L. (1992). Shoot and root growth phenology of grafted avocado. En C. J. Lovatt (Ed.) *Proceedings II World Avocado Congress* (pp. 215-220). Riverside, EE. UU.: University of California.

Prause, J. (1997). Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en un monte nativo del Parque Chaqueño Húmedo (tesis de maestría). Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Prause, J., Lifschitz, A. P., Dalurzo, H. C., & Agudo, D. E. (2002). Leaf litterfall and decomposition in a forest of the Chaco argentino. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *33*(19-20), 3653-3661.

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

Rocha-Arroyo, J. L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A. E., González-Durán, J. L., & Medina-Torres, R. (septiembre, 2011b). *Crecimientos vegetativo y reproductivo del aguacate 'Hass' en diversos climas de Michoacán, México*. Documento presentado en el VII World Avocado Congress. Cairns, Australia.

Romero, M. A. (2011). *Comportamiento fisiológico del aguacate (Persea americana Mill.) variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Rosales, J. J., Parodi, G., & Carlini, B. (octubre, 2003). *Evaluación del ciclo fenológico del palto (Persea americana Mill) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú*. Documento presentado en el V World Avocado Congress, Málaga-Granada, España.

Rossouw, T., & Robbertse, P. (2001). Effect of gibberellic acid treatments on flower development of avocado. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, *24*(4), 1-2.

Salazar-García, S. (2002). *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*. Querétaro, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), Instituto de la Potasa y el Fósforo (Inpofos).

Salazar-García, S. (2007). Floración y fructificación. En D. Téliz y A. Mora (Eds.), *El aguacate y su manejo integrado* (2.ª ed., pp. 64-86). México D. F., México: Mundi-Prensa.

Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., González-Durán, I. J. L., & Lovatt, C. J. (2007). Desarrollo floral del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruta y edad de los brotes. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 13*(1), 87-92.

Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., Lovatt, C. J., González-Durán, J. I., & Pérez-Barraza, M. H. (2006). Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of 'Hass' avocado. *HortScience, 41*(7), 1541-1546.

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. (2002). Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Inflorescence and flower development. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 8*(1), 71-75.

Sánchez-Pérez, J., Alcántar, J. J., Coria, V. M., Anguiano, J., Vidales, I., Tapia, L. M.,… Vidales, J. A. (2001). *Tecnología para producir aguacate en México*. Uruapan, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap).

Schaffer, B., & Whiley, A. W. (2007). Fisiología ambiental. En A. W. Whiley, B. Schaffer, y B. N. Wolstenholme (Eds.), *El palto. Botánica, producción y usos* (pp. 133-154). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Schessl, M., Silva, W. L., & Gottsberger, G. (2008). Effects of fragmentation on forest structure and litter dynamics in Atlantic rainforest in Pernambuco, Brazil. *Flora, 203*(3), 215-228.

Scholefield, P. B., Sedgley, M., & Alexander, D. McE. (1985). Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. *Scientia Horticulturae, 25*(2), 99-110.

Scora, R. W., Wolstenholme, B. N., & Lavi, U. (2002). Taxonomy and botany. En A. W. Whiley, B. Schaffer, y B. N. Wolstenholme (Eds.), *The avocado: Botany, production and uses* (2.ª ed., pp. 31-50). Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.

Scora, R. W., Wolstenholme, B. N., & Lavi, U. (2007). Taxonomía y botánica. En A. W. Whiley, B. Schaffer, y B. N. Wolstenholme (Eds.), *El palto. Botánica, producción y usos* (pp. 25-46). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (SADRA). (2019). *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario en el Departamento de Antioquia 2018*. Medellín: Gobernación de Antioquia.

Sedgley, M. (1987). Flowering, pollination and fruit-set of avocado. *South African Growers' Association Yearbook, 10*, 42-43.

Sedgley, M., & Alexander, D. McE. (1983). Avocado breeding research in Australia. *California Avocado Society Yearbook, 67*, 129-140.

Tamayo, A., Bernal, J., & Díaz, C. (2018). Composición y remoción de nutrientes por la cosecha de aguacate cv. Hass en Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, *71*(2), 8511-8516. 10.15446/rfna.v71n2.71929

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 saprofito en tres pisos térmicos* (tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Tamayo, A., & Osorio, W. (2014). Nutrición y fertilización. En Bernal, J., Díaz, C., Osorio, C., Tamayo, A., Osorio, W., Córdoba, O… Londoño, M., *Manual técnico: actualización tecnológica y buena prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 182-212). Medellín, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Tapia, P. A., & Gardiazábal, F. (1993). *Aproximación al ciclo fenológico del palto (Persea americana Mill.) cultivar Hass, para la zona de Quillota, V región* (tesis de grado). Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Recuperado de https://goo.gl/182GbJ.

Tapias, V. L. M., Marroquín, P. F. J., Cortés, T. I., Anguiano, C. J., & Castellanos, R. Z. J. (2007). Nutrición del aguacate. En D. Téliz, & A. Mora (Coord.), *El aguacate y su manejo integrado* (2.ª ed., pp. 87-107). México D. F., México: Ediciones Mundi-Prensa.

Téliz, D. (2000). El aguacate y su manejo integrado. México D. F., México: Ediciones Mundi-Prensa.

Téliz, D., & Mora, A. (2007). *El aguacate y su manejo integrado* (2.ª ed.). México D. F., México: Ediciones Mundi-Prensa.

Thorp, T. G., Aspinall, D., & Sedgley, M. (1993). Influence of shoot age on floral development and early fruit set in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass'. *Journal of Horticultural Science, 68*(5), 645-651.

Tukey, H. B. Jr. (1970). The leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology, 21*, 305-324.

Wang, Q., Wang, S., & Huang, Y. (2008). Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management, 255*(3-4), 1210-1218.

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.

Wolstenholme, B. N. (1986). Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor, with special reference to avocado. *Acta Horticulturae, 175*, 121-126.

Wolstenholme, B. N. (1987). Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. *South African Avocado Growers' Association Yearbook, 10*, 58-61.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (abril, 1992). *Requirements for improved fruiting efficiency in the avocado tree*. Documento presentado en el Second World Avocado Congress, Orange, California.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (octubre, 1998). Strategies for maximizing avocado productivity: An overview. Documento presentado en el III World Avocado Congress, Tel Aviv, Israel.

Wolstenholme, B. N., Whiley, A. W., & Saranah, J. B. (1990). Manipulating vegetative: reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with paclobutrazol foliar sprays. *Scientia Horticulturae, 41*(4), 317-327.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (1999). Ecophysiology of the avocado (*Persea americana* Mill.) tree as a basis for pre-harvest management. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 5*, 77-88.

Zilkah, S., Klein, I., Feigenbaum, S., & Wepaum, S. A. (1987). Traslocation of foliar-applied urea 15N to reproductive and vegetative sinks of avocado and its effects on fruit set. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 112*, 1061-1065.

Capítulo III

Buenas prácticas agrícolas (BPA)

Luz Adriana Vásquez Gallo

Generalidades

Las buenas prácticas agrícolas (BPA) son un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas aplicables a los sistemas de producción agropecuarios, con el fin de reducir los peligros químicos, físicos y microbiológicos. Las BPA están orientadas a obtener productos inocuos (sanos y limpios), a mejorar las condiciones de los trabajadores (salud y bienestar) y a proteger el medioambiente, gracias a métodos ecológicamente seguros, higiénicamente aceptables y económicamente factibles (Izquierdo, Rodríguez, Durán, Miranda, & Oyarzún, 2006) (figura 3.1).

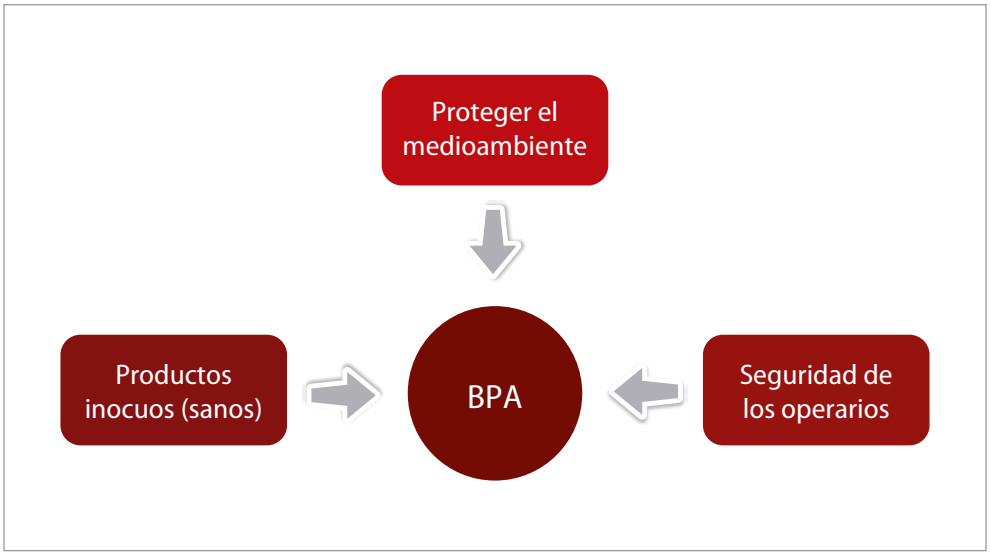


Figura 3.1. Pilares de las buenas prácticas agrícolas (BPA).
Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación de las BPA durante las rutinas de la producción primaria (establecimiento, siembra, manejo en el desarrollo, cosecha, selección, limpieza, clasificación, empaque, embalaje y almacenamiento de las frutas y hortalizas frescas, entre otros), se puede prevenir la contaminación con patógenos y agroquímicos.

Las BPA surgen por la necesidad de los productores de acogerse a los cambios y requerimientos mundiales basados en esquemas más eficientes y sostenibles. En dichos esquemas, la calidad e inocuidad de los productos agropecuarios adquiere mayor importancia, en consecuencia, acogerse a ellos implica mejores posibilidades de vincularse a los mercados internacionales, en los que esta práctica es demandada.

En Colombia, la implementación de las BPA aún no es de carácter obligatorio, sino que es considerada como una actividad voluntaria más; sin embargo, los productores que pretendan realizar algún tipo de exportación a la Unión Europea, Canadá, Estados Unidos o, en general, a cualquier país desarrollado deben tener en cuenta que estos "exigen que los productos que ingresen a esos mercados tengan algún tipo de garantía de inocuidad" (Secilio, 2005). El cumplimiento de estas condiciones se demuestra con certificaciones emitidas por organismos nacionales o internacionales respecto de las normas en cuestión, como el Decreto 30021 del 2017 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Norma Técnica Colombiana NTC 5400 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas [Icontec], 2005) o la norma internacional GlobalGap.

¿Por qué implementar las BPA?

La implementación de las BPA en los sistemas de producción agrícola contribuye de manera general a que el productor tenga conciencia de *cómo* y *qué* está haciendo en su predio para mejorar rendimientos y producir de manera inocua. La aplicación de las BPA en los huertos agrícolas es, hoy en día, un componente de competitividad que permite a los agricultores generar beneficios económicos, sociales, ambientales y sanitarios (inocuidad), como los siguientes (Izquierdo et al., 2006; Gobernación de Antioquia, 2014):

- Obtención de un producto diferenciado por sus condiciones inocuas.
- Un menor índice de rechazo de las frutas en los diferentes mercados, porque se asegura la calidad e inocuidad de estas.
- Control detallado del proceso productivo (trazabilidad), a través de los registros exigidos por la norma.
- Reducción de riesgos en la toma de decisiones, como consecuencia de una mejor gestión de la finca en términos productivos y económicos (administración y control de personal, insumos e instalaciones).
- Aumento de la competitividad por la reducción de costos (mejor utilización de insumos y tiempo de trabajo).
- Posibilidad de exportar a mercados internacionales.
- Mejoramiento de la calidad de vida de los trabajadores.
- Capital humano capacitado: uso razonable de agroquímicos, mejores condiciones de higiene personal, primeros auxilios y prácticas de higiene, entre otros.
- Sostenibilidad del medioambiente: cuidado del agua, suelo, fauna y flora.
- Reducción del uso de plaguicidas de diferentes grados de toxicidad.

Implementación de las BPA en el cultivo de aguacate

Para la implementación de las BPA en un cultivo de aguacate, los productores deben tener en cuenta una serie de características y condiciones básicas de la finca relacionadas con el sistema de producción, que hacen parte de la planeación para el establecimiento del cultivo. Dentro de los factores relacionados con la planeación del cultivo, se recomienda tener presentes, cuando menos, los siguientes:

- Topografía del predio (plano, ondulado, pendiente).
- Tipo de suelo (arenoso, arcilloso, franco).
- Condiciones climáticas de la zona (temperatura, precipitación, humedad relativa y brillo solar).

- Antecedentes del lote (inundaciones, erosión y aplicación de agroquímicos).
- Abastecimiento de agua (nacimientos, pozo, quebrada y acueducto).
- Elaboración y diseño de un mapa de la unidad productiva.

Puntos de control para la implementación de las BPA

Estos pueden variar de acuerdo con la norma que seleccione el productor. En cualquier caso, todas las normas tienen unos parámetros o puntos de control similares que deben ser tenidos en cuenta si el productor pretende, por ejemplo, certificar la finca (ante el ICA) o el cultivo (con GlobalGap). En los apartados siguientes se discriminan los puntos básicos que son requisito para obtener una certificación en BPA.

Área e instalaciones

Toda finca productora de aguacate debe contar con diferentes espacios e instalaciones que faciliten la implementación de las BPA. Con este fin, se pueden hacer adaptaciones o reformas en algunos lugares de la finca —según los recursos de cada productor—, para dar cumplimiento a los requerimientos. Es importante, además, que estos lugares queden debidamente identificados, organizados y acordes con los planes de aseo e higiene. A continuación, se caracteriza cada uno de estos espacios.

Unidad sanitaria y de aseo

Estas unidades deben ser construidas con materiales fáciles de limpiar y con adecuados sistemas de evacuación de aguas servidas. Las unidades deben estar ubicadas a una distancia mínima de 100 m respecto de las fuentes de agua y a más de 15 m de donde se manipulen o almacenen productos de cosecha. Asimismo, deben contar con avisos de identificación, señalización e indicaciones gráficas sobre el procedimiento correcto para el lavado de las manos (ICA, 2017) (figura 3.2). Si en los campos no es posible construir los servicios sanitarios y de lavamanos, los operarios pueden acudir a las instalaciones propias de las fincas siempre que en ellas se cumplan las normas de limpieza e higiene.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.2. Unidades sanitarias y de aseo. a. Construcción en ladrillo con mayor acabado; b. Construcción sencilla de materiales disponibles en la finca; c. Instrucciones de higiene en las unidades sanitarias.

Área de almacenamiento de insumos agrícolas

Para este fin, se puede destinar un espacio de la finca que esté retirado de la vivienda y que sea preferiblemente resistente al fuego (no es necesario construir una bodega). Además de estar destinado exclusivamente al almacenamiento de agroquímicos, es importante que este lugar permanezca organizado, que su construcción permita hacer aseo fácilmente y que se encuentre bien señalizado (figuras 3.3a y 3.3b). Se debe contar con un mueble o estantería en buen estado para colocar los insumos (insecticidas, herbicidas, fungicidas, adherentes y productos biológicos, entre otros). Los líquidos se ubican en la parte de abajo, separados y marcados por tipo de producto; los agroquímicos en polvo se ubican en la parte superior (figura 3.3c). Para su identificación se puede usar una tabla, una lámina de plástico o una hoja de papel o cartón protegida con un plástico o un acetato. Los productos siempre se almacenan en el empaque original.

Fotos: Luz Adriana Vázquez Gallo y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.3. Área de almacenamiento de insumos agrícolas. a. Detalle de una bodega para el almacenamiento de insumos; b. Señalización; c. Ubicación de los productos químicos en las estanterías.

Esta área debe permanecer con llave, correctamente identificada y con acceso restringido para niños y animales, así como tener iluminación y ventilación (se puede colocar un lienzo que permita la entrada de la luz y evite la acumulación de gases). Todos los envases, bolsas y paquetes de productos deben estar debidamente cerrados, con fecha de vencimiento vigente. Respecto de esto último, se recomienda comprar solo los agroquímicos que se vayan a usar prontamente (cada recipiente se debe marcar con la fecha de compra para poder llevar un control) y solo productos registrados y autorizados por el ICA (en la etiqueta debe decir: *Registro de venta ICA, No.* ____).

En la bodega debe haber un kit para el manejo de derrames (aserrín, periódico, escoba, pala y papelera, entre otros) y facilitar así la limpieza en caso de que ocurra un accidente de este tipo con algún agroquímico (ICA, 2016; Corporación Colombia Internacional [CCI], 2011; Osorio, 2014). Cuando ocurra un derramamiento, un empleado calificado debe hacer la limpieza con la debida protección personal (botas, guantes y respirador), no debe aplicar agua sobre el líquido derramado, sino cubrirlo con material absorbente (arena o aserrín). Una vez absorbido el producto, este se recoge con pala, se echa en la bolsa plástica y luego en la caneca. Los envases de los derrames se marcan y se empacan muy bien para ser entregados a la entidad que los recoge (Asociación Nacional de Industriales [ANDI], 2017). Además, es necesario destinar un espacio para colocar letreros informativos con el fin de orientar a los trabajadores en cuanto al manejo de equipos, precauciones, cuidados y acciones a tomar en caso de que ocurra algún accidente (figura 3.4).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.4. Tablero con información sobre el procedimiento en caso de derrames de plaguicidas.

Los fertilizantes se colocan en el piso sobre estibas para que no se humedezcan y cerrados para evitar su volatilización. El lugar de almacenamiento debe permanecer limpio, seco y ventilado (figura 3.5).

Foto: Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.5. Forma correcta de almacenar los fertilizantes sobre estibas.

Se debe llevar un control de todos los agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes) que ingresan a la finca, para lo cual se sugiere diseñar y llevar un formato (tabla 3.1).

Área de almacenamiento de utensilios, equipos y herramientas

En todas las fincas de producción agrícola se utilizan diferentes equipos y elementos, como aspersores, tijeras, machetes, guadañas, baldes, azadones, palas, rastrillos, canastillas, mangueras, etc. Estos elementos deben ser lavados en un lugar independiente después de cada uso en las labores de campo y, una vez lavados, se deben ubicar en el área destinada para ello. Allí, se deben disponer de manera ordenada, así mismo, este lugar debe permanecer limpio, ordenado y señalizado (Osorio, 2014; Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria [Senasa], s. f.) (figura 3.6).

Fotos: Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.6. Imágenes del área destinada a guardar herramientas y equipos. a. Herramientas debidamente organizadas y limpias; b. Equipos de aspersión ubicados en forma correcta.

Otras consideraciones a tener en cuenta sobre este lugar son las siguientes:

- Separar los implementos de trabajo de los insumos y agroquímicos.
- Ubicar los equipos sobre una repisa, estantería u otro soporte en la pared.
- Contar con manuales de instrucción, para evitar riesgos de contaminación cruzada y accidentes laborales, así como el deterioro y mal funcionamiento de las herramientas.
- Una vez usadas las herramientas o implementos de trabajo, estos se deben lavar con agua limpia y, en lo posible, desinfectarlos con hipoclorito al 2,4 % o amonio cuaternario (figura 3.7).

Foto: Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.7. Lavado de herramientas de trabajo con agua limpia.

Otro formato que se debe llenar en la instalación agrícola de manera constante es el del mantenimiento que se les hace a los elementos de trabajo (tabla 3.2).

Área de dosificación y preparación de mezclas

Esta es un área destinada exclusivamente a la preparación de los agroquímicos que se van a aplicar al cultivo, por lo tanto, debe contar con suministro de agua, estar retirada de la vivienda y de fuentes de agua y debe estar debidamente señalizada (figura 3.8). Antes de preparar la mezcla y aplicar el producto, el agricultor debe leer muy bien la etiqueta y seguir las indicaciones escritas allí, para estar seguro de la dosificación, peligrosidad, forma de aplicación, ingrediente activo y precauciones. Además, debe verificar que el producto que va a aplicar es el indicado para el problema a controlar, por ejemplo, si es un problema de plagas, aplicar insecticida (se debe evitar la aplicación de varios productos en el mismo equipo de aspersión).

Cuando la dosificación y mezcla de los insumos se realice dentro del cultivo, esta zona deberá demarcarse e impermeabilizarse, de tal manera que se controlen los vertimientos de insumo. Los materiales necesarios para esta labor (recipientes, agua y elementos de protección personal, entre otros) también deben ser objeto de control y estar en óptimas condiciones (ICA, 2017).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.8. Área para la preparación de plaguicidas.

Área de vertimiento de aguas sobrantes

Esta debe ser un área no productiva de la finca (retirada de las fuentes de agua) en la que se depositen las mezclas sobrantes de la aplicación de los plaguicidas. Allí también debe verterse el agua resultante del lavado de los equipos de aplicación y de protección. Este lugar debe estar adecuado con carbón activado, gravilla y arena (figura 3.9) (Asociación Hortofrutícola de Colombia [Asohofrucol], 2014).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.9. Área de vertimiento de aguas sobrantes (barbecho).

Área de acopio de productos cosechados

Los productores pueden acondicionar algún lugar de la finca que cumpla con las condiciones mínimas de cuidado de la fruta. Una vez cosechados, los frutos deben llevarse allí para quedar protegidos de las condiciones ambientales (calor, lluvia, viento y radiación solar). En lo posible, se debe hacer una separación inicial rápida de frutos dañados o afectados por enfermedades y, así, evitar contaminaciones que puedan afectar la calidad e inocuidad del producto (figura 3.10).

Área de poscosecha

Esta área es donde se llevan a cabo las operaciones de lavado, clasificación, empaque, encerado y almacenamiento de los frutos cosechados, por lo tanto, debe cumplir con algunas características de diseño que faciliten la limpieza y desinfección, de tal manera que se evite el ingreso de plagas, se protejan los frutos de algún daño físico y de contaminación. Esta área debe estar incluida en el plan de higiene y mantenimiento de las instalaciones. Estas últimas deben ser de un tamaño suficiente, con áreas separadas y demarcadas de acuerdo con las operaciones del proceso. Se debe contar con un sistema de suministro de agua potable, con instalaciones sanitarias y con estaciones de limpieza y desinfección de manos (Senasa, s. f.) (figura 3.11).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.10. Área de acopio en campo.

Foto: Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.11. Área de poscosecha.

En caso de que no sean transportados inmediatamente al punto de venta, los frutos cosechados deben llevarse a un lugar de acopio transitorio que preserve la fruta y cuente con buenas condiciones higiénicas (figura 3.12).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.12. Área de almacenamiento del producto seleccionado.

Otras consideraciones a tener en cuenta son las siguientes:

- Los productos nunca estarán en contacto directo con el suelo.
- Los equipos, utensilios y herramientas de la cosecha se emplean exclusivamente para este fin (ICA, 2017).

Área para consumo de alimentos y descanso

Este es un lugar independiente, en el que los trabajadores pueden tomar sus alimentos y descansar (figura 3.13a), por tanto, debe permanecer limpio y ordenado, con canecas para la disposición de basuras. Se recomienda contar con un espacio para que los trabajadores puedan guardar sus elementos personales (figura 3.13b); es importante que el personal sienta que se le brindan condiciones óptimas que facilitan su desempeño laboral. Del mismo modo que con las demás instalaciones, esta área se puede acondicionar sin incurrir en gastos mayores: una opción es levantar un kiosco con bancos y mesas hechos con madera de la zona.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Alegría Saldarriaga

Figura 3.13. Instalaciones para el bienestar de los trabajadores. a. Área para el consumo de alimentos y descanso; b. Área para guardar elementos personales.

Área para la disposición de residuos

En esta área se ubican recipientes debidamente marcados, para depositar allí materiales plásticos, metal, vidrio y residuos peligrosos que provengan de las diferentes actividades de la finca. Esto permitirá hacer una correcta clasificación de los deshechos, lo que conlleva la conservación y protección del medioambiente (figura 3.14).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.14. Recipientes debidamente marcados y protegidos de la lluvia para depositar residuos.

Otros espacios sugeridos por la norma

En un sitio visible, se recomienda ubicar un extintor multiuso en buen estado (figura 3.15a) y un botiquín de primeros auxilios (figura 3.15b).

Fotos: Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.15. Elementos adicionales recomendados por la norma. a. Extintor en un lugar visible; b. Botiquín de primeros auxilios.

Además de las áreas descritas anteriormente, las fincas deben contar con un espacio para guardar los elementos de protección personal (overol, guantes, botas y máscara), los cuales deben lavarse y guardarse limpios después de cada uso.

Todas las instalaciones y áreas que se utilizan en el sistema de producción de aguacate deben tener avisos informativos, escritos de manera clara, que sitúen y orienten siempre a los operarios y demás personas que visiten las instalaciones (ICA, 2016) (figura 3.16).

Equipos, utensilios y herramientas

Todos los equipos, utensilios y herramientas utilizados en las labores de campo, cosecha y poscosecha deben mantenerse en buenas condiciones para su uso. Las herramientas, una vez usadas, se deben lavar y desinfectar para evitar la propagación de microorganismos en toda el área productiva de la finca. De igual manera, es necesario garantizar la aplicación de las dosis correctas de agroquímicos,

para evitar pérdidas de dinero, prevenir el desarrollo de resistencia por parte de los insectos, reducir la contaminación del suelo y de los aguacates, y proteger la salud de los operarios. Para lo anterior se debe contar con dos factores mínimos: (1) un programa con registros de mantenimiento, desinfección y calibración, y (2) procedimientos e instructivos para su manejo, de manera que se eviten los riesgos de contaminación cruzada, deterioro o mal funcionamiento (ICA, 2009).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.16. Ejemplo de carteles informativos relacionados con las BPA. a. Control de ingreso de animales domésticos; b. Ingreso restringido a la finca; c. Áreas de disposición de basuras; d. Información de aplicación de plaguicidas; e. Lugar de reuniones.

Protección del personal

Es importante que las personas que manipulen y apliquen plaguicidas reciban una información adecuada sobre cada una de las funciones que realicen en la finca, con el fin de preservar su salud, seguridad y bienestar. La ley de prevención de riesgos laborales obliga al empresario a suministrar el equipo de protección adecuado para la aplicación de productos fitosanitarios. Este equipo tiene los siguientes componentes: vestido u overol de mangas largas para la protección del cuerpo, botas de caucho de uso agrícola, respirador de doble filtro contra gases y vapores, gafas protectoras y

guantes destinados a evitar la exposición de la piel (figura 3.17). Dichos elementos deben usarse tanto para la preparación de las mezclas como para la aplicación de los plaguicidas en el campo (Gobernación de Antioquia, 2014).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.17. Ropa de protección para la manipulación de plaguicidas.

El bienestar de los trabajadores (su calidad de vida) va a depender directamente de la realización de actividades encaminadas a evitar o minimizar los riesgos relacionados con su quehacer en las unidades productivas: riesgos ergonómicos (cargar objetos pesados, repetir movimientos), riesgos locativos (físicos, químicos, biológicos, mecánicos, eléctricos y desastres naturales) y riesgos psicológicos (estrés). Es importante que los productores tomen medidas preventivas, como la oportuna señalización en los sitios donde existen los posibles riesgos (Ciro & Holguín, 2014; ICA, 2009). Además, cada productor debe realizar un plan de capacitación para los operarios que incluya, como mínimo, los siguientes temas:

- Almacenamiento, manejo y aplicación de insumos agrícolas
- Primeros auxilios
- Prácticas de higiene
- Manejo, calibración y limpieza de equipos
- Elementos de protección
- Manejo de extintores

Cada vez que se asista a una capacitación, se debe llenar el registro de asistencia y archivar dicho formato para constancia (tabla 3.3). Es importante tener presente, también, las siguientes consideraciones:

- Todo personal que labore en el predio debe contar con buen estado de salud; quienes presenten enfermedades infecciosas no pueden trabajar en manipulación de alimentos (Icontec, 2005).
- Al personal permanente se le debe realizar, mínimo una vez al año, un examen médico que certifique su buen estado de salud. Así mismo, al personal temporal se le debe realizar un reconocimiento médico antes de la contratación, con fin de descartar la presencia de una enfermedad contagiosa (Icontec, 2005).
- El personal que labore en el lote debe cumplir con estas prácticas: limpieza e higiene personal, lavado y desinfección de manos cada vez que la actividad lo requiera, no consumo de alimentos ni cigarrillos en las zonas de cultivo y tampoco durante el desarrollo de actividades como cosecha, poscosecha o manipulación en general de los alimentos (Icontec, 2005).
- El propietario debe cumplir con el marco legal vigente de trabajo: afiliación a seguridad social (salud, riesgos profesionales y pensión), salario justo y cumplimiento con los requisitos legales de edad para contratar el personal (Icontec, 2005).

Componente ambiental

El componente ambiental está relacionado con factores que afectan directamente el desarrollo del cultivo como la selección del lote, el agua para las diferentes labores y el suelo, junto con algunas prácticas de manejo para su conservación y mejor productividad. El conocimiento, buen uso y manejo de estos factores influyen en la calidad e inocuidad de la fruta.

Selección del lote

Antes de establecer un cultivo de aguacate, el productor debe conocer los antecedentes del lote, es decir, estar al tanto del uso anterior del terreno (saber si hubo otro tipo de cultivo o instalaciones pecuarias) y de los lotes aledaños. Esto permite determinar la posibilidad de contaminación del agua para riego o del suelo debido a residuos de metales pesados o por herbicidas. Estos factores, de una u otra forma, inciden en el rendimiento del cultivo, la contaminación de las frutas y el incremento de los costos de producción (Vásquez, en prensa). Otras consideraciones respecto de este tema que vale la pena tener en cuenta son estas:

- Hacer una evaluación previa de los peligros (agentes químicos, físicos o microbiológicos), para determinar si el terreno es apropiado o no.
- Si se identifican peligros, elaborar un plan de acciones correctivas para reducir los riesgos.

Finalmente, se consideran *terrenos inapropiados* aquellos que presentan un nivel importante de contaminantes químicos (residuos de plaguicidas y metales pesados) o de desechos orgánicos, vidrios, envases vacíos y basuras. Mientras que los *terrenos apropiados* son las tierras fértiles, aquellas sometidas a rotación de cultivos y que cuentan con disponibilidad de agua.

Manejo del agua y del riego

Se debe conocer el origen de la fuente del agua usada para las diferentes actividades agrícolas (campo y poscosecha) debido a que esta puede transportar microorganismos patógenos, sustancias químicas o cuerpos extraños que pueden afectar la inocuidad del producto y hacer riesgoso su consumo. Igualmente se requiere conocer la calidad del agua de riego, especialmente, la que proviene de aguas superficiales (quebradas, ríos, pozos o nacimientos), pues esta debe cumplir con los parámetros definidos en cuanto a la ausencia de contaminantes químicos (residuos de plaguicidas y metales pesados) y microbiológicos patógenos (bacterias, hongos, virus, etc.) (figura 3.18) (Torrado, 2005). De hecho, la Resolución del ICA 030021 del 2017 indica que se deben hacer análisis microbiológicos del agua, como mínimo, una vez al año, y estos resultados deben ser registrados y guardados como fuentes de verificación.

Fotos: Abelardo Osorio y Alegría Saldarriaga

Figura 3.18. Toma de muestras de agua para análisis microbiológico. a. Toma de muestras en quebradas; b. Toma de muestras en acueducto.

Si en el cultivo se utiliza riego, se debe establecer un plan de uso racional del agua que incluya verificación, mantenimiento y medidas de control de pérdidas y fugas dentro de las redes de distribución del agua (ICA, 2017).

Triple lavado

Otro de los requisitos de las BPA para proteger el medioambiente está relacionado con manejo de los envases. Una vez que estos son usados por los productores, se sugiere realizar el *triple lavado* con el objeto de evitar contaminaciones en el suelo o el agua, así como el uso perjudicial de estos envases con residuos de plaguicidas. El triple lavado consiste en echar agua hasta la cuarta parte de la capacidad del envase, agitar fuertemente por 30 segundos y verter dicha agua en la zona de barbecho. Esta acción se repite tres veces y, finalmente, el envase se perfora para evitar su reutilización. Los envases se guardan y se llevan a un sitio definido para su recolección por parte de la entidad encargada, Campo Limpio y Colecta, por ejemplo (CropLife Latin America, 2018).

Manejo de residuos en la producción primaria

Todos los residuos que se producen en la finca deben ser identificados y seleccionados. Los residuos vegetales orgánicos (residuos de las podas, restos de plantas, restos de la cosecha y la poscosecha) se deben compostar para obtener abono para las plantas. Los desechos inorgánicos (alambres, mangueras, canastillas, cartón y papel, entre otros) se deben recoger para reciclaje. En las fincas, se debe tener una zona específica para la elaboración del compostaje y seguir todas las instrucciones de los técnicos para la obtención de un buen abono (figura 3.19).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.19. Zonas de compostaje. a. Elaboración directa del compostaje en campo; b. Elaboración en camas a cubierto.

Manejo del suelo

Antes de establecer un cultivo, además de conocer el historial del lote, el productor debe realizar un análisis del suelo, identificar a qué tipo corresponde este y elaborar un mapa. Estas acciones le indicarán claramente en qué tipo de suelo va a establecer su cultivo. Asimismo, debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones: hacer rotación de cultivos cuando sea técnicamente posible, para conservar y enriquecer la materia orgánica; si hay problemas de saturación, establecer drenajes; si se va a sembrar en pendiente, el sistema de siembra debe ser en curvas de nivel, para proteger el suelo de procesos de erosión; y realizar prácticas racionales mecánicas o de trabajo de suelo de conservación (ICA, 2016).

Material de propagación

La base de una buena producción, además del terreno donde se va a sembrar, es el material de propagación, es decir, las plántulas, que deben de provenir de viveros certificados por el ICA, en los que se asegure la sanidad, pureza varietal y su estado en general. Estos viveros cumplen con la Resolución ICA 3180: condiciones específicas de obtención de la semilla, pruebas realizadas y resultados obtenidos, porcentaje de germinación y características del fruto a obtener. Ahora bien, si se obtienen del mismo predio, se debe llevar una ficha técnica que informe las condiciones bajo las cuales se obtuvo la semilla, con el registro de todos los procedimientos realizados para ello; esto último incluye la eliminación de las plantas enfermas (ICA, 2016) (figura 3.20).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 3.20. Vivero para la producción de materiales de aguacate.

Nutrición de las plantas

La aplicación de fertilizantes se debe hacer de acuerdo con los requerimientos nutricionales del cultivo y los resultados del análisis de suelo. Se debe tener en cuenta: 1) épocas de realización (momento de la siembra y momentos posteriores según desarrollo fenológico de las plantas) y 2) aplicación correcta (al alcance de las raíces) para que el cultivo cuente con todos los nutrientes necesarios (Gobernación de Antioquia, 2014).

Es necesario utilizar insumos agrícolas y abonos orgánicos registrados ante el ICA, así como adquirirlos en establecimientos también registrados ante esta entidad. Si se usan abonos orgánicos, es necesario conocer el origen del material y cerciorarse de que hayan tenido un tratamiento previo. Téngase presente que la resolución del ICA prohíbe el uso de excrementos humanos para hacer compostaje.

No se deben usar fuentes de agua que presenten contaminación microbiológica, heces humanas (tratadas o sin tratar), desechos urbanos sin clasificar o cualquier otro material que presente contaminación microbiológica o de metales pesados (ICA, 2016).

Protección del cultivo

Es fundamental mantener la sanidad de los cultivos para obtener buenos rendimientos y frutos con calidad e inocuidad. Esto se logra usando materiales resistentes a plagas o enfermedades, regulando la densidad de siembra y aplicando un programa de monitoreo de lotes para identificar plagas o enfermedades. Con la identificación de problemas fitosanitarios, se planea y se aplica un manejo integrado de plagas y enfermedades (en lo posible, con la asesoría de un técnico), basado en prevención, observación e intervención —lo cual se desglosa a continuación— (Asociación de Bananeros de Colombia [Augura], 2009).

Prevención

Por prevención se entiende la aplicación de una serie de medidas indirectas que se realizan de forma rutinaria en el cultivo y contribuyen a mantener bajos los niveles de problemas sanitarios (plagas y enfermedades). De acuerdo con el ICA (2009), dentro de las medidas de prevención están los cultivos trampa, el uso de variedades resistentes, la rotación de cultivos, la fertilización basada en el análisis del suelo, las podas de formación y podas sanitarias (en el tiempo y la forma adecuados), la cosecha

oportuna, la desinfección del calzado antes de entrar a los lotes, la protección de especies de fauna benéfica, el manejo del riego, los drenajes cuando resulten necesarios, la desinfección del sustrato antes de la siembra en el vivero, la desinfección de herramientas, la eliminación de plantas enfermas, el reciclaje de restos vegetales y su adecuada disposición (figura 3.21).

Foto: Alegría Saldarriaga

Figura 3.21. Recipientes para la desinfección del calzado antes de entrar a los lotes como técnica de prevención.

Observación

Este factor consiste en hacer un monitoreo de los lotes de manera rutinaria para evaluar la presencia de plagas o enfermedades mediante la inspección u observación.

Intervención

La intervención es un conjunto de medidas utilizadas con el fin de disminuir la población de plagas o enfermedades por debajo del nivel de daño económico. Estas medidas se clasifican en dos grandes grupos: *control natural y control artificial*. El primero puede ser abiótico (altas o bajas temperaturas, lluvias, vientos y sequías)

o biótico (enemigos naturales, parasitoides y depredadores). Del segundo forman parte la exclusión (evitar el ingreso de la plaga mediante campañas preventivas), la erradicación (eliminar la plaga mediante acciones legales), la protección (construir barreras físicas y drenajes o modificar el pH del suelo para mitigar la presencia de las plagas), la inmunización (técnicas de mejoramiento genético con el fin de obtener plantas con tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades), las disposiciones legales (leyes o normas emanadas por la autoridad fitosanitaria del país para evitar el ingreso de una plaga o una enfermedad), los medios físicos (uso de electricidad, temperatura, sonido, ultrasonido, pegantes, radiaciones y control mecánico), los medios etológicos (empleo de sustancias para alterar el comportamiento de las plagas), los medios culturales (prácticas agronómicas como podas de formación, sanitarias y de renovación; la eliminación del material podado; el control selectivo de malezas; la preparación del suelo, y el tutorado) y los medios químicos (uso de plaguicidas con dosis y en épocas recomendadas por el técnico, y desinfección del calzado antes de entrar a los lotes de aguacate) (Augura, 2009).

Cosecha y poscosecha

La cosecha y poscosecha no están consideras de manera específica en la Resolución del ICA 030021 del 2017 para la certificación en BPA, pero como son tan importantes e influyen en la inocuidad del producto, se tendrán en cuenta en este capítulo. La calidad de los frutos cosechados depende de la época de cosecha (grado de madurez). Los frutos se deben cosechar y empacar con cuidado para evitar maltratos y daños mecánicos. Es necesario cosechar todos los frutos, tanto sanos como enfermos, pero separar estos últimos para evitar contaminación y focos de infección en el momento de la cosecha.

Se debe cosechar respetando los "periodos de carencia", es decir, el tiempo que transcurre entre la última aplicación de un plaguicida y la cosecha, con el fin de no tener residuos de plaguicidas en el producto final (cada químico tiene especificado este periodo en la etiqueta del envase). El empaque de cosecha debe estar limpio, los frutos deben resguardarse de condiciones ambientales adversas y el transporte desde el sitio de cosecha hasta la entrega al consumidor final debe ser el apropiado.

En poscosecha, cuando los frutos se someten a selección de acuerdo con el tipo de comprador, se debe contar con condiciones apropiadas (infraestructura y empaques):

las mesas deben estar recubiertas para proteger los frutos y las canastillas para colocarlos deben estar limpias, pues solo de esta manera se garantiza la inocuidad del fruto (figura 3.22).

Foto: Luz Adriana Vásquez Gallo

Figura 3.22. Infraestructura y condiciones higiénicas apropiadas en la poscosecha de los frutos de aguacate.

Soporte documental

Uno de los requisitos que tienen las BPA es demostrar cómo se están realizando todas las actividades en la producción primaria, lo cual se logra a través de los registros diligenciados en el desarrollo de cada una de las actividades. Tales registros son, además, un requisito fundamental para la trazabilidad del producto y la certificación de los predios. En las tablas 3.1-3.4 se presentan algunos ejemplos de formatos para el registro de actividades, los cuales pueden ser modificados según las condiciones de cada finca.

Tabla 3.1. Formato para el inventario de plaguicidas o fertilizantes

Logo de la finca	**Proceso:**	Inventario	**Código:**	
			Versión:	
	Título del proceso:	Inventario de plaguicidas o fertilizantes	**Fecha de aprobación:**	
Nombre de la finca:				
Responsable:				

Fecha			**Entradas**					**Salidas**		**Saldos**	
D	**M**	**A**	**Nombre del producto**	**Proveedor o casa comercial**	**Unidad**	**Cantidad**	**Costo**	**Cantidad**	**Costo**	**Cantidad**	**Costo**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Formato para mantenimiento de equipos y herramientas

Logo de la finca	**Proceso:**	Mantenimiento	**Código:**	
			Versión:	
	Título del proceso:	Mantenimiento de equipos y herramientas	**Fecha de aprobación:**	
Nombre de la finca:				
Responsable:				

Fecha				**Equipo o herramienta**							**Descripción de la operación**	**Nombre del operario**	**Observaciones**
D	**M**	**A**	**Nº**	**Bomba de espalda**	**Bomba de motor**	**Estacionaria**	**Guadaña**	**Azadón**	**Tijeras podadoras**	**Canastillas**			

Fuente: Adaptado de Osorio (2014)

Tabla 3.3. Formato para el registro del plan de capacitación

PLAN DE CAPACITACIÓN																								
Nombre del operario:																								
Nombre del capacitador:																								
Temas	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
	Semanas				Semanas				Semanas				Semanas				Semanas				Semanas			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Almacenamiento y manejo de insumos																								
Aplicación de insumos agrícolas																								
Elementos de protección																								
Prácticas de higiene																								
Manejo, calibración y limpieza de equipos																								
Primeros auxilios																								
Manejo de extintores																								

Fuente: Osorio (2014)

Tabla 3.4. Formato para la producción de material vegetal en la finca

Logo de la finca	Proceso:	Material vegetal	Código:	
			Versión:	
	Título del proceso:	Producción de material vegetal	Fecha de aprobación:	
Nombre de la finca:				
Responsable:				

Fecha	Labor	Producto	Cantidad	Unidad	Costos

Fuente: Elaboración propia

Otras consideraciones:

- Diseñar formatos para toma de datos de fácil acceso o interpretación.
- Debe haber una persona responsable de llenar estos formatos o registros.

El soporte documental evidencia la aplicación de las BPA y, a su vez, apoya los procesos de auditoría externa, trazabilidad y certificación. La consolidación de los registros de campo en un cuaderno o en medio electrónico constituye el sistema de documentación (Vásquez, en prensa).

Planes y procedimientos

Para poder avanzar con mayor efectividad en la implementación de las BPA, los propietarios de los predios deben construir unos planes o guías de acción, elaborados de acuerdo con las condiciones de cada finca y en consonancia con las exigencias de las normas para promover y mantener la inocuidad de los frutos de aguacate, proteger el medioambiente y la seguridad de los operarios.

Plan de manejo del agua

Se mencionan, a continuación, los puntos mínimos que debe tener un plan de manejo del agua:

- Hacer el análisis microbiológico del agua como mínimo una vez al año.
- Si el agua utilizada proviene de fuentes superficiales (quebradas o ríos), es necesario proteger las fuentes de origen y los cauces, así como reforestar las orillas de dichas fuentes.
- Establecer un programa de análisis fisicoquímico del agua con el fin de asegurar que esta cumpla con las condiciones óptimas de pH, dureza y turbidez, ya que la variación de estos factores incide en la efectividad del plaguicida al momento de la aplicación.
- Llevar un registro de las fechas, análisis y resultados de laboratorio de las muestras de agua.

Plan de higiene

El plan de higiene consta de los mínimos que se especifican a continuación:

- Estar al tanto del estado de salud de los operarios.
- Establecer las indicaciones apropiadas para el uso de las instalaciones de aseo (baños y lavamanos).

- Establecer las indicaciones apropiadas para la utilización de las áreas en común (zonas de descanso y de alimentación).
- Realizar las capacitaciones sobre higiene, aseo, manejo y contacto con los aguacates y tomar registro de ellas.
- Implementar el uso adecuado de la indumentaria requerida para cada labor y garantizar la ausencia de elementos restringidos.
- Instaurar procedimientos de limpieza y desinfección en todas las áreas que estén relacionas con los frutos, para evitar cualquier tipo de contaminación.

Otros planes que se recomienda tener en cuenta son los siguientes:

- Plan para evitar la erosión de los suelos
- Plan para la obtención de materia vegetal en finca
- Plan de mantenimiento, desinfección y calibración de equipos
- Plan de fertilización
- Plan de manejo integrado de plagas y enfermedades
- Plan de manejo de residuos líquidos y sólidos

Trazabilidad o rastreabilidad

Es la capacidad de identificar o conocer todas las actividades o acciones que se realizan sobre un producto durante las etapas de la cadena productiva. Específicamente en la etapa de producción primaria del cultivo de aguacate, se debe desarrollar un plan de trazabilidad en las fincas por medio de registros de cada una de las actividades realizadas en el cultivo. Tal información ayuda a identificar y precisar el origen de algún problema si se llegara a presentar alguna eventualidad en la salud de los consumidores o si la información fuera requerida por algún agente de la cadena o una autoridad sanitaria.

Referencias

Asociación de Bananeros de Colombia (Augura). (2009). *Uso seguro de plaguicidas e insumos agrícolas*. Medellín, Colombia: Impresos S. A.

Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol). (2014). *Términos de referencia para la participación en el Programa de apoyo a la implementación y certificación de buenas prácticas agrícolas -BPA- en el subsector de la producción de hortalizas*. Recuperado de http://bit.ly/2S3cmql.

Asociación Nacional de Industriales (ANDI). (2017). *Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola en Colombia*. Recuperado de http://cep.unep.org/repcar/capacitacion-y-concienciacion/andi/publicaciones-andi/Guia%20ambiental%20plaguicidas.pdf.

Ciro Basto, P. C., & Holguín Osorio, M. (2014). *Manual de buenas prácticas agrícolas en cultivos de cítricos en el suroeste antioqueño*. Medellín, Colombia: Asociación de citricultores de Colombia (Citricauca) y Gobernación de Antioquia.

Corporación Colombia Internacional (CCI). (2011). *Experiencia en implementación de buenas prácticas agrícolas. Zonas rurales de Bogotá D.C.* Bogotá, Colombia: Secretaría Distrital del Ambiente.

CropLife Latin America. (2018). *Campo Limpio programa de manejo de envases vacíos*. Recuperado de https://www.croplifela.org/es/proteccion-cultivos/campolimpio.

Gobernación de Antioquia. (2014). *Manual técnico para la implementación de buenas prácticas agrícolas en sistemas de producción de cultivos*. Medellín, Colombia: Impresión Fotomontajes S.A.S.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2009). *Resolución ICA No. 4174 de 6 de noviembre de 2009. Buenas prácticas agrícolas en la producción primaria de frutas y vegetales para consumo en fresco*. Recuperado de https://bit.ly/2UZn96L.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2016). *Resolución 020009 del 7 de abril del 2016*. Recuperado de http://www.ica.gov.co/getattachment/beaf08df-7158-4672-ab9b-9e213e8cfb52/2016R20009.aspx.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Resolución 030021 del 28 de abril del 2017*. Recuperado de https://www.ica.gov.co/getattachment/9d8fe0fa-66d2-4feb-9513-cbba30dc4844/2017R30021.aspx.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec). (2005). *Norma Técnica Colombiana NTC 5400. Buenas prácticas Agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas*. Bogotá: Icontec.

Izquierdo, J., & Rodríguez, M., Durán, M., Miranda, M., & Oyarzún, M. T. (2006). *Manual de buenas prácticas agrícolas para el productor hortofrutícola* (2.ª ed.). Recuperado de http://www.fao.org/3/a-as171s.pdf.

Osorio, C. (2014). Buenas prácticas agrícolas. En J. Bernal Estrada, C. Díaz Diez, C. Osorio Toro, A. Tamayo Vélez, W. Osorio Vega, O. Córdoba Gaona, … M. Londoño Bonilla (Ed.), *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 152-181). Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Secilio, G. (2005). *La calidad en alimentos como barrera para-arancelaria. Serie Estudio y Perspectivas Oficina de la Cepal en Buenos Aires 30*. Recuperado http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4855/S05805_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa). (s. f.). *Guía de Buenas Prácticas Agrícolas Anexo 3A*. Recuperado de https://bit.ly/2Hcbeim.

Torrado, P. A. (2005). *Buenas prácticas agrícolas: sistemas de aseguramiento de la calidad de los alimentos*. Bogotá, Colombia: Produmedios.

Vásquez, L. A. (en prensa). *Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de mora – hacia una sostenibilidad del sistema de producción*.

Capítulo IV

Nutrición y fertilización

Álvaro Tamayo Vélez
Nelson Walter Osorio Vega

Características de los suelos

Clima frío

En términos generales, los suelos de clima frío en Colombia tienen una relativa baja disponibilidad de nutrientes, desbalances nutricionales y un pH normalmente bajo, lo que hace que se consideren entre extremada y fuertemente ácidos (pH entre 4,5 y 5,5). El aluminio intercambiable es, por lo general, menor de 3,0 $cmol_c\ kg^{-1}$ de suelo; no obstante, puede representar hasta el 60 % de la capacidad de intercambio catiónico (Muñoz, 1998).

En estos suelos de clima frío, la materia orgánica humificada desempeña un papel preponderante en las propiedades físicas, pues genera suelos bien estructurados y estables (Zapata & Osorio, 2010).

En cambio, en cuanto a las propiedades químicas, la materia orgánica contribuye notablemente a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad *buffer* del suelo (Zapata, 1998); sin embargo, su tasa de descomposición es muy baja (~0,1 %) y, por tanto, aporta poco nitrógeno, fósforo y azufre inorgánico. Por tal razón, los cultivos que se establecen en esta región (hortalizas y frutales como la mora y el lulo) responden positiva y significativamente a aplicaciones de enmiendas orgánicas (compost, gallinaza, lombricompuesto, etc.) que exhiben una mayor mineralización (Tamayo, Hincapié, Bernal, & Londoño, 1998).

Otra característica importante de estos suelos es la alta capacidad de cambio aniónico y la fijación de fosfatos, lo cual se atribuye a los altos contenidos de alófana, goethita e imogolita y a complejos húmico-alofánicos (Shoji, Nanzyo, & Dahlgren, 1993). Por otro lado, los contenidos de calcio y magnesio tienden a ser bajos por la alta lixiviación. Sin embargo, el potasio puede estar en valores medios y altos, debido a que el material parental (cenizas volcánicas y feldespatos de potasio, entre otros) aún contribuye con el aporte de este elemento. Los elementos menores catiónicos (Fe, Mn, Cu y Zn) suelen estar en contenidos altos y medios; en contraste, el boro y el molibdeno tienden a presentar baja disponibilidad (Jaramillo, 1995; Muñoz, 1998).

En la década del setenta (siglo XX), se utilizó cal agrícola en dosis tan altas como 20-30 t/ha para neutralizar la acidez, mientras que otros elementos como el magnesio y el potasio no se aplicaron tan regularmente, de forma que en algunos cultivos se generó desbalance de bases y deficiencia de estos dos elementos.

Clima medio

En Colombia, el piso térmico medio o templado abarca la franja altitudinal entre los 1.000 y los 2.000 m s. n. m. Sus suelos se distinguen por un relieve quebrado que favorece los procesos erosivos, son moderadamente evolucionados y su naturaleza mineralógica es bastante variable. Predominan los suelos de origen volcánico, sobre todo, en las zonas de producción de café (Guerrero, 1995).

En estos suelos se encuentran valores de pH entre 5,0 y 6,0 (de fuerte a moderadamente ácido), el contenido de aluminio intercambiable fluctúa de bajo a medio y los contenidos de materia orgánica son muy variables (usualmente en el rango de 3% a 5%), pero en suelos formados a partir de ceniza volcánica se pueden encontrar niveles entre 15% y 20%. Los contenidos de fósforos disponibles en estos suelos son normalmente bajos (< 15 mg/kg = ppm), mientras que los contenidos de potasio

intercambiable están entre medios y altos (0,15-0,3 y > 0,3 $cmol_c\ kg^{-1}$). En general, estos suelos son de mediana fertilidad, con alta probabilidad de respuesta a las aplicaciones de nitrógeno (N) y fósforo (P). Un alto porcentaje de estos suelos exhibe un bajo contenido de magnesio intercambiable y la relación calcio/magnesio tiende a ser amplia (> 3) (Guerrero, 1995).

El exceso de calcio (Ca), por antagonismo iónico, puede inducir deficiencia de magnesio (Mg). En relación con los elementos menores, estos suelos presentan contenidos bajos de boro (B) (< 0,5 mg/kg), cobre (Cu) (< 1,0 mg/kg) y zinc (Zn) (< 1,5 mg/kg). Los suelos generalmente tienen una buena disponibilidad de hierro (Fe) y manganeso (Mn) (Marín, 1986).

Clima cálido

El clima cálido comprende regiones localizadas a altitudes menores a 1.000 m s. n. m. Su temperatura es superior a los 24 °C, cubre aproximadamente el 80 % de la extensión territorial del país e incluye las llanuras costeras del Caribe y del Pacífico, los valles del Magdalena, Cauca, Cesar, Sinú, Catatumbo y Patía, entre otros, y las extensas regiones de la Orinoquía y la Amazonía. A continuación, se resumen las características generales de las principales regiones de clima cálido, de acuerdo con Marín (1986) y Guerrero (1996).

Costa Atlántica. Los suelos son de origen aluvial, marino o lacustre, en general más o menos bien drenados, excepto aquellas áreas aledañas a los ríos que sufren inundaciones periódicas. Los suelos no inundables, mecanizables, tienen niveles de fertilidad variable.

Valle del Bajo Magdalena. Los suelos de esta región son predominantemente de naturaleza aluvial, originados de sedimentos arenosos, limosos y arcillosos. La mayor parte del área está siendo utilizada en la explotación de ganadería de carne y, en menor proporción, en cultivos de algodón, arroz, sorgo y maíz. La mayor limitante para el uso de la tierra es el exceso de agua durante la estación lluviosa.

Llanos Orientales. Los suelos de esta región se han desarrollado bajo condiciones de alta precipitación y temperatura, a partir de sedimentos aluviales lavados, lo que ha originado suelos muy ácidos y pobres. Son suelos con concentraciones tóxicas de aluminio y su fertilidad es baja o muy baja, ya que presentan deficiencias en casi todos los nutrientes esenciales. Las zonas de piedemonte y de planos aluviales tienen condiciones de fertilidad menos adversas.

Valle del Alto Magdalena. Esta región está localizada en la parte central del país, entre las cordilleras Central y Oriental, incluye terrazas y planadas aluviales, así como planicies semidesérticas. En términos generales, los suelos de esta región son fértiles y apropiados para el desarrollo de una agricultura tecnificada.

Valle del Cauca. Los suelos de esta región se han desarrollado principalmente a partir de depósitos aluviales y están compuestos, en especial, de sedimentos arcillosos y de arenas volcánicas; aunque en los extremos sur y norte, existen también fuertes influencias de cenizas volcánicas. Tradicionalmente, los suelos del Valle del Cauca se han considerado como de alta fertilidad, sin embargo, en los últimos años una buena parte de estos ha presentado deficiencias en potasio y, ocasionalmente, en fósforo, sobre todo en aquellas áreas de explotación agrícola intensiva. Por otra parte, la ocurrencia de suelos salinos y sódicos se ha incrementado acentuadamente.

Funciones de los macronutrientes

Como nutrientes se entienden todos aquellos elementos que son requeridos por la planta para su crecimiento y formación de sustancias orgánicas. De acuerdo con ciertos criterios de esencialidad, se ha determinado que la planta requiere de 17 elementos: 3 orgánicos (carbono, hidrógeno y oxígeno) y 14 minerales; estos elememento cumplen diversas funciones estructurales y metabólicas en las plantas que son resumidas en la tabla 4.1. Las funciones que cumplen todos ellos son tan importantes que el crecimiento y desarrollo del vegetal podría fallar por la deficiencia total o parcial de alguno de ellos (Osorio, 2014).

Las plantas obtienen el carbono y el oxígeno directamente del aire por fotosíntesis, mientras que el hidrógeno procede directa o indirectamente del agua del suelo. Las plantas, no obstante, son incapaces de vivir solamente a base de aire y agua, necesitan elementos químicos que, por lo general, les son proporcionados a expensas de las sustancias minerales del suelo. Es interesante señalar que estos elementos, que las plantas obtienen del suelo, son los que comúnmente limitan el desarrollo de los cultivos. El crecimiento de las plantas, salvo circunstancias excepcionales, como pueden ser sequía, bajas temperaturas, suelos anómalos o enfermedades, no se altera seriamente por una deficiencia de carbono, hidrógeno y oxígeno. Esto justifica la importancia de los nutrientes del suelo y de los elementos que contienen (Osorio, 2014).

Nitrógeno (N)

El papel más importante del nitrógeno en las plantas es su participación en la estructura de las moléculas de proteína, de aminoácidos, de ácidos nucleicos, de adenosín trifosfato (ATP), de vitaminas y de fosfolípidos. En consecuencia, el nitrógeno está involucrado en la mayoría de las reacciones bioquímicas determinantes para la vida vegetal. Este elemento desempeña también un papel importante en el proceso de la fotosíntesis, debido a que es indispensable para la formación de la molécula de clorofila (Glass, 1989).

El nitrógeno es el componente de vitaminas que tienen una importancia extraordinaria para el crecimiento de la planta. Entre las funciones más importantes de este se cuenta la de favorecer el crecimiento del follaje, el desarrollo de los tallos y la formación de frutos y granos, en resumen, la formación de los tejidos. Se puede decir, en consecuencia, que es uno de los elementos más importantes para el crecimiento y el desarrollo vegetal (Salisbury & Ross, 1994).

El exceso de nitrógeno, por otro lado, retarda la maduración del cultivo y la formación de frutos, provoca un escaso desarrollo del sistema radicular de la planta y un crecimiento excesivo del follaje. También reduce la producción de compuestos fenólicos (fungistáticos) de lignina de las hojas, lo que hace que se disminuya en la planta la resistencia a los patógenos obligados, pero no a los patógenos facultativos (Guerrero, 1996).

Como regla general, todos los factores que favorecen las actividades metabólicas y de síntesis de las células y que retardan la senescencia de la planta hospedera (como la fertilización nitrogenada) aumentan la resistencia a los parásitos facultativos. Por otro lado, las aplicaciones altas de nitrógeno aumentan la concentración de azúcares, aminoácidos y amidas libres, lo que aparentemente favorece el desarrollo de enfermedades de las plantas y el ataque de insectos plagas (Marschner, 1997).

Fósforo (P)

Aunque de los tres elementos primarios (N, P, K), el fósforo es aquel que se requiere en menores cantidades, la disponibilidad de este elemento en la mayor parte de los suelos agrícolas del trópico es en extremo limitada. El fósforo, en todo caso, es un elemento que juega un papel clave en la vida de las plantas: es constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, vitaminas, las coenzimas NAD y NADP y, más importante aún,

forma parte del ATP (compuesto almacenador de energía en la planta). El fósforo, en consecuencia, se requiere en altas concentraciones en las regiones de crecimiento activo. Otra de sus funciones es la de estimular el desarrollo de la raíz, así como intervenir en la formación de los órganos de reproducción de las plantas y acelerar la maduración de los frutos —en los cuales, generalmente, se acumula en concentraciones altas—. El exceso de este elemento acelera la maduración a expensas del crecimiento y puede generar efectos adversos sobre la utilización de otros elementos nutritivos, como cobre, hierro y zinc (Glass, 1989).

El potencial de fijación del fósforo (como fosfato) en andisoles parece estar relacionado con la presencia de diferentes materiales en la fracción arcillosa, que resultan de meteorización de la ceniza volcánica. Los suelos dominados por complejos humus-aluminio (Al) —los cuales tienen un alto potencial de adsorber el fósforo—, aparentemente son difíciles de saturar. El contenido de carbono total podría ser un arma de diagnóstico complementaria, que ayuda a determinar la capacidad de fijación de fósforo en andisoles. La acumulación de materia orgánica es mayor en suelos volcánicos localizados a mayor altitud (>2.000 m s. n. m.); de hecho, evidencia indirecta obtenida en andisoles de Ecuador y Colombia permite concluir que la fijación de fósforo está estrechamente relacionada con el contenido de carbono en el suelo (complejos humus-Al) (Espinosa, 1996; Gualdrón & Herrón, 1979).

Potasio (K)

Para un crecimiento vigoroso y saludable, las plantas deben tomar grandes cantidades de potasio. Este nutriente, altamente móvil, está relacionado con casi todos los procesos biológicos de la planta; sin embargo, no forma parte de la estructura de los compuestos orgánicos de esta. Se conoce que el potasio tiene un papel vital, debido a que cataliza procesos tan importantes como la fotosíntesis, gracias a la cual, la energía del sol, en combinación con agua y dióxido de carbono, se convierte en azúcares y materia orgánica. También interviene en la formación de clorofila y en la regulación del contenido de agua en las hojas (Salisbury & Ross, 1994).

Se ha demostrado, asimismo, que el potasio juega un papel fundamental en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos en las plantas. También es importante en la formación del fruto: se le reconoce como un elemento que mejora la calidad de este, ya que extiende el periodo de llenado e incrementa su peso. Además, fortifica los tallos, mejora la resistencia a plagas y enfermedades y ayuda a la planta a resistir mejor el estrés (Salisbury & Ross, 1994).

Otra función básica del potasio es regular la entrada de dióxido de carbono (CO_2) en las plantas a través de los estomas, cuya función de abrirse y cerrarse es regulada por el suplemento de este elemento. Las células de guarda a cada lado del estoma acumulan grandes cantidades de potasio si el suplemento es adecuado, y así lo fuerzan a que se abra. En plantas bien provistas de potasio, se incrementa el número y tamaño de los estomas por unidad de área, lo cual facilita el intercambio de CO_2 y oxígeno en el tejido de la hoja. La función primaria del potasio está ligada al transporte y acumulación de azúcares dentro de la planta, lo cual tiene incidencia directa en el llenado de la fruta (Instituto de la Potasa y el Fósforo [Inpofos], 1999).

La apertura y cierre de estomas regula, además, la transpiración de la planta y esto, a su vez, regula el movimiento convectivo del agua, que facilita el movimiento de la solución del suelo y de los iones disueltos hacia la raíz. Finalmente, la transpiración permite que la planta haga termorregulación y se eviten las altas temperaturas que afectarían el desempeño vegetal (Salisbury & Ross, 1994).

Calcio (Ca)

El calcio forma parte de la pared celular que mantiene unidas entre sí las células. Igualmente, ejerce un efecto neutralizador de los desechos orgánicos de la planta, influye en la utilización de magnesio, potasio y boro, y en el movimiento de las sustancias producidas por las hojas. La deficiencia de calcio implica una reducción del crecimiento: las hojas jóvenes se enroscan y comienzan a secarse por las puntas y los bordes. Algunas veces las hojas nuevas no se desarrollan completamente (Marschner, 1997).

El calcio es uno de los nutrientes más determinantes en la calidad de los frutos puesto que mejora su conservación: los frutos con altos contenidos de calcio tienden a resistir más el transporte y a permanecer en buenas condiciones durante bastante tiempo. La concentración de calcio en el tejido, necesaria para lograr estos resultados, es usualmente superior a las concentraciones acumuladas en condiciones normales por los frutos (Salisbury & Ross, 1994).

Magnesio (Mg)

El magnesio es el componente principal de la clorofila e interviene en la síntesis de carbohidratos. Participa en la síntesis de proteínas, nucleoproteínas y del ácido ribonucleico, y favorece el transporte de fósforo dentro de la planta (Glass, 1989).

Es un elemento móvil en ella, por lo que su deficiencia se presenta primero en las hojas más viejas.

Del total de magnesio absorbido por la planta, aproximadamente la mitad se encuentra en el tronco y las ramas del árbol, un tercio, en las raíces y el resto, en las hojas. Durante la floración y fertilización se produce una translocación significativa del magnesio hacia los brotes y frutos (Glass, 1989).

Azufre (S)

El azufre es un elemento esencial para el desarrollo vegetal. La cantidad requerida por las plantas es similar a la de fósforo y magnesio. Algunos cultivos de importancia en el trópico y en el mercado mundial, tales como el café, el algodón, la palma africana y la caña de azúcar, absorben más azufre que fósforo (Guerrero, 1996).

En la planta, el azufre es constituyente de las proteínas, varias vitaminas como la tiamina y la biotina y es componente importante de numerosas enzimas. Además, forma parte de algunos compuestos orgánicos responsables del olor y sabor de algunas hortalizas, como la cebolla y el ajo (Salisbury & Ross, 1994).

Funciones de los micronutrientes

Los investigadores están muy de acuerdo en que los llamados micronutrientes desempeñan una función tan importante como los elementos mayores.

Hierro (Fe)

El hierro es el microelemento más abundante en la mayoría de los suelos cultivables, pero buena parte de él se encuentra en forma no asimilable. La química de este elemento, al igual que la del manganeso (Mn), es muy compleja, pues se sabe que se oxida y reduce fácilmente según las condiciones del suelo. Cuando se oxidan, ambos elementos quedan en formas poco solubles y, por tanto, son poco asimilables para las plantas. El papel más conocido del hierro en el metabolismo de la planta es su participación en el grupo prostético del sistema citocromo, un grupo de enzimas implicadas en la oxidación terminal de la respiración (Epstein & Bloom, 2005).

Algunas de las enzimas y de los portadores que actúan en el mecanismo respiratorio de las células vivas están compuestos de hierro; ejemplos específicos son la catalasa,

la peroxidasa, la oxidasa citocrómica y los citocromos. La participación del hierro en la forma de tales compuestos en los mecanismos oxidativos de las células desempeña indudablemente uno de los papeles más importantes para el metabolismo celular (Epstein & Bloom, 2005).

El hierro interviene en la formación de clorofila y es, por lo tanto, indispensable en la formación de alimentos en la planta. Hace parte de la secuencia de reacciones que sintetizan los componentes de la clorofila, actúa como parte de un mecanismo enzimático que opera en el sistema respiratorio de las células vivas y participa en las reacciones que incluyen la división y el crecimiento celular. El hierro, asociado con el cobre, el manganeso y el boro, aumenta el contenido de lignina, compuesto orgánico que cumple funciones de sostén y protección de la planta contra el ataque de organismos causantes de enfermedades (Epstein & Bloom, 2005).

Manganeso (Mn)

El manganeso tiene una función estructural en el sistema de membranas del cloroplasto y actúa en la disociación fotosintética de la molécula de agua. El manganeso es un elemento esencial para la respiración y para el metabolismo del nitrógeno; en ambos procesos actúa como activador enzimático. El manganeso interviene en la activación de numerosas enzimas que actúan en el metabolismo de los carbohidratos, tales como la hexoquinasa, la adenosina y la fosfoglucoquinasa. Es el ion metálico predominante en el metabolismo de los ácidos orgánicos y activa la reducción del nitrito y la hidroxialamina en amoníaco (Devlin, 1982; Salisbury & Ross, 1994).

También es el ion metálico predominante en las reacciones del ciclo de Krebs. El manganeso genera resistencia de la planta a varios patógenos, inhibiendo la enzima fungosa fentin-metilesterasa, esencial para iniciar el proceso infectivo. Además, inhibe enzimas producidas por hongos ya establecidos en la planta. El manganeso es esencial en el proceso que controla en la raíz la producción de microflora, pues reduce la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos patogénicos (Epstein & Bloom, 2005).

Cobre (Cu)

El cobre está presente en diversas enzimas o proteínas relacionadas con los procesos de oxidación y reducción. Dos ejemplos notables son la citocromooxidasa, una enzima respiratoria que se halla en las mitocondrias, y la plastocianina, una proteína de

los cloroplastos. El cobre induce la formación de polen viable, por ello su más alta demanda se presenta en la floración. El cobre actúa conjuntamente con el manganeso y el zinc en la utilización y movilización de otros nutrientes (Epstein & Bloom, 2005; Salisbury & Ross, 1994).

Zinc (Zn)

El zinc es indispensable en la formación de clorofila. Es componente de varias enzimas, entre ellas, las que promueven el crecimiento. También interviene en la utilización del agua y otros nutrientes. El zinc regula el crecimiento de los meristemos en la raíz y en la parte aérea, pues, al controlar la síntesis de triptófano, regula la síntesis de la hormona del crecimiento conocida como ácido indolacético (AIA, auxina) (Epstein & Bloom, 2005).

El zinc activa diversos procesos enzimáticos, como la fosforilación de la glucosa y, a través de ella, la formación de almidón. De igual manera, actúa en la anhidrasa carbónica para la utilización del ácido carbónico y la asimilación del CO_2. Además, está involucrado en la reducción de nitratos y en la síntesis de aminoácidos que se transformarán en proteínas de amoníaco (Salisbury & Ross, 1994).

Molibdeno (Mo)

El molibdeno es esencial para el proceso de fijación del nitrógeno por parte de las bacterias en los nódulos de las raíces de las leguminosas y por parte de las bacterias asimbióticas que crecen dentro o en la superficie de la raíz (rizoplano). Además, este nutriente es componente de la enzima nitrato reductasa, esencial en la asimilación metabólica del nitrógeno. El molibdeno es parte estructural de una oxidasa que genera el aldehído del ácido abscísico (ABA), regulador del crecimiento que protege las plantas contra factores de estrés fisiológico. El molibdeno induce, además, efectos positivos en la formación de polen viable al momento de la floración y fecundación (Devlin, 1982; Salisbury & Ross, 1994).

Boro (B)

El boro participa de una serie de procesos fisiológicos dentro de la planta y, en ocasiones, su deficiencia se confunde con la de otros nutrientes como la del fósforo y el potasio. Dos de las funciones del boro en las plantas se encuentran muy bien definidas: la síntesis de la pared celular y la integridad de las membranas plasmáticas.

Por esta razón, su deficiencia restringe el crecimiento de nuevas raíces y de nuevos brotes. El boro actúa sobre la diferenciación de tejidos y la síntesis de fenoles y auxinas; interviene en la germinación y el crecimiento del tubo polínico; y es importante en el metabolismo de ácidos nucleicos y en la elongación y división celular.

El boro también interviene en el transporte de almidones y azúcares desde la hoja hasta los frutos en formación. Contribuye a disminuir la caída de flores y a aumentar la producción de frutos; además, está asociado con la actividad celular que promueve la maduración. Una vez que el boro ha sido utilizado por los tejidos en crecimiento activo de la planta, no puede trasladarse y ser utilizado nuevamente. Esto significa que debe existir una fuente permanente de este elemento disponible para la planta durante todo su ciclo de crecimiento y desarrollo (Devlin, 1982; Salisbury & Ross, 1994).

Cloro (Cl)

Las plantas absorben el cloro en forma del ion cloruro (Cl^-), el cual está relacionado con la apertura de los estomas, por lo tanto, interviene en la turgencia de las células y ayuda al metabolismo del nitrógeno. Las plantas tienen su mecanismo de tolerancia a los excesos, por lo cual el cloro sobrante se acumula en las vacuolas. Generalmente las aguas de riego son ricas en cloruros, por esto, casi nunca es necesario hacer aplicaciones de dicho elemento (Devlin, 1982; Salisbury & Ross, 1994). A manera de resumen, se presentan las funciones de los nutrientes esenciales para las plantas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Principales funciones de los nutrientes

Nutriente	Funciones principales
Componentes de compuestos orgánicos	
C	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, ATP, NADP, clorofila y reguladores de crecimiento (p. ej., IAA).
H	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos.
O	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. También es aceptor de electrones.

(Continúa)

(Continuación tabla 4.1.)

Nutriente	Funciones principales
Componentes de compuestos orgánicos	
N	Hace parte de la estructura de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos y de la clorofila.
S	Es parte esencial en la conformación de sulfo-aminoácidos (cisteína y metionina). También es responsable de la conformación estructural y en la estabilidad de proteínas, la coenzima A y las vitaminas. Cumple un papel importante en la constitución de aromas y sabores.
P	Es importante en la conformación de ATP, NADP, lípidos de las membranas celulares, ácidos nucleicos y fosfo-azúcares.
Activadores de enzimas	
K	Activador de ~60 enzimas. Es esencial en la síntesis de proteínas y responsable de la turgencia y apertura de estomas.
Ca	Activador de enzimas. Es esencial para la permeabilidad de la membrana en asociación con las pectinas de la pared celular.
Mg	Activador de enzimas y ATP, componente de la clorofila.
Mn	Activador de enzimas, esencial en la fotólisis del agua.
Zn	Cofactor de varias enzimas (dehidrogenasas, aldolasa, fosfatasas, DNA y RNA polimerasa).
Ni	Parte fundamental de la enzima ureasa.
Agentes rédox	
Fe	Componente de citocromos, peroxidasa y ferredoxina, en los cuales es responsable de reacciones rédox.
Cu	Componente de la citocromo oxidasa (respiración), la plastocianina (fotosíntesis), el superóxido dismutasa (radicales O_2^-) y el fenol oxidasa (síntesis de lignina). Es responsable de reacciones rédox.
Mo	Componente de la nitrato reductasa (reducción del NO_3^-) y de la nitrogenasa (reducción de N_2 en rizobios).
Otras funciones	
B	Es fundamental para el crecimiento del tubo polínico y para la estabilidad de la estructura de la pared celular por formación de enlaces cis-diol con compuestos orgánicos.
Cl	Ósmosis, balance de cargas y fotólisis del agua.

Fuente: Glass (1989)

Síntomas de deficiencias de nutrientes en aguacate

Las carencias nutricionales y su influencia en el desarrollo de la planta han sido estudiadas por varios investigadores en plantas jóvenes cultivadas en soluciones nutritivas controladas, de las variedades Booth-8, Lula y Fortuna (Avilán, Leal, & Bautista, 1989; Charpentier & Martin-Prevel, 1967). Dichas deficiencias se describen en los apartados siguientes. En la tabla 4.2 se indican los síntomas visuales, su ubicación y algunas causas.

Tabla 4.2. Síntomas visuales predominantes de deficiencia en nutrientes

Parte afectada	Síntoma predominante		Elemento deficiente	Observaciones
Tercio superior (hojas jóvenes)	Clorosis	Generalizada	Fe	Color blanco, exceso de fósforo; pH >6,5
		Intervenal	Mn, Cu, Zn	Exceso de fósforo; pH >6,5
	Deformaciones	Hojas asimétricas	B	Más intenso en sequía, muerte de meristemos, alta ramificación, hojas gruesas, venas suberizadas (corchosas); pH >7,5
		Hojas angostas	Zn, Mo	Molibdeno: pH >5,0
	Entrenudos cortos		Ca, Cu, Zn	
	Necrosis	Muerte descendente	Cu	Plantas pequeñas
		Alta ramificación	Ca	Frutos rajados

(Continúa)

(Continuación tabla 4.2.)

Parte afectada	Síntoma predominante		Elemento deficiente	Observaciones
Tercio medio	Clorosis	Generalizada	S	Avanza a hojas jóvenes muy rápidamente
Tercio inferior (hojas viejas)	Clorosis	Generalizada	N	Plantas pequeñas, desarrollo retrasado
		Intervenal	Mg	Exceso de potasio; pH < 5,0
		Marginal (punta y bordes)	K	Rápida necrosis. Mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, y deshidratación
	Hojas oscuras	Manchas púrpuras	P	Plantas muy pequeñas, desarrollo muy retrasado; pobre crecimiento radical; pH < 5,5

Fuente: Osorio, Serna y Montoya (2012)

Nitrógeno

La deficiencia de este elemento en aguacate se manifiesta en un crecimiento y desarrollo reducido de la planta, con ausencia de ramificaciones laterales. También se presenta palidez en las hojas, con pequeñas deformaciones y una clorosis característica (figura 4.1) (Avilán et al., 1989). El sistema radical se hace poco ramificado, con raíces más finas y más largas (Avilán et al., 1989; Silva, Malavolta, & Montenegro, 1982). Otro síntoma muy marcado de la deficiencia de este elemento es la presencia de racimos florales terminales sin brotes foliares acompañantes.

Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.1. Síntoma de deficiencia de nitrógeno en hojas de aguacate.

Fósforo

Como en el caso del nitrógeno, la deficiencia de fósforo en aguacate causa una reducción en el crecimiento y desarrollo de la planta, hace que la emisión de hojas nuevas sea muy espaciada y se inhibe el crecimiento de las yemas terminales. Las hojas de los árboles con deficiencia de fósforo presentan manchas necróticas, irregulares e

intervenales. Además, la coloración verde de la planta se torna un tanto azulada y esta sufre una inclinación de 45 grados, debido al doblamiento de los pecíolos y de la base de las hojas (Avilán et al., 1989).

El tamaño de hoja reducido y de forma redondeada es otra de las consecuencias de la deficiencia de este elemento. Los niveles foliares indican que la carencia de fósforo corresponde a tenores inferiores a 0,05%, pues el nivel normal está entre 0,095% y 0,13%, lo cual depende de la variedad y de la saturación de otros elementos. La carencia de fósforo también hace que las raíces se tornen más gruesas y con pocas ramificaciones (Avilán et al., 1989).

Potasio

La deficiencia de potasio afecta medianamente el desarrollo de las plantas; se caracteriza por la aparición de unas manchas marrón-rojizas que inician en los bordes de las hojas (figura 4.2), avanzan hacia las nervaduras (principales y secundarias) y luego afectan los pecíolos, hasta finalmente cubrir toda la hoja (Avilán et al., 1989).

Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.2. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas de aguacate.

Calcio

Las plantas con deficiencia de calcio presentan las siguientes características: un crecimiento lateral reducido, emisiones foliares abundantes y de entrenudos cortos, parálisis en el desarrollo de las yemas terminales de las ramas que dan lugar a rosetas de hojas lanceoladas y clorosis apical que avanza por los espacios intervenales y llega a abarcar posteriormente toda la hoja (Avilán et al., 1989).

Los niveles normales de calcio en las hojas de aguacate se encuentran entre 0,9% y 1,5%; en plantas con deficiencia de este elemento, los valores se encuentran por debajo de 0,05 % (Avilán et al., 1989). Es necesario aclarar que las deficiencias de calcio están asociadas con el exceso de magnesio y de potasio, por lo que se debe tener en cuenta la relación Ca/Mg y la de Ca/Mg/K para determinar la deficiencia de calcio, ya que eventualmente los otros dos elementos, en altas concentraciones, pueden inhibir la absorción del primero.

En las hojas jóvenes de aguacate, las deficiencias de calcio se manifiestan con deformidad y márgenes irregulares, onduladas y curvadas hacia abajo en forma de gancho (figura 4.3). Frecuentemente se presentan de forma simultánea con las deficiencias de boro.

Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.3. Síntomas de deficiencia de calcio en hojas de aguacate.

Magnesio

El síntoma característico de la deficiencia de magnesio es una clorosis intervenal que se acentúa lateralmente y se presenta cerca de la nervadura central hasta llegar al borde de las hojas (figura 4.4). Los niveles adecuados en las hojas se encuentran entre 0,25% y 0,80%, mientras que el valor en plantas deficientes es de < 0,1% (Avilán et al., 1989).

Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.4. Síntomas de deficiencia de magnesio en hojas de aguacate.

Boro

La baja presencia de boro en la planta se evidencia como una severa disminución en el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a que su carencia afecta órganos nuevos. Los entrenudos son más cortos y las hojas más pequeñas, con presencia de necrosis en las nervaduras. Los meristemos terminales son inhibidos y los brotes continuos presentan una sobrebrotación. Las plantas deficientes presentan un nivel ≤ 11 mg/kg en las hojas. Debido a la deficiencia de boro, las hojas nuevas presentan

un aumento del tenor de potasio y una disminución notable del tenor de calcio (Avilán et al., 1989). Otra consecuencia de esta deficiencia es la deformación de los frutos y las malformaciones de las ramas en forma de agallas.

Manganeso

La deficiencia de este elemento se evidencia de forma más tardía que la de los demás. Se presenta como una clorosis que recorre desde la base de la hoja hasta las nervaduras (secundarias y principal). Así, una banda estrecha es amarilla y el resto de ella, verde (figura 4.5). Los niveles foliares encontrados en las plantas deficientes estuvieron entre 8 y 13 mg/kg; se cree que un nivel crítico del elemento estaría alrededor de 16 mg/kg (Avilán et al., 1989).

Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.5. Síntomas de deficiencia de manganeso en hojas de aguacate.

Azufre

La deficiencia de azufre se manifiesta como una clorosis acentuada en las hojas nuevas, tanto en el limbo como en el pecíolo, la cual es bastante marcada hacia los extremos de las hojas (Avilán et al., 1989).

Hierro

La deficiencia de hierro se manifiesta con un color verde pálido en las hojas jóvenes, las cuales toman un color verde más acentuado en la base (figura 4.6). Las nervaduras conservan su coloración verde normal en las hojas maduras, pero en etapas avanzadas, las hojas se tornan cloróticas. Los niveles foliares para las plantas deficientes están entre 63 y 70 mg/kg (Avilán et al., 1989). Con la deficiencia de hierro, se presenta un aumento del potasio y del calcio, con disminución del tenor de magnesio (Avilán et al., 1989; Goodall, Embleton, & Platt, 1965).

Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.6. Síntomas de deficiencia de hierro en hojas de aguacate.

Zinc

La deficiencia de zinc se caracteriza por una clorosis en las hojas jóvenes y su incapacidad para alcanzar el tamaño normal. En las ramas terminales, se presenta un acortamiento de los entrenudos, acompañado por la formación de rosetas enteramente cloróticas, mientras que el resto del árbol muestra una coloración normal. En los frutos, esta deficiencia se manifiesta en un crecimiento reducido y de forma redondeada (Avilán et al., 1989).

Cobre

La carencia de cobre afecta los órganos jóvenes, en particular, los meristemos terminales. En los extremos, las hojas presentan necrosis y se enroscan; después, las hojas caen precozmente, de manera que las extremidades de las ramas principales y secundarias quedan desnudas (Avilán et al., 1989).

Antagonismos y sinergismos

A pesar del efecto benéfico de los fertilizantes, es común observar interacciones iónicas, es decir, la influencia sobre la intensificación o depresión de un ion en un tejido. Algunos reportes indican que la adición de grandes cantidades de nitrógeno al cultivo induce deficiencias de potasio, cobre, zinc y boro, reduce la concentración de magnesio e incrementa la de hierro y manganeso en las hojas. En cambio, aplicaciones altas de fósforo incrementan la concentración de nitrógeno, magnesio y manganeso y disminuyen la de potasio, zinc, cobre y boro. Así mismo, se considera que el exceso de calcio puede inducir deficiencias de potasio, hierro y manganeso en las hojas.

Toma de muestras de suelo y foliares

Son muchos los factores que afectan el rendimiento de los cultivos, entre los cuales, la disponibilidad de los nutrientes esenciales para las plantas ocupa un lugar importante. Cuando estos nutrientes no están en las cantidades adecuadas, es necesario agregar fertilizantes químicos, orgánicos o enmiendas para suplir las necesidades de la planta. El análisis químico del suelo dispuesto para el establecimiento del cultivo refleja el estado relativo de disponibilidad de nutrientes y permite diseñar recomendaciones que buscan suplir las deficiencias.

El suelo no es una masa homogénea, sino más bien compleja y heterogénea que presenta múltiples variaciones. Por ello, en la toma de la muestra debe examinarse el área a ser estudiada en relación con la homogeneidad, la topografía, el color y el tipo de suelo, la textura, el grado de erosión, los manejos no técnicos anteriores, la cobertura vegetal, el drenaje y otras características que pueden servir de guía para diferenciar las unidades de muestreo y de muestras entre sí para una posterior recomendación (Avilán et al., 1989). Lo anterior permite que se definan unidades de mapeo por lotes (lote 1, lote 2, lote 3, etc.).

El esquema más sencillo y más usado consiste en tomar submuestras al azar en forma aleatoria en todo el terreno. Para eso, se puede seguir un recorrido en zigzag, y en cada cambio de dirección se toma una submuestra (figura 4.7).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 4.7. Recorrido en zigzag a través del lote de aguacate. En cada punto se toma una submuestra.

También se pueden tomar muestras en trayectos diagonales en forma de X (figura 4.8), en los cuales se escogen las plantas de forma sistemática (un árbol cada cierto número de árboles), dependiendo del tamaño del lote (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 4.8. Recorrido en forma de X; se siguen dos transectos diagonales.

Se puede usar cualquier otra forma sistemática de muestreo para cubrir adecuadamente el campo y acomodarse a las condiciones particulares de cada huerto (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998). En cada árbol seleccionado se eligen de dos a cuatro sitios equidistantes de muestreo, que se ubican debajo de este, en la zona comprendida entre la mitad de la copa y el perímetro de la misma, como se indica en la figura 4.9 (Avilán, Rengifo, & Leal, 1986; Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998).

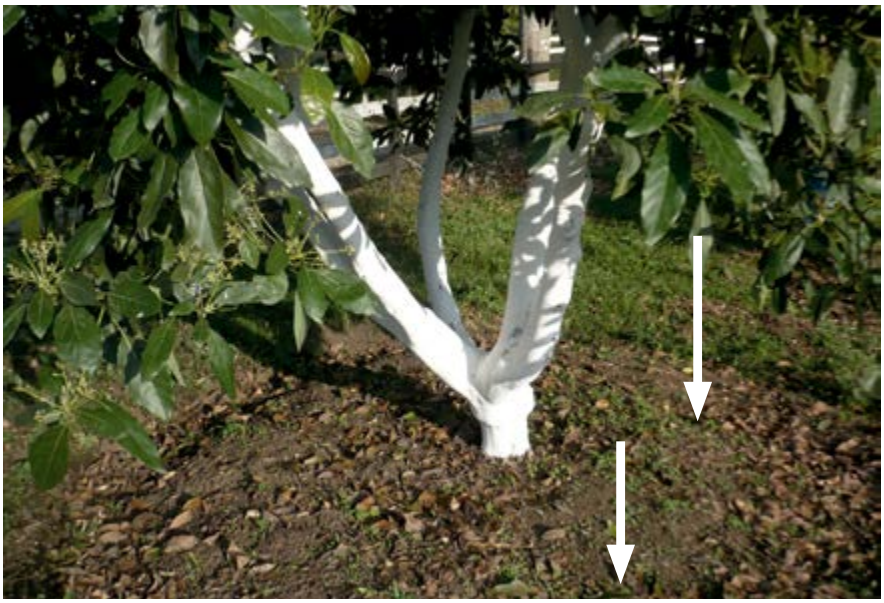


Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.9. Se indican con flechas los sitios donde se toman las submuestras de cada árbol.

Luego, se mezclan las submuestras para obtener una muestra compuesta, que irá al laboratorio. Por ser el aguacate un cultivo perenne, las exigencias de nutrientes para satisfacer sus procesos fisiológicos —como crecimiento vegetativo, floración y fructificación— varían de acuerdo con la edad de la planta, por tal motivo, es necesario hacer muestreos de suelos periódicamente a lo largo de la vida del cultivo.

Las muestras para análisis de suelo en huertos establecidos se deben tomar de lotes uniformes con respecto al tipo de suelo, la edad de la planta, el manejo y el nivel de producción. Estas propiedades delimitan la unidad de muestreo. Las muestras se deben tomar de árboles escogidos, de modo que se pueda obtener una muestra representativa del campo (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998). Con relación a la profundidad del muestreo, se debe realizar tomando en consideración las características de la distribución del sistema radical del aguacatero (Avilán et al., 1989).

Se debe efectuar un muestreo superficial (0 cm a 20 cm) y uno profundo (20 cm a 50 cm). Este último es muy importante para verificar si a esta profundidad hay o no impedimentos físicos para el crecimiento de la raíz que afecten su desarrollo y modifiquen su distribución en el perfil del suelo, aspecto relevante por cuanto va a determinar la localización del fertilizante y otras prácticas de cultivo (Avilán et al., 1989). Además, el muestreo a una profundidad entre 20 cm y 50 cm puede ayudar al diagnóstico de casos particulares en los que existan problemas de acidez o acumulación de sales en la subsuperficie (Lazcano-Ferrat & Espinoza 1998).

Las submuestras de cada árbol se recolectan en un recipiente plástico limpio y se mezclan completamente. A partir de esta mezcla, se retira una porción de alrededor de 1 kg de suelo y se envía al laboratorio. Para un buen diagnóstico, además del análisis del suelo —que arroja información sobre el contenido de los elementos disponibles en él, así como de ciertas características que pueden afectar el comportamiento de los fertilizantes—, se debe realizar un análisis foliar, para identificar lo que la planta está asimilando (Avilán et al., 1989). Las muestras para los análisis foliares se deben tomar con los mismos criterios indicados anteriormente para las muestras de suelos y con el mismo muestreo sistemático (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998).

En los árboles seleccionados, la muestra foliar se debe tomar a una altura media de 1,5 m a 2 m, alrededor de la copa (figura 4.10), tomando seis a ocho hojas de cinco a siete meses de edad en ramas jóvenes que no estén en producción (figura 4.11) (Avilán et al., 1989).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 4.10. Zona de muestreo para análisis foliar.

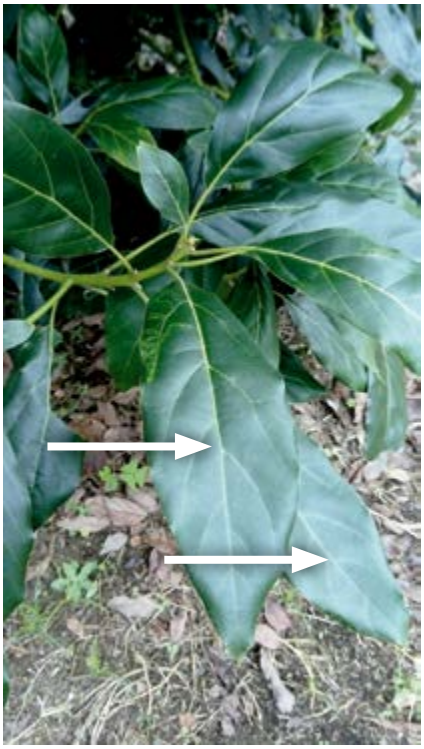


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 4.11. Hojas para muestrear.

El muestreo completo debe provenir de por lo menos 25 árboles y contener más de 100 hojas por cada 2,5 hectáreas (Avilán et al., 1989). Algunos autores señalan que, además de la edad de la hoja, el tipo de retoño, la posición en la planta y la época de muestreo se debe tener en consideración el tipo de patrón y la incidencia de la enfermedad causada por *Phytophthora cinnamoni*, puesto que estos factores también afectan acentuadamente la concentración de los elementos en las plantas (Avilán et al., 1989; Lahav & Kadman, 1980). Se ha encontrado que los árboles injertados sobre patrones de la raza Guatemalteca son más susceptibles a la clorosis férrica que los injertados en patrones de raza Mexicana; así como, en Israel, los raza Antillana son más resistentes a la clorosis férrica que los de las razas Guatemalteca y Mexicana. En relación con la incidencia de la enfermedad, se indica que, en las plantas infestadas, las hojas muestran un incremento en la concentración de nitrógeno, sodio, cloro y cobre y una disminución en fósforo, hierro y manganeso, en comparación con la concentración observada en las hojas de plantas sanas (Avilán et al., 1989).

La aplicación de nutrientes en aguacate debe estar basada en los análisis de suelo y en los análisis foliares. Esto ayuda a obtener el mayor beneficio agronómico y económico

de la aplicación de fertilizantes. Los análisis de suelo y foliares deben estar acompañados, en lo posible, de registros rigurosos de producción, lo cual permite ajustar las dosis de nutrientes utilizadas a través de los años. La correlación entre el contenido foliar de nutrientes y el rendimiento permite determinar las concentraciones óptimas de nutrientes en las hojas, que en la mayoría de los casos cambian de región a región y de variedad a variedad (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998).

Las concentraciones de los nutrientes en las hojas sirven de referencia para ajustar los niveles de producción a través de los años. La tabla 4.3 presenta los rangos de suficiencia generales de la concentración foliar de nutrientes en aguacate. La extracción de nutrientes del campo en la fruta cosechada puede ser un buen parámetro a utilizar para determinar las dosis de nutrientes a aplicar (tabla 4.4) (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998).

Tabla 4.3. Niveles nutricionales en las hojas del aguacate

Nutriente	Deficiente	Adecuado	Excesivo
Macronutrientes (%)			
Nitrógeno	< 1,60	1,60-2,00	> 2,00
Fósforo	< 0,05	0,08-0,25	> 0,30
Potasio	< 0,35	0,75-2,00	> 3,00
Calcio	< 0,50	1,00-3,00	> 4,00
Magnesio	< 0,15	0,25-0,80	> 1,00
Azufre	< 0,05	0,20-0,60	> 1,00
Micronutrientes (mg/kg)			
Boro	< 50	50-100	> 100
Cobre	< 5	5-50	> 50
Hierro	< 50	50-200	--
Manganeso	< 30	30-200	> 500
Molibdeno	< 0,05	0,05-1,0	--
Zinc	< 30	30-150	> 300

Fuente: Chapman (1966) y Lahav y Kadman (1980)

Exigencias nutricionales

La fertilización es una práctica importante de manejo en el aguacate, cuyo objetivo es aumentar la concentración de nutrientes en la solución del suelo cuando estos no existen en cantidad suficiente para satisfacer las demandas del cultivo. Debido a que el sistema radical del aguacatero no es muy extenso y carece de pelos absorbentes, es necesaria la presencia en el suelo de una cantidad elevada de nutrimentos de fácil disponibilidad. Los estudios llevados a cabo en diferentes regiones productoras del mundo indican que el aguacatero responde favorablemente a la fertilización, especialmente, a la nitrogenada.

En Florida (EE. UU.) se determinó que la aplicación de nitrógeno tenía gran influencia en el crecimiento del diámetro del tronco, en la producción, el tamaño de los frutos, condición de la planta y, en general, en el tamaño del árbol (Lynch, Goldweber, & Rich, 1954). Algunos autores consideran que se debe establecer una relación nitrógeno-fósforo-potasio (N, P, K) de 1:0,5:1, en la cual el nitrógeno es igual a la unidad. Altos o bajos niveles de potasio no favorecen la producción y un nivel alto de fósforo tiende a disminuir los rendimientos (Avilán et al., 1989).

Otros autores que han trabajado con suelos aluviales ácidos, con el cultivar Fuerte, y han aplicado niveles de nitrógeno que varían entre 0 kg y 1 kg por planta señalan que, a pesar de la extrema variabilidad característica del aguacatero, la máxima producción ocurre cuando existe un moderado nivel de nitrógeno en las hojas (1,6 %-2 %) (Avilán et al., 1989; Embleton, Jones, & Garber, 1959).

En Venezuela, en suelos inceptisol, con una moderada o baja suplencia de nitrógeno y fósforo y una baja de potasio, se encontró una respuesta significativa sobre el rendimiento de la interacción nitrógeno-potasio. La aplicación de 1.200 g árbol^{-1} de nitrógeno y 1.600 g árbol^{-1} de potasio redunda en un incremento del beneficio económico sobre la parcela testigo en el orden del 67 %, en la variedad Pollock con seis años (Avilán et al., 1989; Sergent, 1979).

Sugerencias generales de fertilización

Tras tomar como base la edad fisiológica y la producción por planta (cajas de frutos/planta), Malavolta (1980), citado por Avilán y Leal (1984), sugiere un plan de fertilización como se muestra en las tablas 4.4 y 4.5. La aplicación de los fertilizantes debe ser fraccionada en tres o cuatro veces al año.

Tabla 4.4. Plan de fertilización en árboles jóvenes de aguacate (menores de cuatro años)

Edad planta (años)	g/planta		
	N	P_2O_5	K_2O
1	40	0	20
2	80	40	20
3	120	60	60

Fuente: Avilán y Leal (1984)

Tabla 4.5. Plan de fertilización en árboles de aguacate en producción (mayores de cinco años)

Nivel de potasio en el suelo	g/caja de frutos		
	N	P_2O_5	K_2O
Bajo	100	50	100
Medio	100	50	50

Fuente: Avilán y Leal (1984)

De acuerdo con el criterio de fertilización por sustitución, Avilán, Chirinos y Figueroa (1978) recomiendan aplicar 200, 100 y 200 g árbol^{-1} de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, por cada 60 kg de fruta fresca producida. En caso de no tener acceso a análisis foliares o de suelos, una buena práctica es restituir al suelo los nutrientes extraídos por la cosecha: una recomendación general es aplicar a cada planta 660 g de N, 320 de P_2O_5 y 660 K_2O por cada 100 kg de fruta producida por árbol.

Es aconsejable fraccionar la aplicación de nutrientes de la siguiente forma: aplicar una tercera parte del nitrógeno y todo el fósforo y el potasio antes de la floración; el segundo tercio del nitrógeno, cuatro meses más tarde (inicio de las lluvias); y el tercio final de nitrógeno, cuatro meses después. En la tabla 4.6, se muestra una recomendación de fertilización en árboles de aguacate en producción.

Tabla 4.6. Recomendación por fertilizante para árboles en producción para una cosecha de 10 t/ha de fruta fresca

Nutrientes	Fertilizante (kg/ha/año)	Fertilizante (g/planta/año)
N (urea)	140	1.400-1.600
P (superfosfato triple)	40	400-600
K (cloruro de potasio)	106	1.200-1.400
Ca, Mg		500-600

Fuente: Avilán y Leal (1984)

El adecuado manejo de la fertilización del aguacate requiere el apoyo de los parámetros presentados arriba en la tabla 4.1. Los resultados de los análisis foliares se comparan con los de esta tabla para tener una idea clara del estado nutricional de la planta. En este caso, es también importante el análisis de suelo, para decidir cuáles son las dosis de nutrientes a aplicar.

En realidad, lo que se busca es aplicar nutrientes para mantener la concentración foliar adecuada, condición que, a su vez, garantiza rendimientos altos si los otros factores de la producción se manejan adecuadamente. Con estos conceptos se puede fertilizar de acuerdo con la edad de la planta como se indica en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Fertilización del aguacate de acuerdo con la edad de la planta

Edad de la planta (años)	Fertilizante (g/árbol/año)		
	N	P_2O_5	K_2O
A la siembra	300	100-200	200-300
2	600	200-600	200-300
3	800	300-800	200-600
4	1.000	300-800	300-800
5	1.500	400-1.200	400-1.200
6	1.800	500-1.500	400-1.200
7 en adelante	2.000	500-1.500	600-1.400

Fuente: Avilán y Leal (1984)

Las cantidades de fósforo y potasio a aplicar dependen de la cantidad de estos presentes en el suelo (según su análisis) y del porcentaje de nutrientes en las hojas arrojado por el análisis foliar. Cuando el contenido es bajo, se utilizarán dosis altas, y viceversa. En el caso de que el contenido sea alto, es aconsejable fraccionar la dosis de nutrientes a través del año de la siguiente manera: la tercera parte del nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio, antes de la floración; el segundo tercio del nitrógeno, al inicio de las lluvias; y el tercio final de nitrógeno a mediados de la época lluviosa.

Se estima que los nutrientes en los frutos representan un tercio o más de las necesidades totales de la planta. Los niveles se deben ajustar de acuerdo con los coeficientes de eficiencia de los nutrientes cuando se aplica un fertilizante: urea 50%, fósforo 15% y cloruro de potasio 60% (Hiroce et al., 1979).

Zona de aplicación del fertilizante

La localización del fertilizante alrededor de la planta de aguacate se debe hacer teniendo en cuenta la ubicación de la mayor cantidad de raíces activas, lo cual asegura el aprovechamiento de los fertilizantes aplicados. Cuando las plantas están muy jóvenes, las raíces están muy cercanas y el fertilizante se debe aplicar en la cercanía de la raíz (figura 4.12). Para evitar daños a la raíz, se recomienda aplicar dosis bajas o moderadas pero más frecuentes, en vez de dosis altas muy espaciadas en el tiempo. La alta concentración de sales puede causar toxicidad en las raíces.

Foto: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 4.12. Aplicación de fertilizantes alrededor de plántulas recién trasplantadas.

Cuando se trata de árboles en producción (> 4 años), las raíces están distribuidas en la zona de plateo, lugar en que se puede hacer la fertilización, aunque algunos recomiendan aplicar entre la mitad del radio de la copa y la proyección externa de esta (figura 4.13) (Avilán et al., 1986; Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998). El método de aplicación del fertilizante más recomendable en el cultivo de aguacate es al voleo dentro de la zona de aplicación, para generar un buen y uniforme desarrollo de las raíces.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 4.13. Aplicación de fertilizantes en la zona de plateo de árboles de aguacate en producción.

Encalamiento

Dada la condición ácida y la baja disponibilidad de calcio y magnesio de muchos de los suelos cultivados con aguacate, particularmente en la Región Andina de Colombia, la aplicación de cal es una práctica muy común. Varios autores coinciden en afirmar que el rango adecuado de pH del suelo para el aguacate está entre 5,5 y 6,5. A razón de la poca disponibilidad de nutrientes, en especial, de fósforo y de elementos menores, y de la eficiencia de la fertilización nitrogenada (sobre todo, con amonio) se recomienda un rango aún más estrecho, entre 5,5 y 6,0 (figura 4.14).

Infortunadamente, es común encontrar que los agricultores usan inadecuadamente la cal. En algunos casos, por aplicaciones insuficientes, en otros, por aplicaciones excesivas o por una inadecuada escogencia del tipo de cal —cal agrícola $CaCO_3$, cal viva CaO, cal hidratada $Ca(OH)_2$ y cal dolomita $(Ca, Mg)CO_3$—.

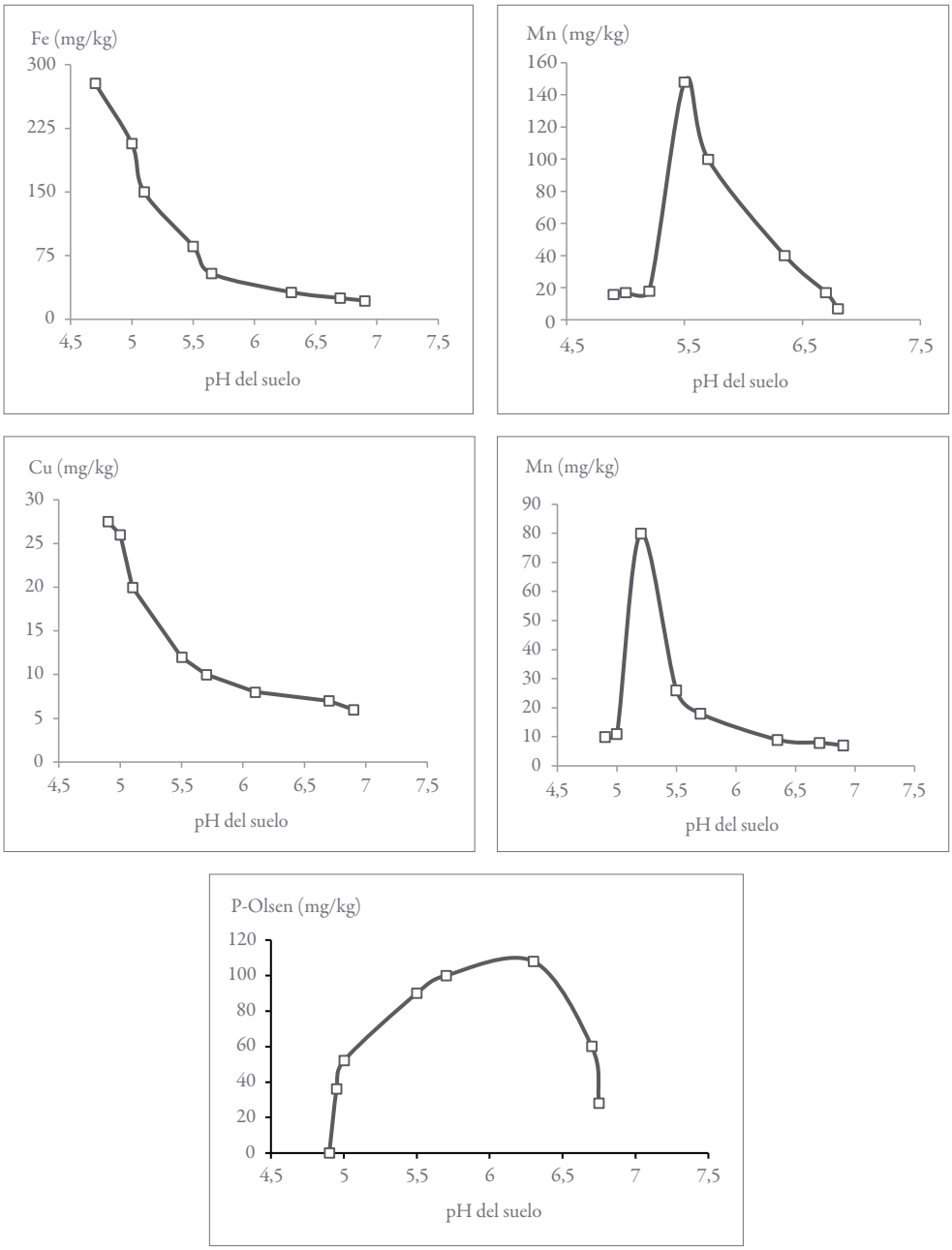


Figura 4.14. Disponibilidad de hierro, manganeso, cobre, zinc y fósforo en andisoles del oriente antioqueño en función del pH del suelo. Estudio retrospectivo en suelos cultivados intensivamente durante 20 años. Los cambios en el pH del suelo son producto de la frecuente aplicación de cal. Las líneas discontinuas muestran un nivel adecuado de disponibilidad.

Fuente: Osorio (2014)

En un muestreo realizado por Osorio et al. (2012) y por Serna, Montoya y Osorio (2012) se encontró que, en huertos de aguacate del oriente y norte antioqueño, el 34,3 % de las muestras de suelos (n = 70) presentó valores de pH < 5,5, el 30 % tuvo un pH > 6,3 (algunas alcanzaron valores tan altos como 7,1) y solo un 35,7 % presentó un pH adecuado. En el primer caso (pH < 5,5), se esperan deficiencias de calcio, magnesio, fósforo y molibdeno y altos niveles de aluminio, que es potencialmente tóxico para las plantas. En el segundo caso (pH 6,3-7,1), es posible encontrar una baja disponibilidad de hierro, manganeso, cobre, zinc y fósforo y menor disponibilidad de boro (figura 4.15).

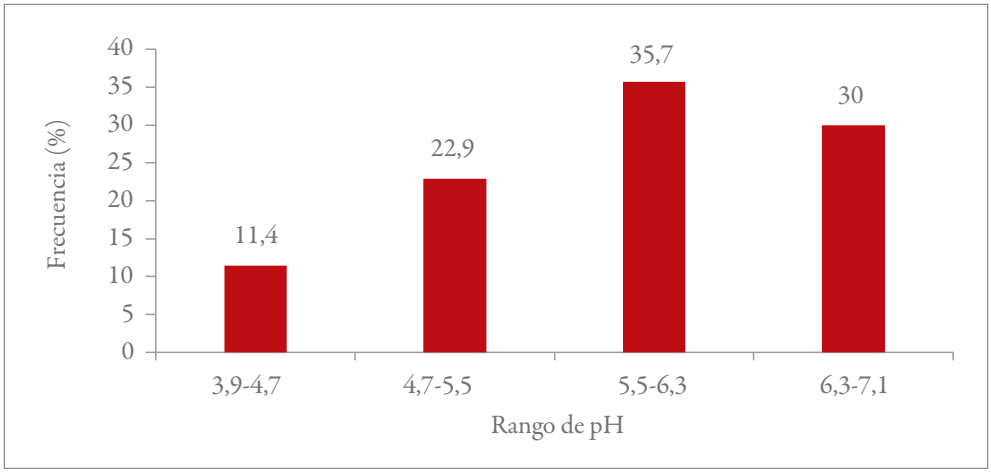


Figura 4.15. Frecuencia relativa de valores del pH del suelo de huertos de aguacate del norte y oriente de Antioquia.
Fuente: Osorio et al. (2012)

Para evitar los excesos de cal se debe usar un análisis de suelo que nos indique el valor del pH y los contenidos de calcio, magnesio y aluminio intercambiables. Aunque no existen niveles críticos de estos elementos establecidos experimentalmente para huertos de aguacate, los datos observados en huertos sanos y altamente productivos sugieren que se pueden manejar tentativamente valores de calcio intercambiable de 4,0 a 6,0 $cmol_c\ kg^{-1}$, mientras que los valores de magnesio pueden estar entre 1,5 y 2,5 $cmol_c\ kg^{-1}$. Para aplicar ambos elementos (Ca y Mg) se puede usar, por ejemplo, cal dolomita.

Otra alternativa para definir la cantidad de cal a aplicar es a través del uso de la incubación con cal. En este método, pequeñas porciones de suelo se someten a cantidades crecientes de cal y, luego de un periodo de incubación de 15 a 20 días

(a temperatura ambiente y con suficiente humedad —capacidad de campo—), se mide el pH del suelo (1:1) (Uchida & Hue, 2000). La cantidad a aplicar se escoge en función de la regresión entre la cantidad de cal aplicada y el pH deseado del suelo. En el caso del suelo que se muestra en la figura 4.16, la cantidad de cal dolomita ($CaCO_3$: 50 %, $MgCO_3$: 50 %) requerida para aumentar el pH de 5,1 a 5,5, en una zona de plateo de radio 0,5 m, será de 0,5 kg; en un plateo de 1 m de radio será de 2,2 kg. En ambos casos se considera una profundidad de 20 cm para la incorporación de la cal.

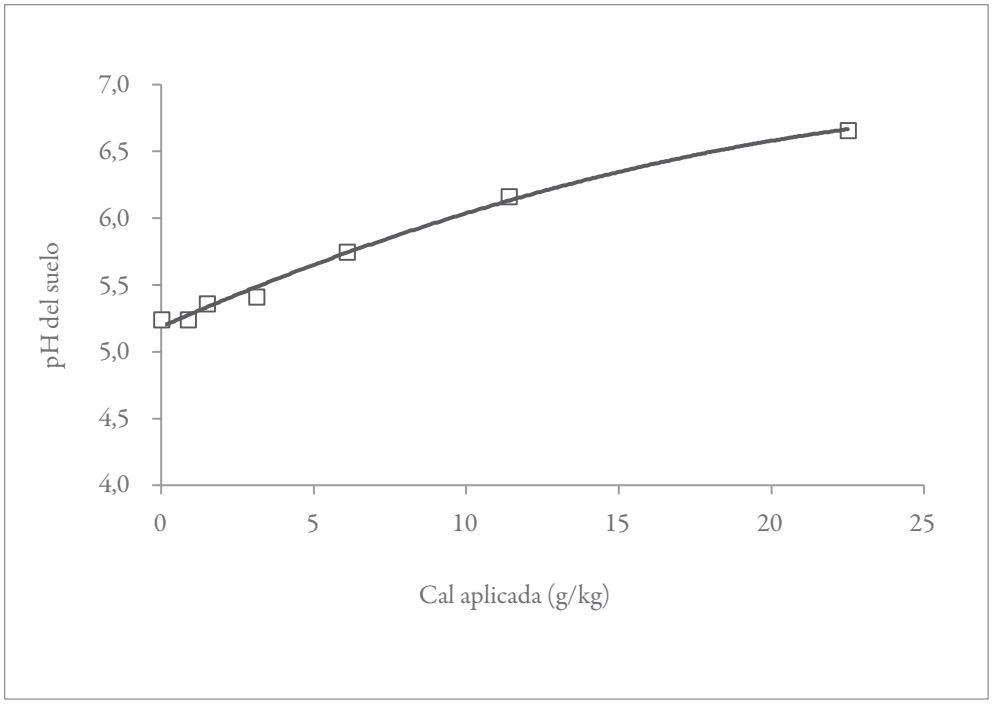


Figura 4.16. Se muestra el pH del suelo en función de la cantidad de cal aplicada medida luego de incubar las muestras del suelo por 20 días.
Fuente: Osorio et al. (2012)

Este método permite tener cierto control sobre los efectos de la aplicación de la cal. Las cantidades de cal dolomita arriba calculadas están muy por debajo de las frecuentes aplicaciones que se hacen al trasplantar las plántulas de aguacate y que fluctúan entre 5 y 10 kg/sitio, las cuales, por supuesto, elevan innecesariamente el pH y generan potenciales deficiencias de nutrientes que se corregirán aplicando más fertilizante. El sobreencalamiento no aumenta el rendimiento, pero sí los costos de producción.

Fertilización con fósforo

Como ya se mencionó, los suelos comúnmente exhiben baja disponibilidad de fósforo para las plantas. De ahí que sea necesaria la adición de fertilizantes fosfóricos solubles para mejorar la disponibilidad del nutriente en el suelo y así satisfacer los requerimientos de las plantas cultivadas. Montoya y Osorio (2009) realizaron un experimento en el cual aplicaron cantidades crecientes de KH_2PO_4 a un andisol y evaluaron la respuesta de las plántulas de aguacate cv. Villagorgona. Encontraron que las plantas de aguacate mejoraron su crecimiento solo cuando la concentración de fósforo soluble en el suelo alcanzó una concentración de 0,2 mg L^{-1} (figura 4.17).

La cantidad requerida para obtener tal concentración de fósforo en la solución del suelo se puede determinar a través de isotermas de adsorción de P (Fox & Kamprath, 1970). Esto consiste en adicionar una fuente de fósforo soluble —p. ej., KH_2PO_4, $Ca(H_2PO_4)_2$— para, después de un periodo de incubación de seis días, evaluar la cantidad de fósforo que permanece en forma soluble y la cantidad que queda adsorbida. En la figura 4.18, se pueden observar isotermas de adsorción de fósforo para tres suelos de Colombia (un andisol, un oxisol y un molisol). Para obtener la concentración de fósforo en la solución de estos suelos de 0,2 mg L^{-1}, es necesario aplicar fósforo a razón de 1.658, 352 y 65 mg/kg de suelo, respectivamente. Como era de esperarse, el requerimiento de fósforo en el andisol fue mucho más alto y fue seguido por el oxisol. Si se considera, por ejemplo, la fertilización fosfórica requerida para el establecimiento de una plantación de aguacate en estos suelos, las cantidades de superfosfato triple (0-44-0) a aplicar serían de 159, 56 y 11,4 kg/sitio (para los cálculos, se consideraron los valores de densidad aparente de cada suelo así: 0,6, 1,0 y 1,1 g/cm^3, respectivamente, una profundidad de 20 cm y un diámetro inicial del plateo de 1 m) (figura 4.18) (Osorio, 2011).

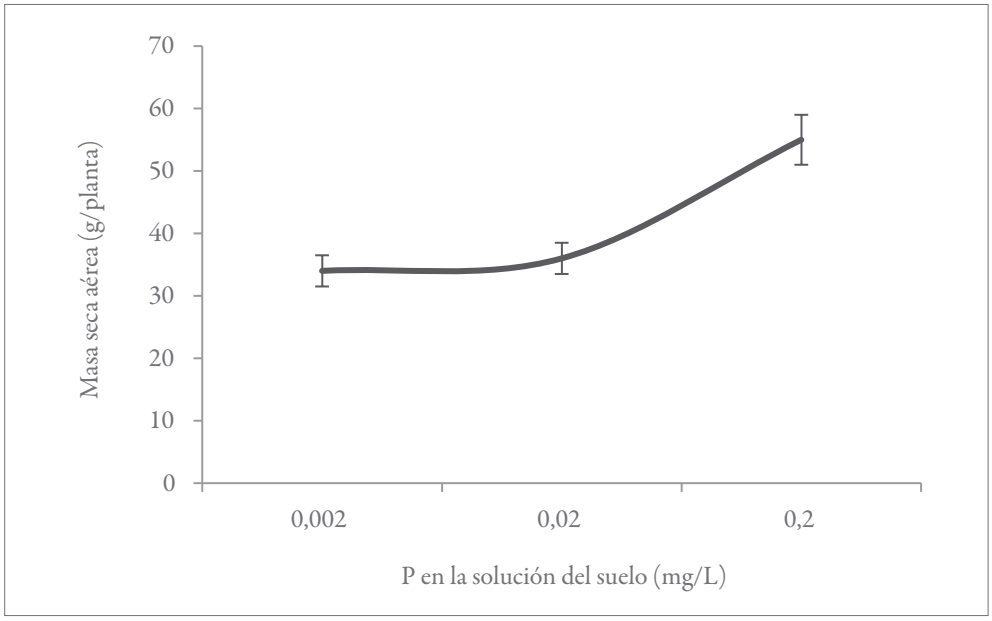


Figura 4.17. Efecto de la concentración de fósforo en la solución del suelo en la masa seca de plántulas de aguacate.
Fuente: Adaptada de Osorio et al. (2012)

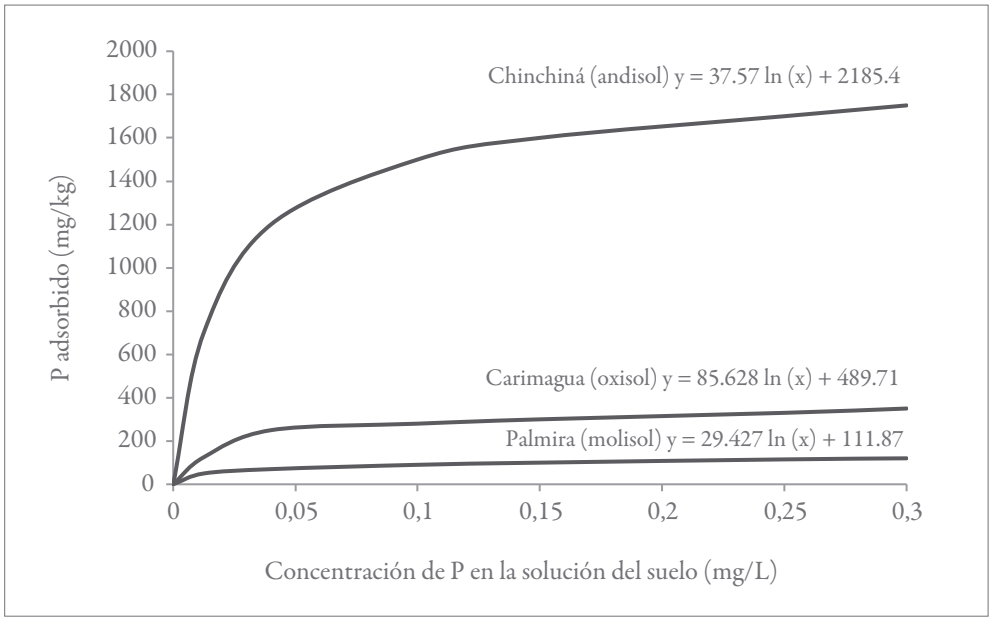


Figura 4.18. Isotermas de adsorción de fósforo de tres suelos de Colombia (andisol, oxisol y molisol). La línea discontinua indica la concentración de fósforo soluble de 0,2 mg/L.
Fuente: Osorio (2014)

Infortunadamente, los productores de aguacate tienden a aplicar grandes cantidades de fertilizantes fosfóricos sin recurrir a estas técnicas, y caen en el problema de la sobrefertilización. Los excesos de fósforo son muy comunes en los huertos de aguacate. En el mismo estudio de Osorio et al. (2012) se encontraron en huertos de aguacate concentraciones excesivamente altas de fósforo soluble en casi la mitad de las muestras analizadas (47 %), mientras que un 51,4 % estuvo en un rango de fósforo de medio a adecuado y solo un 1,4 % de las muestras presentó niveles muy bajos (figura 4.19).

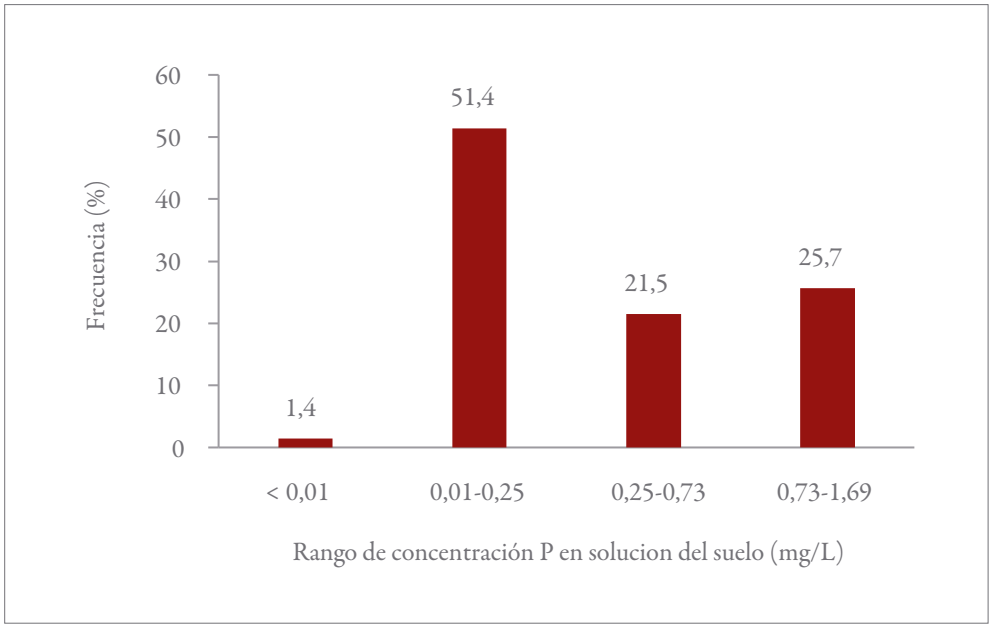


Figura 4.19. Frecuencia relativa de valores de concentración de fósforo en la solución del suelo agrupados por rango. Suelos del oriente y norte de Antioquia cultivados con aguacate.
Fuente: Osorio et al. (2012)

Tales excesos de fosfato en la solución del suelo no mejoran el crecimiento de las plantas, al contrario, lo pueden disminuir, ya que reducen la disponibilidad de elementos menores catiónicos (hierro, manganeso, cobre y zinc) en el suelo. Esto último tiende a ser manejado a través de la aplicación de fertilizantes, con lo que el costo de producción aumenta, pero no se obtienen más beneficios. Concentraciones altas de fósforo soluble tienen riesgos ambientales, ya que este puede pasar a aguas corrientes a través de la escorrentía y así contaminar aguas destinadas al consumo animal o humano, lo cual genera problemas de eutrofización. Como se explica a continuación, esto se puede evitar a través del uso de otras estrategias biotecnológicas como la asociación micorrizal.

Hongos micorrizo-arbusculares

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (AMF, por su sigla en inglés) son microorganismos benéficos que promueven la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas, y ayudan especialmente en la absorción de elementos de baja movilidad como el fósforo, el cobre y el zinc. Estos hongos forman asociaciones mutualistas con las raíces de la mayoría de las plantas, incluyendo el aguacate. En la figura 4.20 se pueden observar las raíces de plántulas de aguacate altamente colonizadas por el hongo micorrizal *Glomus fasciculatum*. Las hifas del hongo funcionan como una extensión de la raíz, de forma que captan nutrientes más allá del alcance de las raíces. Se ha estimado que las raíces micorrizales pueden explorar 1.000 veces más suelo que la raíz no micorrizal y, con ello, acceder a más nutrientes, lo cual estimula el crecimiento vegetal.

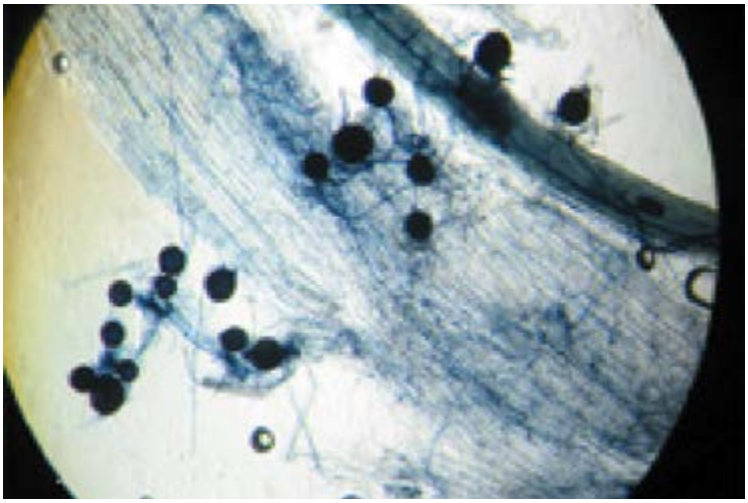


Figura 4.20. Raíces de aguacate con colonización micorrizal del hongo *Glomus fasciculatum* (imagen obtenida a través de un estereomicroscopio).
Fuente: Osorio et al. (2012)

En huertos de aguacate del norte y el oriente antioqueños se ha encontrado una alta presencia de hongos micorrizales en prácticamente todas las muestras analizadas. Sin embargo, la respuesta de las plantas a la inoculación micorrizal varía en función de la concentración de fósforo disponible en el suelo. A bajas concentraciones de fósforo, la planta deriva un gran beneficio de esta asociación, pero a altas concentraciones de este elemento, el crecimiento vegetal se puede ver afectado negativamente (figura 4.21) (Osorio et al., 2012).

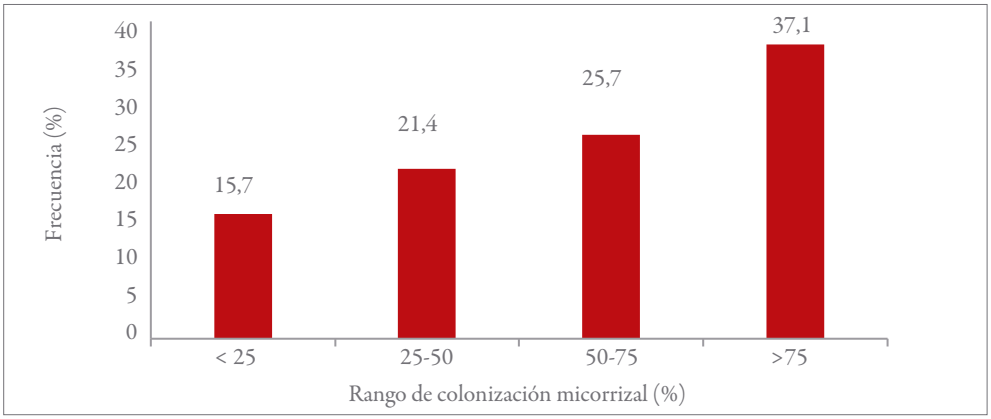


Figura 4.21. Frecuencia relativa de valores de colonización micorrizal de raíces de huertos de aguacate del norte y el oriente de Antioquia.
Fuente: Osorio et al. (2012).

En un sentido práctico, lo que sugieren los resultados de la figura 4.22 es que, en presencia de la asociación micorrizal, la concentración de fósforo no es necesaria, sino que puede ser contraproducente. De hecho, la cantidad de fósforo requerida en solución no es 0,2 mg L^{-1} sino que puede ser tan baja como 0,02 mg L^{-1}. Esto hace que el requerimiento de la fertilización fosfórica en presencia de raíces micorrizales disminuya considerablemente. Para el ejemplo mencionado de los tres suelos (andisol, oxisol, molisol) (figura 4.18), las cantidades de fertilizante fosfórico para alcanzar tal concentración serían 86, 25 y 0 kg/sitio (ver detalle de densidad aparente, profundidad y diámetro del plateo, en el apartado "Fertilización con fósforo").

Figura 4.22. Aspecto de las plántulas de aguacate no-inoculadas (M-) e inoculadas con el hongo micorrizal *G. fasciculatum* (M+) que crecieron con tres concentraciones de fósforo en la solución del suelo: 0,002, 0,02 y 0,2 mg L^{-1}. Nótese cómo, a bajas concentraciones, hay una respuesta positiva a la inoculación con el hongo, pero, a concentraciones más altas, el efecto se vuelve negativo.
Fuente: Osorio et al. (2012)

Lo anterior representa reducciones del ~50 % del fertilizante fosfórico, pero quizá lo más importante es que de esta forma se evitan problemas agronómicos (inducción de deficiencias de micronutrientes) y se reducen los riesgos de contaminación ambiental.

La condición micorrizal, como se mostró en la figura 4.22, es aparentemente la regla y no la excepción. Así, la aplicación de altas dosis de fósforo ocasiona que el desempeño de la planta esté por debajo del óptimo deseado.

Microorganismos solubilizadores de fósforo

Ha sido tradicional la aplicación de altas cantidades de fertilizantes fosfóricos solubles para aumentar la disponibilidad de fósforo en el suelo (Narsian & Patel, 2000; Reddy, Kumar, & Babita, 2002). Este proceso es costoso y puede incrementar el riesgo de contaminación de aguas corrientes (Arcand & Schneider, 2006; Shigaki, Sharpley, & Prochnow, 2006).

Una alternativa que ha sido propuesta e investigada recientemente consiste en usar microorganismos solubilizadores de fósforo (MSP) mediante la producción de ácidos orgánicos (Osorio & Habte, 2014; Singh y Reddy, 2011). Muchos ácidos orgánicos son eficaces en la reducción de la fijación del fósforo, pues son capaces de desorber el fósforo previamente fijado en el suelo o de disolver el fósforo nativo de este (Guppy, Menzies, Moody, & Blamey, 2005). Es claro que algunas plantas son capaces de producir estos ácidos orgánicos en sus raíces (p. ej., el té, el pasto *Brachiaria*, la macadamia, etc.) o que estos son producidos por algunos microorganismos del suelo (Gyaneshwar, Naresh Kumar, Parekh, & Poole, 2002; Pandey, Trivedi, Kumar, & Palni, 2006), pero algunas de ellas no son tan eficientes en hacer esto. Una vez que el fósforo es solubilizado, pasa a la solución del suelo, donde puede ser tomado por las raíces más efectivamente.

Entre los microorganismos del suelo capaces de disolver fósforo se encuentran bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Enterobacter* y *Bacillus* (Kim, Jordan, & McDonald, 1997) y algunos hongos como *Penicillium* y *Aspergillus* (Mittal, Singh, Nayyar, Kaur, & Tewari, 2008; Ramaekers, Remans, Rao, Blair, & Vanderleyden, 2010; Whitelaw, 1990) y *Mortierella* (Osorio, 2003; Osorio & Habte, 2013). Se espera que al inocular el suelo conjuntamente con AMF y MSP se pueda mejorar la efectividad en la absorción de fósforo solubilizado.

Las plantas micorrizadas pueden liberar una mayor cantidad de sustancias carbonadas en su rizosfera (micorrizosfera) que las plantas no micorrizadas, y los MSP podrían así liberar más ácidos orgánicos para, de esta manera, disolver fosfatos insolubles, particularmente, los de calcio (Osorio, 2014). En términos generales, infortunadamente existe poco conocimiento sobre la población microbiana asociada a la rizosfera del aguacate; mucho menos se conoce sobre el efecto conjunto que podría tener la inoculación con ambos tipos de hongos (micorrizal y solubilizador).

Tamayo y Osorio (2017) evaluaron el efecto individual y combinado (sobre el estado nutricional y el crecimiento de plántulas de aguacate cv. Hass en condiciones de vivero) al inocular el hongo *Mortierella* sp. y el hongo micorrizal *Rhizoglomus fasciculatum*. Encontraron que solo la inoculación conjunta (*R. fasciculatum* y *Mortierella* sp.) incrementó significativamente la masa seca total de la planta en un 61 %, sin que se presentaran diferencias al usar la concentración de *Mortierella* sp. de 10^6 y 10^8 UFC/mL (figura 4.23).

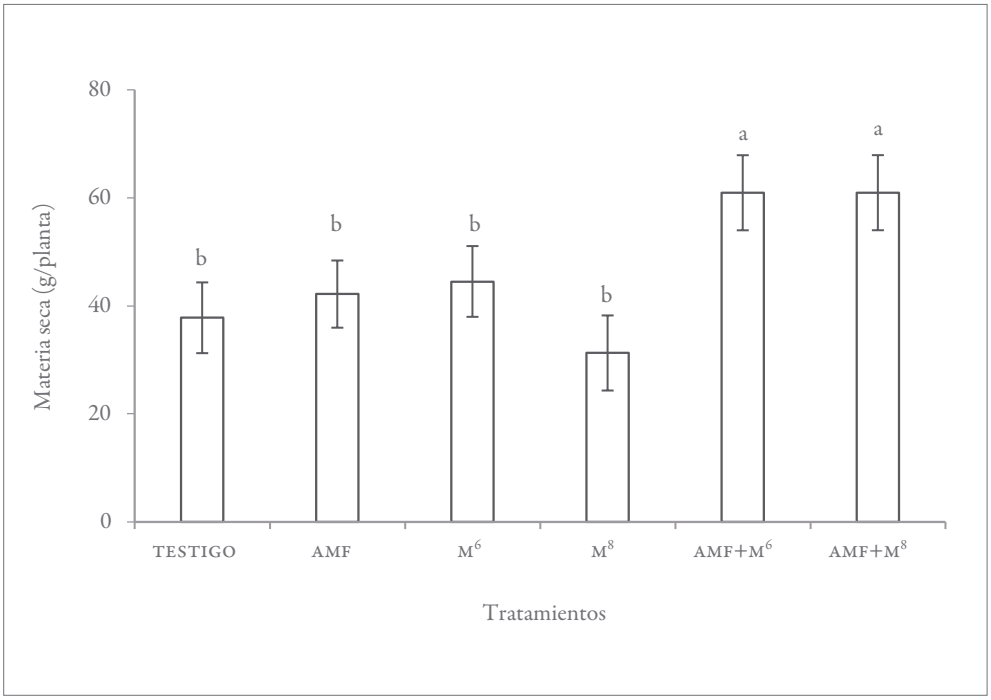


Figura 4.23. Materia seca aérea total de hojas y tallos de plantas de aguacate cv. Hass en función de los tratamientos de la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (M10^6 y M10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF), 240 días después del trasplante en vivero. Columnas con letras diferentes presentan diferencia significativa ($p \leq 0{,}05$) de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.
Fuente: Tamayo y Osorio (2017)

Solo los tratamientos que incluyeron la inoculación conjunta (AMF + M10^6 y AMF + M10^8) incrementaron significativamente el valor de esta variable hasta alcanzar 170,4 y 150,9 µg de P planta^{-1}, lo cual representa un incremento de 2,5 y 2,2 veces más, respectivamente, que las plantas testigo (figura 4.24).

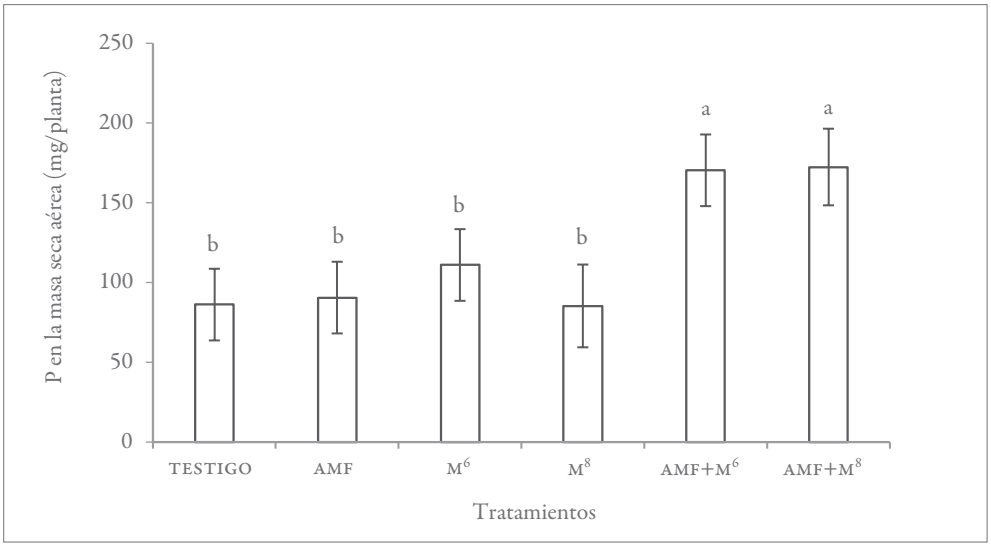


Figura 4.24. Contenido de fósforo en la masa seca aérea de plantas de aguacate cv. Hass en función de los tratamientos de la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (10^6 y 10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF), 240 días después del trasplante en vivero. Columnas con letras diferentes presentan diferencia significativa ($p \leq 0,05$) de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.
Fuente: Tamayo y Osorio (2017)

El testigo sin inocular presentó una colonización muy baja (prácticamente nula) con valor de 1,2 %; los otros tratamientos que no incluían inoculación micorrizal (M^6 y M^8) también presentaron valores muy bajos (1,2-2,3 %) y no difirieron con las plantas testigo. En contraste, la mayor colonización micorrizal se observó cuando se aplicó *R. fasciculatum* (AMF) solo. Al inocular conjuntamente el hongo micorrizal con *Mortierella* sp., se redujo significativamente la colonización micorrizal con respecto a la inoculación sola con *R. fasciculatum* a valores entre 14,9 % y 19,9 %, pero estos estuvieron significativamente por encima de aquellos sin inoculación micorrizal (figura 4.25).

La colonización de raíces por el hongo *Mortierella* sp. fue afectada significativamente ($p < 0,05$) por los tratamientos (figura 4.26). En los tratamientos que no recibieron la inoculación con este hongo, incluido el testigo, no hubo presencia del hongo (colonización = 0 %), mientras que, en aquellos inoculados con el hongo, este fue efectivamente detectado en las raíces. Se obtuvo mayor colonización cuando la

inoculación tuvo una concentración de 10^8 UFC/mL (72,9 %) que cuando tuvo una de 10^6 UFC/mL (34,7 %). El valor de colonización se redujo al inocular conjuntamente el hongo micorrizal *R. fasciculatum* (AMF + M10^8), caso en el cual el valor de colonización fue de 41,3 % (figura 4.26).

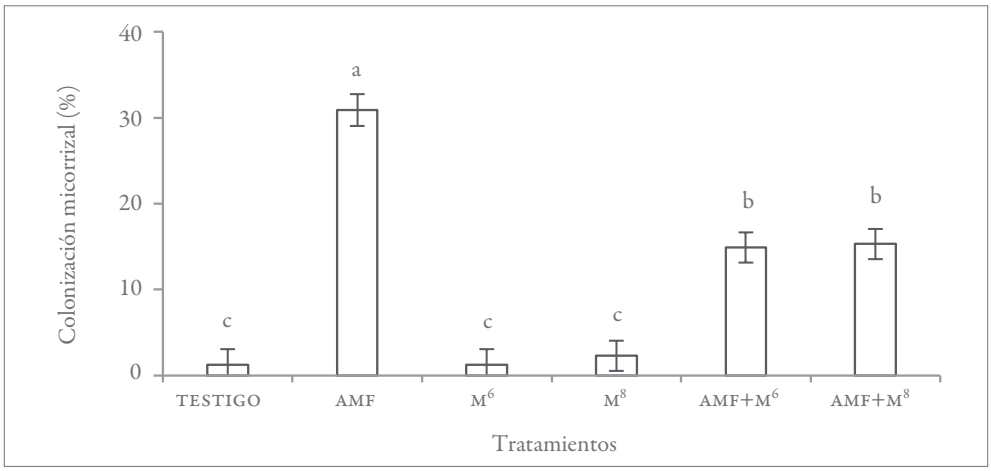


Figura 4.25. Colonización micorrizal en raíces finas de plantas de aguacate cv. Hass en función de los tratamientos con la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (M10^6 y M10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF), 240 días después del trasplante en vivero. Columnas con letras diferentes presentan diferencia significativa ($p \leq 0,05$) de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.
Fuente: Tamayo y Osorio (2017)

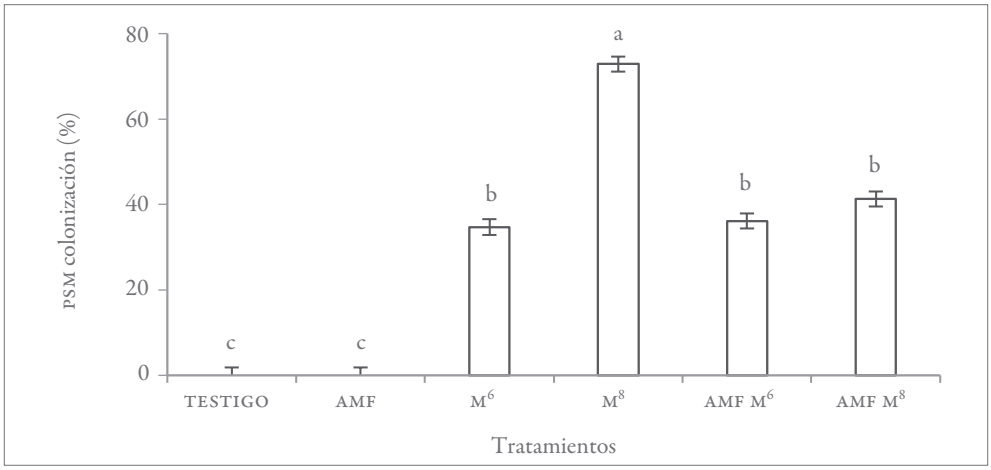


Figura 4.26. Colonización relativa de raíces finas de plantas de aguacate cv. Hass por el hongo *Mortierella* sp. en función de los tratamientos con la inoculación individual y conjunta con *Mortierella* sp. (M, 10^6 y 10^8 UFC/mL) y *R. fasciculatum* (AMF), 240 días después del trasplante en vivero. Columnas con letras diferentes presentan diferencia significativa ($p \leq 0,05$) de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.
Fuente: Tamayo y Osorio (2017)

Los resultados obtenidos por Tamayo y Osorio (2017) muestran que el contenido de fósforo foliar se vio afectado por la combinación de los hongos estudiados, es decir, cuando estos se inocularon conjuntamente, hubo una mayor acumulación de fósforo foliar en la planta que cuando la inoculación se hizo en forma individual. Además, a pesar de que el estudio se realizó en suelos andisoles (con una alta capacidad de fijación de fósforo), se encontró que hubo una mayor acumulación de este en la planta con la inoculación de los hongos mencionados que en plantas no inoculadas, tal como lo reportan diversos autores.

La altura y la materia seca de los tallos se vieron afectadas significativamente cuando se inocularon ambos hongos. La acumulación de fósforo en la planta se afectó significativamente por las inoculaciones conjuntas, y fue mayor cuando se aplicó la micorriza con el hongo *Mortierella* sp., en dos concentraciones; tratamientos que superaron en 2,47 y 2,19 veces, respectivamente, al testigo absoluto. La mayor colonización (31 %) se obtuvo cuando se aplicó solo la micorriza; de igual forma, la mayor concentración se determinó cuando se inoculó solo el hongo *Mortierella* sp. en dosis de 10^8 UFC.

Fuentes orgánicas

Después de que los nutrientes del suelo han sido absorbidos por las raíces del árbol, estos son transformados en compuestos orgánicos o inorgánicos y transportados a los diferentes órganos del árbol. Con la cosecha del fruto, cada año se retira de forma permanente una gran cantidad de estos nutrientes, mientras que otra parte de estos es removida de forma temporal, ya que es reciclada en el huerto con la caída de hojas y flores, entre otros. De ahí la importancia de mantener o incorporar la hojarasca y las ramas secas al pie de los árboles, ya que esto no solo mejora las propiedades físicas del suelo y su capacidad de retención de humedad, sino que tiene un papel importante en el ciclaje de nutrientes dentro de la plantación (Salazar-García, 2002).

Durante su evolución, el aguacate desarrolló diferentes estrategias de adaptación. Una de ellas es producir varios flujos de crecimiento vegetativo, compuestos de hojas de vida corta pero adaptadas a la sombra y que, en su búsqueda de luz, crecen en brotes terminales alejados del tronco y en la periferia del árbol (Wolstenholme & Whiley, 1999). El fruto del aguacate es muy demandante de energía y tiene una gran dependencia de las reservas del árbol (Wolstenholme, 1986). Esto hace que la estrategia de la planta sea de alta eficiencia para captar, almacenar, conservar y reciclar

carbohidratos y reservas minerales, lo cual lo hace parecer como un árbol cuya producción es barata en cuanto al gasto de nutrientes (Salazar-García, 2002).

La materia seca está compuesta por carbono (C) y otros nutrientes acumulados durante el crecimiento y desarrollo del fruto. Se usan también nutrientes en la síntesis de proteínas y aceite, ambos en altas cantidades en la fruta, por lo cual, la fruta con mayor contenido de materia seca y aceite requiere más nutrientes (Salazar-García, Lazcano-Ferrat, & González-Durán, 2006).

Saber que hay nutrientes cuya tasa de ciclaje es mayor al 50 % y otros cuya tasa es muy baja o nula ayuda a entender por qué al aguacate se le considera un frutal cuya producción de fruto es económica desde el punto de vista nutrimental (Wolstenholme & Whiley, 1999). Por otra parte, la gran eficiencia en el ciclaje de nitrógeno, fósforo y potasio por parte de las hojas de ambos flujos vegetativos explica por qué en la región de estudio los árboles no muestran síntomas visuales de deficiencia de estos nutrientes, sin embargo, también explica la presencia de deficiencias de calcio, magnesio y boro y, en muchas ocasiones, de zinc (Salazar-García, Cossio-Vargas, & González-Durán, 2007).

La descomposición de la materia orgánica constituye, asimismo, uno de los flujos principales del ciclo del carbono (C), ya que una gran parte de este elemento se devuelve a la atmósfera por la respiración de los organismos descomponedores (Shiels, 2006).

Uno de los índices de calidad de la hojarasca que más se ha utilizado para predecir la descomposición es la relación carbono:nitrógeno (C:N) (Heal, Anderson, & Swift, 1997). En este sentido, Vitousek, Turner, Parton y Sanford (1994) y Thompson y Vitousek (1997) observaron que, entre otros factores, la disponibilidad de nitrógeno limita la descomposición. El patrón general para la pérdida de peso de la hojarasca en descomposición comprende dos fases de estado; una inicial, de rápido desarrollo por el lavado de compuestos solubles y la descomposición de materiales lábiles como (azúcares, algunos fenoles, almidones y proteínas), y una segunda más pausada, como resultado de la lenta descomposición de elementos recalcitrantes como celulosa, hemicelulosa, taninos y lignina.

Los estudios sobre las tasas de descomposición de hojarasca y de mineralización/inmovilización de nutrientes en aguacate en Colombia son muy escasos. La disponibilidad limitada o el alto costo de los fertilizantes minerales, además de las nuevas

exigencias del consumidor (técnicas de agricultura ecológica), hacen que los sistemas de cultivo tiendan a reducir la necesidad de aportes externos al sistema. Cada año, una buena parte de los nutrientes que son absorbidos por las plantas se devuelven al suelo por medio de la descomposición de hojas, restos de poda, abscisión de órganos, etc. Por ello, es primordial conocer y maximizar los beneficios de la descomposición de estos residuos y las tasas de reciclado de sus nutrientes.

De acuerdo con Kolmans & Vásquez (1999), al combinar fuentes de fertilización orgánica con fuentes de fertilización mineral (como la roca fosfórica), se activa la flora de la rizosfera, se fomentan las asociaciones benéficas entre hongos y raíces a través de la liberación de enzimas, se activa la descomposición de toxinas y el estímulo de la germinación y se disminuye la susceptibilidad a plagas y enfermedades. Por otra parte, al activar el metabolismo mediante sustancias orgánicas, se activa la absorción de sustancias de defensa y antibióticos del humus y se mejora el rendimiento y sanidad vegetal.

En el aguacate se pueden utilizar diferentes tipos de abonos orgánicos, cuya elección puede estar determinada por la disponibilidad local, el precio y la facilidad de transporte y aplicación. Las hierbas indeseables o el pasto que crece entre los árboles, por ejemplo, se pueden podar y sus residuos frescos se pueden dejar dispersos sobre el suelo; también se pueden utilizar para hacer compost y aplicarse como mantillo o *mulch*.

La gallinaza, los lombricompuestos, los desechos urbanos y otros materiales orgánicos, así como las fuentes inorgánicas de fertilización (roca fosfórica), son recursos potencialmente valiosos para mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo y restaurar su productividad, pues aumentan la disponibilidad de nutrientes (Tamayo & Muñoz, 1997).

La gallinaza es utilizada como abono orgánico para mejorar la fertilidad de los suelos y como complemento a la nutrición del aguacate. La aplicación de gallinaza en cantidad suficiente mejora la estructura del suelo, aumenta la retención de humedad por parte de este, actúa como fertilizante de liberación lenta, incrementa la capacidad del suelo para almacenar nutrientes y es una fuente moderada de nitrógeno, fósforo y potasio y de algunos micronutrientes (Salazar-García, 2002).

La cantidad de nutrientes que pueden aportarse al suelo con la gallinaza dependerá de la cantidad, la forma de aplicación y de su incorporación. Dependiendo de las

características físicas y químicas del suelo, la aplicación individual de gallinaza a un árbol adulto de aguacate puede ser de 25 a 50 kg anuales o bianuales. Con el tipo de gallinaza usada en Nayarit (México), la incorporación de 50 kg (con 20% de humedad) por árbol aportó al suelo 30 g de nitrógeno en forma de nitratos, 37,2 g de fósforo y 16 g de potasio. Estas cantidades de nutrientes están muy lejos de ser suficientes para producir una cosecha redituable de aguacate (Salazar-García, 2002).

De acuerdo con los requerimientos de potasio, para que 156 árboles/ha produzcan una cosecha de 30 t de aguacate cv. Hass —la cual extrae 78,16 kg de potasio—, sería necesario aplicar 1,5 kg de gallinaza por árbol por año. De aquí la importancia de incluir aplicaciones adicionales de nutrientes a los huertos abonados únicamente con estiércoles (Salazar-García, 2002).

Conclusiones

La nutrición y la fertilización son aspectos esenciales en el manejo integral del cultivo de aguacate. Los nutrientes cumplen funciones esenciales que determinan el desempeño vegetal y controlan en muy buena parte el potencial de producción. Buena parte de los suelos colombianos exhiben baja disponibilidad de nutrientes, lo cual ocasiona deficiencias en las plantas. Si bien la identificación de los síntomas de deficiencia es una ayuda importante en el diagnóstico del estado nutricional de las plantas de aguacate, estos no se deben usar como único criterio de diagnóstico, ya que la aparición de los síntomas implica una pérdida significativa en el potencial productivo de la planta.

Los análisis de suelos son una herramienta fundamental para detectar con anticipación niveles deficientes de los nutrientes, razón por la cual se deben seguir cuidadosamente las instrucciones para tomar muestras adecuadas y representativas del suelo. Así mismo, las muestras de tejidos foliares pueden ser bastante relevantes para evaluar la existencia de problemas nutricionales en los huertos y así poder realizar correcciones a través de la fertilización.

En la actualidad, se cuenta con criterios satisfactorios para manejar la fertilización de los huertos de aguacate y asegurar la productividad de estos. Las recomendaciones deben ser atendidas técnicamente para evitar un manejo inadecuado de cales y fertilizantes. En algunos huertos se han detectado problemas por sobreencalamiento y sobrefertilización que deben ser evitados a través de herramientas de diagnóstico en laboratorio y manejo de suelo (incubación de cal e isoterma de adsorción de fosfato). Estas técnicas pueden jugar un papel importante en el manejo ambientalmente seguro de fertilizantes y enmiendas y, al mismo tiempo, obtener una mejor relación costo-beneficio.

Se debe poner mucho cuidado en el manejo de los elementos menores, ya que prácticas como la sobrefertilización y el sobreencalamiento pueden disminuir su disponibilidad para las plantas.

Los hongos micorrizo-arbusculares pueden jugar un rol importante en el manejo adecuado de la nutrición vegetal: los experimentos llevados a cabo son muy promisorios sobre sus efectos, pero estos deben ser evaluados en plantas en producción.

La materia orgánica incrementa la eficiencia en el reciclaje de nutrientes y ayuda a la sostenibilidad de condiciones físicas favorables en los suelos, por lo que es uno de los factores más importantes que afectan la fertilidad y productividad de suelos tropicales.

Referencias

Arcand, M. M., & Schneider, K. D. (2006). Plant and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *78*(4), 791-807.

Avilán, L., Chirinos, A. V., & Figueroa, M. (1978). Exportación de nutrientes por una cosecha de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Agronomía Tropical*, *28*(5), 449-461.

Avilán, L., & Leal, F. (1984). *Suelos y fertilizantes para frutales en el trópico*. Caracas, Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Fonaiap).

Avilán, L., Leal, F., & Bautista, D. (1989). Aguacate. En Autores (eds.), *Manual de fruticultura: cultivo y producción* (pp. 740-756). Caracas, Venezuela: Editorial América.

Avilán, L., Rengifo, C., & Leal, F. (1986). *El cultivo del aguacatero*. Caracas, Venezuela: Fundación Servicio para el Agricultor (Fusagri).

Chapman, H. D. (1966). *Diagnostic criteria for plants and soil*. Riverside, EE. UU.: Quality Printing Inc.

Charpentier, J. M., & Martin-Prevel, P. (1967). Étude des carences minérales chez l'avocatier. I Croissance et symptômes. *Fruits*, *22*(5), 213-233.

Devlin, R. (1982). *Fisiología vegetal* (3.ª ed.). Barcelona, España: Editorial Omega S. A.

Embleton, T. W., Jones, W. W., & Garber, M. J. (1959). Curvilinear relationship between leaf nitrogen and yield of fuerte avocados. *Proceedings American Society Horticultural Science*, *74*, 378-382.

Epstein, E., & Bloom, A. J. (Eds.). (2005). *Mineral nutrition of plants. Principles and perspectives* (2.ª ed.). Sunderland, EE. UU.: Sinauer Associates.

Espinosa, J. (1996). Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. *Informaciones Agronómicas*, *23*, 1-5.

Fox, R. L., & Kamprath, E. (1970). Phosphate sorption isotherms for evaluating phosphorus requirements of soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, *34*, 902-907.

Glass, A. D. M. (1989). *Plant nutrition. An introduction to current concepts*. Boston, EE. UU.: Jones and Bartlett Publishers.

Goodall, G. E., Embleton, T. W., & Platt, R. G. (1965). Avocado fertilization. *University of California Cooperative Extension Bulletin*, *2024*, 1-6.

Gualdrón, A. R., & Herrón, F. (1979). Fraccionamiento, fijación y liberación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas del Oriente antioqueño. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, *4*, 59-93.

Guerrero, R. (Ed.). (1995). *Fertilización de cultivos en clima medio*. Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.

Guerrero, R. (1996). Los nutrientes de las plantas. En autor (Ed.), *Fertilización de cultivos de clima cálido* (pp. 35-43). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.

Guppy, C. N., Menzies, N. W., Moody, P. W., & Blamey, F. P. C. (2005). Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. *Australian Journal of Soil Research*, *43*(2), 189-202.

Gyaneshwar, P., Naresh Kumar, G., Parekh, L. J., & Poole, P. S. (2002). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*, *245*(1), 83-93.

Heal, O. W., Anderson, J. M., & Swift, M. J. (1997). *Plant litter quality and decomposition: An historical overview*. En G. Cadisch, & K. E. Giller (Eds.), Driven by nature: Plant litter quality and decomposition (pp. 3-30). Wallingford, EE. UU.: CAB International.

Hiroce, R., Ojima, M., Gallo, J. R., Bataglia, O. C., Furlani, P. R., & Furlani, A. M. C. (1979). *Composição mineral e exportação de nutrientes pelas colheitas de frutos subtropicais e temperados*. Documento presentado en el 5º Congresso Brasileiro de Fruticultura, Pelotas, Brasil.

Instituto de la Potasa y el Fósforo (Inpofos). (1999). *Potasa: su necesidad y uso en agricultura moderna*. Quito, Ecuador: Inpofos.

Kim, K. Y., Jordan, D., & McDonald, G. A. (1997). Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Biology and Fertility of Soils*, *26*(2), 79-87.

Kolmans, E., & Vásquez, D. (1999). *Manual de agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación* (2.ª ed.). La Habana, Cuba: Grupo de Agricultura Orgánica de Actaf.

Jaramillo, J. D. (1995). *Andisoles del oriente antioqueño. Caracterización química y fertilidad*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Lahav, E., & Kadman, A. (1980). *Avocado fertilization. Bulletin of the International Potash N.° 6*. Berna, Suiza: International Potash Institute.

Lazcano-Ferrat, I., & Espinoza, J. (1998). Manejo de la nutrición del aguacate. *Informaciones Agronómicas*, *31*, 3-6.

Lynch, S. J., Goldweber, S., & Rich, C. E. (1954). Some effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield, tree growth, and leaf analysis of avocados. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, *67*, 220-224.

Marín, G. (1986). *Fertilidad de suelos con énfasis en Colombia. Manual de asistencia técnica No. 39*. Mosquera, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Marschner, H. (1997). *Mineral nutrition of higher plants*. Londres, Inglaterra: Academic Press.

Mittal, V., Singh, O., Nayyar, H., Kaur, J., & Tewari, R. (2008). Stimulatory effect of phosphate-solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2). *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(3), 718-727.

Montoya, B., & Osorio, N. W. (2009). Mycorrhizal dependency of avocado at different levels of soil solution phosphorus. *Suelos Ecuatoriales*, *39*(2), 143-147.

Muñoz, R. (1998). Fertilización de la papa en Antioquia. En R. Guerrero (Ed.), *Fertilización de cultivos de clima frío* (2.ª ed., pp. 28-46). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.

Narsian, V., & Patel, H. H. (2000). *Aspergillus aculeatus* as a rock phosphate solubilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, *32*(4), 559-565.

Osorio, N. W. (2003). Aislamiento y evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo en suelos de Hawái. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/9276/.

Osorio, N. W. (2011). Effectiveness of phosphate solubilizing microorganisms in increasing plant phosphate uptake and growth in tropical soils. En D. K. Maheshwari (Ed.), *Bacteria in agrobiology*: Plant nutrient management (Vol. 3, pp. 65-80). Berlin, Alemania: Springer-Verlag.

Osorio, N. W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico*. Medellín, Colombia. Editorial L. Vieco S.A.S.

Osorio, N. W., & Habte, M. (2013). Phosphate desorption from the surface of soil mineral particles by a phosphate-solubilizing fungus. *Biology and Fertility of Soils*, *49*(4), 481-486.

Osorio, N. W., & Habte, M. (2014). Soil phosphate desorption induced by a phosphate-solubilizing fungus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *45*(4), 451-460.

Osorio, N. W., Serna, S. L., & Montoya, B. E. (2012). Use of soil microorganisms as a biotechnological strategy to enhance avocado (*Persea americana*)-plant phosphate uptake and growth. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *65*(2). 6645-6657.

Pandey, A., Trivedi, P., Kumar, B., & Palni, L. M. S. (2006). Characterization of a phosphate solubilizing microorganism and antagonistic strain of *Pseudomonas putida* (B0) isolated from a sub-alpine location in the Indian Central Himalayas. *Current Microbiology*, 53(2), 102-107.

Ramaekers, L., Remans, R., Rao I. M., Blair, M. W., & Vanderleyden, J. (2010). Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Field Crops Research*, *117*(2-3), 169-176.

Reddy, M. S., Kumar, S., & Babita, K. (2002). Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates by *Aspergillus turigensis* and *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*, *84*(2), 187-189.

Salazar-García, S. (2002). *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*. Querétaro, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), Instituto de la Potasa y el Fósforo (Inpofos).

Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., & González-Durán, I. J. L. (2007). Reciclamiento de nutrimentos por las hojas de aguacate 'Hass'. *Proceedings VI World Avocado Congress*. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/3a-102.pdf.

Salazar-García, S., Lazcano-Ferrat, I., & González-Durán, I. J. L. (2006). *Remoción de nutrimentos por la cosecha de varios cultivares de aguacate en Nayarit. Folleto técnico N.º 1*. Recuperado de https://goo.gl/48Zwq1.

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1994). *Fisiología vegetal*. México, D. F.: Grupo Editorial Iberoamérica.

Sergent, E. (1979). *Efecto de algunos macronutrientes sobre el aguacate* (*Persea americana Mill*) (Tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Serna, S., Montoya, B., & Osorio, W. (2012). Monitoreo del pH y fósforo soluble en la rizósfera de árboles de aguacate en el norte y oriente antioqueño. *Suelos Ecuatoriales*, *42*(2), 186-190.

Shiels, A. B. (2006). Leaf litter decomposition and substrate chemistry of early successional species on landslides in Puerto Rico. *Biotrópica*, *38*(3), 348-353.

Shigaki, F., Sharpley, A., & Prochnow, L. I. (2006). Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. *Scientia Agricola*, *63*(2), 194-209.

Shoji, S., Nanzyo, M., & Dahlgren, R. A. (1993). *Volcanic ash soils-genesis, properties, and utilization*. Amsterdam, Holanda: Elsevier Publishing.

Silva, A. Q., Malavolta, E., & Montenegro, H. (1982). Deficiencias de macro e micronutrientes em abacateiro (*Persea americana* Mill.) cultivado en solución nutritiva. *Proceedings American Society for Horticultural Science Region Tropical* 25, 1-5.

Singh, H., & Reddy, M. S. (2011). Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutrient uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils. *European Journal of Soil Biology*, *47*(1), 30-34.

Tamayo, A., Hincapié, M., Bernal, J., & Londoño, M. (1998). Abonamiento orgánico y químico en clon de lulo La Selva (*Solanum quitoense* Lam.) a plena exposición solar en un andisol del Oriente antioqueño. En Corporación Colombiana de Invetigación Agropecuaria (Corpoica), *Memorias Segundo Seminario Frutales de Clima Frío Moderado*. Manizales, Colombia: Corpoica.

Tamayo, A., & Muñoz, R. (1997). Abonamiento orgánico y químico del fríjol (*Phaseolus vulgaris*) en suelos aluviales de clima medio. *Suelos Ecuatoriales*, *27*, 96-99.

Tamayo, A., & Osorio, N. W. (2017). Co-inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing fungus promotes the plant growth and phosphate uptake of avocado plantlets at nursery. Botany, 95(5), 539-545. doi: https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0224.

Thompson, M. V., & Vitousek, P. M. (1997). Asymbiotic nitrogen fixation and litter decomposition on a long soil-age gradient in Hawaiian Montane Rain Forest. *Biotropica, 29*(2), 134-144.

Uchida, R., & Hue, N. V. (2000). Soil acidity and liming. En J. A. Silva & R. Uchida (Eds.), *Plant nutrient management in Hawaii's soils, approaches for tropical and subtropical agriculture* (pp. 101-111). Honolulu, EE. UU.: University of Hawaii.

Vitousek, P. M., Turner, D. R., Parton, W. J., & Sanford, R. L. (1994). Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawai'i: Patterns, mechanisms, and models. *Ecology*, *75*(2), 418-429.

Whitelaw, M. A. (1990). Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*, *69*, 99-151.

Wolstenholme B. N. (1986). Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor with special reference to avocado. *Acta Horticulturae, 175*: 121-126.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (1999). Ecophysiology of the avocado (*Persea americana* Mill.) tree as a basis for the pre-harvest management. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 5*(Especial), 77-88.

Zapata, R. (1998). La acidez del suelo. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Zapata, R., & Osorio, N. W. (2010). La materia orgánica del suelo. En H. Burbano & F. Silva (Eds.), *Ciencia del suelo: principios básicos* (pp. 357-396). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

Capítulo V

Plantas arvenses

Óscar de Jesús Córdoba Gaona

Introducción

El control de arvenses es una de las prácticas más costosas (representa entre el 20 % y el 30 % de los costos en mano de obra) y delicadas dentro del manejo sanitario en los cultivos. Sin embargo, a pesar de su gran importancia, son pocos los estudios que existen sobre su manejo y las pérdidas que causan en el rendimiento final del cultivo de aguacate.

Las plantas arvenses —comúnmente conocidas como malezas, malas hierbas, hierbas invasoras, yuyos, entre otros— se definen como plantas no deseadas que, por sus características de adaptación, agresividad, eficiencia reproductiva y supervivencia, invaden y compiten con el cultivo de aguacate por agua, luz, espacio y nutrientes. Además de la competencia por recursos, las plantas arvenses se convierten en hospederas de insectos, plagas, hongos y nematodos, todo lo cual redunda en pérdidas económicas ocasionadas por la reducción de los rendimientos y de la calidad de la cosecha.

Algunas especies de maleza como el manrubio (*Ageratum conyzoides* L.), la pata de gallina (*Eleusine indica* (L.) Gaertn) y los bledos (*Amaranthus* spp.) pueden hospedar nematodos de los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Rotylenchus* y aumentar los costos de producción, puesto que dificultan y retardan las prácticas agrícolas (Córdoba & Casas, 2003; Kissmann, 1997). No obstante, de acuerdo con Larios (1996), no todo es perjudicial, ya que algunas arvenses presentan algunos atributos o ventajas como las siguientes:

- Ayudan a controlar la erosión.
- Incrementan la cantidad de materia orgánica del suelo y mantienen el reciclaje de los nutrientes de este.
- Ayudan a conservar la humedad del suelo.
- Incrementan la diversidad de especies y le dan una mayor estabilidad al ecosistema.

Aunque la competencia que ejercen las arvenses en los cultivos es significativa, en muchas ocasiones los agricultores no son conscientes de este problema, ya que el daño ocasionado por estas es menos visible o no es tan obvio como el causado por las plagas o enfermedades.

Competencia

El manejo de arvenses en el cultivo del aguacate se considera de gran importancia durante todo el ciclo vegetativo, no obstante, en las etapas de vivero y de establecimiento, esta práctica es especialmente relevante, ya que en esta fase del cultivo se forma el sistema radical del futuro árbol. Esto se debe a que el desarrollo inicial es lento y el área foliar es limitada, lo que hace que un área significativa quede expuesta a las condiciones ambientales que favorecen la reproducción y diseminación de las malas hierbas. Los agricultores, sin embargo, suelen prestar más atención a las plantaciones en producción, pese a que el daño por competencia, como ya se anotó, es mucho mayor en huertos jóvenes (Arderi, Díaz, & Rodríguez, 1996; Gelimi, Trani, Sales, & Victoria Filho, 1994).

En vivero, las plantas arvenses ocasionan problemas durante toda la fase: desde la germinación, emergencia y permanencia de los árboles hasta su trasplante al campo definitivo, por lo cual se recomienda mantener libre de competencia los árboles de aguacate durante todo el desarrollo. En la etapa de formación, especialmente durante los dos primeros años del cultivo, las arvenses compiten por espacio, luz y agua, por

lo que se recomienda mantener por lo menos la región de debajo del árbol libre de competencia durante este tiempo.

De acuerdo con Coria (2008), se desconoce el impacto concreto que las malas hierbas ocasionan sobre la capacidad de desarrollo de la planta y sobre el rendimiento, sin embargo, se asume que los diez primeros años del cultivo son los más sensibles al efecto negativo de las malezas. Por esta razón, el periodo de competencia de estas con el cultivo del aguacate en campo se presenta desde el momento de la siembra hasta la etapa productiva, en la cual los árboles proporcionan sombra y ocupan casi la totalidad del área sobre el terreno. Después de establecido el cultivo, la competencia disminuye notablemente y las limpias se deben realizar de acuerdo con la invasión que se presente.

En el aspecto sanitario del cultivo, la alta incidencia de malezas y su presencia con alturas superiores a 30 cm reduce el efecto de los plaguicidas, lo cual disminuye el control de las plagas y hace que se incremente la frecuencia de las aplicaciones. Esto ocurre así debido a que una elevada población de malezas produce una mayor evapotranspiración, lo que genera alta humedad relativa y temperatura estable, condiciones que favorecen el desarrollo de insectos y microorganismos patógenos (Coria, 2008).

Manejo integrado

El manejo integrado se define como el desarrollo de un conjunto de prácticas o métodos encaminados a mantener la presencia de vegetación arvense dentro de un nivel inferior al que produciría pérdidas económicamente importantes. Antes de implementar un programa de manejo integrado, es necesario disponer de un inventario de plantas indeseables presentes en el cultivo, además de conocer su biología y ecología, sus hábitos de desarrollo, su modo de reproducción, el comportamiento de las semillas en el suelo, los medios de dispersión, el número de semillas por planta y su viabilidad. También es importante conocer el área invadida, la especie, el estado del cultivo, las prácticas agrícolas usuales y la capacidad económica del productor, pues estos factores inciden de manera considerable en el éxito de la aplicación del manejo integrado. Toda esta información permite tener una idea de la importancia real que tienen las plantas arvenses en un cultivo determinado y así poder determinar cómo y cuál es el momento más adecuado para su manejo (Bhowmik, 1997; Zindahl, 2007).

Las especies indeseables asociadas al cultivo del aguacate varían considerablemente de acuerdo con las diferentes regiones productoras, sin embargo, las más importantes se describen en las tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 (Córdoba & Casas, 2003; Kissmann, 1997).

Tabla 5.1. Principales especies monocotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en los climas cálidos y medios de Colombia

Familia	Nombre común	Nombre científico
Commelinaceae	Siempreviva	*Commelina diffusa* Burm. F.
Cyperaceae	Coquito	*Cyperus rotundus* L.
	Cortadera	*Cyperus ferax* L. Rich
Poaceae (Gramineae)	Gusanillo	*Setaria geniculata* P. Beauv.
	Barba de chivo	*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.
	Pasto Argentina	*Cynodon dactylon* (L.) Pers.
	Cadillo	*Cenchrus echinatus* L.
	Guardarrocío	*Digitaria horizontalis* Willd.
	Hierba de conejo	*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.
	Liendre de puerco	*Echinochloa colonum* (L.) Link.
	Pata de gallina	*Eleusine indica* (L.) Gaertn.
	Paja mona	*Leptochloa filiformis* (Lam.) Beauv.
	Pelabolsillo	*Rottboellia exaltata* L. f.
	Maciega	*Paspalum virgatum* L.
	Maciega	*Paspalum paniculatum* L.
	Braquiaria	*Brachiaria* sp.

Fuente: Elaboración propia con información tomada de Córdoba y Casas (2003) y Kissmann y Groth (1997)

Tabla 5.2. Principales especies dicotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en los climas cálidos y medios de Colombia

Familia	Nombre común	Nombre científico
Asteraceae (Compositae)	Macequia	*Bidens pilosa* L.
	Diente de león	*Emilia sonchifolia* (L.) D. C.
	Cara de vaca	*Acanthospermum hispidum* D. C.
	Amapola	*Tagetes patula* L.
	Manrubio	*Ageratum conyzoides* L.
	Cadillo	*Tridax procumbens* L.
Amaranthaceae	Bledo macho	*Amaranthus spinosus* L.
	Bledo liso	*Amaranthus dubius* Mart. Ex Thell.
Cucurbitaceae	Archucha	*Momordica cherantia* L.
Convolvulaceae	Batatilla	*Ipomea purpurea* (L.) Roth.
	Campanilla	*Ipomea hederifolia* L.
	Batatilla blanca	*Convolvulus arvensis* L.
Euphorbiaceae	Caperonia	*Caperonia palustris* (L.) St. Hil.
	Croton	*Croton lobatus* L.
	Patetortola	*Croton trinitatis* Millsp.
	Lechero	*Euphorbia heterophylla* L.
Malvaceae	Escoba	*Sida acuta* Bum. f.
	Escoba dura	*Sida rhombifolia* L.
Mimosaceae	Dormidera	*Mimosa pudica* L.
Polygonaceae	Lengua de vaca	*Rumex acetosella* L.
Rubiaceae	Tabaquillo	*Richardia scabra* L.

Fuente: Elaboración propia con información tomada de Córdoba y Casas (2003) y Kissmann y Groth (1997)

Tabla 5.3. Principales especies monodicotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en clima frío en Colombia

Familia	Nombre común	Nombre científico
Commelinaceae	Palo de agua	*Tinantia erecta* (Jacq.) Schltdl.
Cyperaceae	Cortadera	*Cyperus ferax* L. C. Rich.
Juncaceae	Junco	*Juncus* sp.
Poaceae (Gramineae)	Kikuyo	*Pennisetum clandestinum* Hochst.
	Falsa poa	*Holcus lanatus* L.
	Espartillo	*Sporobolus* sp.
	Yaraguá	*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf.
	Grama	*Paspalum* sp.
	Nudillo	*Panicum zizonoides* H.B.K.
	Andadora	*Ischaemum rugosum* Salisb.
	Avena negra	*Avena fatua* L.
	Cebadilla	*Bromus catharticus* Vahl.
	Pasto azul	*Poa annua* L.
	Ilusión	*Briza minor* L.
	Ballico	*Lolium multiflorum* Lam.
	Yerba filo	*Eragrostis* sp.
	Yerba coneja	*Digitaria horizontalis* Willd.

Fuente: Elaboración propia con información tomada de Córdoba y Casas (2003) y Kissmann y Groth (1997)

Tabla 5.4. Principales especies dicotiledóneas asociadas con el cultivo del aguacate en clima frío en Colombia

Familia	Nombre común	Nombre científico
Amaranthaceae	Amaranto, bledo	*Amaranthus* sp.
	Manrubio	*Ageratum conyzoides* L.
	Macequia	*Bidens pilosa* L.
	Botoncillo	*Galinsoga parviflora* Cav.
	Guasca	*Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav.
	Cilantrillo	*Achillea millefolium* L.
	Diente de león	*Taraxacum officinale* Web.
	Cerraja	*Sonchus oleraceus*
	Falso piretro	*Artemisa vulgaris* L.
Brassicaceae	Alpiste	*Brassica rapa* L.
	Bolsa de pastor	*Brassica bursa-pastoris* (L.) Medik.
Euphorbiaceae	Mal coraje	*Mercurialis annua* L.
Fabaceae	Trébol blanco	*Trifolium repens* L.
Malvaceae	Tarasa	*Tarasa* sp.
Melastomataceae	Niguito	*Miconia* sp.
Moraceae	Mora silvestre	*Morus* sp.
Myrsinaceae	Espadero	*Myrsine popayanensis* H. B. K.
Polygonaceae	Colanquilla	*Rumex acetosella* L.
	Lengua de vaca	*Rumex crispus* L.
	Barbasco	*Polygonum segetum* Kunth
	Corazón herido	*Polygonum nepalense* Meins.

(Continúa)

(Continuación tabla 5.4.)

Familia	Nombre común	Nombre científico
Scrophulariaceae	Té de Europa	*Veronica hederifolia* L.
	Golondrina	*Veronica persica* Poir.
Solanaceae	Lulo de perro	*Solanum* sp.
	Pensamiento	*Browallia americana* L.
Urticaceae	Ortiga grande	*Urtica dioica* L.
Verbenaceae	Verbena	*Verbena litoralis* Kunth
	Corazón negro	*Clerodendrum thomsoniae* Balf.

Fuente: Elaboración propia con información tomada de Córdoba y Casas (2003) y Kissmann y Groth (1997)

Existen varias alternativas para el manejo de malezas en el huerto, las cuales no deben aplicarse independientemente. Cuando se usa un solo método, la eficiencia se ve reducida con el tiempo y trae complicaciones para el manejo en general; por lo tanto, se aconseja la combinación de algunos de ellos. El manejo integrado de arvenses en el cultivo de aguacate se lleva cabo en tres etapas: vivero, etapa de formación y etapa de producción, en las cuales se aplican los métodos preventivos, físicos, culturales, manuales, mecánicos y químicos, entre otros.

Método preventivo

Consiste en evitar la introducción, establecimiento y diseminación de nuevas especies de malezas en lugares donde normalmente no ocurren. Un medio muy común para la diseminación de plantas indeseables es el sustrato del material de siembra, por lo cual se recomienda prestar especial atención al sustrato empleado en la etapa de vivero del cultivo (Gelmini et al., 1994).

Si las plántulas son adquiridas en fincas vecinas o viveros comerciales, se recomienda realizar una adecuada inspección de este material, para evitar que sean introducidas especies no deseables en lotes o áreas donde no existen y se puedan convertir en problemas de difícil solución. Ahora bien, si el vivero se establece en la propiedad,

se debe tener cuidado al momento de seleccionar el sustrato para tal fin: se debe identificar su procedencia y saber cuáles serían las especies potenciales que se pueden diseminar a través de este.

Métodos físicos

Son varios los métodos físicos que se pueden emplear para disminuir la interferencia de arvenses en el cultivo del aguacate. La protección de cultivos basada en la aplicación de métodos de control físico ha ganado popularidad, dado que la mayoría de las técnicas de este tipo no tienen efectos ambientales perjudiciales y en general se limitan al sitio de tratamiento y al periodo durante el cual se aplica. Además, los métodos de control físico no ponen en juego sustancias químicas o biológicas y, por lo tanto, no dejan residuos indeseables en productos alimenticios destinados al consumo humano o animal (Panneton, Vincent, & Fleurat-Lessard, 2001).

Solarización

La solarización es una técnica eficiente que controla semillas y plantas de un amplio espectro de especies arvenses anuales y perennes. También sirve para controlar plagas, enfermedades y nematodos que afectan los cultivos. La solarización se define como un proceso térmico o de calentamiento que utiliza la radiación solar. Consiste en cubrir el suelo húmedo con un plástico transparente, durante cuatro o seis semanas en los meses de mayor temperatura; la temperatura que logra el suelo durante este proceso es letal para muchos patógenos, insectos y arvenses (Horowitz, Regev, & Herzlinger, 1983).

Coberturas o cultivos intercalares

Esta práctica contempla la siembra de cultivos o coberturas vivas en las áreas descubiertas en el cultivo de aguacate, con el fin de maximizar el uso de la tierra y evitar el desarrollo de las arvenses, principalmente, en huertos jóvenes.

Durante los primeros cuatro años del cultivo, se recomienda la siembra de cultivos de porte bajo como fríjol, soya, piña y maíz, entre otros, los cuales pueden ser plantados en las áreas libres o calles del cultivo. En plantaciones adultas, existen malezas de poco crecimiento y de raíces superficiales que casi no compiten con el árbol de aguacate, sino que, por el contrario, evitan la pérdida de humedad en el suelo en épocas secas y la excesiva erosión en épocas lluviosas.

Plásticos

Al cubrir el suelo con plásticos negros se logra un efecto negativo sobre el desarrollo de la vegetación arvense debido a la ausencia de luz. Según Malo (1976), este método es relativamente costoso y muy laborioso; los plásticos negros y otras coberturas sintéticas deben ser evaluadas localmente para determinar su relación costo-beneficio. El éxito de las coberturas plásticas depende de su correcta ubicación; se recomienda colocarlas en forma de "ruana" en la base del tallo del árbol, para prevenir el crecimiento de arvenses en esta área, especialmente, en árboles jóvenes.

Coberturas muertas o mantillo (*mulch*)

El uso de restos de vegetación (mantillo o *mulch*) puede producir un efecto similar al del plástico negro; además, los residuos vegetales ofrecen la ventaja adicional de mejorar la estructura del suelo y, en algunos casos, suprimir las arvenses por la liberación de toxinas. Las coberturas para el aguacate establecen condiciones especiales en el suelo, que favorecen el desarrollo de los árboles y la producción del cultivo. Algunos trabajos indican que el tamaño del árbol y la producción son mayores con coberturas que con la aplicación de herbicidas (Reyes, Alarcón, & Ferrera-Cerrato, 1994). El uso de coberturas es una práctica ventajosa que disminuye el uso de productos químicos (herbicidas y fertilizantes) y satisface, en parte, las demandas nutricionales de los árboles (figura 5.1).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 5.1. Uso de coberturas vegetales o mantillo en aguacate. a. Uso de cobertura vegetal en cultivos jóvenes. b. Uso de residuos vegetales de la desyerba en el plato del árbol (*mulch*), en cultivos adultos de aguacate.

Las coberturas sintéticas y los residuos de cosecha también disminuyen el riesgo de problemas fitosanitarios, pues contribuyen a evitar el uso de herramientas para el control de plantas indeseables en las áreas próximas al tallo del árbol, donde se concentra el mayor número de raíces de la planta.

Métodos culturales

Las prácticas culturales son una herramienta muy importante y de gran utilidad, que busca dar condiciones favorables para el establecimiento del cultivo, para su desarrollo vigoroso y la competencia exitosa con las plantas arvenses. Se destacan las siguientes: buena preparación del terreno, plantas de buena calidad, densidad óptima de siembra, siembra oportuna, control de plagas y enfermedades y niveles adecuados de fertilización (Cerna, 1994).

Método manual o mecánico

El control manual o mecánico es un método práctico y eficaz; sin embargo, su éxito depende de lo oportuno de su realización y, principalmente, de la disponibilidad y costo de la mano de obra en las diferentes regiones. Debido a la alta competencia que las arvenses ejercen en los primeros estados de desarrollo de los árboles de aguacate, uno de los métodos de protección más efectivos consiste en realizar un primer plateo amplio como se ilustra en la figura 5.2, de unos 100 cm, inmediatamente después del trasplante. Este debe hacerse dejando libre de malezas toda la zona alrededor del árbol, con el fin de disminuir la competencia inicial y reducir el número de desyerbes en esta área (Coria, 2008; Jordan, 1990). Posteriormente, se debe realizar un control cada dos o tres meses, momentos antes de la fertilización.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 5.2. Plateo amplio después del trasplante.

Una vez establecido el cultivo, se debe realizar el control por medios mecánicos con cuidado de no producir lesiones en el sistema radical, pues este es bastante vulnerable a los ataques de patógenos del suelo, que se ven favorecidos cuando encuentran puertas de entrada a la planta. Una de las principales enfermedades del aguacate es la marchitez causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi*, la cual se ve favorecida cuando se ocasiona este tipo de lesiones. Por lo tanto, el control de malezas en el área del plato se debe hacer manualmente, a través de un macheteo bajo. En todos los casos, se debe evitar el uso de azadón (Mossler & Nesheim, 2001).

En huertos en formación, donde el sistema radical del árbol ocupa un área relativamente pequeña, el manejo de plantas arvenses con implementos mecánicos es una alternativa, ya que con esta práctica no se afectan las raíces superficiales; sin embargo, el uso continuo de máquinas agrícolas dentro de los huertos tiende a compactar el suelo y a favorecer encharcamientos y pudriciones radicales. En las calles del cultivo se recomienda realizar el control de malezas con machete o guadaña (figura 5.3). Los residuos resultantes deben ser acumulados en el área próxima al tallo de los árboles de aguacate, como cobertura muerta o mantillo. En plantaciones adultas o en producción, se recomienda el uso de guadañas o herbicidas para el manejo de las plantas indeseables, tanto en la calle como en el área debajo del árbol.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 5.3. Control mecánico (guadaña) en las calles del cultivo.

Métodos químicos

Se debe recordar que este método no es el más importante y más efectivo, pero puede emplearse como complemento de los otros (preventivos, físicos, culturales, mecánicos y manuales), ya que, mediante su combinación con estos, es posible solucionar con éxito ciertas situaciones que se presenten. Cuando los herbicidas se usan correctamente, pueden ser eficientes en el control, pero, cuando son usados de forma inadecuada, sus componentes pueden causar pérdidas económicas en el cultivo y, sobre todo, daños irreparables al medioambiente (Córdoba & Casas, 2003).

Un aspecto importante es que los herbicidas son elaborados para controlar un determinado grupo de arvenses en un cultivo, durante una época específica y con una dosis que asegure efectividad en el control. Se debe tener en cuenta, entonces, que el uso generalizado de un mismo producto químico implicará cambios en la población de plantas arvenses existentes, hasta el punto de que el tratamiento se puede volver ineficiente. En todo caso, en áreas extensas, donde la disponibilidad y el costo de la mano de obra son factores limitantes para el control manual o mecánico de arvenses, el control químico es una alternativa económica para el manejo de estas especies.

Los herbicidas se clasifican, según su forma de acción, en herbicidas de contacto y sistémicos, y según la época y forma de aplicación, en preemergentes o posemergentes. Los herbicidas de contacto son aquellos que afectan solo las partes de las plantas que han sido cubiertas con la aspersión (Akobundu, 1997). Estos deben ser aplicados con volúmenes de agua generalmente mayores que otro tipo de productos. Los herbicidas sistémicos son aquellos que, después de ser asperjados, penetran en la planta y se movilizan para ejercer su efecto lejos del sitio de aspersión.

Los herbicidas preemergentes son aquellos que se aplican después de la siembra de las semillas de los cultivos, pero antes de que las plántulas emerjan a la superficie del suelo; los posemergentes se aplican después de la emergencia. De acuerdo con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2019), en Colombia, para el control químico de arvenses en el cultivo de aguacate, existen varios productos que se utilizan dependiendo de la edad del cultivo y el tipo de productor (tabla 5.5). Se recomienda consultar al personal técnico con conocimiento en el tema, antes de realizar cualquier aplicación de un herbicida (Akobundu, 1997).

Tabla 5.5. Herbicidas no selectivos empleados en el control de arvenses para el cultivo de aguacate

Herbicida	Concentración /Dosis	Momento de aplicación	Arvenses controlados	Modo de acción
Glufosinato de amonio	150 g/L (1,5 L/ha)	Posemergencia	Gramíneas y arvenses de hoja ancha	Inhibe enzima glutamina sintetasa
Paraquat	200 g/L (1,5-3,0 L/ha)	Posemergencia	Gramínea y hoja ancha	Inhibe FI en la fotosíntesis

Fuente: Adaptado de ICA (2019)

En plantaciones jóvenes, la aplicación de herbicidas puede ser perjudicial para el cultivo de aguacate, ya que su uso puede causar problemas de toxicidad en los árboles. Sin embargo, el uso de paraquat para el control de arvenses en las calles del cultivo puede ser aconsejable, siempre y cuando su aplicación se realice adecuadamente y con protección, por medio de pantallas (Coria, 2008; Pitty & Muñoz, 1993).

En plantaciones adultas superiores a los dos años se pueden utilizar los herbicidas listados en la tabla 5.5 para el control de arvenses en las calles del cultivo. Autores como Jordan & Jordan (1987) y Mossler & Nesheim (2001) recomiendan aquellos a base de diuron y simaniza para el control en el plato o área debajo del árbol (figura 5.4).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 5.4. Control de arvenses en el plato con el uso de herbicidas.

Método biológico

Como parte del método biológico, el mismo cultivo impone cierta competencia a las plantas arvenses. Lamentablemente, en plantaciones de aguacate aún no es posible la utilización de métodos biológicos, como insectos o patógenos, para el control de malezas. Actualmente, no existen a nivel práctico o comercial agentes de biocontrol de las malezas para utilizar en estos sistemas, por lo cual, en realidad, los esfuerzos deben dirigirse a la combinación de los métodos culturales, manuales, mecánicos y químicos.

Consideraciones finales

No se recomienda mantener el suelo desnudo, ya que en estas condiciones está sujeto a la erosión; es mejor tener un cultivo de cobertura, que preferiblemente aporte nitrógeno y compita con las plantas no deseadas entre los árboles.

Son varias las alternativas para el manejo de la vegetación arvense en el huerto, las cuales no se deben aplicar de forma independiente, sino en combinación, para evitar que se presenten complicaciones para el manejo general del cultivo.

Los métodos seleccionados para el manejo de plantas arvenses en un determinado cultivo dependen en gran medida de las posibilidades y de los gustos del productor. La toma de decisión por uno o más métodos debe obedecer fundamentalmente a criterios técnicos y a la necesidad de preservar el medioambiente; sin embargo, se deben considerar también las situaciones específicas del cultivo y las posibilidades de ejecución por parte de los agricultores.

Referencias

Akobundu, I. (1997). *Weed science in the tropics. Principles and practices* (pp. 522). Great Britain: John Wiley and Sons.

Arderi, P., Díaz, J. A., & Rodríguez, T. (1996). *Fruticultura tropical* (pp. 208). Bogotá: Icfes.

Bhowmik, P. (1997). Weed biology: Importance to weed management. *Weed Science*, *45*(3), 349-356.

Cerna, L. A. (1994). *Manejo mejorado de malezas* (pp. 320). Perú: Concytec.

Córdoba, O., & Casas, H. (2003). *Principales arvenses asociadas al cultivo de fríjol en la Región Andina* (pp. 40). Bogotá: Corpoica y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Coria, V. M. (2008). Manejo de malas hierbas. En autor (ed.) *Tecnología para la producción de aguacate en México* (pp. 155-166). Michoacán, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Pacifico Centro.

Gelmini, A., Trani, E., Sales, L., & Victoria Filho, R. (1994). *Manejo integrado de plantas daninhas* (pp. 23). Sao Paulo: Instituto Agronomico Campinas.

Horowitz, M., Regev, Y., & Herzlinger, G. (1983). Solarization for weed control. *Weed Science*, *31*(2), 170-179.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019). *Registros-nacionales-pqua-15- 04-09*. Recuperado de https://www.ica.gov.co/getdoc/d3612ebf-a5a6-4702-8d4b-8427c1cdaeb1/registros-nacionales-pqua-15-04-09.aspx.

Jordan, L. S., & Jordan, C. M. (1987). Herbicide use for weed control in avocado culture. *South African Avocado Growers' Association Yearbook 1987*, *10*, 69-71.

Jordan, S. (1990). Vegetation management in avocado. *California Avocado Society 1989 Yearbook*, *73*, 63-64.

Kissmann, K. G., & Groth, D. (1997). *Plantas infestantes e nocivas*. Sao Paulo: BASF.

Larios, Z. C. (1996). *Ecología y control de la flora arvense*. Documento presentado en el II Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Pamplona, Iruña.

Malo, S. E. (1976). Weed control in avocado orchards. In J. W. Sauls, R.L. Phillips and L.K. Jackson (eds.) *Proceedings of the First International Tropical Fruit Short Course: The Avocado* (pp. 73-75). Gainesville, Florida: University of Florida.

Mossler, M. A., & Nesheim, O. N. (2001). *Florida crop / Pest management profile: Avocado*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/253989447_Florida_CropPest_Management_Profile_Pecan1.

Panneton, B., Vincent, C., & Fleurat-Lessard, F. (2001). Plant protection and physical control methods the need to protect crop plants. In F. Fleurat-Lessard (Ed.), *Physical control methods in plant protection* (pp. 9-32). Berlin, Heidelberg: Springer.

Pitty, A., & Muñoz, R. (1993). *Guía práctica para el manejo de malezas* (pp. 223). Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.

Reyes, J. C., Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (1997). *Uso de coberteras en el cultivo de aguacate (Persea americana Mill.): efectos en nutrición y fitosanidad*. Recuperado de https://goo.gl/KcjSKz.

Zimdahl, R. (2007). *Fundamentals of weed science* (pp. 666). Burlington, EE. UU.: Ed. Elsevier.

Capítulo VI

Insectos y ácaros

Takumasa Kondo
Arturo Carabalí Muñoz
Ana Milena Caicedo Vallejo
Édgar Herney Varón Devia
Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Introducción

Los insectos siempre están asociados con la producción de vegetales. La gran mayoría de ellos son inofensivos o benéficos, y unos cuantos se consideran plagas porque causan daños cuyo costo es mayor que la estrategia de manejo. Las propiedades alimenticias del aguacate y la apetencia por este producto en Colombia generan una responsabilidad en la toma de decisiones de manejo de plagas, ya que sus frutos se consumen directamente como alimento fresco. Algunos insectos encontrados en aguacate son plagas de importancia económica, ya que afectan los rendimientos o la calidad del fruto a cosechar; otros pueden ser vectores o transmisores de enfermedades. Por lo tanto, conocer los insectos dañinos es el primer paso.

El manejo de las plagas constituye una de las tareas básicas que debe ser realizada con prontitud y eficacia. Entre las principales plagas que atacan el aguacate, se encuentran los de hábitos chupadores, tales como

Monalonion, trips, insectos escama, cochinillas harinosas, pulgones y ácaros. Así mismo, están los de hábitos masticadores como los perforadores de frutos y semillas, y los barrenadores de troncos y ramas, que tienen un mayor impacto económico por el tipo de daño que producen y por las restricciones cuarentenarias que provocan para la exportación. Por lo anterior, es preciso continuar con investigaciones que lleven a determinar los niveles de daño económico, los umbrales de acción y la epidemiología de las principales plagas, como base para la generación de modelos de manejo integrado de estas. Con esto se podrá reducir el número de aplicaciones de plaguicidas, bajar los costos del cultivo y aumentar la producción.

Este capítulo contiene resultados de investigación logrados mediante la financiación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) acerca de la identificación de especies, el conocimiento de la biología, la caracterización de los daños y la generación de estrategias de manejo de algunas de las más importantes especies de insectos y ácaros que atacan el cultivo del aguacate. El estudio fue realizado por cinco autores: Takumasa Kondo escribió sobre insectos escama, incluyendo las cochinillas harinosas; Arturo Carabalí Muñoz, sobre los pasadores del fruto; Ana Milena Caicedo Vallejo, sobre pasadores del tallo y ramas; Édgar Herney Varón Devia y Takumasa Kondo, sobre trips, y Martha Eugenia Londoño Zuluaga sobre *Monalonion* y las demás plagas. Este capítulo tiene por objeto dar a conocer las plagas de mayor presencia en el cultivo de aguacate, que causan reducción del vigor y la producción, así como las estrategias adecuadas para su manejo.

Consideraciones generales sobre el uso de insecticidas

La utilización de productos químicos para el control de artrópodos plaga (ácaros e insectos) requiere un cuidado especial. De acuerdo con Ramos (2004), la utilización de plaguicidas es un procedimiento que regularmente provoca excesos y dependencia por su alta eficacia y facilidad de uso. Para un manejo racional de estos, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Correcto diagnóstico del problema y evaluación del nivel de infestación o daño
- Selección del producto adecuado
- Dosificación correcta
- Aplicación en el momento oportuno
- Aplicación correcta, que implica, entre otros, la calibración del equipo, la distribución uniforme y la cobertura adecuada (estas dos últimas características se

consiguen gracias al uso de equipos y boquillas apropiadas, al trabajo de operarios conscientes y capacitados para tal fin, y a la utilización de volúmenes de agua pequeños)
- Manejo de la resistencia: adopción de un esquema de rotación de productos de diferentes mecanismos de acción para prevenir el desarrollo de resistencia por parte de los artrópodos o insectos plaga
- Normas de seguridad para evitar daños a los usuarios, consumidores y al medioambiente
- Tener en cuenta las instrucciones precisas que aparecen en las etiquetas de los plaguicidas, pues estas garantizan un uso seguro y eficaz de los productos, ya que son el resultado de largos años de investigaciones cuidadosas

Insectos del fruto

Barrenador grande de la semilla de aguacate

Arturo Carabalí Muñoz

***Heilipus lauri* (Boheman) (Coleoptera: Curculionidae)**

Descripción e importancia

Heilipus es el género con el mayor número de especies asociadas a aguacate; se reportan ocho especies en el continente americano: *H. apiatus* Oliver, *H. lauri* Boheman, *H. albopictus* Champion, *H. pittieri* Barber, *H. trifasciatus* Fabricius, *H. elegans* Guerin-Menéville, *H. catagraphus* Germar y *H. rufipes* Perty. Las larvas y adultos se alimentan de tallos, ramas y frutos, destruyéndolos en su totalidad (Castañeda-Vildózola et al., 2007). En Colombia, Rubio, Posada, Osorio, Vallejo y López (2009) identificaron al *H. elegans* alimentándose de la corteza del tallo de aguacate.

El *Heilipus lauri* se encuentra en Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y Perú, con distribución restringida. En contraste, en Belice, Guyana, Panamá y Venezuela su distribución es amplia (Medina-Quiroz, 2005; European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO], 2012; Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [Senasica], 2012).

En Colombia, durante el 2010 y el 2011, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) realizaron muestreos sistemáticos que permitieron corroborar su presencia en las principales zonas productoras del país con un amplio rango altitudinal (Carabalí, 2011; ICA, 2012). Se encontró a partir de los 400 m s. n. m. en el municipio de Armero, hasta los 2.000 m s. n. m. en el municipio de Herveo, departamento del Tolima, y en Antioquia, en el municipio de Rionegro, a 2.450 m s. n. m. (Carabalí, 2011; Hoyos & Giraldo, 1984).

En el departamento del Valle del Cauca se registró entre los 900 m s. n. m. en los municipios de Palmira y Candelaria, y hasta los 1.920 m s. n. m. en el municipio de El Cerrito. En Caldas, se encontró en los municipios de Anserma y Villamaría entre los 1.580 m s. n. m. y los 2.069 m s. n. m. En Risaralda, en los municipios de Pereira y Santa Rosa de Cabal hasta los 1.690 m s. n. m., y en el Quindío, en los municipios de Filandia y Salento, entre los 1.527 m s. n. m. y los 1.979 m s. n. m. respectivamente (Carabalí, 2011).

Descripción de los estados de desarrollo

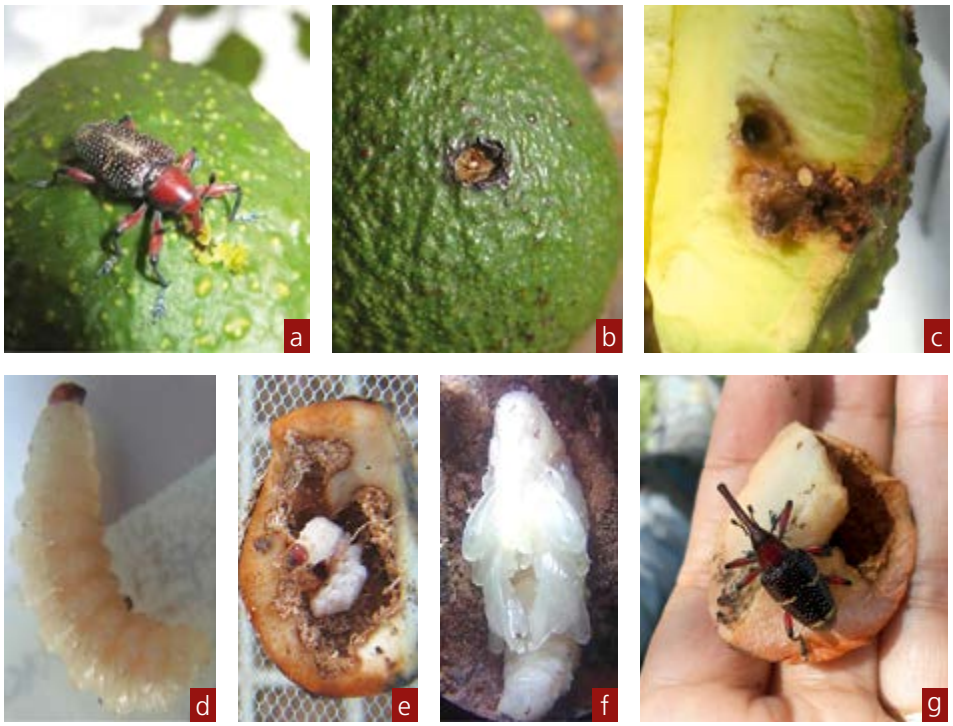
El adulto es de color negro o marrón oscuro brillante, con dos bandas amarillas incompletas de forma alargada que se extienden de lado a lado en los élitros (figura 6.1). Estas manchas caracterizan a la especie *H. lauri* y la diferencian de otras especies como *H. pittieri* y *H. trifasciatus*. El insecto mide entre 14 a 17 mm de largo. Las hembras de *H. lauri* presentan el rostrum o pico más curvo, largo (14,5 ± 0,5 mm) y grueso, comparado con el de los machos (12,5 ± 0,6 mm) (Caicedo, Varón, Bacca, & Carabalí, 2010) (figura 6.1).

Foto: Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.1. Adulto del barrenador grande de la semilla (*H. lauri*) sobre un fruto de aguacate.

La hembra deposita sus huevos bajo la epidermis de los frutos en crecimiento, elaborando una abertura en forma de medialuna donde deposita de uno a dos huevos (figuras 6.2a, 6.2b y 6.2c). Los huevos son ovalados, de 1 a 2 mm de largo, y cambian de color verde pálido a crema-café a medida que maduran. Transcurridos 12 a 15 días después de la oviposición, la larva atraviesa la pulpa hasta la semilla, donde se alimenta y transcurre su estado de larva y pupa; algunas veces la larva cae y empupa en el suelo (Caicedo et al., 2010).

La larva es de color blanco opaco, ápoda, del tipo curculioniforme, de cuerpo robusto curvado y cápsula cefálica café oscuro (figura 6.2d). El *Heilipus lauri* pasa por cinco estadios larvales y durante su desarrollo ocurre una descomposición de la pulpa y eventualmente de la semilla (figura 6.2e), lo que ocasiona caída prematura de frutos. Cuando la larva está próxima a empupar mide de 15 a 25 mm de longitud. La pupa es de forma oval, de color blanco cremoso y descubierta, tipo exarata (figura 6.2f). Los adultos se alimentan de hojas, yemas, brotes y frutos (figura 6.2g) (Caicedo et al., 2010; Castañeda, 2008; Ebeling, 1950).



Fotos: Arturo Carabalí Muñoz y Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.2. Barrenador grande de la semilla de aguacate *H. lauri*. a. Adulto elaborando una ranura para ovipositar; b. Huevo y sitio de oviposición en un fruto de aguacate cv. Hass; c. Huevo y sitio de oviposición en un aguacate tipo papelillo; d. Larva; e. Prepupa; f. Pupa; g. Adulto.

El ciclo completo del *H. lauri* dura entre 72 y 80 días (26 ± 2 °C, 60-70 % HR) y los adultos presentan una longevidad entre 181 a 464 días (Castañeda, 2008). Estudios realizados en plantaciones del departamento del Tolima a partir de la recolección de frutos perforados y el seguimiento bajo condiciones de laboratorio (26,1 ± 0,33 °C, 71 % HR) permitieron registrar un tiempo de desarrollo de larva a pupa de 65,35±1,42 días, y de pupa a adulto de 15,14 ± 0,33 días para un total de 80,14 ±1,36 días (Caicedo et al., 2010).

Síntomas

Este insecto es uno de más perjudiciales en el cultivo del aguacate. La larva ocasiona pudrición de la pulpa y destruye parcial o totalmente la semilla, ocasionando la caída del fruto. Algunas veces la semilla se encuentra convertida en aserrín (Garbanzo, 2011).

El principal daño del adulto es la perforación del fruto para ovipositar (figuras 6.3a y 6.3b). La forma de la perforación en la epidermis es oval, con un diámetro promedio de 4,4 ± 0,8 mm. El número de perforaciones por fruto varía dependiendo del nivel de infestación: se encuentran de una a cinco por fruto (Caicedo et al., 2010).

El fruto con síntomas de daño por *H. lauri* se caracteriza por el orifico de apertura y la presencia de excretas en forma de resina (figura 6.4a). Las larvas, antes de barrenar la semilla, pasan por la pulpa del fruto produciendo un líquido blanquecino que escurre por los orificios de entrada, el cual se cristaliza y forma una costra de color blanco (figuras 6.4a y 6.4b) (Carabalí, 2011).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.3. Perforaciones de *H. lauri* en aguacate cv. Hass. a. Daño externo; b. Daño interno.

Fotos: Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.4. Daño causado por el perforador grande del fruto *H. lauri* en aguacate cv. Hass. a. Orificio de apertura y presencia de excretas en forma de resina; b. Líquido blanquecino cristalizado.

Condiciones favorables

Este insecto plaga ataca principalmente frutos pequeños de 3 a 4 cm de diámetro (ICA, 2012).

Manejo

La principal recomendación de manejo consiste en utilizar material de siembra proveniente de viveros registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), que cumplan con los parámetros de calidad agronómica, genética y fitosanitaria exigidos por esta institución. Además, es necesario implementar un plan de manejo integrado de plagas (MIP), bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo (ICA, 2012).

La vigilancia periódica de los frutos de aguacate es recomendable para detectar los niveles de infestación. Se debe recorrer el lote en forma de zigzag o en W. Evaluar el 10 % del número total de árboles por hectárea, con una unidad de muestreo de 10 frutos/árbol adheridos al árbol o caídos al suelo. Si los frutos están adheridos al árbol, se seleccionan aquellos que tengan un diámetro de 3 a 5 centímetros. De igual manera, es necesario revisar frutos de mayor desarrollo que presenten síntomas de daño.

Los frutos colectados se deben partir para confirmar la presencia de estados inmaduros de *H. lauri*. La detección de adultos se realiza seleccionando una rama expuesta al sol, se coloca un plástico de color blanco de 2 × 2 m debajo de esta, se agita vigorosamente la rama y se cuenta el número de adultos que caen (Senasica, 2012).

Con los datos obtenidos, se calcula el porcentaje de infestación, utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Infestación} = \frac{\text{N.º de frutos con daño}}{\text{N.º de frutos totales muestreados}} \times 100$$

Un ejemplo de este cálculo sería: si se tiene una finca con distancia de siembra 7 × 7 m y sembrados en triángulo (tres bolillos), se tendrán entonces 235 árboles/ha. El muestreo deberá hacerse en 24 árboles. Se deben recoger 240 frutos para la muestra. Cuando se encuentren cinco frutos con daño de *H. lauri*, la infestación será de 5/240 × 100 = 2 %.

En caso de encontrar el insecto o síntomas asociados a su presencia, se debe reportar en la oficina del ICA más cercana (ICA, 2012). El establecimiento de un programa de manejo de *H. lauri* se basa en la estrategia de manejo de focos de infestación, para lo cual se deben marcar los árboles y delimitar el área para la aplicación de las medidas de manejo (Carabalí, 2011; Senasica, 2012).

El manejo cultural es el primer paso y el más importante de todos. Se requiere la recolección de frutos infestados (figura 6.5a) y la elaboración de una fosa de un metro de profundidad, donde se depositan, se entierran (figura 6.5b) y se cubren con una capa de suelo de 25 a 30 cm, bien compactada (Carabalí, 2011).

Fotos: Arturo Carabalí Muñoz y Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.5. Recolección y manejo de aguacates infestados. a. Recolección de frutos; b. Entierre de frutos infestados.

Evaluaciones sistemáticas realizadas por Orjuela (2011) sobre la implementación del entierre de frutos durante 12 meses permitieron cuantificar los frutos infestados a través del tiempo. Los resultados revelaron que la infestación inicial del 10 % por insectos perforadores se redujo al 0 % después de la sexta semana de recolección y entierre de frutos afectados, mientras que en la parcela sin este tratamiento el porcentaje de infestación aumentó del 20 % al 38 %. De este modo se corrobora la importancia de la práctica y su utilidad en condiciones del trópico colombiano para disminuir la población de *H. lauri* y el número de frutos infestados en el tiempo (Carabalí, 2011).

Investigaciones conducidas por AGROSAVIA y la Universidad de Nariño permitieron concluir que la práctica cultural del plateo también disminuye la población de perforadores del fruto (Caicedo et al., 2010). El productor de aguacate debe enfocar más su atención a la práctica cultural de plateo a los 3,5 meses después del amarre del fruto para propiciar condiciones desfavorables para la plaga y reducir los niveles de infestación (Martínez, 1994).

Es importante destacar que el manejo con insecticidas no es viable una vez el fruto está perforado. Solo se recomienda control químico en las primeras etapas de formación del fruto, cuando se tienen registros de infestación de cosechas anteriores (ICA, 2012). La disponibilidad de productos químicos de bajo impacto ambiental para el control de *H. lauri* es escasa. Evaluaciones de insecticidas de nueva generación, realizadas por Orjuela (2011) y Carabalí (2011), mostraron que las aplicaciones de tiametoxan (10 g/20 L) fueron las más eficientes, con una reducción del 25 % de frutos afectados después de 20 días de aplicación, mientras que aplicaciones con buprofezin y lunefuron (1 cm^3/L) no mostraron ningún efecto significativo sobre la reducción de los frutos afectados. Es necesario utilizar productos químicos con registro ICA, conocer el cumplimiento de los periodos de carencia y mantener la supervisión de un ingeniero agrónomo, cuando se hace un manejo con insecticidas.

Para el control biológico se recomienda aplicar los hongos *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. y *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff), con actividad biocida demostrada sobre *H. lauri*, en mezcla con un coadyuvante (aceite agrícola), dirigidos al suelo y al follaje. Esta medida de manejo se usa de manera preventiva y curativa, en combinación con el control cultural y químico. Para una mayor efectividad, la aplicación de hongos entomopatógenos debe hacerse con condiciones de humedad del 70-80 % y 25-28 °C de temperatura (Senasica, 2012).

La presencia en campo de parasitoides o depredadores de larvas y adultos del barrenador grande de la semilla es poco conocida; sin embargo, en muestreos realizados en la zona cafetera durante el segundo semestre del 2011 por la Dirección Técnica de Epidemiología del ICA se encontró un parasitoide de larvas *Xyphosomella* sp. gr. *brasiliensis* (Ichneumonidae: Cremastinae) (figuras 6.6a y 6.6b) (Caicedo, citado en ICA, 2012; Senasica, 2012).

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.6. *Xyphosomella* sp., parasitoide de larvas de *H. lauri*. a. Macho adulto; b. Hembra adulta con ovipositor plegado.

Polilla de la semilla de aguacate

Arturo Carabalí Muñoz

***Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Elachistidae)**

Descripción e importancia

La polilla de la semilla de aguacate, *Stenoma catenifer* (figura 6.7), originaria de la región neotropical, tiene como únicos hospederos conocidos especies de la familia Lauraceae; la principal es la *Persea americana*, sobre la cual ocasiona daños de importancia económica. Otros hospederos incluyen a *P. schiedeana* y a otras plantas silvestres del género *Persea*, *Beilschmiedia* spp. y *Chlorocardium rodei* (Centre for Agricultural Bioscience International [CABI], 2005; Cervantes, 1999; Ebeling, 1959).

Foto: Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.7. Adulto de *Stenoma catenifer.*

La *Stenoma catenifer* se encuentra en Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, México, Panamá, Perú y Venezuela (Ebeling, 1959; CABI, 2005). En Colombia se tienen registros en el Valle del Cauca, entre los 900 m s. n. m., en los municipios de Palmira y Candelaria, y hasta los 1.920 m s. n. m. en El Cerrito, sobre los cultivares Trapp y Hass respectivamente. En Caldas se encontró en los municipios de Anserma y Villamaría, entre los 1.580 y los 2.069 m s. n. m. En Risaralda, hasta los 1.690 m s. n. m. en el municipio de Pereira y Santa Rosa de Cabal, y en Quindío, en los municipios de Filandia y Salento, entre los 1.527 y los 1.979 m s. n. m. respectivamente. La presencia de la polilla *S. catenifer* en diferentes localidades de las principales zonas productoras del país sugiere que la altura sobre el nivel del mar no es un factor determinante en la infestación de frutos de aguacate (Carabalí, 2011).

El adulto es una polilla de hábitos nocturnos, con un rango de extensión alar entre 28 y 25 mm. La cabeza está provista de un penacho con abundantes escamas erizadas de color café rojizo. Las antenas son filiformes, de color amarillo o gris claro, con 54 segmentos en los machos y 52 en las hembras. El palpo labial es largo y extendido hacia arriba, y está constituido por tres segmentos cubiertos con escamas de color claro. El tórax está cubierto por escamas de color café pajizo, las cuales son más claras en la parte ventral (Servicio Nacional de Sanidad Agraria [Senasa], 2006).

Al momento de la emergencia, la polilla presenta una coloración amarilla que se va tornando grisácea, y en las alas anteriores se aprecian 25 puntos de color negro que forman una S invertida (figura 6.8). En el estado adulto se observa dimorfismo sexual, el frénulum (un filamento que, procedente del ala anterior, interactúa con

las barbas de la posterior) consta de tres espinas largas y esclerotizadas en la hembra y de una sola espina en el macho, el cual también posee cilios abundantes en las antenas, que las hembras no poseen. El rango de longevidad es de tres a seis días y una relación de hembras de 1,21. La hembra tiene una fecundidad promedio de 240 huevos que llegan a afectar entre ocho y doce frutos (Carabalí, 2011; Manrique, Carabalí, Kondo, & Bacca, 2014).

Fotos: Arturo Carabalí Muñoz

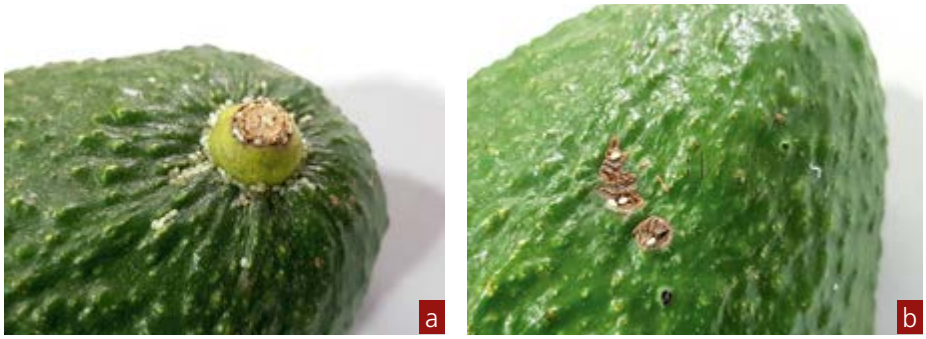
Figura 6.8. Características de las alas de *S. catenifer*. a. Adulto de la polilla con las alas en posición natural; b. Adulto con las alas desplegadas.

Los huevos son ovalados, con superficie rugosa y estrías longitudinales. Son de tamaño pequeño, con 0,4 mm de diámetro y 0,6 mm de largo en promedio. Recién ovipositados, son de color verde claro; en el proceso de maduración se tornan de color blanco cremoso y antes de la eclosión una parte adquiere una coloración café (figura 6.9) (Senasica, 2012).

Foto: Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.9. Huevos de *S. catenifer*.

La hembra coloca los huevos de manera individual o gregaria sobre grietas, hendiduras o puntos necróticos del tallo (figura 6.10), en la epidermis del fruto o el pedúnculo, en la inserción de este último con el fruto y con una marcada preferencia en las fisuras de las ramas. La presencia de huevos se observa a los 2,5 días después de la emergencia de adultos (Carabalí, 2011; Manrique et al., 2014).



Fotos: Arturo Carabalí Muñoz y Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.10. Sitios de oviposición de *S. catenifer* en el aguacate. a. En la inserción del pedúnculo con el fruto; b. En la corteza del fruto.

Las larvas pasan por cinco estadios: el primero es de color crema pálido a nivel dorsal y de color violeta claro a nivel ventral; a medida que se desarrolla el segundo, tercer y cuarto estadio, la tonalidad violeta se torna de mayor intensidad. En el quinto estadio las larvas adquieren una coloración violeta en la parte dorsal y azul turquesa en la parte ventral (figuras 6.11a y 6.11b) (Carabalí, 2011; Manrique et al., 2014).

Fotos: Arturo Carabalí Muñoz y Ana Milena Caicedo Vallejo

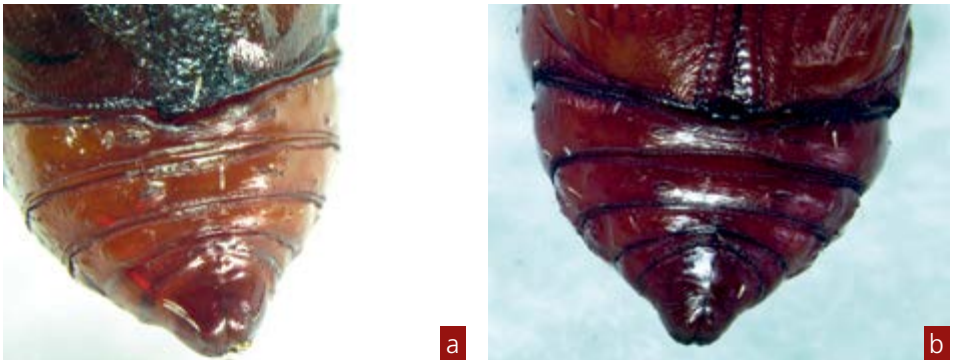
Figura 6.11. Larvas del 5.º instar de *S. catenifer*. a. Vista dorsal; b. Vista ventral.

Las larvas alcanzan una longitud promedio de 22 mm, son casi inmóviles y generalmente abandonan el fruto y se entierran en el suelo, a una profundidad de 0,5 a 2,0 cm, donde tejen un capullo frágil para empupar; otras lo hacen dentro de la semilla. El tiempo promedio de duración del estadio larval es de 19 a 21 días (Senasica, 2012). El tiempo de desarrollo de larva de quinto instar a prepupa es de 1,25 ± 0,04 días. La prepupa se caracteriza, en las primeras etapas, por presentar una coloración azul turquesa llamativa (figura 6.12a), que se torna más oscura al final de su desarrollo (figura 6.12b). Esta etapa transcurre en un corto periodo de tiempo, y bajo condiciones de laboratorio se registra un rango de duración entre 2,30 y 5,04 horas (Carabalí, 2011; Manrique et al., 2014).

Fotos: Arturo Carabalí Muñoz y Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.12. Estados inmaduros de *S. catenifer*. a. Prepupa en estado inicial; b. Pupa.

La pupa es de color café, con unas hebras de seda ligeras y débiles; es de tipo obtecta (pupa o crisálida que poseen los lepidópteros en la cual las alas y los apéndices están comprimidos sobre el cuerpo y casi la mayoría de los segmentos abdominales son inmóviles) (figura 6.13a); presenta dimorfismo sexual, caracterizado por la presencia, en los machos, de un esclerito (placa endurecida de cutícula, formada por quitina y proteínas, que forma parte del exoesqueleto y se encuentra delimitada por suturas, surcos o articulaciones) en el último segmento abdominal (figuras 6.13a y 6.13b). El desarrollo de la pupa se cumple en un tiempo promedio de 10,6 ± 0,24 días (Carabalí, 2011; Manrique et al., 2014).



Fotos: Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.13. Dimorfismo de pupa de *S. catenifer*. a. Macho; b. Hembra.

Síntomas

La presencia de *S. catenifer* es detectada por los desechos alimenticios expulsados por el orificio de penetración que permanecen adheridos a la epidermis del fruto. Además de infestar frutos en todos los estados de desarrollo, también afecta ramas laterales en periodos vegetativos y de floración, donde construye túneles longitudinales que pueden ocasionar la muerte de la rama. En ocasiones se pueden ver larvas de primer estadio sobre el fruto, antes de iniciar la perforación de la epidermis; un síntoma evidente es la cicatriz que deja la larva después de realizar el orificio de entrada con sus mandíbulas (figura 6.14a). En el interior del fruto, se aprecian las galerías que hace la larva en su recorrido hasta alcanzar la semilla. En la semilla es donde las larvas de cuarto y quinto instar (figura 6.14b) desarrollan su principal actividad, alimentándose de los cotiledones. El daño en ramas se caracteriza por los desechos alimenticios expulsados hacia el exterior (figura 6.14c) (Manrique et al., 2014).

Fotos: Arturo Carabalí Muñoz y Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.14. Daño de *S. catenifer*. a. Fruto con orificio de salida; b. Orificio de salida y larva de 5.º instar; c. Daño en ramas.

Las pérdidas atribuidas a los perforadores de frutos de aguacate en algunas zonas de los departamentos del Eje Cafetero están entre el 10 y el 40 % de la producción. En el Valle del Cauca, las pérdidas causadas por *S. catenifer* pueden alcanzar hasta el 50 % de la producción (Carabalí, 2011).

Condiciones favorables

Se estima que los ataques se presentan más frecuentemente en árboles cercanos a bordes boscosos o en lotes donde la sombra y las condiciones sombrías son frecuentes, según lo observado por asistentes técnicos y administradores de fincas.

Manejo

El manejo de *S. catenifer* en huertos de aguacate se debe iniciar desde el establecimiento del cultivo, con plantas provenientes de viveros certificados en los que se realice control de calidad de la semilla utilizada en la producción y se sigan las normas y procedimientos establecidos por el ICA (2010). Además, se debe implementar un plan de manejo integrado de plagas con la supervisión de un ingeniero agrónomo (ICA, 2012).

Es recomendable implementar un programa de monitoreo y vigilancia fitosanitaria a través de muestreo de frutos, ramas o la presencia de adultos en el 10 % de los árboles plantados/ha. Una vez identificada la presencia del insecto, se deben marcar los árboles infestados, determinar si el daño es focalizado o si se encuentra distribuido en toda la plantación. Con los datos obtenidos, se calcula el porcentaje de infestación, utilizando la siguiente fórmula (Senasica, 2012):

$$\%\ \textit{Infestación} = \frac{\text{N.º de frutos con daño}}{\text{N.º de frutos totales muestreados}} \times 100$$

En caso de encontrar el insecto o síntomas asociados, se debe reportar ante la oficina del ICA más cercana (ICA, 2012).

Se considera que el manejo cultural mediante la recolección de frutos infestados, tanto de la copa del árbol como del suelo, y su disposición en un hueco de un metro de profundidad, cubiertos con una capa de suelo de 25 a 30 cm, bien compactada, como se ilustró para *H. lauri*, es la estrategia de manejo más efectiva (Carabalí, 2011).

Cuanto más tiempo permanezcan los frutos en la planta o en el suelo, mayor será el riesgo de incrementar su incidencia. De igual manera, si el daño es en las ramas, se deben podar y enterrar para interrumpir el desarrollo del insecto y la emergencia de las siguientes generaciones (Carabalí, 2011; Orjuela, 2011).

Las trampas de luz negra son útiles para el monitoreo de la población de este insecto de hábito nocturno, así como el uso de feromonas (Carabalí, 2011; Hoddle et al., 2011). En capturas realizadas con trampas en huertos de aguacate Hass se reportó la presencia de *S. catenifer*, en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca, en regiones ubicadas a diferentes alturas sobre el nivel del mar, donde se confirmó el impacto económico de este insecto en el cultivo de aguacate (Carabalí, 2011).

En experimentos tendientes a la búsqueda de enemigos naturales, se implementó la metodología de los "huevos centinelas" de *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae) y se logró la detección de *Trichogramma* sp. (Lepidoptera: Trichogrammatidae) en huertos de aguacate de los departamentos de Tolima y Valle del Cauca. La especie fue identificada como *Trichogramma pusillun* Querino & Zucchi, predominante en Brasil y considerada como nuevo registro para Colombia. Adicionalmente, se realizaron evaluaciones de parasitismo en laboratorio con la especie *T. pretiosum* y se logró solo un 36 % de eficiencia (Carabalí, 2011).

Otros enemigos naturales encontrados en Colombia corresponden a *Apanteles* sp. (Hymenoptera: Braconidae), parasitoide de larvas de cuarto y quinto instar de *S. catenifer* (Puentes & Moreno, 1992). Búsquedas recientes confirmaron su presencia en los departamentos del Valle del Cauca y Caldas sobre larvas de *S. catenifer* en ramas laterales de aguacate (Carabalí, 2011). Estos hallazgos permiten considerar los enemigos naturales como estrategia promisoria para su implementación en cultivos comerciales (Carabalí, 2011). Cabe destacar los reportes de otros enemigos naturales de *S. catenifer* en el mundo, como los presentados por Hoddle et al. (2011), quienes encontraron *Cotesia (Apanteles*) spp., *Dolichogenidea* sp., *Hypomicrogaster* sp., *Chelonus* sp., *Hymenochaonia* sp., *Trichogramma* sp. y *Macrocentrus* sp.

El manejo de *S. catenifer* con insecticidas es recomendable solo si se observa una población alta. Las aplicaciones se realizan en el siguiente ciclo de producción, al inicio de la formación de frutos, dirigido a los adultos. Se enfatiza que una vez el fruto esté perforado, el manejo de larvas con químicos no es recomendable porque no es eficiente (ICA, 2012).

Se enfatiza que, cuando los controles estén basados en moléculas de síntesis química, se deben usar productos químicos con registro ICA, se deben cumplir los periodes de carencia y se debe contar con la supervisión de un ingeniero agrónomo. Además, es importante tener presente que el abuso en la utilización de insecticidas tiene efectos adversos en el medioambiente, especialmente, en la mortalidad de insectos polinizadores (Castañeda-Vildózola et al., 1999; Pérez-Balam et al., 2012).

Monalonion, chinche del aguacate, coclillo o chupanga

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Monalonion velezangeli* Carvalho y Costa (Hemiptera: Miridae)**

Descripción e importancia

El *Monalonion velezangeli* es un insecto dañino del aguacate. Se le conoce con los nombres comunes de "chinche del aguacate", "monalonion" o "coclillo". Se han encontrado alrededor de 16 plantas hospederas de *M. velezangeli*. Franco y Giraldo (1999) reportan este insecto en la mora de castilla, *Rubus glaucus* Benth. (Rosaceae). Investigaciones realizadas por Cenicafé reportan como hospederos: café (*Coffea arabica* L.), mango (*Mangifera indica* L.), cope (*Clusia* sp.), hojiancho (*Ladenbergia magnifolia* Klotzsch), guayaba (*Psidium guajava* L.), sietecueros (*Tibouchina lepidota* Baill.) y siempreviva (*Tripogandra cumanensis* Kunth.) (Ramírez-Cortés, Gil-Palacio, Benavides-Machado, & Bustillo-Pardey, 2008). AGROSAVIA reporta como hospederos adicionales guayaba limón (*Psidium littorale* Sabine), guayaba fresa (*Psidium littorale* cv. *Cattleianum*), guayaba feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret), laurel de cocina (*Laurus nobilis* L.), arrayán de Manizales o eugenia (*Syzygium oleosum* [F. Muell] B. Hyland), guayacán de Manizales (*Lafoensia acuminata* L.) y camelia (*Camellia* sp.). El *Monaloniom velezangeli* se encuentra reportado en cultivos de aguacate de los departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío. Deteriora entre el 50 y el 100 % de los frutos y sus pérdidas económicas se estiman entre 1.500 y 9.300 millones de pesos (Arango & Arroyave, 1991; Londoño, 2012).

El *Monaloniom velezangeli* es un insecto alargado, de aproximadamente 1,5 cm de longitud, de color oscuro, con la mitad de las alas coriáceas y la otra mitad membranosas (figura 6.15a). Posee un pico alargado, el cual utiliza para perforar el fruto y

succionar la savia (figura 6.15b). Se caracteriza por tener manchas situadas dentro y fuera de la areola de las alas anteriores y por presentar una franja de color blanco en el fémur posterior (figura 6.16). Tiene metamorfosis incompleta, que consta de huevo y cinco estadios ninfales, los cuales se diferencian por el tamaño y la presencia de primordios alares. Las ninfas son de color naranja claro, con algunos segmentos de la cabeza, el abdomen, las patas y las antenas de color rojo. Se presenta dimorfismo sexual: las hembras miden de 10 a 12 mm, con cabeza negra brillante, rostrum amarillo claro, antenas largas y negras y hemiélitros amarillo anaranjados; los machos miden de 9 a 10 mm, tienen coloración generalmente negra a castaño oscuro, con cabeza, antenas, pronoto, escutelo y cuneus negro, hemiélitros con área subbasal parda, rostrum (parte de la boca modificada, especialmente las de los insectos chupadores de plantas) amarillo anaranjado y abdomen rojo (Carvalho & Costa, 1988).

Fotos: Jimena Montilla

Figura 6.15. Características morfológicas del adulto de *Monaloniom velezangeli*. a. Alas; b. Cabeza y pico.

Fotos: Jimena Montilla

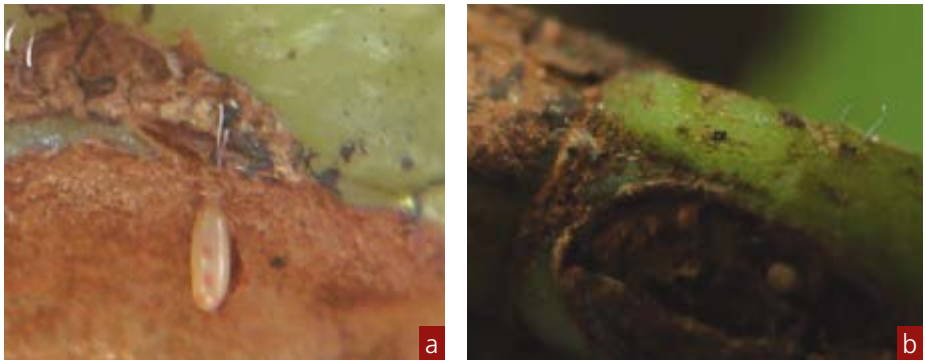
Figura 6.16. Características morfológicas en el ala y en el fémur posterior de *M. velezangeli*.

El ciclo de vida de *M. velezangeli* dura 63 días, y le toma 51 días el cambio de huevo a adulto. Este insecto presenta tres estados de desarrollo: huevo, ninfa y adulto (figura 6.17).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Hugo Vargas

Figura 6.17. Estados de desarrollo de *M. velezangeli*. a. Huevo; b. Ninfa; c. Adulto.

Los huevos son puestos de forma individual o en pequeños grupos de dos a tres, inmersos en el tejido vegetal; son visibles por la presencia de dos proyecciones filamentosas de color blanco, que corresponden a conductos respiratorios, los cuales quedan por encima del tejido vegetal (figura 6.18). Los sitios preferidos para la oviposición son los tallos de ramas jóvenes (Londoño & Vargas, 2010).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Hugo Vargas

Figura 6.18. Estados de desarrollo de *M. velezangeli*. a. Huevo; b. Ninfa; c. Adulto.

Las duraciones parciales de cada estado de desarrollo son 1) huevos: 23,2 días; 2) ninfas: (cinco estadios) 27,6 ± 3,2 días; 3) adultos: 9,6 ± 4,3 días. Estos datos corresponden a promedios de duración en observaciones realizadas en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA, ubicado en Rionegro, Antioquia, a 18 ± 2 °C (Londoño & Vargas, 2010).

Síntomas

El daño de *M. velezangeli* se concentra en las estructuras reproductivas, es decir, en las inflorescencias y los frutos (Torres, Correa, Cartagena, Monsalve, & Londoño, 2012); se distingue por la presencia de manchas de color café parecidas a marcas de viruelas (figura 6.19a). Cuando el daño es reciente, se evidencian exudados de color rojo (figura 6.19b).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Hugo Vargas

Figura 6.19. Daños de *Monalonion*. a. Daño antiguo en forma de "viruelas"; b. Daño reciente.

Cuando el daño no es reciente, esta secreción se presenta como un polvillo blanco que es confundido frecuentemente con la presencia de hongos, cuando en realidad se trata de exudados de la planta como producto de la herida causada (figura 6.20a) (Londoño & Vargas, 2010). El insecto ataca frutos pequeños y frutos grandes a punto de cosecha (figura 6.20a). Cuando los frutos son pequeños, la punción hace que detengan su crecimiento y se sequen (figura 6.20b). Cuando los frutos dañados son grandes, se deteriora su calidad.

Fotos: Martha Eugenia Londoño Zuluaga y Danilo Monsalve

Figura 6.20. Daños de *Monalonion*. a. En frutos grandes; b. En frutos pequeños.

Ataca inflorescencias y causa pérdida de flores (figura 6.21a). Este insecto daña brotes, los cuales se rajan y se marchitan (figura 6.21b). Puede llegar a secar ramas, las cuales se quiebran y cuelgan del árbol (figura 6.21c) (Vargas & Londoño, 2009).

Fotos: Hugo Vargas, Martha Eugenia Londoño Zuluaga y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.21. Daños de *Monalonion*. a. En inflorescencias; b. En brotes; c. En ramas jóvenes.

Condiciones favorables

El insecto es más frecuente entre los meses de enero a marzo y junio, que coinciden con la época de floración en el oriente antioqueño, y entre noviembre y enero en el Eje Cafetero. Los árboles demasiado frondosos, con el centro oscuro a causa del entrecruzamiento de ramas, son más frecuentados por este insecto debido a las condiciones umbrías en su interior (Londoño, 2012). La fenología heterogénea del aguacate favorece la presencia del insecto en cualquier época del año. Es de anotar que los árboles de porte alto tienen el riesgo de albergar la plaga en los lugares más distantes (Torres et al., 2012).

Manejo

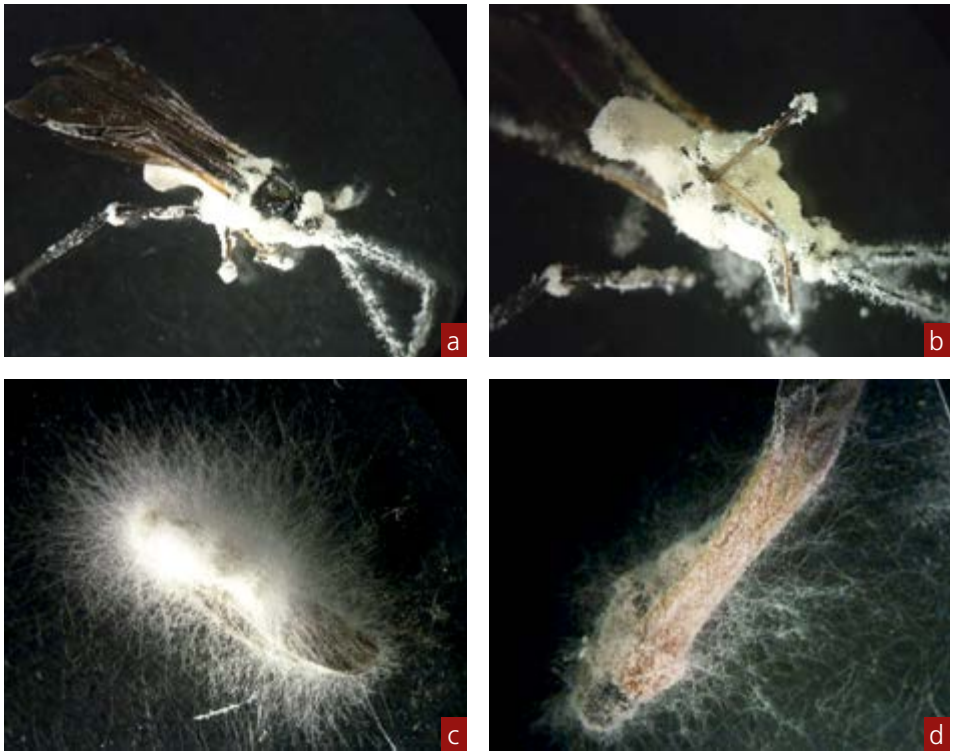
Dada la importancia de esta plaga, deben hacerse evaluaciones de incidencia desde el inicio de la floración. Se recomienda hacer estas evaluaciones juntamente con la de pasadores del fruto para hacer eficiente el monitoreo. Se debe buscar tanto el daño fresco como el insecto en los estratos medio y alto del árbol. Es recomendable mantener árboles de porte bajo mediante la realización de podas para asegurar que la medida de manejo alcance los insectos (Torres et al., 2012).

El *Monalonion velezangeli* es susceptible al ataque de enemigos naturales que consumen ninfas y adultos. Se han visto arañas, chinches redúvidos y coccinélidos consumiendo adultos y ninfas (figura 6.22) (Londoño, 2012).

Fotos: Hugo Vargas, Martha Eugenia Londoño Zuluaga y Takumasa Kondo

Figura 6.22. Enemigos naturales de *M. velezangeli*. a. Larva de *Harmonia axyridis*; b. Adulto de *H. axyridis*; c. Adulto de Pentatomidae; d. Araña; e. *Zelus* sp.

También se han visto hongos entomopatógenos atacando ninfas y adultos de *M. velezangeli* en forma natural. Los hongos encontrados hasta el momento son *Beauveria bassiana*, *Lecanicilliun lilacinus* y *Paecilomyces fumosoroseus* (figura 6.23).



Fotos: Laura Villegas

Figura 6.23. *M. velezangeli* atacado por hongos entomopatógenos. a. Adulto del insecto atacado por *Beauveria bassiana*; b. Adulto de *M. velezangeli* invadido por *B. bassiana*; c. Adulto del insecto atacado por *Lecanicilliun lilacinus*; d. Adulto del insecto atacado por *Paecilomyces fumosoroseus*.

El hongo *Beauveria bassiana* (1,5 kg/ha), con especificidad sobre *Monalonion*, en mezcla con extracto vegetal de uso agrícola obtenido de plantas de la familia Liliaceae y Solanaceae (4 cm^3/L), permite bajar la población y el daño del insecto con beneficios ecológicos (figura 6.24). Este hongo se puede preparar en una formulación que contenga cepas activas contra trips y pasadores del fruto y las ramas simultáneamente, para ser aprovechado en la misma aplicación, en la época en que el cultivo se hace susceptible a estos tres problemas entomológicos (Londoño, 2012).

Fotos: Laura Villegas

Figura 6.24. *M. velezangeli* atacado por la mezcla de *B. bassiana* más extracto vegetal de uso agrícola obtenido de plantas de la familia Liliaceae y Solanaceae.

El tiametoxam en dosis de 50 g i.a./ha es una alternativa útil de manejo y es de bajo costo. El imidacloprid en dosis de 157,5 g i.a./ha, vía fertirriego, es una excelente herramienta para el manejo de *M. velezangeli*, con bajo impacto sobre la fauna benéfica. Con las propuestas de manejo generadas se consigue bajar la incidencia del insecto del 100 % a niveles entre 0 y 10 % (Londoño, 2012).

En investigaciones conducidas por AGROSAVIA se identificaron cinco insecticidas piretroides y neonicotinoides (deltametrina, λ-cihalotrina, thiametoxam, imidacloprid y la mezcla de thiametoxam+λ-cihalotrina) que causan mortalidad al *M. velezangeli* entre un 85 y un 100 % 24 horas después de ser aplicados, llegando a mortalidades del 100 % tres días después de su aplicación. Estos insecticidas controlan el insecto en dosis muy bajas que oscilan entre los 15 y los 250 g i.a./ha, lo que equivale a cantidades entre 150 y 1.000 g o cm^3 de producto comercial por hectárea (Montilla, 2012). Debe calibrarse el volumen promedio por árbol en cada finca y con cada aplicador. Esto indica que las aplicaciones de dichos insecticidas deben ajustarse, y que debe hacerse capacitación específica sobre su preparación para contribuir a su uso adecuado (boquillas de baja descarga, reguladores de presión, cobertura sin gotear, etc.). Los insecticidas piretroides y neonicotinoides mencionados contribuyen a la construcción de programas de manejo integrado de plagas del aguacate en Colombia, los cuales deben estar sustentados en decisiones de manejo con base en niveles de incidencia, estado fenológico del árbol y oportunidad, alternados con aplicaciones de productos biológicos y prácticas culturales, bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo. Debe tenerse un estricto control del uso de productos químicos con registro ICA y del cumplimiento de los periodos de carencia (ICA, 2012; Londoño, 2012).

Cucarrones marceños

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Astaena* aff. *pygidialis* Moser**
***Phyllophaga obsoleta* Blanchard**
***Phyllophaga menetriesi* (Blanchard)**
***Anomala undulata* Melsheimer**
***Anomala cincta* Say**
(Coleoptera: Melolonthidae)

Descripción e importancia

A estos escarabajos se les denomina comúnmente "marceños" o "cuaresmeros" debido a su frecuente aparición en el mes de marzo o durante el tiempo de cuaresma, que coincide con la llegada de las lluvias; este evento climático facilita la salida de los adultos del suelo. Los cucarrones marceños atraviesan por cuatro estados de desarrollo, huevo, larva, pupa y adulto; están presentes en varias regiones de Colombia y su diversidad e importancia varían de una región a otra (Londoño, Arias, Giraldo, & Ríos, 2002). *Astaena* aff. *pygidialis* Moser es la especie más común en el oriente antioqueño. Aparece entre los meses de marzo y junio, con picos de vuelo en abril para los municipios de Santa Rosa de Osos y La Unión, mayo en San Vicente, Rionegro y El Carmen de Viboral y junio en el municipio de Entrerríos, en el departamento de Antioquia (Acevedo, 2005). El cuerpo de los machos es de color café (figura 6.25), la cabeza es de un color café más oscuro, de apariencia brillante, mientras que el resto del cuerpo es opaco. Los élitros, frente a la luz, dan visos de colores, disimulando los punteados que tienen en el tórax y los élitros. Las hembras muestran un patrón de coloración diferente, tornándose de color café más intenso, de apariencia brillante, y son ligeramente más grandes que los machos (Palacio, 2010); su biología aún no ha sido estudiada.

El *Phyllophaga obsoleta* Blanchard (figura 6.26a) ha tenido relevancia en el oriente antioqueño por su alta prevalencia y daño en varios cultivos. Su ciclo de vida presenta las siguientes duraciones: 1) adulto: 30 días; 2) huevos: 6 días; 3) larvas (3 estadios): 210 días y 4) pupa: 45 días, con la posibilidad de una nueva generación cada 291 días, dependiendo de las lluvias, que marcan la salida de los adultos (Vallejo, Morón, & Orduz, 2007). En ocasiones se presentan otras especies como *Anomala undulata*

Melsheimer (figura 6.26b) y *A. cincta* Say. El *Phyllophaga menetriesi* (Blanchard) (figura 6.26d) es abundante en los climas medios de Colombia, y se ha detectado en la zona cafetera central y en el departamento del Cauca (Londoño, 2008a). Los escarabajos que hacen daño al aguacate son de hábitos crepusculares y nocturnos, por lo cual su presencia es poco visible. Los daños los hacen principalmente los adultos durante las épocas de fructificación.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.25. Adultos del cucarrón (marceños) *Astaena* aff. *pygidialis*. a. Vista lateral; b. Vista dorsal.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.26. Adultos de cucarrones marceños. a. *Pyllophaga obsoleta*; b. *Anomala undulata*; c. A. cincta.

Estos insectos plaga se consideran de importancia económica porque deterioran la calidad de muchos frutos y sus larvas pueden hacer daño al consumir raíces. Los productores de aguacate del oriente antioqueño consideran que pierden el 30 % de la fruta por el daño de marceños. Hasta el momento no se han registrado daños confirmados de las larvas de escarabajos en cultivos de aguacate en Colombia (Palacio, 2010; Vásquez, Ríos, Londoño, & Torres, 2011).

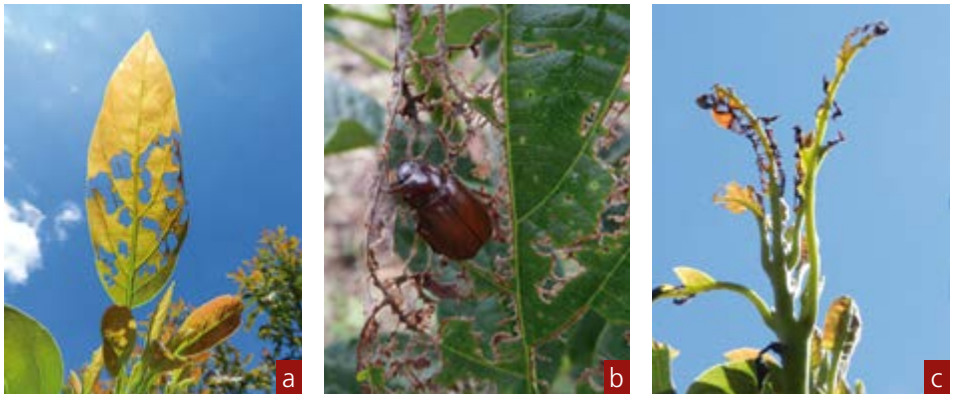
Síntomas

Los adultos atacan severamente la corteza de los frutos, en los cuales hacen un raspado durante los primeros estados de desarrollo (frutos de 2 a 4 cm de diámetro) (figura 6.27a). Este daño deja una cicatriz de color café que recorre parte del contorno del fruto. Aunque este daño no afecta la pulpa, sí demerita la fruta para la comercialización (figura 6.27b).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.27. Daño del marceño. a. En frutos pequeños; b. Afectando la calidad del fruto.

Los marceños pueden dañar entre el 40 y el 60 % de la fruta formada. Atacan hojas y flores jóvenes, dejándolas rasgadas o esqueletizadas; en ataques severos, dañan los meristemos apicales, atrofiando el punto de crecimiento (figura 6.28). Durante el día, los adultos de escarabajos buscan el suelo, donde permanecen escondidos hasta que llegue la noche (Londoño et al., 2002).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.28. Daño de marceño en brotes vegetativos de aguacate. a. Hoja esqueletizada por el ataque de marceño; b. Adulto haciendo el daño en el follaje; c. Brote terminal de aguacate totalmente destruido producto del ataque.

Condiciones favorables

Las especies *A. pygidialis*, *P. obsoleta* y *A. undulata* predominan entre los 2.100 y 2.500 m s. n. m. (Lucero, Peña, Cultid, & Bolaños, 2006; Ruiz & Pumalpa, 1987; Yepes, 1994), y el *P. menetriesi* entre los 1.400 y 1.800 m s. n. m. (Bran, 2005; Londoño et al., 2002; Palacio, 2010; Villegas, Gaigl, & Vallejo, 2008; Yepes, 2011). La emergencia de los adultos está asociada con la llegada de las lluvias durante los meses de marzo a junio en el oriente antioqueño, y de septiembre a octubre en el Eje Cafetero, Cauca y el norte del Valle del Cauca; por lo tanto, en dichos meses se inicia la infestación (Acevedo, 2005). Se ha observado que la acumulación de materia orgánica de origen animal atrae a los adultos para la postura (Londoño et al., 2002).

Manejo

El manejo del cucarrón marceño debe ser preventivo. Se recomienda utilizar la trampa de luz ultravioleta, BL_b (figura 6.29a), donde se cuente con energía eléctrica o la trampa de mechón con ACPM en su ausencia (figura 6.29b) y promover campañas comunitarias para la captura de los escarabajos (Londoño et al., 2002).

Esta práctica elimina un gran número de insectos, de tal forma que las posturas disminuyen y, por lo tanto, su descendencia. Para ayudar al manejo de estos insectos, se recomienda la aplicación de la bacteria *Bacillus popilliae* Dutky al suelo, la cual causa una enfermedad mortal a las larvas, conocida con el nombre de "enfermedad

lechosa" (figura 6.30). Los insectos infectados, al morir, estallan y liberan las esporas infectivas de la bacteria y potencian la colonización del suelo tratado (Londoño, Giraldo, Arango, Ríos, & Giraldo, 2001).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.29. Trampas para la captura de marceños. a. Trampa de luz BL_b; b. Trampa de ACPM.

Fotos: Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Figura 6.30. Larvas de chiza con síntomas de la enfermedad lechosa. a. Exudado con la bacteria en una larva infectada; b. Muerte de una chiza a causa del entomopatógeno.

El hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* para *Astaena pygidialis* y el *Metarhizium anisopliae* para *P. obsoleta* son útiles en dosis de 1,5 kg i.a./ha, aplicados mitad al suelo y mitad al follaje; ambos atacan todos los estados de desarrollo del insecto y les causan la muerte (figura 6.31). Otros enemigos naturales son los nematodos y los parasitoides (figura 6.32) (Londoño & Meneses, 2005).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada y Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Figura 6.31. Ataque del hongo *M. anisopliae* en distintos estados de desarrollo del cucarrón marceño. a. Adulto infectado; b. Larva o chiza con crcecimiento del hongo.

Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 6.32. Entomopatógenos y parasitoides que atacan larvas del marceño. a. Larva parasitada por nematodos; b. Larva atacada por un ectoparásito.

Mosca del ovario del aguacate

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Bruggmanniella perseae* Gagné**
(Diptera: Cecidomyiidae)

Descripción e importancia

La *Bruggmaniella perseae* ha sido reportada en Caldas y Antioquia. Es una mosca pequeña, de color amarillo con alas negras (figura 6.33), la cual oviposita en el ovario de la flor. Coloca un solo huevo por flor. La larva recién emergida se alimenta del pedicelo del ovario e induce la deformación de los frutos pequeños (figura 6.34).

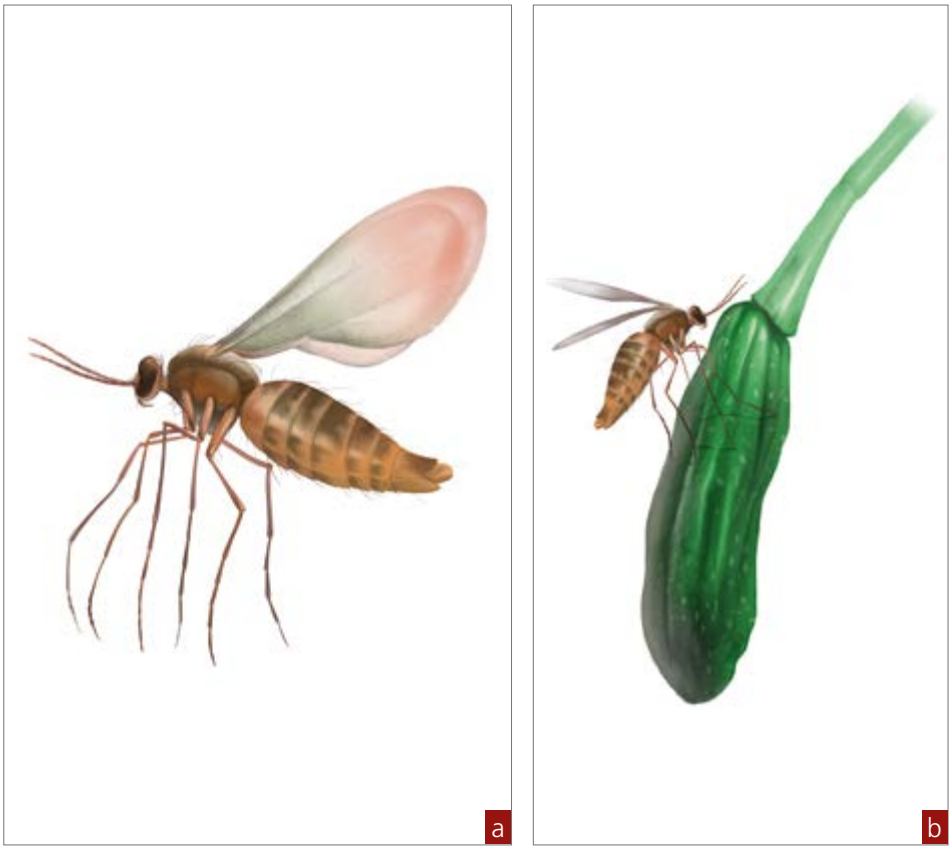


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 6.33. Adulto de la mosca del ovario. a. Sobre fruto en forma de pepino; b. Hembra.

Esta mosca empupa dentro del fruto y se ubica hacia el extremo distal del fruto (figura 6.34a); es de color amarillo intenso, con los rudimentos alares y las patas de color negro (figura 6.34b). El adulto formado perfora un pequeño orificio en el extremo del fruto para salir (figura 6.34c).

Fotos: Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Figura 6.34. Pupa de la mosca del ovario *B. perseae*. a. Dentro del fruto; b. Pupa en vista ventral; se aprecian rudimentos alares y patas en formación; c. Orificio de salida del adulto.

Síntomas

Alargamiento de frutos, que toman una forma similar a la de un pepino cohombro y caen al suelo cuando apenas tiene una longitud aproximada de un centímetro (figura 6.35). En su interior se observa una ampliación del espacio donde se aloja y desarrolla un hongo con estructuras de color blanquecino, que luego se torna oscuro; aparentemente este hongo es simbiótico (Gagné, Posada & Gil, 2004; ICA, 2012).

Foto: Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Figura 6.35. Fruto de aguacate pequeño y alargado, con forma de pepino por la acción de *B. perseae*.

Condiciones favorables

Se conoce que los Cecidomyiidae se asocian frecuentemente con flores de gramíneas, donde establecen su población.

Manejo

Realizar monitoreos frecuentes, buscando frutos con daño. Recolectar frutos afectados y enterrarlos fuera del lote. Reportar la presencia de posibles parasitoides en condiciones de campo para *B. perseae*. Hacer manejo de malezas gramíneas, no dejándolas florecer (ICA, 2012).

Insectos del tallo y ramas

Perforador del tallo y ramas del aguacate

Ana Milena Caicedo Vallejo
Arturo Carabalí Muñoz

***Copturomimus hustachei* Hustache**
(Coleoptera: Curculionidae)

Descripción e importancia

Los perforadores de tallo y ramas del aguacate corresponden a dos géneros diferentes: uno, el género *Copturomimus*, con la especie *Copturomimus hustachei* Kissinger, identificada como nueva especie para Colombia por el Dr. Hustache en el año de 1946 (Mariño, 1947), y el género *Copturus*, referenciado en México y Centroamérica, con las especies *Copturomimus aguacatae* Kissinger y *C. constrictus* Champion. Muñiz-Vélez y Ordóñez-Reséndiz (2010) renombran este género como *Macrocopturus*, subfamilia Conoderinae (Zygopinae).

El *Copturomimus hustachei* es un gorgojo pequeño de 3,7 a 4,2 mm de largo. La forma del cuerpo es subelíptico (figura 6.36a). Los élitros están adornados con un dibujo variable, ceniciento o teñido de amarillo, que forma una mancha grande en

la parte media posterior, romboide y cenicienta, y dentro de esta se observan dos manchas de color café ceniciento, a veces negruzco, separadas por la sutura (figura 6.36b). Adicionalmente, se presentan especímenes con una mancha diferente.

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.36. Adulto del perforador del tallo y ramas del aguacate (*C. hustachei*). a. Vista lateral; b. Vista dorsal con manchas típicas en los élitros.

Los adultos presentan un rostrum o pico bien desarrollado y curvado hacia adentro, y antenas geniculadas características de la familia Curculionidae (figura 6.37).

Foto: Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.37. Rostrum o pico de *C. hustachei*.

El huevo es de forma ovalada, con un tamaño de 0,6 × 0,4 mm, color blanco perlado, hialino y cremoso al momento de eclosionar. La hembra oviposita en las ranuras de la corteza, perfora con el pico e ingiere la corteza para formar un hueco de forma ovalada, dejando un residuo. El hueco es perpendicular a la pared de la ranura, lo cual se facilita por la curvatura de la trompa. Una vez oviposita el huevo, lo recubre con una sustancia mucilaginosa y lo tapa con aserrín. El adulto se alimenta de tejidos vegetales, ya sean vivos o secos, dejando sobre las paredes de las ranuras una serie de orificios. El período de incubación está entre 8 y 11 días en promedio, a una temperatura de 35 °C (Mariño, 1947).

Las larvas son de color blanco marfil, con cápsula cefálica y dorso del primer segmento torácico de color café. Presenta la cabeza retraída en el primer segmento torácico (figura 6.38). Es de forma oval alargada, ápoda, con un tamaño que oscila entre 0,5 mm al nacer y 0,8 cm antes de empupar (Mariño, 1947).

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.38. Perforadores de tallo. a. Larvas de perforadores de tallo; b. Ramade aguacate afectada por el perforador.

La pupa es de forma ovoide, se reduce en la terminación abdominal y tiene un tamaño de 0,6 a 0,7 cm (largo), por 0,30 a 0,35 cm (ancho). Son de color amarillo marfil, uniforme, con ojos café oscuro, en formación reciente (figura 6.39a). Cuando avanza en desarrollo, el color marfil se oscurece en la parte superficial del cuerpo y el rostrum. Los extremos de las patas son de color café; la terminación de las alas, que se extienden plegadas sobre la región abdominal, es negruzca (Mariño, 1947) (figura 6.39b).

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.39. Perforadores del tallo y rama del aguacate. a. Pupa; b. Adulto.

La larva barrena el tallo y las ramas maduras o tiernas de diferentes maneras: en ocasiones limita el ataque a la corteza, cuando es lo suficientemente gruesa, o profundiza hasta llegar al cilindro central, cuando la rama es joven y delgada (figuras 6.40a y 6.40b) (Saldarriaga, 1977). Las galerías se cubren con los desechos de alimentación de la larva, los cuales tienen apariencia de aserrín.

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.40. Daño de larvas del barrenador. a. Daño en el cilindro central; b. Daño superficial.

Síntomas

El daño se manifiesta por medio de pequeños puntos negros (figuras 6.41a y 6.41b) cubiertos con una exudación blanquecina que corresponde a savia cristalizada, lo cual, poco a poco, va tomando un color negruzco muy característico sobre la superficie de la corteza.

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.41. Signos de daño en tallos y ramas de aguacate causados por los perforadores. a. Mancha y savia cristalizada en ramas jóvenes; b. Mancha y savia cristalizada en ramas maduras.

Un síntoma típico del ataque del insecto es la presencia de galerías superficiales o profundas, con larvas en su interior y orificios redondeados que miden de 3 a 4 mm de diámetro y se asemejan un tiro de munición, hechos por los adultos para salir al completar su ciclo (figura 6.42). Posterior a este síntoma se presenta el secamiento de las ramas y el tallo (ICA, 2012; Mariño, 1947; Saldarriaga, 1977).

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.42. Síntomas del ataque del perforador del tallo en aguacate. a. Ramas afectadas por el insecto; b. Orificio de salida de la larva para empupar.

Las ramas de poco espesor se tornan quebradizas y se secan. Un árbol muy infestado presenta ramas con un secamiento descendente en la copa y ramas terminales de la parte media partidas en los lugares afectados y secas en los extremos.

El tallo principal puede ser atacado desde poca altura sobre el nivel del suelo (aproximadamente 20 cm) hasta la parte terminal, y las ramas terciarias, cuaternarias y terminales desde el lugar mismo del desprendimiento hasta la terminación.

Las manchas se presentan en diferentes dimensiones y algunas veces en forma continua desde la base, casi hasta el extremo de la rama. En ataques severos, pueden causar la muerte del árbol. Las pérdidas estimadas en la producción a causa de la plaga están entre el 40 % y el 85 % (ICA, 2012; Mariño, 1947; Saldarriaga, 1977).

En plantas de vivero, el ataque se observa en tres lugares diferentes: en la base del tallo (más frecuente) (figura 6.43a), en la unión del injerto (figura 6.43b) y en el tallo, por encima del injerto (figura 6.43c).

Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.43. Daño ocasionado por perforadores en plantas de vivero. a. En la base del tallo; b. En la unión del injerto; c. En la unión de dos ramas.

Condiciones favorables

Los factores predisponentes para el ataque de la plaga no han sido descritos. Sin embargo, se ha podido observar que el adulto prefiere ovipositar tanto en las ramas más delgadas, especialmente en las partes terminales que están expuestas al sol, como en la base del tallo de árboles adultos (figura 6.44).

Foto: Ana Milena Caicedo Vallejo

Figura 6.44. Daño ocasionado por perforadores en la base del tallo.

Manejo

Realizar inspecciones semanales en plantas de vivero y árboles de huertos comerciales, en cada una de las etapas de producción y desarrollo, con el propósito de establecer un diagnóstico del nivel de incidencia y el daño. Para ello se recomienda el uso de trampas piramidales, las cuales se instalan cerca de las bolsas de vivero o junto al tallo principal, en árboles de campo (figura 6.45) (Carabalí, 2011).

Fotos: Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.45. Manejo de perforadores de tallo y ramas en aguacate. a. Trampa piramidal en lote comercial; b. Trampa piramidal en huerto básico-vivero; c. Dispositivo de captura con extracto de aguacate en trampa piramidal.

También es útil instalar trampas pegajosas de color para el monitoreo y manejo de adultos, como se acostumbra en México (Téliz & Mora, 2007). En caso de identificar síntomas de daño por perforadores de tallos y ramas, se recomienda marcar la rama o el tallo afectado y, con la ayuda de una tijera desinfectada, cortar las ramas 40 cm arriba de la última lesión. Las ramas podadas deben sacarse del lote y quemarse para interrumpir el ciclo de vida del insecto. Cuando el árbol es atacado severamente, debe erradicarse y destruir los residuos de la poda (figura 6.46) (ICA, 2012).

Fotos: Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.46. Manejo de perforadores de ramas en aguacate. a. Poda de ramas afectadas; b. Cicatrización; c. Recolección de residuos vegetales.

En condiciones de vivero, se debe hacer seguimiento de todas de las actividades que permitan la obtención adecuada del patrón y de la variedad.

- Revisar la semilla proveniente de diferentes zonas del país, utilizada en la producción de patrones.
- Desinfectar y seleccionar semillas libres de insectos y enfermedades.
- Colectar las yemas del huerto madre y desinfectar el injerto.
- Trasplantar las plántulas para dar paso a la etapa de crecimiento y desarrollo.

En vivero se deben instalar mínimo cuatro trampas piramidales por hectárea junto a las bolsas de almácigo. En huertos comerciales, instalar mínimo una trampa piramidal por hectárea junto al tallo principal de los árboles; se recomienda revisar las trampas una vez al día (preferible al medio día). Además, se deben realizar monitoreos mediante observación directa y con una jama entomológica mínimo dos veces por mes (Carabalí, 2011).

Una vez identificados los signos de daño de los perforadores de tallo en estados iniciales (figura 6.47a), se marca la parte afectada de la planta y, con la ayuda de una navaja desinfectada, se buscan los estados inmaduros (larvas y pupas), realizando una incisión en el tallo (figura 6.47b). Cuando la larva se ha localizado, se extrae y se cicatriza el tallo con una pasta que contenga un fungicida (figura 6.47c) (Carabalí, 2011).

Fotos: Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.47. Daños de *C. hustachei*. a. Identificación del daño y larvas; b. Corte de la corteza del tallo; c. Extracción de la larva.

Las acciones de control biológico a través de la aplicación de cepas de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* o *Metarhizium anisopliae*, con actividad biológica conocida sobre *C. hustachei*, es una práctica ampliamente difundida en otros países para el control de insectos perforadores de tallos y ramas (Aguirre-Paleo et al., 2011).

El difícil manejo con insecticidas de las larvas dentro de las ramas ha llevado a la implementación de los hongos entomopatógenos *B. bassiana* y *M. anisopliae* en huertos comerciales y viveros del país. Observaciones en este sentido sugieren su uso desde la instalación del huerto, con aplicaciones dirigidas al tallo y al follaje, cada 30 días. En vivero, la protección se debe iniciar desde el momento del trasplante, con aplicaciones al tallo y al follaje. Además, se debe pintar el tallo con cal o vinilo de color para detectar síntomas de manera oportuna (Carabalí, 2011).

El potencial de los nematodos entomopatógenos para el control de larvas de *C. aguacatae* fue evaluado por Sánchez (2001) con la especie *Heterorhabditis indica*, en condiciones de laboratorio y campo, en el estado de Michoacán, México. Los resultados de laboratorio mostraron un 100 % de mortalidad de larvas después de 44 horas de aplicación. Sin embargo, en campo la efectividad de los nematodos se vio afectada por la técnica de aplicación, lo cual sugiere la necesidad de un mayor desarrollo investigativo.

Pruebas experimentales en huertos comerciales y viveros de aguacate en el departamento del Valle del Cauca (Colombia) han permitido considerar el uso de los nematodos entomopatógenos como estrategia para reducir la población de perforadores en estado larval. Se sugiere el uso de la combinación de especies de los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* en el momento de la extracción de larvas de los tallos o ramas (cirugía), mediante el uso de jeringas alrededor del sitio donde se observa la sintomatología del daño, y evaluar su efecto a los cinco días (figura 6.48) (Carabalí, 2011).

Fotos: Fotos: Ana Milena Caicedo Vallejo y Arturo Carabalí Muñoz

Figura 6.48. Aplicación de nematodos entomopatógenos en tallo. a. Selección del sitio con daño; b. Aplicación de nematodos entomopatógenos; c. Larva afectada con nematodos después de tres días de inoculación.

Grajos o chinches

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Antiteuchus tripterus **(F.)**
Antiteuchus pallescens **(Stal)**
Antiteuchus piceus **(Palisot de Beauvois)**
(Hemiptera: Pentatomidae)

Descripción e importancia

El adulto de *Antiteuchus tripterus* (figura 6.49) es de color marrón brillante, de forma ovalada, con manchas rojas sobre el tórax y la base de las alas. Oviposita en cualquier parte del árbol. Los huevos son puestos en grupos de 18 a 30 y el período de incubación es de 9 a 13 días. Las ninfas se localizan de preferencia en los pedúnculos y brotes tiernos y tienen una duración de 64 días en promedio. Los adultos son activos y rápidos; cuando se molestan, expelen un olor desagradable (Umaña & Carballo, 1995).

Foto: Takumasa Kondo

Figura 6.49. Grajo o chinche, *Antiteuchus tripterus* (F.).

Los adultos y las ninfas de los chinches chupan savia en las partes tiernas de las ramas, en los retoños y en los pedúnculos de los frutos (Salas, 1984). Los adultos de *A. pallescens* son de color gris claro a casi negro. Ambos se encuentran en grupos. Con su aparato bucal picador chupador, producen daños en ramas y pedúnculos. La importancia económica de esta plaga está condicionada a la población que se desarrolle (Umaña & Carballo, 1995).

Síntomas

Los daños de los chinches se distinguen por la presencia de pústulas y manchas negras, algunas verrugosas, sobre pedúnculos y frutos. Las ramas tiernas, fuertemente atacadas, pueden secarse. Los frutos pequeños detienen su desarrollo, quedan pasmados, se secan y caen (Umaña & Carballo, 1995).

Condiciones favorables

Se les encuentra en todas las épocas del año, pero más en los períodos de sequía (Umaña & Carballo, 1995).

Manejo

Estos insectos son regulados por parasitoides y depredadores. En caso de presentarse presión de la plaga, se recomienda hacer poda sanitaria, retirar las estructuras afectadas y enterrarlas fuera del lote. En los huertos de aguacate, por lo regular, no se requiere hacer aplicaciones de insecticidas químicos dirigidas a este insecto. En casos excepcionales en los que aumente su población, debe consultarse con un ingeniero agrónomo que oriente el manejo de la plaga.

Insectos y ácaros del follaje

Trips, bichos candela

Édgar Herney Varón Devia
Takumasa Kondo

***Frankliniella gardeniae* Moulton**
Trips del invernadero: *Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouché)
Trips de banda roja: *Selenothrips rubrocinctus* (Giard)
Trips occidental de las flores: *Frankliniella occidentalis* (Pergande)
(Thysanoptera: Thripidae)

Descripción e importancia

Los trips (Thysanoptera) son considerados plagas importantes en el aguacate y causan daños en hojas, flores y frutos. Hoddle, Morse, Phillips, Faber y Jetter (2002) reportaron en América 26 especies de aguacate de los géneros *Caliothrips*, *Frankliniella*, *Heliothrips*, *Leucothrips*, *Neohydatothrips*, *Pseudophilothrips*, *Scirtothrips* y *Selenothrips*. Las especies asociadas a daños reportadas a nivel mundial son *Heliothrips haemorrhoidalis*, *Selenothrips rubrocinctus*, *Scirtothrips perseae*, *S. aceri*, *Frankliniella* spp. y *Liothrips perseae* (Bender, 1998; Coria, 1993; Childers, 1997; De Villiers & Van den Berg, 1987; Fisher & Davenport, 1989; McMurtry, Johnson, & Newberger, 1991).

En Colombia se han reportado varias especies, entre ellas: *Frankliniella gardeniae* Moulton, *Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouche), *Selenothrips rubrocinctus* (Girad), *Frankliniella occidentalis* (Pergande) y *Thrips palmi* Karny (Echeverri Flórez & Loaiza Marín, 1998; Sánchez, 2000a; Vergara, 1999).

Frankliniella gardeniae Moulton

Según Nakahara (1997), *F. gardeniae* está distribuido en Colombia, Costa Rica, México, Panamá y Trinidad. Fue descrita en México, y es conocida como una de las especies más comunes de cuerpo amarillo que viven en flores (Mound & Marullo, 1996). En investigaciones conducidas por AGROSAVIA se encontraron cuatro géneros de trips en los muestreos que se hicieron en el norte del Tolima y en el Valle del Cauca (figura 6.50) (Barragán et al., 2010).

Fotos: Edgar Herney Varón Devia

Figura 6.50. Géneros de trips encontrados en Tolima y Valle del Cauca. a. *Frankliniella* sp.; b. *Thrips* sp.; c. *Scirtothrips* sp.; d. *Aleurodothrips* sp.

El ICA, a través del entomólogo Ever Ebratt, realizó la identificación a nivel de especie de individuos de trips colectados tanto en el departamento del Valle del Cauca (Caicedonia) como en el norte del departamento de Tolima (Fresno). Los resultados indicaron que la especie *Frankiniella gardeniae* es la predominante en las flores de aguacate, ya que se encontró en todos los sitios de muestreo, tanto en Fresno como en Caicedonia. Se encontraron, en una proporción menor, las especies *Thrips palmi* y *Thrips* sp. (Barragán et al., 2010).

Los trips son insectos pequeños, de un milímetro de longitud, delgados, con alas plumosas; no son buenos voladores, pero pueden ser llevados a grandes distancias por el viento. El ciclo biológico de algunos trips es de alrededor de 21 días, y las hembras pueden ovipositar hasta 37 huevos. El daño consiste en un raspado del tejido vegetal

debido a la alimentación de la larva y el adulto; la hembra hace daño con el ovipositor al perforar varios puntos en el fruto antes de colocar los huevos. En este acto causa una herida que se torna amarillenta; cuando se combinan varias heridas se llegan a secar las hojas (González-Hernández et al., 2000).

Los trips presentan reproducción sexuada y partenogénica (Sánchez, 2000a). La reproducción partenogénica generalmente es de tipo arrenotokia, es decir, producción de machos solamente, y la producción de ninfas puede ser mayor que en la reproducción sexual (Guarín Molina, 2003). Los daños atribuidos a este insecto en Fresno ascendieron al 6,3 % de los frutos durante el período de julio-diciembre del 2008 (Echeverri, Loaiza, & Cano, 2004).

Síntomas

Los trips lesionan hojas y frutos de aguacate como resultado de su alimentación en las capas de células de la epidermis, creando áreas pálidas o cafés; las lesiones originadas pueden ser puntos de entrada de microorganismos patógenos. Los frutos se tornan de color café y de consistencia áspera, con agrietamientos que reducen su valor comercial (figura 6.51a). En los frutos, estos insectos llegan a causar cicatrices o marcas que reducen su valor en el mercado. Pueden además producir malformaciones en la fruta al provocar alteraciones en la cáscara de frutos recién formados; dichas cicatrices son protuberancias alargadas que simulan venas (figuras 6.51b y 6.51c). Los trips inhiben la fecundación de las flores y provocan su caída (Ascensión-Betanzos, Bravo-Mojica, González Hernández, Johansen-Naime, & Becerril Ramos, 1999).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.51. Síntomas de daño por trips en frutos. a. Costras; b. Protuberancias o venas en el cultivar Hass.

En un trabajo de investigación llevado a cabo en el norte del Tolima y en el Valle del Cauca, se estudiaron los trips presentes en hojas, flores y frutos. Echeverri Flórez y Loaiza Marín (1998) encontraron que el *F. gardeniae* es más abundante y común en las flores de aguacate, en comparación con las hojas y los frutos. Los trips en aguacate tienen su población regulada por la disponibilidad de alimento, por lo tanto la influencia de la floración sobre la población de trips puede ser explicada por la mayor disponibilidad de alimento representada por el polen, que es un alimento proteico, por la miel, que es un alimento energético, y por partes florales, como pétalos, sépalos y anteras, que son importantes como alimento y abrigo, ofreciendo protección contra enemigos naturales, lluvias, vientos, insecticidas y otros factores. La alimentación con polen es también necesaria para la oviposición de algunas especies de trips (Tsai, Yue, Funderburk, & Webb, 1996) y la presencia de flores con polen debe favorecer el crecimiento de la población de algunas especies, como *Frankliniella* sp., muy común en flores (Frantz & Mellinger 1990; Mound & Kibby, 1998; Mound & Marullo, 1996).

En cultivos de aguacate en el municipio de Fresno los trips causaron pérdidas promedio hasta de 6,3 % en frutos, desde noviembre de 2008 a enero de 2009 (Barragán et al., 2010). En el Valle del Cauca se encontró un trips del género *Frankliniella* especialmente en las flores de *Bidens pilosa*, con hasta un 80 % de presencia (figuras 6.52 y 6.53); para las condiciones del Tolima también se mantuvo esta tendencia, con un 100 % de presencia de este trips en flores y un 61 % en frutos, demostrando ser el trips de mayor presencia en las flores de los cultivos de aguacate de las dos zonas (tabla 6.1).

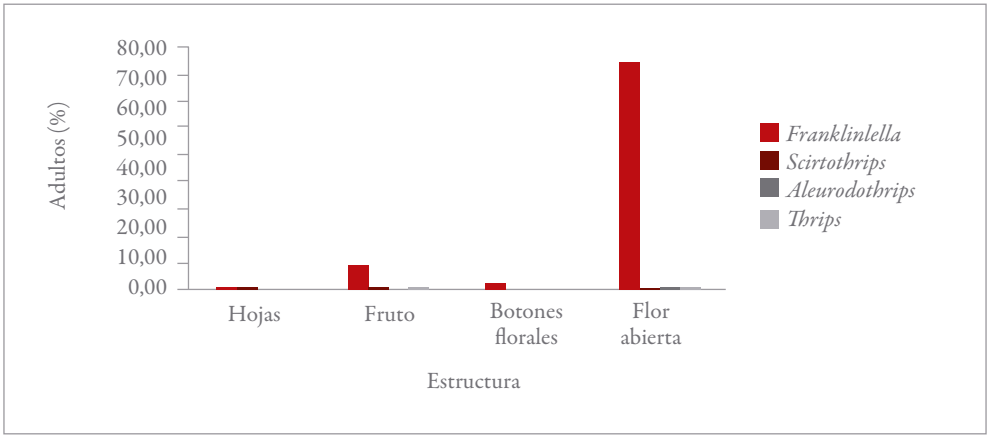


Figura 6.52. Porcentaje de géneros de trips encontrados en las diferentes estructuras del cultivo de aguacate en el departamento del Valle del Cauca.
Fuente: Édgar Herney Varón Devia

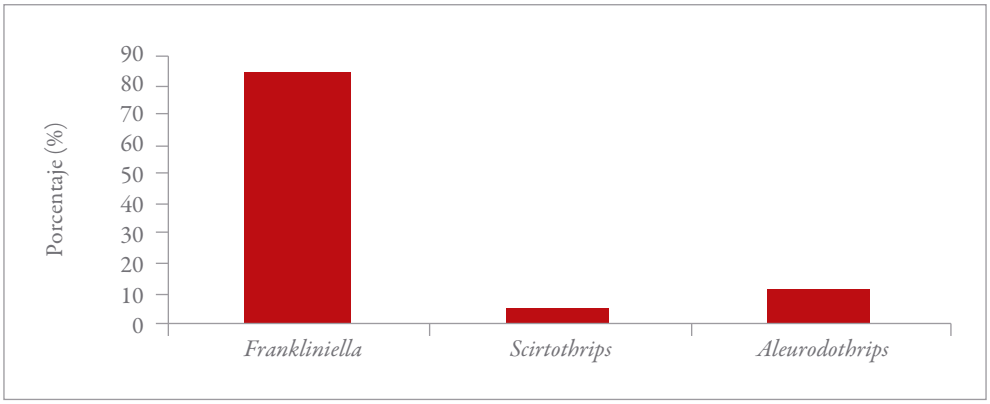


Figura 6.53. Porcentaje de géneros de trips encontrados en flores de papunga (*Bidens pilosa*) en cultivos de aguacate en el departamento del Valle del Cauca.
Fuente: Édgar Herney Varón Devia

Tabla 6.1. Porcentaje de géneros de trips encontrados en las diferentes estructuras del cultivo de aguacate en el departamento del Tolima

Estructura	Número de muestras evaluadas	Familia	Subfamilia	Género	Porcentaje
Flor	20	Thripidae	Thripinae	*Frankliniella*	100,00
Fruto	11	Thripidae	Thripinae	*Frankliniella*	64,64
		Thripidae	Thripinae	*Scirtothrips*	27,27
		Thripidae	Thripinae	*Dendrothrips*	9,09
Total	31	1	1	3	

Fuente: Édgar Herney Varón Devia

Condiciones favorables

La población de trips en aguacate aumenta en la época de floración. El género *Frankliniella* es común en flores de papunga (*Bidens pilosa*), una maleza común en cultivos de aguacate (figura 6.54). Cuando esta maleza florece, aumenta la población de *F. gardeniae* (Barragán et al., 2010). Dentro de las variables ambientales, la temperatura es el factor de mayor influencia sobre la fluctuación de los trips, que presenta valores mínimos y máximos para el desarrollo de los insectos y puede ser medi-

da en grados días. La temperatura tiene su influencia directa sobre varios procesos metabólicos y sobre los sistemas de control nervioso y humoral que regulan los procesos de reproducción (Echeverri Flórez & Loaiza Marín, 1998). La humedad no ejerce un efecto directo sobre la dinámica, pero si se reduce por debajo de los limites críticos o se eleva por encima de un cierto límite entonces los insectos pueden morir (Echeverri Flórez & Loaiza Marín, 1998).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.54. Papunga (*Bidens pilosa*), planta hospedera de trips del género *Frankliniella* en cultivos de aguacate.

Las trampas acrílicas de color azul claro con pegante valvulina n.º 125 permiten muestrear la población de adultos (figura 6.55). Se requieren 12 trampas/árbol para tener capturas apropiadas (Barragán et al., 2010).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.55. Trampa empleada para establecer la fluctuación de poblaciones de adultos de trips.

Manejo

El monitoreo de la población de trips es fundamental para establecer los períodos críticos y tomar medidas de manejo oportunas. Para ello puede utilizarse la trampa de color azul con pegante valvulina n.º 125 o el muestreo con solución de agua y suavizante. Los asistentes técnicos suelen hacer la inspección de la presencia de trips mediante golpeteo de inflorescencias sobre una superficie de color blanco. Este método es útil cuando hay suficiente conocimiento de las especies de trips, de tal manera que se distingan las especies plagas de las depredadoras; para esto, se requiere de una lupa con buen aumento. Se debe evitar la presencia de flores de la maleza papunga o amor seco (*B. pilosa*) en el lote. Igualmente, revisar la presencia de *F. gardeniae* en otras plantas de la familia Compositae (compuestas) para tener conocimiento preventivo de la llegada de los trips al lote, especialmente en etapas previas a la floración del cultivo (Barragán et al., 2010).

Los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* cepa Bv 043 y *Metarhizium anisopliae* cepa Mt 034, causan mortalidad del 58,3 y el 55,6 %. En condiciones de campo, el *B. bassiana* cepa Bv 043 fue superior y causó una mortalidad del 62,5 %. Los extractos de cebolla, ají y ajo han sido reportados como útiles para el manejo de trips (Guarín Molina, 2003). Las aplicaciones del extracto de ají, cebolla y ajo permitieron un control del 56,3 %, y las aspersiones con las sustancias minerales de azufre y sulfocálcico controlaron el 61,3 % de los trips en aguacate (Barragán et al., 2010). El control de los trips en otras regiones se realiza con aplicaciones de insecticidas y eliminación de malezas. En situaciones de población alta, pueden aplicarse insecticidas (Coria, 1993; Méndez, González, González, & Valle, 1999).

Trips del invernadero *Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouché)

Heliothrips haemorrhoidalis (figura 6.56) es una especie originaria del Nuevo Mundo, pero originalmente fue descrita en Europa por Bouché, en 1833, a partir de una muestra procedente de un invernadero (Denmark & Fasulo, 2008). Actualmente se encuentra en plantas silvestres y cultivadas en Brasil, las Indias Occidentales y América Central, Europa y el norte de África (CABI, 2017). El *Heliothrips haemorrhoidalis* probablemente se encuentra en casi todo el mundo debido a sus hábitos de vida en invernaderos; tiene poca capacidad de vuelo y prefiere alimentarse de las partes sombreadas de la planta (Denmark & Fasulo, 2008).

Foto: Cortesía de Cheryle A. O'Donnell, USDA-APHIS-PPQ

Figura 6.56. *Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouché).

El estado de huevo es de color blanco, con forma de banano, y se encuentran insertados en el tejido de la planta de manera individual. Mediante la ayuda de una lupa se puede observar la punta del huevo insertado sobre el sustrato de la planta. En general, las primeras etapas larvales son de color blanquecino, con ojos rojos, pero toman un tono amarillento después de un tiempo de alimentarse. Las larvas maduras tienen en promedio 1,0 mm de longitud. El insecto pasa por dos estadios larvales y luego pasa a un estado de prepupa, con color amarillo claro, ojos rojos y vestigios de alas. La pupa es levemente más grande que la prepupa, con vestigios de alas más desarrolladas y ojos más grandes. Las pupas son de color amarillento y se oscurecen con la edad. En la etapa de pupa, las antenas se posicionan hacia atrás de la cabeza. Las etapas de prepupa y pupa no se alimentan (University of California, 2016; Kondo-Rodríguez, 2010).

El adulto tiene la cabeza y el tórax de color negro y el abdomen varía entre amarillo, amarillo-rojo, marrón o negro; las patas son de color amarillo claro. Las antenas están compuestas por ocho segmentos. El trips de los invernaderos se reproduce sin apareamiento por medio de partenogénesis y los machos muy rara vez se colectan. Las hembras adultas buscan las hojas o frutos donde insertan sus huevos en la superficie. El trips de los invernaderos, *H. haemorrhoidalis*, se alimenta principalmente del follaje de plantas ornamentales: ataca primero el envés de las hojas y en cuanto avanza el tiempo y la población aumenta, se mueven a la superficie de las hojas, causando decoloración y ocasionando un aspecto distorsionado entre las nervaduras laterales. Las hojas con daños severos se tornan amarillas y se caen (University of California, 2016; Kondo-Rodríguez, 2010).

Síntomas

En ataques del insecto, se presentan pequeñas gotas de un líquido rojizo excretado por los trips, que gradualmente se vuelve negro. Estas gotas de líquido aumentan de tamaño hasta que caen y otras comienzan a formarse, lo cual es un síntoma característico en las hojas afectadas, que presentan manchas negras a causa del material fecal (University of California, 2016; Kondo-Rodríguez, 2010).

Condiciones favorables

Los lugares sombreados de las plantas favorecen la presencia y permanencia del trips del invernadero (Denmark & Fasulo, 2008).

Manejo

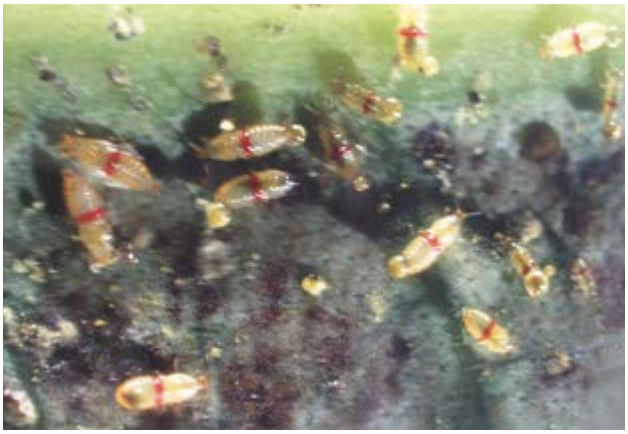
Ver sección de "Manejo" de *Selenothrips rubrocinctus* (p. 58).

Trips de banda roja *Selenothrips rubrocinctus* (Giard)

El trips de banda roja, *Selenothrips rubrocinctus* (Giard), fue descrito por primera vez en la isla Guadalupe, en las Antillas Occidentales, causando daños considerables en el cultivo del cacao. Por esta razón, a este insecto también se le conoce comúnmente como el “trips del cacao” (Denmark & Wolfenbarger, 2008; Kondo-Rodríguez, 2010).

El trips de banda roja (figura 6.57) es una especie tropical-subtropical, probablemente originaria del norte de Sudamérica (Chin & Brown, 2008). *Selenothrips rubrocinctus* se ha reportado en Asia, en China, Filipinas, Malasia y Taiwán; en África, en Bioko, Costa de Marfil, Ghana, isla de Príncipe, Nigeria, Sierra Leona, Tanzania, Uganda y Zaire; en Australia y las islas del Pacífico, en Hawái, las islas Marianas, Nueva Caledonia, Nueva Guinea, Papúa y las islas Salomón; en América del Norte, en Florida y México; en América Central, en Costa Rica, Honduras y Panamá; en las Antillas Occidentales; en América del Sur, en Brasil, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela (Denmark & Wolfenbarger, 2008). En Colombia has sido reportado por Posada (1989) y Gallego y Vélez (1992).

El insecto adulto (hembra) tiene aproximadamente 1,2 mm de longitud; es de color marrón oscuro a negro, y se caracteriza por tener un pigmento rojo, principalmente



Fotos: Takumasa Kondo

Figura 6.57. Ninfas de *Selenothrips rubrocinctus* (Giard). Nótese las gotas de excrementos en la parte posterior del abdomen.

en los tres primeros segmentos abdominales; los segmentos anales conservan un color negro rojizo, con las alas oscuras. El macho es similar a la hembra, pero es más pequeño y raramente colectado (Chin & Brown, 2008). Las ninfas y pupas de *S. rubrocinctus* son de color amarillo claro a anaranjado, con los tres primeros y los últimos segmentos del abdomen de color rojo brillante. El trips de banda roja tiene dos estadios ninfales que duran de nueve a diez días (Chin & Brown, 2008; Kondo-Rodríguez, 2010).

Las ninfas bien desarrolladas del segundo estado ninfal son de aproximadamente 1,0 mm de largo. Después del segundo estado ninfal, el insecto pasa por los estadios de prepupa y pupa, que duran de 3 a 5 días, hasta que los adultos emergen (Chin & Brown, 2008; Kondo-Rodríguez, 2010).

Los huevos de *S. rubrocinctus* son insertados en la superficie inferior de las hojas y son cubiertos con un líquido que al secarse forman un disco con una cobertura negra (Astridge & Fay, 2005). Las hembras ponen hasta 50 huevos y llegan a vivir un mes; los huevos eclosionan a los cuatro días (Chin & Brown, 2008). El ciclo de vida de *S. rubrocinctus* en La Florida (EE. UU.) es de aproximadamente tres semanas y tiene varias generaciones al año (Denmark & Wolfenbarger, 2008).

El *Selenothrips rubrocinctus* es una plaga polífaga, con diferencias frecuentes en sus hospederos preferidos, según su localidad. Ha sido reportado como una de las principales plagas del cacao y el mango en las Antillas Occidentales (Denmark & Wolfenbarger, 2008).

Síntomas

Los trips destruyen las células de los tejidos vegetales de los que se alimentan y ocasionan deformaciones en las hojas, daños al fruto, y causan un daño cosmético debido a las manchas de color oscuro causadas por sus excrementos en las superficies de las hojas. En casos severos pueden ocasionar la caída completa de las hojas de los árboles afectados. Estos y otros insectos excretan un líquido azucarado conocido como "miel de rocío", la cual cae en la superficie de las hojas, los frutos y las ramas, en donde crece la fumagina, dándole una apariencia sucia a los frutos y ocasionando el deterioro de su calidad cosmética. Las larvas y los adultos de los trips perforan la epidermis de las hojas y del fruto con su aparato bucal de tipo raspador-chupador para alimentarse. Los trips de banda roja prefieren alimentarse de hojas tiernas y su alimentación causa un síntoma conocido como "hoja plateada", así como la distorsión y caída de hojas (Denmark & Wolfenbarger, 2008).

Condiciones favorables

Los trips son más abundantes durante épocas cálidas y secas. Cuando no hay brotes en los árboles, los trips se hospedan en la maleza presente dentro de los huertos, principalmente en flores de plantas compuestas como el gigantón (*Tithonia tubiformis*) y otras arvenses asteráceas, como árnica (*Arnica* sp.), cinco llagas (*Tagetes lunulata)* y papunga (*Bidens pilosa*) (Sánchez, 2000a).

Manejo

Los trips de banda roja tienen una gran variedad de enemigos naturales, incluyendo arañas y ácaros, crisopas, trips depredadores y chinches piratas, especialmente del género *Orius* (Chin & Brown, 2008; Funderburk, Stavisky, & Olson, 2000). El control químico no es siempre necesario para el control de los trips, ya que los enemigos naturales son eficaces y comúnmente mantienen sus poblaciones en un bajo nivel de daño económico (Denmark & Wolfenbarger, 2008).

El diminuto parasitoide de larvas *Thripobius semiluteus* es el único enemigo natural eficaz conocido de los trips de invernadero; las larvas de los trips parasitados aparecen hinchadas en la parte lateral (Denmark & Wolfenbarger, 2008). Existen otros enemigos naturales del trips del invernadero, pero menos eficaces, que incluyen un parasitoide de huevos, *Megaphragma mymaripenne*, y tres especies de trips depredadores, *Franklinothrips orizabensis*, *F. vespiformis*, y *Leptothrips mali* (University of California, 2016).

Para el control de los trips, los jabones son seguros y efectivos. Las aplicaciones de productos químicos deben hacerse dirigidas al follaje o las flores tan pronto como se detecten los trips. Las aplicaciones semanales pueden ser necesarias hasta lograr el control. El insecticida debe ser aplicado en cantidades suficientes, especialmente sobre el envés de las hojas. En caso de que las plantas vuelvan a ser infestadas, se debe continuar la inspección periódica y repetir la aplicación del insecticida. Varios insecticidas sistémicos se aplican al suelo en forma de *drench* para que las raíces los absorban y luego sea consumido por los insectos que se alimentan de la savia. El control de los trips se puede alcanzar en algunas semanas y son más efectivos durante un tiempo. La persona que aplique el producto químico debe usar ropa de protección adecuada. Es indispensable leer y comprender las etiquetas de los insecticidas antes de aplicarlos. Cualquier decisión de manejo de trips debe realizarse bajo la orientación de un ingeniero agrónomo y estar enmarcada dentro de un programa MIP. Es necesario además tener en cuenta los períodos de carencia (ICA, 2012).

Trips occidental de las flores *Frankliniella occidentalis* (Pergande)

Frankliniella occidentalis se conoce como el trips occidental de las flores o trips del cogollo. El trips occidental de las flores es una especie originaria de América del Norte, pero en la actualidad se ha extendido a otros continentes, incluidos América del Sur, Australia y Europa, principalmente debido al transporte de material vegetal infectado. El trips occidental de las flores tiene más de 500 plantas hospederas, entre las que se incluyen un gran número de frutales, hortalizas y plantas ornamentales (Kirk & Terry, 2003). *Frankliniella occidentalis* es un insecto pequeño, que mide entre 1,0 y 1,4 mm de longitud. La mayoría de estos trips son hembras y los machos no son comunes. El adulto de *F. occidentalis* es alargado y delgado, su color varía de amarillo a marrón y tiene dos pares de alas largas. Los huevos miden 0,2 mm de longitud, son ovales o arriñonados, de color blanco. Las ninfas son amarillentas con ojos rojos. *Frankliniella occidentalis* puede vivir en su fase adulta entre dos a cinco semanas e incluso más y la ninfa puede vivir unos 20 días. Cada hembra puede poner de 40 a 100 huevos en los tejidos vegetales, frecuentemente en las flores. Las ninfas recién eclosionadas se alimentan de la planta hospedera durante dos de sus instares; después se dejan caer de la planta para completar los últimos dos instares más (Ramírez-Morales, 2007).

Frankliniella occidentalis es una de las especies de trips que succiona la savia del aguacate. El reducido tamaño de *F. occidentalis* le permite colonizar las yemas terminales. Sus picaduras dañan el punto de crecimiento y causan hipertrofia con alargamiento de entrenudos, lo cual hace que solo haya producción de hojas y que los racimos florales no se formen, daño conocido como látigo, fuete o machorreo (figura 6.58). También causan aborto de flores o atrofia en inflorescencias que presentan un ensanchamiento en sus extremos (figura 6.59) (Sánchez, 2000a).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.58. Daño de trips en ramas. a. Hipertrofia con alargamiento de entrenudos; b. Fuete o látigo (machorreo).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.59. Daño de trips en inflorescencias. a. Atrofia de frutos en cuajamiento; b. Deformación del ovario de la fruta; c. Frutos recién cuajados atrofiados.

Síntomas

Hipertrofia o alargamiento de entrenudos. Ausencia o malformación de racimos florales (Sánchez, 2000a).

Manejo

Las bajas temperaturas y la baja humedad atmosférica son adversas para el desarrollo de este insecto. Las lluvias fuertes también están asociadas a la reducción de su población. En general, se recomienda mantener los huertos libres de malezas que sirven de hospederos alternos de los trips, especialmente después de la cosecha y antes de la próxima floración, debajo del dosel del árbol, para eliminar las pupas de los trips, ya que la exposición al efecto del sol, el viento y las altas temperaturas ocasionan su desecación y muerte (Sánchez, 2000a). Dentro de sus enemigos naturales se incluyen chinches del género *Orius* y el hongo *Metarhizium anisopliae* (Ansari, Shah, Whittaker, Prasad, & Butt, 2007).

En climas cálidos, y cuando se esperan épocas secas prolongadas, se recomienda tomar medidas preventivas de manejo antes de que la población de trips se eleve. Para ello, después de la temporada de lluvias, que coincide con el inicio de la floración de los huertos, se pueden utilizar productos que contengan los siguientes ingredientes activos: malatión, lambdacihalotrina + tiametoxam, fipronil o spinetoram. Los insecticidas que se usen deben tener registro de uso en aguacate y ser aplicados bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo. Se recomienda verificar los periodos de carencia antes de hacer la aplicación (ICA, 2012).

Escamas

Takumasa Kondo

(Hemiptera: Coccomorpha)

En el mundo existen aproximadamente 8.000 especies de escamas descritas hasta el momento (García-Morales et al., 2016). Las escamas son insectos pequeños, generalmente de menos de 5 mm (Kondo, 2001). Este grupo de insectos incluye todos los miembros de la superfamilia Coccoidea y está compuesta de unas 32 familias (Kondo, Gullan, & Williams, 2008a). Los insectos escama están relacionados con los

pulgones (Aphidoidea), las moscas blancas (Aleyrodoidea) y los psílidos (Psylloidea), y juntos conforman el suborden Sternorrhyncha (Gullan & Martin, 2003).

En Colombia se conocen alrededor de 235 especies de escamas en 14 familias de insectos escama (Hemiptera: Coccomorpha) (García-Morales et al., 2016). En este país se han hecho pocos estudios sobre la fauna de artrópodos asociados a los cultivos de frutas. Posada et al. (1989) registraron 74 especies de insectos y ácaros asociados con aguacate en Colombia. La lista incluye 21 especies de insectos escama pertenecientes a tres familias, aproximadamente el 30 % de los artrópodos registrados en aguacate en Colombia. En la última década, tres nuevas especies se han agregado a la lista de insectos escama registrados sobre el aguacate en Colombia, incluyendo *Laurencella colombiana* Foldi & Watson (2001) (Monophlebidae); *Akermes colombiensis* Kondo & Williams (2004) (Coccidae) y *Bombacoccus aguacatae* Kondo (2010).

Kondo y Muñoz (2016) realizaron un estudio faunístico de insectos escama (Hemiptera: Coccoidea) del aguacate en cinco departamentos de Colombia (Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca) en el periodo de octubre del 2008 a octubre del 2009. Como nuevos registros de insectos escama del aguacate, Kondo y Muñoz (2016) listaron 22 especies para Colombia y nueve especies a nivel mundial, i.e., *Lindingaspis rossi* (Maskell), *Pseudischnaspis bowreyi* (Cockerell) (Diaspididae), *Pulvinaria psidii* Maskell, *Saissetia neglecta* De Lotto (Coccidae), *Ferrisia kondoi* Kaydan & Gullan, *Pseudococcus jackbeardsleyi* Gimpel & Miller, *Ps. landoi* (Balachowsky) (Pseudococcidae), *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Margarodidae) y *Austrotachardiella colombiana* Kondo & Gullan (Kerriidae). En Colombia, se han registrado 44 especies y a nivel mundial se han registrado 137 especies de insectos escama sobre el aguacate (Kondo & Muñoz, 2016). En total, para Colombia, Kondo y Muñoz (2016) colectaron 34 especies de insectos escama distribuidas en siete familias taxonómicas (i. e., Coccidae, Diaspididae, Kerriidae, Margarodidae, Monophlebidae, Pseudococcidae y Putoidae). Los resultados de ese estudio, junto con registros bibliográficos, aumentaron el número de insectos escama colectados sobre el aguacate en Colombia a 44 especies. Las especies comúnmente colectadas sobre el aguacate en Colombia incluyen: *Hemiberlesia cyanophylli* (Signoret), *Pseudoparlatoria parlatorioides* (Comstock) (Diaspididae), *Ceroplastes rubens* Maskell, *Coccus hesperidum* L., *Protopulvinaria pyriformis* (Cockerell), *Pulvinaria psidii* Maskell, *Saissetia neglecta* De Lotto (Coccidae) y *Ferrisia williamsi* Kaydan & Gullan (Pseudococcidae). La escama blanda algodonosa del aguacate *Bombacoccus aguacatae* Kondo es una nueva plaga esporádica en los departamentos de Antioquia, Caldas, norte del Valle del Cauca (Kondo et al., 2011).

La mayoría de los insectos de escama reportados por Kondo y Muñoz (2016) se encontraron en bajas poblaciones. Por ejemplo, en el caso de *Akermes colombiensis* Kondo & Williams solo se recolectó un ejemplar en una rama de un árbol de aguacate del cultivar Lorena. Un espécimen del insecto laca, *Austrotachardiella colombiana*, conocido como plaga de la guayaba (Kondo & Gullan, 2005), fue recolectado sobre aguacate, pero no parece ser común en el aguacate (Kondo & Muñoz, 2016). La perla de tierra, *E. colombianus*, es una plaga reconocida de la mora *Rubus glaucus* (Rosaceae) y la arracacha *Arracacia xanthorrhiza* (Apiaceae) en Colombia (Jakubski, 1965). En ese estudio, *E. colombianus* se recolectó en las raíces de un cultivar nativo no determinado de aguacate en Río Negro, Antioquia, en un área que solía ser un huerto de mora. El árbol parecía tolerar la presencia de *E. colombianus* y no se observaron síntomas particulares (Kondo & Muñoz, 2016). Cuatro especies de escamas de cera del género *Ceroplastes* Gray, a saber: *C. floridensis*, *C. rubens*, más dos especies no determinadas a nivel de especie fueron reportadas por Kondo y Muñoz (2016). *Ceroplastes rubens*, reportada en Colombia en *Aglaonema* sp. y *Philodendron* sp. (Araliaceae) (Kondo, 2008), es común en hojas de aguacate, pero generalmente en pequeños números y son controladas por parasitoides (Kondo & Muñoz, 2016).

Escamas o escamas protegidas

***Chrysomphalus dictyospermi* (Morgan)**
***Hemiberlesia cyanophylli* (Signoret)**
***Pseudoparlatoria parlatorioides* (Comstock)**
(Hemiptera: Diaspididae)

Descripción e importancia

Las escamas, también conocidas como “escamas protegidas” o “diaspídidos”, son insectos planos, muy pequeños, generalmente de 1 a 2 mm de diámetro, con una cubierta de color variable. Las ninfas femeninas escogen un sitio del árbol apropiado para su alimentación; allí clavan su aparato bucal, se alimentan, mudan y permanecen en el mismo sitio hasta que mueren. La hembra tiene tres instares, al primero se le llama “gateador”, tiene antenas y patas bien desarrolladas y se dispersan en este estadio. El segundo instar se desarrolla en el mismo sitio que escoge el gateador para alimentarse y permanece allí, ya que no tiene patas. La cera de la escama del segundo instar tiene dos capas: la capa superior es la exuvia (muda del insecto) del gateador, más la capa que la ninfa de este estadio produce. La hembra adulta se parece a la ninfa

del segundo instar, pero regularmente es más grande, tiene más poros, una vulva, y su cobertura cerosa o "escama" está compuesta por tres capas de cera (la exuvia del primer instar, la capa cerosa del segundo instar y una tercera capa que produce el adulto (Kondo, 2010). En Colombia se han registrado un total de 18 especies de escamas de armadura: *Acutaspis perseae* (Comstock), *Acutaspis scutiformis* (Cockerell), *Aspidiotus destructor* Signoret, *Aulacaspis tubercularis* Newstead, *Chrysomphalus dictyospermi* (Morgan), *Clavaspis herculeana* (Cockerell & Hadden), *Hemiberlesia cyanophylli* (Signoret), *Hemiberlesia lataniae* (Signoret), *Hemiberlesia palmae* (Cockerell), *Hemiberlesia rapax* (Comstock), *Howardia biclavis* (Comstock), *Lindingaspis rossi* (Maskell), *Mycetaspis personata* (Comstock), *Pseudaonidia trilobitiformis* (Green), *Pseudischnaspis acephala* Ferris, *Pseudischnaspis bowreyi* (Cockerell), *Pseudoparlatoria parlatorioides* (Comstock) y *Selenaspidus articulatus* (Morgan) (Kondo & Muñoz, 2016).

Síntomas

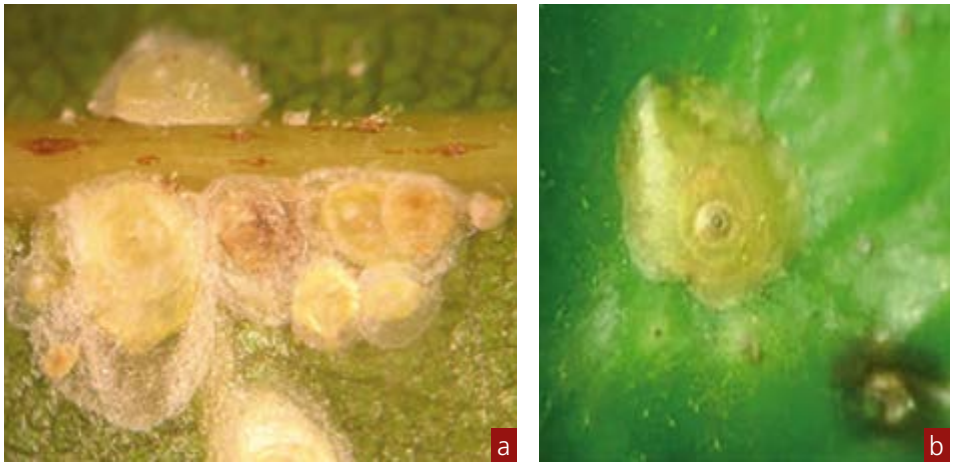
Muchas escamas viven agregadas y atacan troncos, ramas, hojas y frutos. Los árboles afectados pueden tolerar grandes poblaciones de estos insectos, pero son más susceptibles en épocas de sequía o en el estado de plántulas. Las escamas pueden aparecer en cualquier parte de las plantas, desde las hojas hasta los frutos, las ramas, los troncos y las raíces. Las plántulas son especialmente susceptibles y pueden llegar a secarse cuando la población es muy alta. La especie más común en aguacate es *Hemiberlesia cyanophylli* (Signoret) (Kondo, 2010).

Hemiberlesia cyanophylli (Signoret)

Hemiberlesia cyanophylli (Signoret) (figura 6.60a), comúnmente conocida como "escama de la palma", es altamente polífaga y ha sido registrada en 75 géneros de hospederos dentro de 44 familias de plantas (Davidson & Miller, 1990). La especie fue encontrada en el envés de hojas de aguacate en los cultivares Booth 8, Choquette, Lorena y en frutos del cultivar Hass (Kondo, 2010; Kondo et al., 2011; Kondo y Muñoz, 2016).

Chrysomphalus dictyospermi (Morgan)

Chrysomphalus dictyospermi tiene varios nombres comunes, como la escama de Morgan y la escama roja española. Presenta una cubierta circular, suavemente convexa y el centro tiene una coloración bronce, más oscura que el resto de la cubierta (figura 6.60b). Es considerada una plaga clave de cítricos, aguacate y de plantas tropicales y subtropicales (Davidson & Miller, 1990).



Fotos: Takumasa Kondo

Figura 6.60. Escamas del aguacate: a. Colonia de *Hemilberlesia cyanophylli* (Signoret) a lo largo de la nervadura de una hoja; b. *Chrysomphalus dictyospermi* (Morgan) sobre fruto de aguacate del cultivar Hass.

Chrysomphalus dictyospermi se encuentra comúnmente en ramas de aguacate de los cultivares Booth 7, Booth 8, Lorena y en frutos del cultivar Hass. *Hemiberlesia cyanophylli*, junto con *C. dictyospermi*, son los diaspídidos más comunes presentes en frutos de aguacate Hass, aunque el tipo de daño observado es de tipo cosmético. Esto puede ser debido a la textura rugosa de los frutos del cultivar Hass, que permiten que las escamas encuentren un medio de protección en las hendiduras del fruto (Kondo & Muñoz, 2016).

La escama blanca del mango *Aulacaspis tubercularis* Newstead también se ha encontrado sobre frutos de aguacate Hass (Kondo & Muñoz, 2016) y se han observado causando síntomas de clorosis en hojas de aguacatillo *Persea* sp. (Kondo & Muñoz, 2009). Algunas especies como *P. parlatorioides* causan síntomas de clorosis en las hojas (Kondo et al., 2011).

Pseudoparlatoria parlatorioides (Comstock)

Pseudoparlatoria parlatorioides ha sido hallada en los cultivares Booth 7, Booth 8, Choquette, Lorena, Santana y Trinidad, a diferentes alturas que van desde los 967 hasta 1.925 m s. n. m. (Kondo et al., 2011). Se ubican en el envés de las hojas de aguacate, viven agrupadas y pueden alcanzar hasta 600 individuos por hoja (figura 6.61). Frecuentemente causan clorosis en las hojas (Kondo et al., 2011; Kondo & Muñoz, 2016).

Fotos: Takumasa Kondo

Figura 6.61. Escama protegida *Pseudoparlatoria parlatorioides* (Comstock): a. Primer plano; b. Típica infestación sobre hojas.

Escamas blandas

Bombacoccus aguacatae **Kondo**
Ceroplastes rubens **Maskell**
Coccus hesperidum **L.**
Protopulvinaria pyriformis **(Cockerell)**
Pulvinaria psidii **Maskell**
Saissetia coffeae **(Walker)**
Saissetia neglecta **De Lotto**
Toumeyella **sp.**
(Hemiptera: Coccidae)

Descripción e importancia

Por lo general las escamas blandas son de mayor tamaño que las escamas protegidas y las cochinillas harinosas. Este grupo está caracterizado por la presencia de un par de placas anales, las cuales se abren para excretar la miel de rocío. Son insectos pequeños, inmóviles, convexos o planos; muchos están cubiertos por una cera delgada transparente, pero también hay especies con cera abundante como las del género *Ceroplastes*. Son de diferentes formas y colores, según la especie. Algunas especies producen un ovisaco, como *Protopulvinaria pyriformis* (Cockerell). La hembra tiene cuatro estadios: al primero se le denomina "gateador", tiene antenas y patas bien desarrolladas. En este estadio se dispersan.

Después del primer estado ninfal, las escamas blandas pasan por el segundo y el tercer estado ninfal. Las del segundo estado ninfal se parecen a los gateadores, pero carecen de setas largas en las placas anales como el gateador. Las del tercer instar se parecen a la hembra adulta, pero son más pequeñas, tienen menos poros y no tienen una vulva (Kondo, 2008; 2011). En Colombia se han registrado 15 especies de escamas blandas: *Akermes colombiensis* Kondo & Williams, *Bombacoccus aguacatae* Kondo, *Ceroplastes floridensis* Comstock, *Ceroplastes rubens* Maskell, *Coccus hesperidum* L., *Coccus longulus* (Douglas), *Coccus viridis* (Green), *Parasaissetia nigra* (Nietner), *Protopulvinaria longivalvata* Green, *Protopulvinaria pyriformis* (Cockerell), *Pulvinaria psidii* Maskell, *Saissetia coffeae* (Walker), *Saissetia neglecta* De Lotto, *Saissetia oleae* (Olivier) y *Toumeyella* sp. (Kondo & Muñoz, 2016). Generalmente, la mayoría de las especies se encuentran en bajas poblaciones.

Síntomas

Muchos de ellos excretan miel de rocío, un líquido azucarado que promueve el desarrollo de la fumagina. Estas condiciones son severamente dañinas en plántulas o en árboles de mucha edad. También pueden causar un daño cosmético cuando infestan directamente el fruto, o cuando la fumagina crece en los frutos cubiertos por la miel de rocío que estos excretan (Kondo, 2010).

Bombacoccus aguacatae Kondo

Conocida por los agricultores como "uvita", esta especie recientemente descrita se alimenta sobre ramas y tallos de diferentes variedades de aguacate, incluyendo Booth, Hass y Lorena (figura 6.62). Está comúnmente asociada con la fumagina que crece sobre la miel de rocío que producen estos insectos (Kondo, 2010; Kondo et al., 2011; Kondo & Muñoz, 2016).

Fotos: akumasa Kondo

Figura 6.62. Colonia de *Bombacoccus aguacatae* Kondo: nótese la cera blanca polvorienta de los insectos.

Ceroplastes rubens Maskell

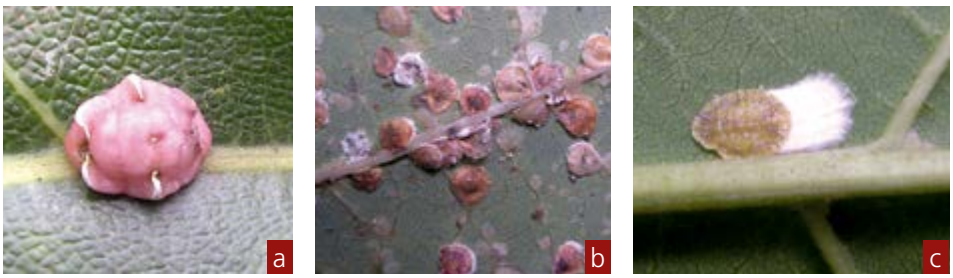
Ceroplastes rubens se ha encontrado en el haz de las hojas de los cultivares Booth 7, Booth 8, Choquette, Lorena y Trinidad (Kondo et al., 2011; Kondo & Muñoz 2016). En campo, esta especie puede diferenciarse de otras de *Ceroplastes* por la cubierta cerosa rojiza a vino tinto y por la presencia de dos pares de bandas blancas conspicuas que se extienden ventralmente hacia las márgenes (figura 6.63a) (Kondo, 2008).

Protopulvinaria pyriformis (Cockerell)

Esta especie fue encontrada en aguacate variedades Booth 7, Booth 8, Lorena, Santana y Trinidad. Se conoce como la "escama piriforme" por la forma de su cuerpo. Presenta un ovisaco corto que apenas sobresale del margen posterior del abdomen (figura 6.63b); el dorso es membranoso en las hembras jóvenes y los bordes se oscurecen en las hembras más viejas (Hamon & Williams, 1984). Esta especie de Coccidae es una de las escamas más comunes del aguacate en la zona estudiada y se ha registrado asociada a la presencia de fumagina en árboles donde estas escamas se encuentran en altas poblaciones (Kondo et al., 2011; Kondo & Muñoz, 2016).

Pulvinaria psidii Maskell

Se encuentra comúnmente sobre el envés de hojas y en algunas ocasiones sobre las ramas de los cultivares Booth, Lorena y Trinidad (Kondo et al., 2011; Kondo & Muñoz, 2016). Esta especie se conoce como la "escama de escudo verde", ya que el cuerpo de la hembra tiene forma oval, es moderadamente convexo y de un color verde intenso que se va reduciendo gradualmente. El ovisaco puede ser observado en el extremo posterior y se proyecta hacia fuera (figura 6.63c) (Hamon & Williams, 1984).



Fotos: Takumasa Kondo

Figura 6.63. Escamas blandas: a. *Ceroplastes rubens* Maskell; b. *Protopulvinaria pyriformis* (Cockerell): nótese el corto ovisaco y la forma triangular de su cuerpo; c. *Pulvinaria psidii* Maskell: nótese el largo ovisaco y la forma oval de su cuerpo.

Coccus hesperidum L.

Es una especie altamente polífaga, se encuentra en regiones tropicales y subtropicales y ha sido hallada atacando hojas y ramas. La hembra se caracteriza por su forma oval y suavemente convexa, de coloración café clara a amarilla, con manchas de color marrón. Esta especie se ha encontrado sobre el envés de las hojas en los cultivares Booth, Hass y Papelillo. Se observaron ejemplares con perforaciones, indicativo del ataque de parasitoides en campo. Aunque es común en hojas y ramas de aguacate, sus poblaciones regularmente son bajas y no se considera una plaga en el campo. En invernaderos, cuando el aguacate está en estado de plántula, pueden convertirse en plagas ocasionales (Kondo, 2010).

Saissetia coffeae (Walker)

Saissetia coffeae es conocida como la "escama hemisférica", y se encontró sobre el envés y el haz de las hojas de aguacate de los cultivares Booth y Lorena. Las hembras adultas son hemisféricas, ovales y con superficie muy convexa y brillante, y presentan una coloración amarilla a café oscura (figura 6.64a). Las hembras jóvenes tienen un escudo en el dorso en forma de H, similar a otras especies de este género. Es considerada una plaga de cultivos ornamentales en la Florida, EE. UU. (Hamon & Williams, 1984).

Saissetia neglecta De Lotto

Saissetia neglecta es conocida como la "escama negra del Caribe". Se caracteriza por la formación de escudo en el dorso en forma de H (figura 6.64b). En las formas inmaduras se observa una coloración café clara que se oscurece a medida que madura (Hamon & Williams, 1984). Fue colectada sobre ramas de aguacate de los cultivares Booth 8, Lorena, y Trinidad (Kondo et al., 2011; Kondo & Muñoz, 2016).

Toumeyella sp.

Toumeyella sp. ha sido encontrada en diferentes variedades de aguacate, como Booth 7, Booth 8, Choquette, Lorena, Santana y Trinidad, a alturas que van desde los 1.194 hasta los 1.651 m s. n. m. (Kondo et al., 2011; Kondo & Muñoz, 2016). Este insecto puede alcanzar una población alta (figura 6.64c) (Kondo, 2010).

Fotos: Takumasa Kondo

Figura 6.64. Otras escamas del aguacate. a. *Saissetia coffeae* Walker; b. *Saissetia neglecta* De Lotto; c. Colonia de *Toumeyella* sp.

Cochinillas harinosas

Ferrisia kondoi **Kaydan & Gullan y** ***F. williamsi*** **Kaydan & Gullan**
Pseudococcus jackbeardsleyi **Gimpel & Miller**
Nipaecoccus nipae **(Maskell)**
(Hemiptera: Pseudococcidae)

Descripción e importancia

Son insectos de forma oval, generalmente caracterizados por tener un cuerpo blando, cubierto con proyecciones de cera blanquecinas de diferentes tamaños. Al igual que las escamas blandas, tienen cuatro instares: el primer instar o gateador, las ninfas del segundo y tercer instar y la hembra adulta (cuarto instar). Las cochinillas harinosas se encuentran distribuidas por todo el mundo. Una de las especies más comunes en el aguacate en Colombia es *Ferrisia* sp.; su cuerpo es de color blanco grisáceo y mide de 3,0 a 5,0 mm de longitud, aproximadamente. Presenta filamentos de cera cortos, de color blanco, alrededor del cuerpo; tiene un par de filamentos cerosos, más largos en la parte posterior, que van gradualmente disminuyendo en grosor, y tiene dos puntos sin cera en la parte dorsal del abdomen posterior.

Ferrisia kondoi Kaydan & Gullan y *F. williamsi* Kaydan & Gullan

Ferrisia kondoi Kaydan & Gullan fue ocasionalmente encontrada sobre hojas, tallos y flores en los cultivos de aguacate. Su característica principal es la presencia de filamentos vidriosos muy delgados y alargados alrededor de todo su cuerpo (figura 6.65a). Esta especie comúnmente se encuentra sobre las hojas de su hospedero (Kondo & Muñoz, 2016). Una segunda especie, *Ferrisia williamsi* Kaydan & Gullan se puede encontrar sobre ramas, hojas y flor de aguacate (Kondo & Muñoz, 2016).

Nipaecoccus nipae (Maskell)

Nipaecoccus nipae se puede encontrar en el envés de hojas de aguacate de los cultivares Booth y Lorena (Kondo & Muñoz, 2016). La cera que la cubre puede manifestarse en los colores blanco o amarillo (figura 6.65b). Es una especie polífaga, común en cacao, guayaba, palmas y plátano (Kondo, Ramos-Portilla, & Vergara-Navarro, 2008).

Pseudococcus jackbeardsleyi Gimpel & Miller

Pseudococcus jackbeardsleyi (figura 6.65c) ha sido colectada sobre hojas del cultivar Hass (Kondo & Muñoz, 2016). Se reporta como una especie polífaga, común en toda la región neotropical (Williams & Granara de Willink, 1992). En Colombia ha sido reportada en aguacate, cacao, café, cítricos y plátano (Kondo, Ramos-Portilla, et al., 2008).

En Colombia se han registrado seis especies de cochinillas harinosas (Hemiptera. Pseudococcidae): *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell), *Ferrisia kondoi* Kaydan & Gullan, *Ferrisia williamsi* Kaydan & Gullan, *Nipaecoccus nipae* (Maskell), *Planococcus citri* (Risso), *Pseudococcus jackbeardsleyi* Gimpel & Miller y *Pseudococcus landoi* (Balachowsky) (Kondo & Muñoz, 2016). En general, las cochinillas harinosas no se consideran de importancia económica debido a la gran riqueza de enemigos naturales que las controlan. Sin embargo, el uso indiscriminado de insecticidas puede resultar en la eliminación de sus controladores y como resultado ocasionar brotes poblacionales.

Fotos: Takumasa Kondo

Figura 6.65. Cochinillas arinosas. a. *Ferrisia kondoi* Kaydan & Gullan; b. *Nipaecoccus nipae* (Maskell); c. *Pseudococcus jackbeardsleyi* Gimpel & Miller.

Síntomas

La presencia de cera o de fumagina sobre hojas o frutos da indicios de la ocurrencia de cochinillas harinosas. Las escamas blandas y las cochinillas harinosas excretan grandes cantidades de miel de rocío, cuyo líquido azucarado proporciona, frecuentemente, un medio excelente para el crecimiento de la fumagina (figura 6.66). Además de ser poco atractiva, la fumagina interfiere con la fotosíntesis de la planta y, de alguna manera, en su crecimiento. La fumagina por lo general desaparece después de que se controla la infestación de insectos asociados. Las hormigas se alimentan de la miel de rocío, por ello, cuando se observan hormigas, las plantas deben ser examinadas de cerca para detectar la presencia de estos insectos chupadores (University of California, 2014). Por otro lado, la cochinilla de cola larga es conocida como una plaga de numerosos hospederos (Williams & Granara de Willink, 1992). En el aguacate puede producir secamiento de brotes cuando su población es alta, y la miel de rocío que produce puede dañar la calidad de los frutos (Kondo et al., 2011).

Fotos: Takumasa Kondo

Figura 6.66. Presencia de fumagina causada por escamas. a. En frutos; b. En hojas; c. Generalizado en todo el árbol.

Otras escamas

Otros insectos escama registrados en Colombia sobre aguacate incluyen: el insecto laca *Austrotachardiella colombiana* Kondo & Gullan (familia Kerriidae), la perla de tierra de Colombia *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (familia Margarodidae), la cochinilla acanalada de Colombia *Crypticerya multicicatrices* Kondo & Unruh y la cochinilla gigante del aguacate *Laurencella colombiana* Foldi & Watson (familia Monophlebidae) (Kondo & Muñoz, 2016). Esta última, *L. colombiana*, es considerada una plaga de árboles de aguacate en Colombia, ya que causa la muerte de las ramas y una reducción significativa en la productividad y la calidad de la fruta (Foldi & Watson, 2001).

Manejo

Las infestaciones de escamas a menudo pasan desapercibidas hasta cuando las hojas se tornan de color amarillento y se secan, o cuando los síntomas de fumagina son evidentes. El monitoreo semanal durante todo el año ayuda a prevenir que se produzcan problemas graves. Es recomendable examinar cuidadosamente los tallos y el envés de las hojas para detectar la presencia de estos insectos. Se necesita usar una lupa con 10× de aumento para detectar escamas pequeñas. Las escamas pueden parecerse a hongos o agallas en las plantas y pueden estar ocultas en grietas de la corteza o en las axilas de las hojas (University of California, 2014).

Para reducir al mínimo los problemas de escamas, es necesario inspeccionar las plantas antes de comprarlas o sembrarlas. Si se encuentran algunas escamas, es recomendable podar las ramas o las hojas infestadas. Se debe destruir el material infestado y limpiar completamente la zona de las plantas afectadas (esto es especialmente importante en invernaderos y viveros). La población de estos insectos suele incrementarse en ambientes cálidos y húmedos, por lo tanto, se recomienda mejorar el flujo de aire dentro de las plantaciones o disminuir la densidad de siembra en la zona a fin de que las condiciones para su proliferación sean menos favorables. Se aconseja evitar el exceso de fertilizantes, pues los insectos escama, a menudo, ponen más huevos y sobreviven mejor en las plantas que reciben una gran cantidad de nitrógeno (University of California, 2014).

En condiciones naturales, los depredadores (p. ej., mariquitas y crisopas) y parasitoides (p. ej., pequeñas avispas) pueden suprimir las escamas lo suficiente como para que la utilización de insecticidas sea innecesaria. Algunos hongos parásitos también pueden reducir la población. Sin embargo, a veces estos enemigos naturales mueren por condiciones climáticas adversas o a causa de aplicaciones de plaguicidas. Si las escamas infestan zonas donde los enemigos naturales no ocurren, esto puede conducir a un brote poblacional.

Las escamas que han muerto a causa de parasitoides suelen tener un orificio pequeño, redondo, del tamaño de la cabeza de un alfiler en el sitio por donde ha salido el parasitoide. Los depredadores tienden a hacer daños irregulares, destruyendo la cutícula de las escamas. Si aparecen signos de parasitismo o depredación y se verifica la presencia de enemigos naturales, es recomendable tratar de preservarlos, minimizar el uso de productos tóxicos y usar plaguicidas selectivos para el control de estas

plagas (p. ej., aceites agrícolas) en lugar de insecticidas de amplio espectro. Si es posible, se recomienda atrasar la aplicación de plaguicidas y darles la oportunidad a los enemigos naturales benéficos para suprimir su población (University of California, 2014).

Conocer el momento adecuado para la aplicación de insecticidas es importante. Por ello, la aplicación insecticidas debe efectuarse bajo prescripción de un ingeniero agrónomo, con el esquema de MIP y teniendo en cuenta los períodos de carencia (ICA, 2012). La mayoría de los insecticidas de contacto no pueden penetrar la cera de las escamas cuando ya han producido su capa cerosa, como en los insectos adultos, por lo que se recomienda aplicar los plaguicidas cuando las escamas estén en la etapa de gateador (ninfas del primer instar), ya que son más vulnerables. Hay que monitorear la aparición de los gateadores, para lo cual se usan placas adhesivas, cintas envueltas alrededor del tronco o se pone una hoja o rama infestada en una bolsa para ver cuando los gateadores aparecen (University of California, 2014).

Se recomienda, primero, podar las partes de las plantas infestadas para permitir una mayor penetración de los insecticidas en el follaje y las ramas. Rociar las plantas a fondo, de manera que el insecticida aplicado llegue a todos los lados de las hojas, las ramas y los tallos vegetales. El uso de un adherente puede aumentar la cobertura y eficacia del pesticida. Las aplicaciones de un insecticida sistémico en *drench*, en el suelo, también pueden funcionar. Las reaplicaciones pueden ser necesarias, dependiendo del producto utilizado (University of California, 2014).

Los aceites agrícolas matan las escamas en todas las etapas y suelen proporcionar un buen control. Productos etiquetados como “aceite superior” y aceite agrícola son de alto grado y pueden ser utilizados en plantas tolerantes, ya sea durante las temporadas de cultivo o entre cosechas, pero en diferentes concentraciones. Es recomendable consultar la etiqueta del producto para verificar la sensibilidad de la planta y la temperatura adecuada para su uso (University of California, 2014). El producto citroemulsión, con registro para otras plagas del aguacate, puede ser útil para bajar la población de escamas y cochinillas harinosas; debe ser utilizado bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo. Las aplicaciones de insecticidas de contacto a menudo no dan buenos resultados si no se hacen cuando los gateadores están activos. Incluso cuando los pesticidas son aplicados correctamente, a veces son necesarias varias aplicaciones durante el tiempo de emergencia de los gateadores o cuando la población de la escama es alta y los gateadores se esconden debajo de la capa cerosa de escamas anteriores (University of California, 2014).

Es importante, además, considerar que las escamas muertas conservan sus capas cerosas y pueden permanecer en el vegetal durante varias semanas. En la actualidad no hay métodos disponibles para eliminar las cubiertas de cera de las escamas después de su control, salvo remoción física con un cepillo o agua a alta presión. Cuando mueren, las escamas blandas a menudo caen de las plantas. Las escamas vivas se diferencian de las escamas muertas con una prueba sencilla: aplaste algunas y note que las escamas muertas están secas, pero las escamas vivas tienen fluidos corporales (University of California, 2014).

Durante épocas secas, cuando la población de escamas aumente y se vean daños iniciales en el fruto, se puede aplicar la mezcla de 175 cm^3 malatión (malatión 57 %) con dos litros de aceite mineral emulsionado (citroemulsión) en 100 litros de agua (Londoño, 2008b).

Nota: Kondo y Muñoz (2016) registraron el número de especies de insectos escama para cada uno de los cultivares de su estudio, así: Booth, incluyendo Booth 7 y 8 (20 spp.), Choquette (6 spp.), Hass (5 spp.), Lorena (30 spp.), Trinidad (9 spp.), cultivares no determinados (10 spp.). Tres especies de escamas de armadura, *Aulacaspis tubercularis*, *Hemiberlesia cyanophylli* y *Chrysomphalus dictyospermi* se encontraron en la fruta de aguacate Hass, pero no se encontraron en frutas de otros cultivares. Esto puede deberse a que otros cultivares tienen pieles lisas, a diferencia de la textura rugosa del fruto de aguacate Hass, que proporciona un hábitat excelente para las escamas de armadura. En aguacates de piel suave, las escamas de armadura se encuentran generalmente alrededor del cáliz. La lista actual de insectos de escama en los aguacates en Colombia incluye especies recolectadas en las raíces, el tronco, las ramas, las hojas, las flores y los frutos. Aunque hay algunas especies que son capaces de alimentarse en diferentes partes de una planta, la mayoría de los insectos escama prefieren alimentarse en un sitio en particular de la planta. Por ejemplo, la perla de tierra, *Eurhizococcus colombianus*, solo se alimenta de las raíces y nunca es encontrada alimentándose en las partes aéreas de la planta. Del mismo modo, *Bombacoccus aguacatae* se alimenta de las ramas y las ramitas, pero no se encuentra en hojas, frutas o raíces.

Ácaros o arañitas

Martha Eugenia Londoño Zuluaga
Takumasa Kondo

***Oligonychus yothersi* McGregor (Acarina: Tetranychidae)**

Descripción e importancia

Los ácaros son arañas pequeñas de menos de 1 mm de longitud, con seis patas en estado inmaduro y ocho en estado maduro. Son difíciles de observar a simple vista. Viven comúnmente en colonias debajo de las hojas y a lo largo de las nervaduras de estas. Mediante financiación del MADR, AGROSAVIA identificó los ácaros limitantes del cultivo de aguacate, así como sus enemigos naturales. Actualmente en Antioquia, Caldas, Risaralda y el Valle del Cauca se han encontrado 26 especies diferentes de ácaros, pero solo la "arañita roja" *Oligonychus yothersi* (McGregor) es considerada como plaga por los productores de aguacate de estas zonas del país (Kondo et al., 2011). El daño consiste en agujerear los tejidos del follaje y succionar la savia, lo que causa el secamiento de las hojas. El follaje fuertemente afectado puede llegar a secarse y caer prematuramente. Cuando su población es alta, puede ocurrir una defoliación (Kondo et al., 2011).

Oligonychus yothersi es conocido en Colombia como la "arañita roja del cafeto" (Orozco, Duque & Mesa, 1990). Es un ácaro fitófago de hábitos polífagos. Ha sido reportado en Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Ecuador, Estados Unidos (California y Florida) y México (Orozco et al., 1990). León (2003) realizó estudios biológicos de *O. yothersi* en Chile, sobre dos cultivares de aguacate (Hass y Fuerte). En Colombia, Orozco et al. (1990) hicieron los primeros estudios biológicos de *O. yothersi* sobre *Coffea arabica*. En aguacate, Londoño (2008b) reportó ácaros de la familia Tetranychidae como ácaros que producen síntomas de manchas de color café, amarillo o rosa pálido en el haz de las hojas. Desde ese mismo año, en los cultivos de café en Colombia se vienen incrementando los daños a causa de la arañita roja, que afectan el área fotosintética y obligan a efectuar aplicaciones correctivas en este cultivo (Giraldo, Galindo, & Benavides, 2011).

El daño es ocasionado por los adultos y los estados ninfales. La biología de la arañita roja en aguacate fue estudiada recientemente en Colombia por Reyes-Bello, Mesa-Cobo & Kondo (2011). Los huevos son esféricos, de color hialino (figura 6.67a), con un filamento corto en la cara superior. Las larvas recién emergidas son de color amarillo y tienen tres pares de patas (figura 6.67b). Tiene dos estados ninfales que son más ovales que las larvas y poseen cuatro pares de patas. Las ninfas son similares al adulto, pero más pequeñas. Las hembras son ovaladas y de color rojizo; los machos son también de color rojo, pero más claros que las hembras y más alargados (figura 6.67c). El ciclo de vida se resume así: 1) huevo: 4,96 días; 2) larva: 2,25 días; 3) protocrisálida: 0,76 días; 4) protoninfa: 2,11 días; 5) deutocrisálida: 0,90 días; 6) deutoninfa: 2,61 días y 7) teliocrisálida: 1,28 días. La duración total de huevo a emergencia de adulto fue estimada en 14,34 días, a 26 °C ± 3 °C y 56 % ± 3 % HR. El porcentaje de supervivencia, o sea, el porcentaje de huevos que se desarrollan hasta estado adulto es del 53 %; la mortalidad más alta se da en el estado de larva, con un 36 % (Reyes-Bello et al., 2011).

Fotos: Julián Reyes

Figura 6.67. Ácaro *Oligonychus yothersi*. a. Adulto y huevos; b. Vista lateral del adulto.

Condiciones favorables

El crecimiento de la población de ácaros se ve favorecido por condiciones de sequía prolongada, acompañada de altas temperaturas. El foco de infestación suele iniciar por los bordes de carreteras, donde ocurre acumulación de polvo sobre las hojas (Giraldo et al., 2011).

Síntomas

Oligonychus yothersi es el ácaro más común en cultivos de aguacate. Cuando está presente, se evidencia porque se producen manchas de color café a rosa pálido en el haz de las hojas, que da follaje un aspecto de "bronceado" (figura 6.68). Dicho síntoma se presenta en hojas grandes, bien desarrolladas, pero rápidamente asciende hacia la punta de la rama y cubre las hojas nuevas. El ácaro produce telarañas muy finas que recubren la colonia que se ubica a lo largo de las nervaduras (Reyes-Bello et al., 2011).

Fotos: Takumasa Kondo y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.68. Síntoma del daño por ácaros: a. Árbol de aguacate cv. Lorena con ataque de *O. yothersi*; b. Detalle del síntoma en hojas.

En viveros donde se propaga el material vegetal para la siembra, se ha evidenciado la presencia del ácaro blanco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), cuyo síntoma característico es el enroscamiento de los bordes de las hojas más jóvenes (figura 6.69a) y la deformación entre las nervaduras con apariencia de ampollas. Las hojas atacadas se quedan pequeñas y se ven alargadas (figura 6.69b).

Fotos: Martha Eugenia Londoño Zuluaga y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.69. Daño del ácaro blanco: a. En plantas de vivero; b. Detalle en hojas atacadas.

Manejo

En general, se ha observado que la población de ácaros fitófagos es regulada de manera importante por factores abióticos como la lluvia y por sus enemigos naturales, principalmente, depredadores. La diversidad de ácaros e insectos depredadores de ácaros en el trópico ha mostrado buena capacidad de regulación de estos artrópodos en otros cultivos (Giraldo et al., 2011). En aguacate, se ha detectado la acción de enemigos naturales que combaten la arañita roja; entre ellos se destacan el coccinélido *Stethorus tridens* (Gordon) y las crisopas (figura 6.70) (Kondo et al., 2011).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.70. Ninfa de crisopa, depredador de *O. yothersi* y *M. persicae* en cultivos de aguacate.

En épocas de verano prolongado, cuando la población se incrementa, se puede usar un aceite agrícola como la citroemulsión o azufre en monosulfato + polisulfuro de calcio (Prohortícola), en dosis y frecuencias recomendadas y supervisadas por un ingeniero agrónomo. También pueden ser útiles los insecticidas con abamectina en dosis de 1,5 litros/ha o aspersiones con productos a base de azufre. Debe tenerse presente utilizar productos con registro ICA y considerar los períodos de carencia (ICA, 2012).

Agalla del follaje

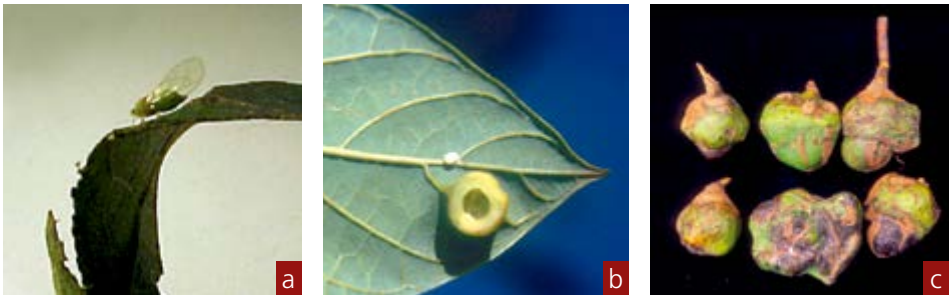
Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Trioza perseae **Tuthill**
Trioza magnoliae **(Ashmead)**
(Hemiptera: Psylloidea: Triozidae)

Descripción e importancia

El insecto adulto es de forma oval y aplanada, de color verde oscuro, con alas transparentes, patas cortas y robustas. Es muy parecido a los pulgones, tiene una longitud de 2 a 5 mm, antenas relativamente largas y patas adaptadas para el salto (figura 6.71a) (Hollis & Martin, 1997; Pineda & Venegas, 2006).

Se localiza en las principales zonas aguacateras del país, aunque es de importancia solo en árboles criollos. Su presencia en variedades mejoradas como Hass o Fuerte es casi nula. El huevo es muy pequeño, ovalado, de color amarillento y muy difícil de ver a simple vista. La ninfa mide de 0,3 a 0,5 mm de longitud; es de color anaranjado, de forma oval y aplanada; está provista de una orla de pelos o espinas en sus bordes y al salir del huevo produce ciertas secreciones que, junto a la alteración de los tejidos, ocasionan una hipertrofia o "agalla" en las hojas (figura 6.71b) y frutos (figura 6.71c), donde permanece la ninfa hasta que se transforma en adulto (Hoddle, 2008; Hollis & Martin, 1997).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.71. Agallas del follaje y frutos: a. Adulto sobre hoja; b. Agalla en hoja abierta artificialmente; c. Agallas que deforman los frutos.

Estas agallas son inicialmente de color verde claro y luego van cambiando hasta tornarse pardo oscuro. Muchas veces se encuentran "agallas" de color verde en la base y rojo intenso en la punta. Estos insectos atacan los brotes y las hojas tiernas donde

succionan la savia. Las poblaciones altas causan un debilitamiento del árbol (Hoddle, 2008). Reportes de México indican que las infestaciones severas de psílidos causan defoliaciones prematuras que reducen la producción (Ebeling, 1950; González-Hernández et al., 2000).

Condiciones favorables

No se conocen los factores predisponentes.

Síntomas

La planta atacada por este insecto sufre una gran debilidad a causa de las heridas y la pérdida de la savia de las hojas; se nota un descenso en la producción y un mal aspecto del follaje. Además, las secreciones de las ninfas son muy tóxicas para el vegetal. En los tejidos destruidos alrededor de las agallas, fácilmente se desarrollan hongos parásitos. Si las agallas son abundantes, se puede producir una rápida defoliación muy perjudicial (González-Hernández et al., 2000; Hoddle, 2008).

Manejo

El más práctico y económico consiste en la poda e incineración de las hojas atacadas, antes de que se propague la plaga a través del insecto adulto. Se reporta que algunos depredadores generalistas pueden consumir adultos de psílidos, tales como larvas de crisopas, arañas y coccinélidos, los cuales son comunes en cultivos de aguacate (Hoddle, 2008). En caso de requerirse un tratamiento adicional, la aplicación de sulfato de nicotina o de malatión (57 %) en dosis de 2 a 4 cm^3/L para el manejo de adultos puede ser útil, bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo.

Áfidos o pulgones

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Myzus persicae* (Sulzer)**
(Hemiptera: Aphididae)

Los áfidos o pulgones son insectos pequeños que miden entre 0,5 a 6,0 mm de longitud. Tienen forma globosa (figura 6.72a). Hay individuos sin alas y otros con cuatro alas transparentes y membranosas (Bustillo & Sánchez, 1977).

Los áfidos son insectos chupadores de savia y se localizan preferentemente en las partes más jóvenes de la planta, donde viven en tal cantidad que las recubren completamente (figura 6.72b). Suelen producir daños graves debido a la rapidez de su multiplicación, que causa la invasión del árbol en poco tiempo (Bustillo & Sánchez, 1977).

Síntomas

Cuando la población de áfidos es grande, se manifiestan síntomas típicos en la planta, como deformaciones de los brotes (figura 6.72c) y decoloraciones que ocasionan retraso en el desarrollo (Bustillo & Sánchez, 1977).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.72. Áfidos o pulgones. a. Adulto de forma globosa; b. Colonia en hojas jóvenes de aguacate; c. Síntoma del daño en brotes.

Condiciones favorables

Es común que los áfidos se incrementen durante períodos secos, cuando se presentan condiciones de clima con temperatura alta y humedad relativa baja. Los áfidos suelen estar asociados con las hormigas, las cuales se alimentan de las excreciones azucaradas producidas por ellos. Estas excreciones favorecen el desarrollo de la fumagina, un complejo de hongos que interfieren en el proceso de la fotosíntesis (Bustillo & Sánchez, 1977). Esta plaga se presenta comúnmente en viveros, donde ataca los puntos de crecimiento y causa atrofia y deformaciones que pueden ser riesgosas para mantener la calidad del injerto.

Manejo

Generalmente, la población de áfidos es baja y por lo tanto no requiere manejo. Sin embargo, en épocas secas, cuando su población se incrementa y se inician deformaciones en las hojas o los brotes, se deben tomar medidas correctivas. Las hormigas frecuentemente están asociadas con los pulgones, y cuando estos desaparecen, regularmente también lo hacen las hormigas asociadas con ellos. Por consiguiente, los tratamientos deben estar orientados al manejo de los áfidos. Pueden usarse soluciones jabonosas con base en nicotina o sulfato de nicotina. Los insecticidas como dimetoato, malatión o imidacloprid pueden ser útiles para el manejo de una población persistente en veranos prolongados, siempre y cuando tengan registro ICA para su uso en aguacate y sean dosificados bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo. Se deben tener en cuenta los períodos de carencia (ICA, 2012).

Mosca blanca de aguacate

Édgar Herney Varón Devia

Paraleyrodes* sp. pos. *bondari
(Hemiptera: Aleyrodidae)

Descripción e importancia

Las moscas blancas pertenecen al orden Hemiptera, compuesto por más de 30.000 especies de insectos fitófagos; actualmente se consideran tres subórdenes: Auchenorrhyncha, Heteroptera y Sternorrhyncha, este último suborden incluye las superfamilias: Aphidoidea, Psylloidea, Coccoidea y Aleyrodoidea (Borror, Triplehorn, & Jhonson, 1989).

Las moscas blancas pertenecen a la familia Aleyrodidae, la cual está compuesta por insectos muy pequeños que obtuvieron el nombre debido a que el cuerpo y las alas de los adultos están cubiertos con una cera blanca fina y polvosa o harinosa (Martin, 2004).

En Colombia se han registrado cinco especies de moscas blancas asociadas al cultivo del aguacate: *Tetraleurodes* sp. (Quaintance) (Gallego & Vélez, 1992), *Aleurodicus*

pulvinatus (Maskell) (Posada, 1989; Saldarriaga & Posada, 1993), *Paraleyrodes citricolus* (Costa Lima, 1928; Martin & Mound, 2007), *Aleurovitreus* sp. y *Paraleyrodes* sp. (Segura, 2012).

La principal especie de mosca blanca encontrada en el norte del Tolima correspondió al género *Paraleyrodes* (J. A. Quiroz, comunicación personal, 2015) pos. *bondari* (Segura, 2012) (figura 6.73). *Paraleyrodes perseae* Quaintance (1900) (citada por algunos investigadores como *Aleurodes perseae*) ha sido reportada en Cuba, México, Venezuela y Filipinas (Evans, 2008).

Foto: Luis Caicedo

Figura 6.73. Adulto de mosca blanca *Paraleyrodes* sp. pos. *bondari* posado sobre hoja de aguacate.

El ciclo total de desarrollo de mosca blanca en condiciones de laboratorio (22,09 °C y 78% HR) dura 27,7 días ± 0,18 (n = 10), así: 1) de huevo a ninfa I: 8,00 días ± 0,0813 (n = 11); 2) de ninfa I a ninfa II: 3,45 días ± 0,131 (n = 11); 3) de ninfa II a ninfa III: 4,45 días ± 0,110 (n = 11); 4) de ninfa III a pupa: 5,10 días ± 0,110 (n = 10) y 5) de pupa a adulto: 6,60 días ± 0,189 (n = 10) (Quiroga, Varón, Cruz, Monje, & Sierra, 2014).

Sánchez (2005), aunque no reportó condiciones de temperatura, humedad relativa y fotoperiodo, menciona que las hembras de la mosca blanca del género *Paraleyrodes* ovipositan en el envés de las hojas aproximadamente 125 huevos con forma oval, blancos, en colonias de color blanco polvosas, los cuales eclosionan entre los 10 y los 12 días.

Los adultos de *Paraleyrodes bondari* se caracterizan por tener la vena principal de las alas anteriores ramificada, y la longitud del cuerpo es menor a 1 mm. Una forma de fácil identificación es el círculo de cera y mielecilla que forman; la mosquita blanca

se encuentra en el centro en forma de nido (Pest and Diseases Image Library [PaDIL], 2012). Los adultos miden cerca de 1 ± 0,005 mm de longitud y tienen un cuerpo amarillo opaco con alas blancas. Dos bandas grises oblicuas se sitúan en cada ala anterior y convergen hacia la línea media, de tal manera que parecen formar una X, con el centro de la X que falta (Martin, 2004; Stocks, 2012).

Como consecuencia de los daños producidos por esta mosca, la brotación se frena o se debilita y disminuyen la floración, el número de frutos y su calibre; se produce un debilitamiento general del árbol, así como la proliferación de otras plagas que viven protegidas bajo la densa capa de secreciones que producen las ninfas. Los problemas en actividades culturales y recolección son considerables, con disminución del rendimiento y aumento de riesgo de accidentes. Además, el precio de la fruta se ve afectado (Santaballa, Borras, & Colomer, 1980).

Síntomas

En general, las moscas blancas causan a sus hospedantes dos tipos de daños:

- Daños directos: derivados de la intensa actividad chupadora de savia de las ninfas y, en menor intensidad, de los adultos, así como el taponamiento de estomas producido por la gran cantidad de melaza secretada por las ninfas (Santaballa et al., 1980).
- Daños indirectos: producidos por hongos saprófitos (fumaginas) que se desarrollan sobre la melaza, que contribuyen a la asfixia y al debilitamiento de las hojas, así como a la reducción de la actividad biológica propia de la planta (figura 6.74) (Santaballa et al., 1980).

Fotos: Edgar Herney Varón Devia

Figura 6.74. Daño indirecto en el envés de la hoja de aguacate ocasionado por ninfas de mosca blanca *Paraleyrodes* sp. al excretar sustancias azucaradas que propician el crecimiento de fumagina.

Condiciones favorables

La presencia de *Paraleyrodes* sp. pos. *bondari* se ve favorecida o disminuida dependiendo del cultivar sembrado, la abundancia de parasitoides, las condiciones climáticas y el manejo. En cuanto al cultivar, este insecto tiene mayor preferencia por el cultivar Lorena, que por Hass o Choquette (Sierra, Quiroga, & Varón, 2014). La abundancia de los parasitoides *Encarsia*, *Eretmocerus* y *Amitus* ejercen un control sobre las poblaciones de la mosca (figura 6.75). Por su parte, la alta humedad afecta negativamente sus poblaciones (Cruz Castiblanco, Varón Devia, Quiroga, Monje Andrade, & Sierra, 2016).

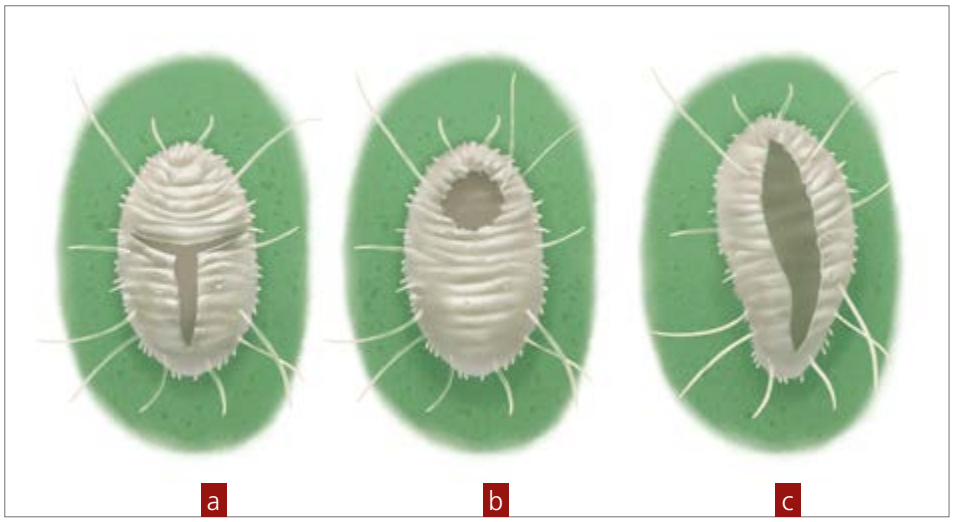


Ilustración: Juan Felipe Martínez

Figura 6.75. Estados de las ninfas de mosca blanca del aguacate (*Paraleyrodes* sp. pos. *bondari*). a. Normal; b. Parasitado; c. Depredado.

En las moscas blancas, el uso frecuente de insecticidas también puede generar poblaciones resistentes (Martínez-Carrillo, Servín-Villegas, Nava-Camberos, Cortez-Mondaca, & García-Hernández, 2006), lo que hace más difícil su manejo en las fincas.

Manejo

El manejo integrado de este insecto puede reunir las siguientes prácticas: muestreo, aplicación de un umbral de acción, el uso de insecticidas de síntesis química, la rotación de ingredientes activos, el uso de productos biológicos (entomopatógenos) y el incremento de parasitoides.

El muestreo de *Paraleyrodes* sp. pos. *bondari* debe consistir en la inspección de cuatro ramas del contorno del árbol tomadas del estrato bajo, la supervisión de cinco brotes/rama para registrar la presencia o ausencia de colonias de ninfas de mosca blanca presentes en el envés de una hoja intermedia o prebasal de cada uno de los brotes y el muestreo de 18 árboles/ha (Caicedo, Varón, & Brochero, 2016).

Se ha establecido un umbral de acción del 35 % de infestación en hojas (Caicedo, 2014). Se pueden hacer aplicaciones focalizadas de hongos a base de *Lecanicillium lecanii* mezclado con Neofat en áreas de altas poblaciones que sobrepasen este umbral. Basados en este umbral también se pueden hacer aplicaciones de productos a base de tiametoxam u otro insecticida neonicotinoide y pyriproxifen mezclados con algún coadyuvante, como Carrier. El manejo racional de insecticidas permitirá que los parasitoides prosperen (Varón, 2016).

Insecto pega-pega o insecto candela

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Platynota* spp.**
(Lepidoptera: Tortricidae)

Descripción e importancia

El adulto de esta plaga es una polilla de color café claro muy difícil de encontrar. Las alas del adulto son amplias; las delanteras son cuadradas y truncadas. Cuando está en reposo, el contorno de las alas semeja una campana. Los palpos labiales, la probóscide y las antenas son visibles y bastante largos en proporción al tamaño de la mariposa. La envergadura alar es de más de 1,25 cm, dependiendo de la especie (EcuRed, 2017; Bayer CropScience AG, 2013).

Los huevos son colocados en masas de cinco o más sobre la superficie de las hojas, en capas superpuestas. La larva es de color verde claro y alcanza hasta 2 cm de longitud (figura 6.76). Desde los primeros estadios, el insecto pega las hojas con sus hilos de seda, haciendo con ellas un refugio para su alimentación. Raspa la epidermis inferior de las hojas y produce una desecación. En ocasiones, pega las hojas hacia los frutos tiernos y se alimenta de la base de ellos; puede causar pudrición de fruto. En este paquete completa su desarrollo, incluyendo la pupa (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 1991; Bayer CropScience AG, 2013).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.76. Larva del pega-pega hojas en aguacate (*Platynota* sp.).

Síntomas

El daño de estos insectos es característico, ya que las larvas pegan una hoja joven con otra (figura 6.77a), y estas se van secando (figura 6.77b). Eventualmente hacen paquetes más grandes, enrollando de dos a siete hojas, que pegan por sus bordes con los hilos de seda que secretan (figura 6.77c) (Metcalf & Flint, 1981; Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 1991).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.77. Descripción del daño por el pega-pega en aguacate: a. Hojas jóvenes pegadas; b. Secamiento posterior de las hojas afectada; c. Paquete de hojas pegadas con hilos de seda.

La población de esta plaga puede llegar a ser tan alta que fácilmente lograría secar varias hojas de un árbol, dando el aspecto de haber sido quemado; de allí el nombre común de "insecto candela". Cuando se abre un paquete de hojas, las larvas brincan en forma brusca y caen al suelo.

Otro insecto con el mismo hábito es *Jocara subcurvalis* (Schaus) (Lepidoptera: Pyralidae), conocido como "tejedor del aguacate", el cual se distingue porque sus larvas son de color verde oscuro a café. Se localizan dentro de los paquetes de hojas que tejen con hilos de seda fuertes que son difíciles de despegar. El follaje atacado se seca, y las larvas esqueletizan las hojas del interior del paquete (figura 6.78) (Saldarriaga et al., 1981).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.78. Paquete del gusano tejedor del aguacate (*Jocara subcurvalis*).

Condiciones favorables

No se conocen las condiciones que favorecen su presencia en aguacate. En cítricos, su presencia se relaciona con el período inmediato siguiente a la floración (Nava et al., 2006). Su presencia es más común en viveros y son menos frecuentes en árboles maduros, quizás porque las prácticas de manejo contra otras plagas disminuyen su población (Kerns, Wright, & Loghry, s. f.). Suele verse con frecuencia en plantaciones mal tenidas, abandonadas o emboscadas.

Manejo

Para el manejo del insecto se recomienda recoger los paquetes cuando todavía están pequeños y quemarlos. El control químico es difícil por la forma protegida en que vive el insecto.

Cuando se observen los primeros grupos de hojas pegadas, que corresponden a larvas pequeñas, se puede aplicar *Bacillus thuringiensis* en dosis de 3 a 4 g/L, o malatión (57 %) en dosis de 2 a 4 cm^3/L (Saldarriaga et al., 1981).

Gusano canasta o tabaquito del aguacate

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Oiketicus kirbyi* Guilding**
***Oiketicus geyeri* Berg**
(Lepidoptera: Psychidae)

Descripción e importancia

Los insectos machos son de color gris marrón; tienen alas y patas con escamas alargadas, semejantes a pelos, y carecen de boca. La hembra no tiene alas y tanto las patas como la cabeza son muy rudimentarias; carecen de antenas y boca, y permanecen siempre dentro de la canasta que fabrican en el estado larval. La canasta de la hembra es más grande que la del macho y ovipositan dentro de ella entre 500 y 1.500 huevos. Son insectos poco movibles. Las larvas pequeñas inician su alimentación y construcción de la estructura en la cual viven y se desarrollan (Saldarriaga et al., 1981).

Su ataque inicial no es muy notorio por lo poco visibles que son sus larvas; sin embargo, cuando crecen pueden causar defoliaciones completas que afectan el desarrollo y la producción de frutos (Londoño, Pulido, García, Zenner, & León, 1999).

Síntomas

El daño de este insecto se distingue por la defoliación severa de los cogollos, la cual está acompañada de la presencia de canastas alargadas en forma de tabaco, elaboradas por las larvas con trozos de hojas y filamentos sedosos (figura 6.79) en el caso de *O. kirbyi*, o de palitos y filamentos sedosos en el caso de *O. geyeri* (Londoño et al., 1999).

Foto: Mónica Páramo

Figura 6.79. Gusano canasta.

Las larvas del insecto viven en el interior de estas estructuras, que cuelgan de los cogollos del árbol. Es un gran comedor de hojas y sus daños son bastante notorios (Londoño et al., 1999).

Condiciones favorables

En estudios realizados en México, se pudo constatar que esta plaga se encuentra con mayor frecuencia en climas templados, mientras que en condiciones más frescas de zonas altas su presencia es esporádica (Coria-Avalos, Lara-Chávez, Muñoz-Flores, Ávila-Val, & Guerrero-Tejeda, 2011).

Manejo

Es un insecto con excelente control biológico, que no requiere medidas de control con productos químicos. Se recomienda la recolección manual de las canastas formadas por el insecto y su traslado a sitios de cría en la misma plantación, donde son colocadas en cajones con malla tupida que permita la salida de los parasitoides, pero no de las polillas. Ante un crecimiento inusitado de la población de este insecto, se puede aplicar *Bacillus thuringiensis* en dosis de 3 a 4 g/L (Londoño et al., 1999).

Vaquitas del follaje, picudos del follaje

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Compsus* sp.**
***Pandeleteius viticollis* Champion**
(Coleoptera: Curculionidae)

Descripción e importancia

Estos picudos pertenecen a la familia Curculionidae, la cual comprende una cantidad considerable de especies que atacan diversas especies frutícolas. Tienen metamorfosis completa: huevo, larva, pupa y adulto. Los adultos de *Compsus* son de color blanco perla, los élitros son esculpidos y con líneas longitudinales de colores verde, azul o café iridiscente (figura 6.80a) (Sánchez, 2000b; Roa et al., 2005); los adultos de *Pandeleteius* spp. son de color café claro, también con los élitros esculpidos y presentan el primer par de patas más desarrollado que los otros dos (figura 6.80b). Ambas especies presentan dimorfismo sexual, y el macho es más pequeño que la hembra (Peñaloza & Díaz, 2004).

Los huevos del *Compsus* son oblongos y lisos; recién ovipositados son de color amarillo claro y se tornan blancos al final del período de incubación. Las larvas son vermiformes, con cabeza muy esclerotizada de color carmelita y mandíbulas grandes. Las pupas son del tipo exarata, de color crema, con ojos negros y de mayor tamaño en las hembras (Cano, 2000). Se estima que el ciclo total de vida del picudo de los cítricos en zonas productoras de cítricos oscila entre 14,7 y 17,2 meses (Peñaloza & Díaz, 2004). En los cultivos de aguacate de zonas cercanas a los cultivos de cítricos se

presume que el ciclo de vida dura lo mismo, mientras que en los cultivos de climas más fríos el ciclo puede tener mayor duración.

Una característica muy particular de las vaquitas y picudos del follaje es que atacan el aguacate en todas las zonas productoras. Hasta el momento es poco lo que se conoce sobre sus ciclos de vida, de ahí la necesidad de investigar acerca de estos picudos. Su alta capacidad de reproducción y sus fuertes explosiones hacen que la plaga se considere un grave peligro para el cultivo del aguacate (Hidalgo, 2012).

Síntomas

Los curculiónidos causan daño en las hojas, las flores y los frutos. En las hojas jóvenes producen cortes irregulares en las márgenes, destruyendo gran parte de su área (figura 6.80c) (Londoño, 2008b); igualmente, causan daño en el ovario, los pétalos y los frutos recién formados provocando su caída. En algunos casos, se encuentran daños de las raíces causados por las larvas. Este daño reviste mayor importancia, puesto que las heridas favorecen el ataque de patógenos, como hongos, bacterias y nematodos.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.80. Picudos del follaje: a. Adulto de *Compsus* sp.; b. Adulto de *Pandeleteius* sp.; c. Daño en hojas por los picudos del follaje.

Compsus spp. se ha reportado atacando 22 especies agrícolas, entre las que se destacan aguacate, plátano, banano, mora, mango, café, fríjol, yuca y guayaba, entre otras (Roa et al., 2005).

Condiciones favorables

Los picudos se ven favorecidos cuando no se realizan las prácticas adecuadas del cultivo y se presentan falta de podas sanitarias, poco o nulo control de malezas, distancias de siembra muy cortas, uso de empaques o canastillas sucias o con residuos de fruta, entre otros. En períodos secos prolongados, se observa la disminución de la plaga. Al inicio de las lluvias reaparece nuevamente. En cultivos de cítricos se ha evidenciado que existen dos temporadas de expansión poblacional de Compsus: la primera se inicia a principios de abril y se prolonga hasta julio, está acompañada por fuertes y abundantes lluvias, humedad relativa alta y fotoperiodo prolongado; la segunda temporada se inicia en septiembre y se extiende hasta noviembre (Peñaloza & Díaz, 2004).

Manejo

El manejo de estos insectos es estrictamente preventivo, para lo cual se deben seguir las siguientes recomendaciones: 1) monitoreo constante de las explotaciones comerciales de aguacate para detectar oportunamente su presencia; 2) adecuadas y oportunas prácticas culturales a los cultivos de aguacate, tales como fertilización, podas, destrucción de residuos, plateos, etc.; 3) lavado y desinfección de las canastillas para el transporte de la fruta; 4) control permanente mediante la recolección manual de insectos adultos; 5) implementación de un control biológico, teniendo en cuenta que la plaga, en periodos secos definidos, disminuye su población, y al inicio de las lluvias reaparece nuevamente, momento en el cual es importante aplicar hongos al follaje y al suelo, como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, los cuales atacan las larvas, las pupas y los adultos. En *Compsus* spp., se ha comprobado el control de larvas y adultos con los nematodos de la familia Heterorhabditidae (Orozco, 2011; Roa et al., 2005). 6) Permitir la acción de los parasitoides de huevo mediante la utilización de prácticas de manejo de la plaga que sean amigables con el medio ambiente (Cano et al., 2002). El control químico no es la solución ni la alternativa, tal como se ha comprobado en los países que tienen problemas con otros picudos.

Hormiga arriera, hormiga cortadora

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

***Atta* spp.**
(Hymenoptera: Formicidae)

Descripción e importancia

Las hormigas arrieras poseen tres castas diferentes: obreras, reinas y machos o zánganos. Las reinas son los mayores individuos de la colonia y miden de 24 a 26 mm de largo. El tórax y especialmente el abdomen son muy abultados. La coloración es castaño oscuro. La cabeza y las mandíbulas están bien desarrolladas. En una cavidad especial, llamada "cavidad infrabucal", conservan trocitos del hongo del que se alimenta. Las alas con venación muy simple son removidas por ellas mismas después del "vuelo nupcial", cortándoselas con las mandíbulas o quebrándoselas. Los machos o zánganos también son alados y su coloración es castaño claro. Las obreras son siempre ápteras y se caracterizan por el gran tamaño de la cabeza en relación con el cuerpo (figura 6.81a) (Solís, 2013).

Los huevos son de forma elíptica y color blanco, y generalmente son difíciles de ver en el jardín de hongos debido a la cobertura de hojas que los arropa. Las larvas son de tipo vermiformes, eucéfalas, ápodas y sin ojos. Las pupas son exaratas, desnudas, y muestran claramente las partes del cuerpo del futuro adulto, de color blanco al principio, que luego se torna café claro. La duración de las etapas puede mostrar variaciones de acuerdo con el tipo de sustrato fungoso en que se alimentaron larvas y adultos de las diferentes especies y debido al efecto de las condiciones ambientales, en especial la temperatura (Wheat, 1981).

La duración de las reinas es larga y puede llegar a los 20 años; la de los machos es relativamente corta, de 1 a 4 meses; luego del "vuelo nupcial" caen al suelo extenuados y mueren. Las obreras viven de 6 a 9 meses. Los huevos duran de 15 a 22 días; las larvas, de 12 a 22 días, la prepupa tarda 5 días y las pupas de 10 a 21 días, dependiendo de la especie y las condiciones climáticas (Solís, 2013).

Síntomas

Las hormigas recolectoras hacen cortes al follaje que provocan la defoliación total o parcial del árbol (figuras 6.81b y 6.81c). Las plantas que atacan las arrieras cubren un gran número de especies, no solo cultivadas, sino arvenses, de árboles de sombrío y forestales (Solís, 2013).

Fotos: Juan Camilo Henao y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.81. Hormiga arriera: a. Obrera; b. Daño en brotes terminales; c. Daño en el follaje.

Condiciones favorables

El "vuelo nupcial" de los machos y reinas tiene lugar antes del comienzo de la estación lluviosa. En algunas especies de *Atta* ocurre durante la noche. Luego del "vuelo nupcial", los zánganos caen al suelo y al poco tiempo mueren. Las reinas fertilizadas, y ahora ápteras, excavan un canal medio vertical que termina en un ensanchamiento o cámara; allí procede a limpiar muy bien, cierra el canal de entrada y posteriormente regurgita un trocito del hongo que conservaba en su cavidad infrabucal. Parece ser que cada especie de hormiga arriera cultiva una especie particular de hongo (Solís, 2013).

Manejo

Las hormigas arrieras son controladas por varios métodos, aunque los agricultores tradicionalmente han dependido exclusivamente del químico con resultados poco satisfactorios, consecuencias y riesgos indeseables. El método mecánico es el más eficiente si se aplica de manera oportuna y correcta; consiste en la localización y eliminación de la reina cuando el hormiguero tiene un solo conducto y una sola cámara, lo que ocurre hasta los tres meses después de que la reina ha iniciado la colonia, que presenta una profundidad no mayor a 20 centímetros. Los métodos culturales son labores que pretenden hacer las condiciones menos favorables para las hormigas o destruir sus colonias mediante labores que normalmente se realizan en los cultivos. Las más importantes labores culturales son aradas y rastrilladas, que son labores de preparación del suelo para la siembra de los cultivos y que además aseguran la eliminación de los hormigueros iniciales que haya en el lote (ICA, 2012).

Uno de los métodos culturales de manejo de las hormigas arrieras o cortadoras consiste en poner una barrera física o química o la combinación de ambas con el fin de impedir el daño que causan (Perkins Ltda., 2013). Una de las barreras consiste en la colocación de un embudo o cono invertido que se ajusta al tallo principal de los árboles, especialmente en sus primeros estados de desarrollo (figura 6.82a). Este aditamento se elabora con latón o un material sintético flexible que tenga una alta durabilidad en el campo y puede ir impregnado por dentro con un pegante para insectos denominado Insectrap. Las hormigas suelen desorientarse al tener que subir y bajar. Una segunda práctica es impregnar los tallos de los árboles con el pegante Insectrap, distribuido como un anillo de unos 10 a 15 cm de ancho alrededor del tallo principal, con el fin de crear una barrera física que impida el paso del insecto.

Otro tipo de barrera consiste en la colocación de un anillo de espuma sintética, que se ata al tallo o tallos principales del árbol con cinta aislante o con un trapo (figura 6.82b), impregnado en la parte superior con pegante o en su defecto con un insecticida específico. Cabe anotar que, en todos los casos, tanto el pegante como el insecticida deben ser revisados periódicamente para recargar el producto; también se deben cambiar las barreras utilizadas cuando se hayan deteriorado por efecto de las condiciones ambientales. En algunos casos se ha recurrido el uso de lana de fibra de vidrio atada a los tallos principales, lo cual impide el paso de los insectos y da buenos resultados (Finca Ayala, 2011).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 6.82. Métodos físicos para el manejo de hormiga arriera: a. Uso del cono invertido; b. Uso de cinta aislante con espuma.

Existen programas de control biológico aplicado contra las hormigas cortadoras. Los factores de mortalidad más sobresalientes que diezman las poblaciones de hormigas son los depredadores, entre los cuales los más importantes son: insectos, como moscas, hormigas, cucarrones y chinches; ácaros; aves, como cirirí, bichofué, pinches, cucaracheros, golondrinas, comehormigas, abejero escarlata, etc.; mamíferos, como el armadillo y el oso hormiguero; y otros, como arañas, escorpiones, lagartos, ranas y sapos (Agencia Aupec, 1998).

Muy pocas reinas de las que salen en vuelo nupcial logran éxito en el establecimiento de una nueva colonia; los momentos en los cuales ocurre mayor prelación se presentan durante el vuelo nupcial, la excavación del nuevo hormiguero, la instalación y la fijación del nuevo nido (Agencia Aupec, 1998). Respecto a los factores anteriores, se han venido adelantando investigaciones con varias especies de hongos que matan las hormigas y sus crías; los más importantes son *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, pero hasta el momento no se tienen resultados que permitan su recomendación como insumos eficientes de control (Lemus et al., 2008).

El método químico consiste en el uso de diferentes tipos de productos químicos con el objeto de matar el mayor número posible de hormigas, aunque siempre el blanco a atacar debe ser la reina ya que, si esta muere, la colonia empieza a debilitarse y

se acaba en pocas semanas. Los productos actualmente disponibles para el control de hormigas cortadoras o arrieras son los que contienen los siguientes ingredientes activos: carbaryl, acefato, foxim, clorpirifós, pirifos-metil y fipronil, entre otros. Para el control de las hormigas arrieras es necesario detectar los nidos y proceder a su control mediante diferentes técnicas, tales como: aplicación de formicidas en polvo, de concentrados emulsionables, de formicidas líquidos, de líquidos gasificables, de sólidos gasificables (pastillas), de cebos granulados, de formicidas nebulizados y de termonebulización. La técnica de aplicación de formicidas en polvo es la más común y utilizada para el control químico de la arriera y consiste en introducir un producto químico en el hormiguero. Para la aplicación eficiente de formicidas en polvo, se debe usar un inyector conocido con el nombre de "insufladota" (figura 6.83a), que está dotada de un tubo flexible que es introducido en los canales del hormiguero (figura 6.83b).

Otra forma de aplicación puede ser mediante el uso de una bomba de espalda a la cual se le retira la boquilla y el rotor. La lanza (sin boquilla) se introduce en el canal y luego se abre la llave de paso hasta aplicar la dosis recomendada. Los productos fumigantes podrían ser los más indicados para el control de hormigas cortadoras si no fuere por su alto costo y la alta peligrosidad para quien los manipula o aplica, la cual exige una buena capacitación técnica de los aplicadores. Cada punto de aplicación debe cubrir como máximo 5 m^2 de hormiguero.

Fotos: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 6.83. Aplicación de formicidas en polvo: a. Insufladora; b. Forma de uso en el hormiguero.

El uso de cebos granulados con clorpirifós ha mostrado ser uno de los mejores métodos de control de hormigas cortadoras. Los cebos granulados son formulaciones relativamente seguras si se manejan con las precauciones recomendadas por técnicos y fabricantes (Jiménez, 2013).

En conclusión, una propuesta sobre el manejo integrado de hormigas cortadoras o arrieras sería la siguiente: localizar y vigilar los arrierales viejos de la finca; vigilar los arrierales en el inicio del invierno; capturar hormigas aladas para el consumo humano o animal; detectar los nuevos hormigueros (montículos de tierra) y aperturas con herramientas manuales; proteger las aves; dejar bosque en las orillas de quebradas y ríos; respetar los bosques naturales en las cabeceras de los cerros o cordilleras; permitir que el rastrojo invada suelos pendientes y escarpados; colocar alimento para las aves en zonas aledañas a las construcciones (secaderos de café, corrales, alares, cercas, etc.); establecer cultivos asociados (policultivos) con buena preparación del suelo; vigilar los arrierales "lejanos", que viajan hasta los cultivos por encima del rastrojo; programar la aplicación de cebos tóxicos; programar la aplicación de cal con insufladora, bandas pegajosas en los tallos de los árboles y uso de lana de fibra de vidrio; programar la aplicación de insecticidas mediante insufladora, en caso necesario, preferiblemente antes de los periodos del vuelo nupcial; evaluar el trabajo mediante reuniones de campesinos; programar las campañas de control en forma comunitaria, con el fin de realizar barridos veredales. Este trabajo, organizado a través de las juntas de acción comunal, tendrá la posibilidad de recibir el apoyo y la colaboración de las Umata y de las administraciones municipales. En casos en los cuales los nidos resultan muy grandes, de varios años de establecidos, se sugiere utilizar máquinas termonebulizadoras que garanticen un cubrimiento completo del hormiguero (Jiménez, 2013).

Referencias

Acevedo, D. P. (2005). *Identificación de adultos fototácticos de la familia Melolonthidae (Scarabaeidae: Pleurosticti) en siete localidades del departamento de Antioquia* (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

Agencia Aupec. (1998). *Las arrieras atacan de nuevo*. [Ciencia al Día]. Recuperado de http://aupec.univalle.edu.co/informes/marzo98/arrieras.html.

Aguirre-Paleo, S., Cuiris-Pérez, H., Ruiz-Flores, R., Serna-Mata, E., Negrete-Nolasco, R., Gomez-Chaves, J., & Lara-Chavez, M. (2011). *Control biológico del barrenador de ramas del aguacate Copturus aguacatae Kissinger*. Proceedings VII World Avocado Congress, Cairns, Australia. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC7/Section_04/AguirreSalvador2011.pdf.

Ansari, M. A., Shah, F. A., Whittaker, M., Prasad, M., & Butt, T. M. (2007). Control of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) pupae with *Metarhizium anisopliae* in peat and peat alternative growing media. *Biological Control*, *40*(3), 293-297.

Arango, R., & Arroyave, H. (1991). *Ciclo de vida y hábitos de la chinche del aguacate* Monalonion velezangeli *(Carvalho & Costa) (Hemiptera: Miridae) en Antioquia* (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín.

Ascensión-Betanzos, G., Bravo-Mojica, H., González Hernández, H., Johansen-Naime, R. M., & Becerril Ramos, A. E. (1999). Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate cv. Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *5*, 292-296.

Astridge, D., & Fay, H. (2005). *Red-banded thrips in rare fruit*. Queensland: Department of Primary Industries and Fisheries. Recuperado de http://www2.dpi.qld.gov.au/ horticulture/5064.html.

Bayer CropScience AG. (2013). *Platynota* sp. [Fotografía]. Recuperado de http://www.bayercropscience.com.pe/web/index.aspx?articulo=308.

Barragán, E., Carabalí, A., Vanegas, M., Ramírez, L., Monje, B., Varón, E., ... & Naranjo, L. T. (2010). *Informe final proyecto "Opciones biológicas y no convencionales como estrategias para el manejo de trips (Thysanoptera: Thripidae), en aguacate (Persea americana Mill.), en los departamentos del Valle del Cauca y Tolima*. Bogotá: Corpoica.

Bender, G. (1998). Avocado thrips in San Diego Country. *Subtropical Fruit News*, *6*(2), 14.

Borror, D. J., Triplehorn, C. A., & Jhonson, N. F. (1989). *An introduction to the study of insects* (6th ed.). Philadelphia: Saunders College Publishing.

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 grado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia.

Bustillo, A., & Sánchez, G. (1977). *Los áfidos en Colombia: plagas que afectan los cultivos agrícolas de importancia económica*. Bogotá: ICA; Colciencias.

Caicedo, L. S. (2014). Estimación de umbrales de acción para la mosca blanca *Paraleyrodes* sp. (Hemíptera: Aleyrodidae) en aguacate (*Persea americana* Mill.) Hass y Lorena en el Fresno, Tolima, Colombia (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/47199/1/2577408.2015.pdf.

Caicedo, L. S., Varón, E., & Brochero, H. L. (2016). Binomial sampling of *Paraleyrodes* Quaintance pos. *bondari* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Agronomía Colombiana*, *34*(2), 209-216.

Caicedo, L. S., Varón, E. H., Bacca, R. T., & Carabalí, A. (2010). Daños ocasionados por el perforador del aguacate *Heilipus lauri* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en Tolima (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *11*(2), 129-136.

Cano, D. M. (2000). Biología, comportamiento y enemigos nativos del picudo de los cítricos *Compsus* sp. (Coleoptera: Curculionidae), en la zona central cafetera. En *Memorias del Seminario Nacional sobre el Picudo de los Cítricos Compsus sp. (Coleoptera Curculionidae)* (pp. 1-16). Pereira, mayo 11 del 2000.

Cano, D. M., Bustillo, A., Cárdenas, R., & Orozco, L. (2002). Biología y enemigos nativos del picudo de los cítricos Compsus n. sp (Coleoptera: Curculionidae). *Revista Colombiana de Entomología, 28*(1), 43-52.

Carabalí, A. (2011). *Informe técnico final proyecto "Generación de tecnología para el manejo sostenible de insectos perforadores de frutos de aguacate en Colombia"*. [Proyecto de investigación financiado por MADR]. Palmira: Corpoica.

Carvalho, J. C., & Costa, L. A. (1988). Mirideos Neotropicales; CCXCVII. Duas novas espécies do gênero *Monalonion* Herrich - Schaeffer (Hemiptera). *Revista Brasileira de Biologia*, *48*(4), 893-896.

Castañeda, A. (2008). *Bioecología del barrenador grande de la semilla del aguacate Heilipus lauri Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en la región central de México.* (Tesis de doctorado). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. Recuperado de http://www.cm.colpos.mx/valdez/alvaro_files/tesis_castaneda_vildozola_2008.pdf.

Castañeda-Vildózola, A., Equihua, A., Valdés, J., Barrientos, A., Ish-Am, G., & Gazit, S. (1999). Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán, México. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, *5*, 129-136.

Castañeda-Vildózola, A., Valdez-Carrasco, J., Equihua-Martínez, A., González-Hernández, H., Romero-Nápoles, J., Solís-Aguilar, J. F., & Ramírez-Alarcón, S. (2007). Genitalia of three species of *Heilipus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) that damage avocado fruits (*Persea americana* Mill.) in Mexico and Costa Rica. *Neotropical Entomology*, *36*(6), 914-918.

Centre for Agricultural Bioscience International (CABI). (2005). *Crop protection compendium*. Wallingford, UK: CAB International. Recuperado de http://www.cabi.org/isc.

Centre for Agricultural Bioscience International (CABI). (2017). *Heliothrips haemorrhoidalis (black tea thrips).* Wallingford, UK: CAB International. Recuperado de http://www.cabi.org/isc/datasheet/26818.

Cervantes, P. (1999). The Stenomatine moth, Stenoma catenifer Walsingham: a pre-dispersal seed predator Greenheart (*Chlorocardium rodiei* (Schomb.) Rohwer, Richter & van der Weff), in Guyana. *Journal of Natural History*, *33*(4), 531-542.

Childers, C. C. (1997). Feeding and oviposition injures to plants. En T. Lewis (ed.), *Thrips as crop pests* (pp. 505-537). New York: CAB International.

Chin, D., & Brown, H. (2008). *Red-banded thrips on fruit trees. Agnote*. Recuperado de http:// www.nt.gov.au/d/Content/File/p/Plant_Pest/719.pdf.

Coria-Avalos, V. M., Lara-Chávez, M. B. N., Muñoz-Flores, H. J., Ávila-Val, T. C., & Guerrero-Tejeda, J. A. (2011). El "gusano canasta" *Oiketicus kirbyi* Guilding (Lepidoptera: Psychidae) en huertos de aguacate de Michoacán, México. En *Proceedings VII World Avocado Congress 2011* (Actas VII Congreso Mundial de Aguacate). Cairns, Australia, 5-9 September. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC7/Section_04/CoriaAvalosVM2011.pdf.

Coria, V. M. (1993). *Principales plagas del aguacate en Michoacán*. [Folleto para productores Nº 19]. México: Sagarpa, Inifap.

Costa Lima, A. (1928). Contribuiçao as estudio dos aleyrodideos da subfamilia Aleurodicinae. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, *4*(Suppl.), 128-140.

Cruz Castiblanco, G. N., Varón Devia, E. H., Quiroga, L. F., Monje Andrade, B., & Sierra, P. V. (2016). Factores relacionados con la población de *Paraleyrodes* sp. pos. *bondari* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Colombiana de Entomología*, *42*(2), 103-109.

Davidson, J. A., & Miller, D. R. (1990). Ornamental plants (pp. 603-632). En D. Rosen (Ed.), *Armored scale insects, their biology, natural enemies and control*. [World Crop Pests, Vol. 4B]. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier.

Denmark, H. A., & Fasulo, T. R. (2008). *Greenhouse Thrips*, Heliothrips haemorrhoidalis (Bouche). [Publication Number: EENY-075]. Florida: University of Florida, Department of Entomology and Nematology, UF/IFAS Extension. Recuperado de http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN23200.pdf.

Denmark, H. A., & Wolfenbarger, D. O. (2008). *Redbanded Thrips*, Selenothrips rubrocinctus *(Giard) (Insects: Thysanoptera: Thripidae)*. [Publication Number: EENY-099]. Florida: University of Florida, Department of Entomology and Nematology, UF/IFAS Extension. Recuperado de http://edis.ifas.ufl.edu/in256.

De Villiers, E. A., & Van der Berg, M. A. (1987). Avocado insects of South Africa. *The South African Avocado Growers' Association of South Africa Yearbook*, *10*, 75-79. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC1/WAC1_p075.pdf.

Ebeling, W. (1950). *Subtropical entomology*. San Francisco: Lithotype Process.

Ebeling, W. (1959). Part three: Biology and control of pest affecting non citrus fruits. En *Subtropical fruit pest* (pp. 285-320). Los Angeles: University of California, Division of Agricultural Sciences. Recuperado de http://www.avocadosource.com/papers/research_articles/ebelingwalter1959b.pdf.

Echeverri, F., Loaiza, C., & Cano, M. (2004). Reconocimiento e identificación de trips fitófagos (Thysanoptera: Thripidae) y depredadores (Thysanoptera: Phlaeothripidae) asociados a cultivos comerciales de aguacate *Persea* spp. en los departamentos de Caldas y Risaralda (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, *57*(1), 2178-2189.

Echeverri Flórez, F., & Loaiza Marín, C. E. (1998). *Identificación y caracterización de trips (Insecta: Thysanoptera) asociados a tres cultivos comerciales de aguacate (Persea spp.) en los Departamentos de Caldas y Risaralda*. Manizales: Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

EcuRed (2017). *Platynota* sp. Recuperado de http://www.ecured.cu/index.php/Platynota_sp.

European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). (2012). *PQR-EPPO database on quarantine pests.* Recuperado de http://www.eppo.org/DATABASES/pqr/pqr.htm.

Evans, G. (2008). *The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of the world, and their host plants and natural enemies.* Recuperado de http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/whitefly/PDF_PwP%20ETC/world-whitefly-catalog-Evans.pdf.

Finca Ayala (2011). *Cómo combatir las hormigas de los árboles* [Blog]. Recuperado de http://www.fincaayala.com/blog.html.

Fisher, J. B., & Davenport, D. (1989). Structure and development of surface deformations on avocado fruits. *HortScience*, *24*(5), 841-844. Recuperado de http://www.sidalc.net/REPDOC/AGUACATE/A0087S/A0087S.PDF.

Foldi, I., & Watson, G. W. (2001). A new pest scale insect on avocado trees in Colombia, *Laurencella colombiana*, sp. n. (Hemiptera: Coccoidea: Margarodidae). *Annales de la Société Entomologique de France*, *37*(3), 367-374.

Franco, G., & Giraldo, M. J. (1999). *El cultivo de la mora*. Risaralda: Corpoica.

Frantz, G., & Mellinger, H. C. (1990). Flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) collected from vegetables, ornamentals and associated weeds in south Florida. *Proceeding of Florida State Horticultural Society*, *103*, 134-137.

Funderburk, J., Stavisky, J., & Olson, S. M. (2000). Predation of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in field peppers by *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Environmental Entomology*, *29*, 376-382.

Gagné, R. J., Posada, F., & Gil, Z. N. (2004). A new species of *Bruggmanniella* (Diptera, Cecidomyiidae) aborting young fruit avocado, *Persea americana* (Lauraceae), in Colombia and Costa Rica. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, *106*(3), 547-553.

Gallego, F. L., & Vélez, R. (1992). *Lista de insectos que afectan los principales cultivos, plantas forestales, animales domésticos y al hombre en Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Garbanzo, M. (2011). *Manual de aguacate: buenas prácticas de cultivo variedad Hass*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Recuperado de http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-4259.pdf.

García-Morales, M., Denno, B. D., Miller, D. R., Miller, G. L., Ben-Dov, Y., & Hardy, N. B. (2016). ScaleNet: A literature-based model of scale insect biology and systematics. *Database (Oxford), 2016*, 1º January, bav118. https://doi.org/10.1093/database/bav118.

Giraldo, M., Galindo, L. A., & Benavides, P. (2011). La arañita roja del café. Biología y hábitos. *Avances Técnicos Cenicafé*, *403*. Recuperado de http://cenicafe.org/es/publications/avt0403.pdf.

González-Hernández, H. R., Johansen-Naime, L., Gasca-Corona, A., Equihua-Martínez, A., Salinas-Castro, A., Estrada-Venegas, E., ... & Valle-De la Paz, A.R. (2000). Plagas del aguacate. En D. Téliz (ed.), El aguacate y su manejo integrado (pp. 117-136). México, D.F.: Mundi-Prensa.

Guarín Molina, J. H. (2003). *Trips palmi Karny en el oriente antioqueño: biología, efecto de hongos entomopatógenos y extractos vegetales en laboratorio y campo, comportamiento de sus enemigos naturales e impacto ambiental para su manejo sostenible*. Rionegro Antioquia: Corpoica-Pronatta. Recuperado de http://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/BAC:bac_completo:bac_digitool43366.

Gullan, P. J., & Martin, J. H. (2003). Sternorrhyncha (jumping plant-lice, whiteflies, aphids and scale insects) (pp. 1079-1089). En: V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects*. Amsterdam: Academic Press.

Hamon, A. B., & Williams, M. L. (1984). *The soft scale insects of Florida (Homoptera: Coccoidea: Coccidae).* [Arthropods of Florida and Neighboring Land Areas, vol. 11]. Gainesville: Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry. Recuperado de http://www.freshfromflorida.com/Divisions-Offices/Plant-Industry/Florida-State-Collection-of-Arthropods/FSCA-Publication-Archive/Arthropods-of-Florida-and-Neighboring-Land-Areas.

Hidalgo, D. F. (2012). Mora y aguacate tienen sus plagas en invierno. *La Patria*. Recuperado de http://www.lapatria.com/campo/mora-y-aguacate-tienen-sus-plagas-en-invierno-4606.

Hoddle, M., Morse, J., Phillips, P., Faber, B., & Jetter, K. (2002). Avocado thrips: New challenge for growers. *California Agriculture*, *56*(3), 103-107.

Hoddle, M. S. (2008). *Trioza species (Hemiptera: Psylloidea: Triozidae) attacking avocado leaves*. Recuperado de http://biocontrol.ucr.edu/hoddle/trioza/ trioza.html.

Hoddle, M. S., Millar, J. G., Hoddle, C. D., Zou, Y., McElfresh, J. S., & Lesch, S.M. (2011). Field optimization of the sex pheromone of *Stenoma catenifer* (Lepidoptera: Elachistidae): evaluation of lure types, trap height, male flight distances, and number of traps needed per avocado orchard for detection. *Bulletin of Entomological Research*, 101(2), 145-152.

Hollis, D., & Martin, J. H. (1997). Jumping plantlice (Hemiptera: Psylloidae) attacking avocado pear trees, *Persea americana*, in the New World, with a review of Lauraceae-feeding among psylloids. *Bulletin of Entomological Research*, *87*, 471-480. doi:10.1017/S000748530004133X.

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 licenciatura). Universidad de Caldas, Facultad de Agronomía, Manizales, Colombia.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2010). *Manual técnico de manejo de los viveros para la producción y distribución de aguacate (Persea americana Miller) en Colombia*. Bogotá: ICA. Recuperado de http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_119_R_3180_Aguacate.pdf.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (Persea americana Mill.): medidas para la temporada invernal*. Bogotá: ICA. Recuperado de https://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/-nbsp;Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Aguacate.aspx.

Jakubski, A. W. (1965). *A critical revision of the families Margarodidae and Termitococcidae (Hemiptera: Coccoidea)*. London: Trustees of the British Museum (Natural History).

Kerns, D., Wright, G., & Loghry, J. (s. f.). Omnivorous leafroller (*Platynota stultana*). Recuperado de https://cals.arizona.edu/crop/citrus/insects/leafroller.pdf.

Kirk, D. J., & Terry, I. L. (2003). The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural and Forest Entomology*, *5*, 301-310.

Kondo-Rodríguez, D. T. (2010). III. Insectos. En J. A. Bernal & C. A. Díaz (eds.), *Tecnología para el cultivo de mango. Manual técnico* (pp. 105-140). Bogotá: Produmedios.

Kondo, T. (2001). Las cochinillas de Colombia (Hemiptera: Coccidae). *Biota Colombiana*, *2*(1), 31-48.

Kondo, T. (2008). *Ceroplastes rubens* Maskell (Hemiptera: Coccidae), a new coccid record for Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, *9*(1), 66-68. Recuperado de http://entomologia.univalle.edu.co/boletin/8Kondo.pdf.

Kondo, T. (2010). Description of a new coccid (Hemiptera, Coccidae) on avocado (*Persea americana* Mill.) from Colombia, South America. *ZooKeys*, *42*, 37-45. doi: 10.3897/zookeys.42.377.

Kondo, T., & Gullan, P. J. (2005). A new species of *Austrotachardiella* Chamberlin on guava in Colombia (Hemiptera: Coccoidea: Kerriidae), with a revised key to the species of the genus. *Neotropical Entomology*, *34*(3), 395-401.

Kondo, T., Gullan, P. J., & Williams, D. J. (2008). Coccidology. The study of scale insects (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *9*(2), 55-61.

Kondo, T., & Muñoz, J. A. (2009). Nuevos registros de *Aulacaspis tubercularis* Newstead (Hemiptera: Diaspidae) en Colombia y experimentos de transferencia de hospederos. *Revista Asiava*, *84*, 18-20.

Kondo, T., & Muñoz, J. A. (2016). Scale insects (Hemiptera: Coccoidea) associated with avocado crop, *Persea americana* Mill. (Lauraceae) in Valle del Cauca and neighboring departments of Colombia. *Insecta Mundi*, *0457*, 1-14.

Kondo, T., Muñoz, J., López, R., Reyes, J., Monsalve, J., & Mesa, N. (2011). *Insectos escama y ácaros comunes del aguacate en el Eje Cafetero y el Valle del Cauca, Colombia*. Bogotá: Corpoica.

Kondo, T., Ramos-Portilla, A. A., & Vergara-Navarro, E. V. (2008). Updated list of mealybugs and putoids from Colombia (Hemiptera: Pseudococcidae and Putoidae). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, *9*(1), 29-53.

Kondo, T., & Williams, M. L. (2004). A new species of myrmecophilous soft scale insect from Colombia in the genus *Akermes* Cockerell (Hemiptera: Coccoidea: Coccidae). *Revista Colombiana de Entomología*, *30*(2), 137-141.

Lemus, Y. A., Rodríguez, G. M., Cuervo R. A., Durán, J. A., Zuluaga, C. L., & Rodríguez, G. (2008). Determinación de la factibilidad del hongo *Metarhizium anisopliae* para ser usado como control biológico de la hormiga arriera *Atta cephalotes*. *Revista Cienífica Guillermo Ockham*, *6*(1), 91-98. Recuperado de https://goo.gl/kUdmYC.

León, O. (2003). *Estudio de los parámetros de vida de Oligonychus yothersi McGregor (Acarina: Tetranychidae) en dos cultivares de palta (Persea americana Mill.), Hass y Fuerte* (Trabajo de grado). Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile.

Londoño, M. E. (2008a). Las chizas Coleoptera: Melolonthidae en los altiplanos de Antioquia (Colombia). Biología, ecología y manejo. En Sociedad Colombiana de Entomología, *Memorias XXXIV Congreso Sociedad Colombiana de Entomología* (pp. 156-164). Cartagena, Colombia, 25 al 27 de julio de 2007.

Londoño, M. E. (2008b). Insectos. En Corpoica (ed.), *Tecnología para el cultivo del aguacate* (pp. 119-154). Rionegro, Antioquia: Corpoica, Centro de investigación La Selva. Recuperado de http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/tecnologacultivoaguacate.pdf.

Londoño, M. E. (2012). *Informe técnico final proyecto "Desarrollo de estrategias para la prevención y manejo de Monalonion velezangeli Carvalho & Costa"*. Rionegro, Antioquia: Corpoica, C.I. La Selva.

Londoño, M. E., Arias, J. H., Giraldo, R. A., & Ríos, A. M. (2002). *Conozca las chizas del oriente antioqueño y su distribución*. [Boletín Técnico 3]. Rionegro, Antioquia: Corpoica, Centro de Investigación La Selva.

Londoño, M. E., Giraldo, R., Arango, J., Ríos, A., & Giraldo, G. (2001). *Produzca en su finca, la enfermedad lechosa que controla el "Morrongo"*. (Cartilla Ilustrada 1). Rionegro, Antioquia: Corpoica, Centro de Investigación La Selva.

Londoño, M. E., Pulido, J. I., García, F., Zenner, I., & León, G. (1999). Manejo integrado de plagas. En S. B. Carvajal (ed.), *El cultivo del plátano en el trópico* (pp. 300-326). Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Comité Departamental para el Mejoramiento del Banano y el Plátano INIBAP-LAC.

Londoño, M. E., & Vargas, H. H. (2010). *Monalonion velezangeli* Carvalho y Costa (Hemiptera: Miridae). ¿Por qué es una plaga de importancia en cultivos de aguacate? En Corpoica (ed.), *VII Seminario Internacional de Frutas Tropicales, Agroindustria e Innovación, Memorias* (p. 74). Medellín, Colombia.

Londoño, M., & Meneses, E. (2005). *Informe final proyecto "Manejo integrado de plagas subterráneas en Sur América, Departamento de Antioquia".* [Convenio Corpoica-CIAT-GTZ]. Rionegro, Antioquia: Corpoica, Centro de Investigación La Selva.

Lucero, M. L., Peña, L. A., Cultid, L., & Bolaños, M. A. (2006). Manejo integrado de chizas en fincas de minifundio del departamento de Nariño (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *7*(1), 70-72.

Manrique, M. B., Carabalí, A., Kondo, T., & Bacca, T. (2014). Biología del pasador del fruto del aguacate *Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Elachistidae) y búsqueda de sus posibles enemigos naturales. *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, *18*(2), 79-92.

Mariño, M. E. (1947). *El Copturomimus perseae Hustache: nueva especie entomológica grave del aguacate en Colombia* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Martin, J. H. (2004). Whiteflies of Belize (Hemiptera: Aleyrodidae). Part 1. Introduction and account of the subfamily Aleurodicinae Quaintance & Baker. *Zootaxa*, *681*, 1-199.

Martin, J. H., & Mound, L. A. (2007). An annotated check list of the world's whiteflies (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). *Zootaxa*, *1492*, 1-84.

Martínez, B. R. (1994). *Manual de profesionista aprobado en el manejo fitosanitario del aguacate.* Michoacán, México: Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, SARH-UMSNH.

Martínez-Carrillo, J. L., Servín-Villegas, R., Nava-Camberos, U., Cortez-Mondaca, E., & García-Hernández, J.L. (2006). A five-year study of insecticide resistance in whitefly *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring from the Yanqui Valley, México. *Southwestern Entomologist*, *31*(4), 307-320.

McMurtry, J. A., Johnson, H. G., & Newberger, S. J. (1991). Imported parasite of greenhouse thrips established on California avocado. *California Agriculture*, *45*(6), 31-32.

Medina-Quiroz, F. (2005). *Incidencia del barrenador grande del hueso del aguacate Heilipus lauri Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en Tepoztlán, Morelos* (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

Méndez, R. A., González, H. H., González, R. M., & Valle, A. R. (1999). Trips en tres huertos comerciales de aguacate en Michoacán.

En Sociedad Mexicana de Entomología, *Memorias XXXIV Congreso Nacional de Entomología* (pp. 368-371). Aguascalientes: Sociedad Mexicana de Entomología.

Metcalf, C. L., & Flint, W. P. (1981). *Insectos destructivos e insectos útiles, sus costumbres y su control.* México: CECSA.

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (1991). Aguacate. En: *Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica*. Recuperado de http://www.mag.go.cr/bibioteca_virtual_ciencia/tec_aguacat.pdf.

Montilla, J. (2012). *Evaluación de insecticidas para el manejo de la chinche del aguacate, Monalonion velezangeli Carvalho & Costa (Hemiptera: Miridae)* (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

Mound, L., & Kibby, G. (1998). *Thysanoptera: An identification guide*. Oxon and New York: CAB International.

Mound, L., & Marullo, R. (1996). *The thrips of Central and South America: An introduction (Insecta: Thysanoptera).* Gainesville, Florida: Associated Publishers.

Muñiz-Vélez, R. & Ordóñez-Reséndiz, M. M. (2010). Una especie nueva de *Macrocopturus* Heller (Coleoptera: Curculionidae: Conoderinae) de Guerrero, México y descripción de sus estados inmaduros. *Acta Zoológica Mexicana*, *26*(2), 249-258.

Nakahara, S. (1997). Annotated list of the *Frankliniella* species of the world (Thysanoptera: Thripidae). *Contributions on Entomology, International*, *2*(4), 353-389.

Nava, D. E., Fortes, P., De Oliveira, D. G., Vieira, F. T., Ibelli, T. M., Guedes, J. V., & Parra, J. R. (2006). *Platynota rostrana* (Walker) (Tortricidae) and *Phidotricha erigens* Raganot (Pyralidae): artificial diet effects on biological cycle. *Brazilian Journal of Biology*, *66*(4),1037-1043.

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, Armenia, Colombia.

Orozco, J., Duque, M., & Mesa, N. C. (1990). Efecto de la temperatura sobre la tabla de vida de *Oligonychus yothersi* en *Coffea arabica*. *Cenicafé*, *41*(1), 5-18.

Orozco, S. C. (2011). *Susceptibilidad de Compsus n.sp. a Beauveria bassiana (Bals.) Vuill y Metarhizium anisopliae (Metsch.) Sorokin* (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/3636/1/43979603.2011.pdf.

Palacio, M. M. (2010). *Determinación de las especies de Astaena (Coleoptera: Melolonthidae) asociadas a cultivos en dos altiplanos colombianos* (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

Peñaloza, M. C., & Díaz, G. (2004). *Así se maneja y controla el picudo de los cítricos Compsus sp*. Bogotá: ICA y Ministerio de Agricultura y Desarollo Rural.

Pérez-Balam, J., Quezada-Euán, J. J. G., Alfaro-Bates, R., Medina, S., McKendrick, L., Soro, A., & Paxton, R.J. (2012). The contribution of honey bees, flies and wasp to avocado (*Persea americana*) pollination in southern Mexico. *Journal of Pollination Ecology*, *8*(6), 42-47.

Perkins Ltda. (s. f). *Manejo integrado de hormiga arriera*. Recuperado de http://perkinsltda.com.co/articulos/04.pdf.

Pest and Diseases Image Library (PaDIL). (2012). *Paraleyrodes bondari*. Recuperado de http://old.padil.gov.au/viewPest.aspx?id=275.

Pineda, M., & Venegas, K. A. (2006). *Ciclo biológico del psílido Heteropsylla cubana Crawford en guaje blanco bajo condiciones de invernadero* (Tesis de grado). División de Ciencias Forestales, Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Posada, L. (1989). *Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia*. Bogotá: MADR-ICA.

Posada, L., De Polanía, I., De Arévalo, I., Saldarriaga, A., García, F., & Cárdenas, R. (1989). *Lista de insectos dañinos y otras plagas en plagas en Colombia*. [Boletín Técnico Nº 43]. Bogotá: ICA.

Puentes, E., & Moreno, F. (1992). *Ciclo de vida y hábitos de Stenoma catenifer Walsingham, Lepidóptera: Stenomidae, pasador del fruto del aguacate y observaciones sobre otras plagas del fruto en Palmira, Valle* (Tesis de grado). Palmira, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Quiroga, L., Varón, E., Cruz, G., Monje, B., & Sierra, P. (2014). *Ciclo biológico de Paraleyrodes sp. pos. bondari (Hemiptera: Aleyrodidae) e identificación de parasitoides en aguacate (Persea americana* Mill.). Ponencia presentada en el XLI Congreso Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Santiago de Cali, Colombia.

Ramírez-Cortés, H. J., Gil-Palacio, Z. N., Benavides-Machado, P., & Bustillo-Pardey, A. E. (2008). *Monalonion velezangeli*: la chinche de la chamusquina del café. *Avances Técnicos Cenicafe*, *367*. Recuperado de http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0367.pdf.

Ramírez-Morales, R. (2007). Preferencia del tipo de flor por *Frankliniella bagnalliana*. *Métodos en Ecología y Sistemática*, *2*(3), 27-32.

Ramos, A. (2004). *Memorias: uso adecuado y eficaz de productos para la protección de cultivos*. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Reyes-Bello, J. C., Mesa-Cobo, N. C., & Kondo, T. (2011). Biología de *Oligonychus yothersi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) sobre aguacate *Persea americana* Mill. cv. Lorena (Lauraceae). *Caldasia 33*(1), 211-220.

Roa, M., Sánchez, G., Montoya, C. A., Gómez, C. E., Vargas, J. E., Guerrero, C. E., & Zambrano, R. G. (2005). *Manejo del picudo de los cítricos Compsus* sp. [Boletín Nº 33]. Bogotá: ICA, División de Sanidad Vegetal.

Rubio, J. D., Posada, F. J., Osorio, O. I., Vallejo, L. F., & López, J. C. (2009). Primer registro de *Heilipus elegans* Guérin-Méneville (Coleoptera: Curculionidae) atacando el tallo de árboles de aguacate en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *12*(1), 59-68.

Ruiz, N., & Pumalpa, N. (1987). *Conozca las chizas y su control*. [Boletín informativo]. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario.

Salas, J. (1984). Parasitismo natural de huevos de *Antiteuchus tripterus* (Hemiptera: Pentatomidae) por *Phanuropsis semiflaviventris* (Hymenoptera: Scelionidae) con observaciones etiológicas del parásito y del huésped. *Agronomía Tropical*, *34*, 7-13.

Saldarriaga, A. (1977). *Plagas del aguacate y su control*. Medellín: Instituto Colombiano Agropecuario.

Saldarriaga, A., De Polanía, I. Z., Cárdenas, R., Posada, O. L., & García, F. (1981). *Guía para el control de plagas*. Bogotá: Ministerio de agricultura, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Saldarriaga, V. A., & Posada, F. J. (1993). *Moscas blancas de Colombia: reconocimiento clasificación, daños y comportamiento*. Ponencia presentada en el XX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Santiago de Cali, Colombia.

Sánchez, G. (2000a). *Los trips; identificación y manejo*. [Boletín de Sanidad Vegetal 35]. Ibagué: ICA, Asohofrucol, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola.

Sánchez, G. (2000b). Manejo del picudo de los cítricos Compsus sp. Coleoptera: Curculionidae). En *Memorias del Seminario nacional sobre el picudo de los cítricos* Compsus sp. *(Coleoptera: Curculionidae)* (pp. 23-26). Pereira, 11 de mayo.

Sánchez, J. (2005). Control de mosca blanca con microorganismos entomopatógenos. *Boletín el Aguacatero*, *44*, 8-12. Recuperado de http://aproam.com/boletin44/.

Sánchez, S. M. (2001). *Potencial de Heterorhabditis indica (Rhabditida: heterorhabditidae) como estrategia de manejo de Copturus aguacatae (Col: Curculionidae) y Phyllophaga spp. (Col: Melolonthidae)* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Michoacán, México.

Santaballa, E., Borras, C., & Colomer, P. (1980). Lucha contra la mosca blanca de los cítricos *Aleurothrixus floccosus Mask*. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, *6*(2), 109-118. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_plagas%2FBSVP-06-02-109-118.pdf.

Segura, C. (2012). *Identificar las especies de mosca blanca y evaluar en campo el potencial de control con diferentes alternativas en el municipio de Fresno, Tolima* (Tesis de pregrado). Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas U.D.C.A., Bogotá, Colombia. Recuperado de http://repository.udca.edu.co:8080/jspui/bitstream/11158/108/1/203519.pdf.

Servicio Nacional de Sanidad Agraria (Senasa). (2006). *Manual de procedimientos para la prospección de Stenoma catenifer Walsingham*. Perú: Ministerio de Agricultura. Recuperado de https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/005%20-%20Documentos%20T%C3%A9cnicos/005%20-%20D.T%20-%20Manual%20Tecnico%20Polilla%20Perforadora%20-%20Stenoma.pdf.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica). (2012). *Barrenador grande la semilla de aguacate Heilipus lauri Boheman*. [Ficha técnica]. México: Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Estado de México. Recuperado de http://www.senasica.gob.mx/includes.

Sierra, P. V., Quiroga, L. F., & Varón, E. H. (2014). Preferencia de mosca blanca (*Paraleyrodes* sp.) por cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Fresno, Tolima. *Corpoica Ciencia y Tecnologia Agropecuaria*, *15*(2), 197-206.

Solís, M. A. (2013). *Las hormigas zompopas* [Calendario de Biodiversidad]. Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). Recuperado de http://www.inbio.ac.cr/es/calend/calend_mayo_zompopas.htm.

Stocks, I. C. (2012). *Pest Alert: Bondar's nesting whitefly, Paraleyrodes bondari, a whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) new to Florida attacking Ficus and other hosts*. Report number: FDACS-P-01801. Florida: Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry. Recuperado de http://freshfromflorida.s3.amazonaws.com/paraleyrodes-bondari.pdf.

Téliz, D., & Mora, A. (2007). *El aguacate y su manejo integrado* (2ª ed). México: Mundiprensa.

Torres, L. F., Correa, G. A., Cartagena, J. R., Monsalve, D. A., & Londoño, M. E. (2012). Relationship of *Monalonion velezangeli* Carvalho & Costa (Hemiptera: Miridae) with the Phenology of Avocado (*Persea americana* Mill., cv. Hass). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, *65*(2), 6659-6665.

Tsai, J. H., Yue, B. S., Funderburk, J. E., & Webb, S. E. (1996). Effect of plant pollen growth and reproduction of *Frankliniella bispinosa*. *Acta Horticulturae*, *431*, 535-541.

Umaña, E. M., & Carballo, M. V. (1995). Biología de *Antiteuchus tripterus* L. (Hemiptera: Pentatomidae) y su parasitoide *Trissolcus radix* (Johnson) (Hymenoptera: Scelionidae) en macadamia. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, *38*, 16-19.

University of California (2014). *Pest Notes: Scales*. [UC ANR Publication 7408]. California: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Recuperado de http://ipm.ucanr.edu/PMG/PESTNOTES/pn7408.html.

University of California. (2016*). UC IPM Pest Management Guidelines: Avocado*. [UC ANR Publication 3436]. California: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Recuperado de http://ipm.ucanr.edu/PMG/r8300711.html.

Vallejo, L. F., Morón, M. A., & Orduz, S. (2007). Biología de *Phyllophaga obsoleta* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae) especie rizófaga del complejo "chiza" de Colombia. En *Diplomado de biología, ecología y taxonomía de Scarabaeoidea* (pp. 92-106). Popayán: Universidad del Cauca-GEA, Universidad del Valle-GIE.

Vargas, H. H., & Londoño, M. E. (2009). Descripcion del daño ocasionado por *Monalonion velezangeli* Carvalho y Costa (Hemiptera: Miridae) sobre *Persea americana* Miller. En Sociedad Colombiana de Entomología, *Resumenes del XXXVI Congreso Socolen*. Medellín, Colombia.

Varón, E. (Comp.) (2016). *Manejo de mosca blanca (Paraleyrodes sp.) en aguacate (Persea americana Mill.)*. Mosquera, Colombia: Corpoica. Recuperado de http://digitool.gsl.com.mx:1801/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1510365313027~520.

Vásquez, L. A., Ríos, G., Londoño, M. E., & Torres, M. (2011). *Caracterización biofísica y socioeconómica del sistema de producción de aguacate cv. Hass en los departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío*. [Boletín divulgativo]. Rionegro, Antioquia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Investigación La Selva.

Vergara, R. (1999). Los trips: plagas de importancia económica de agroecosistemas hortícolas (pp. 208-227). En *Memorias Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología Socolen*. Medellín: Socolen.

Villegas, N. P., Gaigl, A., & Vallejo, L. F. (2008). El complejo chisa (Coleoptera: Melolonthidae) asociado a cebolla y pasto en Risaralda, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, *34*(1), 83-89.

Wheat, G. C. (1981). *El mundo de las hormigas. Cómo viven, trabajan y se comunican las unas con las otras en la colonia*. México: Novaro.

Williams, D. J., & Granara de Willink, M. C. (1992). *Mealybugs of Central and South America*. London: CAB International.

Yepes, B. (1994). Aspectos biológicos y manejo de chizas. En *Curso de actualización técnica del cultivo del trigo* (pp. 189-206). Ipiales, Nariño: Corpoica.

Yepes, F. C. (2011). Algunas anotaciones sobre las chizas (Coleoptera: Melolonthidae) colectadas en municipios del departamento de Antioquia, Colombia. *Revista de Agricultura Tropical*, *34*(3-4), 122-129.

Capítulo VII

Enfermedades y desórdenes abióticos

Pablo Julián Tamayo Molano

Introducción

Las actividades de diagnóstico e inspección de cultivos comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) realizados por AGROSAVIA han permitido obtener un inventario de las principales afecciones de este frutal en Colombia. Este capítulo describe e ilustra los síntomas de las enfermedades y desórdenes abióticos más comunes del aguacate y ofrece las actuales medidas de prevención y manejo integrado de estos.

Entre las enfermedades de mayor importancia por su frecuencia y severidad en los cultivos se destacan la pudrición de raíces (causada por los hongos *Phytophthora cinnamomi* var. *cinnamomi*, *P. citricola* y *P. heveae*) y la marchitez (ocasionada por *Verticillium* sp.), las cuales normalmente ameritan decisiones de manejo. También son altamente frecuentes —e importantes por su difícil manejo— las afecciones causadas por *Armillaria mellea* y *Rosellinia* sp. en cultivos de aguacate establecidos en zonas de clima medio y frío moderado.

A la par de las anteriores, se cuentan los hongos causantes de la roña (*Sphaceloma perseae*), la antracnosis del fruto (*Glomerella cingulata*, cuyo anamorfo es normalmente llamado *Colletotrichum gloeosporioides*), la mancha angular de la hoja y la mancha negra o peca del fruto (*Pseudocercospora purpurea* o *Cercospora purpurea*), afecciones que causan pérdidas importantes en el campo y en la poscosecha, pues deterioran la calidad de la fruta.

Son de reciente aparición e importancia en cultivos de aguacate en Colombia, los patógenos que afectan los frutos en poscosecha: *Rhizopus stolonifer*, *Lasiodiplodia theobromae* (o *Botryodiplodia theobromae*) y *Dothiorella* sp. Otras enfermedades, como la muerte descendente de ramas, los brotes y la pudrición de injertos por *Colletotrichum gloeosporioides* y *L. theobromae*, así como la pudrición de raíces por *Calonectria* sp. e *Ilyonectria destructans*, adquieren cada vez mayor importancia en viveros, en almácigos y en el campo.

El secamiento de ramas y la mancha foliar por *Pestalotia* sp., la mancha foliar por *Helminthosporium* sp., la mancha de asfalto por *Phyllachora* y la mancha algácea por *Cephaleuros virescens* son enfermedades frecuentes, pero no revisten importancia económica. Así mismo, son de fácil manejo las fumaginas (*Capnodium* sp., *Asteridiella perseae*, *Calothyriolum aphiahynum*, *Lembosia perseae* y *Meliola antioquensis*), que generalmente están asociadas a insectos chupadores.

Finalmente, los daños ocasionados por los hongos *Fusarium* sp. y *Rhizoctonia* sp., y por los nematodos *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp. y *Pratylenchus* sp. parecen cobrar importancia por su reciente detección en viveros y almácigos en Colombia, puesto que causan retraso en el desarrollo de plantas. En la actualidad, se recurre a prácticas de manejo químico, cultural y biológico para contrarrestar la presencia de algunas de las enfermedades mencionadas.

Pudrición de raíces y marchitez por *Phytophthora* sp.

Phytophthora cinnamomi var. *cinnamomi* Rands
Phytophthora citricola Sawada
Phytophthora heveae Thompson
Phytophthora de Bary

Importancia y distribución

La pudrición de raíces causada por *Phytophthora cinnamomi* var. *cinnamomi* es la enfermedad más importante del aguacate en todas las zonas productoras de este frutal en el mundo (Coffey, 1987; Erwin, Bartinicki-García, & Tsao, 1983; Erwin & Ribeiro, 1996; Zentmyer, 1980) y en Colombia (Córdova & Barriga, 1968; Mejía, 1999; Navarro, 1987; Saltarén, Varón de Agudelo, & Marmolejo, 1998a). Son varias las especies de *Phytophthora* (*P. cinnamomi*, *P. citricola*, *P. cactorum*, *P. parasitica*, *P. palmivora* y *P. heveae*) que afectan al aguacate en diferentes regiones del mundo (Coffey, 1987; Erwin et al., 1983; Erwin & Ribeiro, 1996; Oudemans & Coffey, 1987; Pérez, 2008; Ploetz, Zentmyer, Nishijima, Rohrbach, & Ohr, 1994; Zentmyer, 1980; Zentmyer, Klure, & Neal, 1976; Zentmyer & Jefferson, 1973). Algunas de ellas causan chancros o pudriciones del tallo (Erwin & Ribeiro, 1996; Ploetz et al., 1994; Zentmyer, 1980).

P. citricola es un patógeno poco conocido en Colombia y en el mundo, cuya presencia ha sido regularmente confundida con *P. cinnamomi*. En estudios recientes, en un muestreo realizado en la región del altiplano norte de Antioquia, se encontró un 5,3 % de árboles adultos con vigor reducido, clorosis, caída prematura de hojas, floración excesiva y muerte de ramas, de los cuales se aisló *P. citrícola*, mientras que un 2,7 % presentaba afecciones por *P. heveae* (Ramírez, 2013).

En condiciones de campo se han observado síntomas similares a los que inducen otras especies de *Phytophthora* (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994), sin embargo, su etiología y causalidad no han sido plenamente establecidas. Se pudo corroborar que el hongo *P. cinnamomi* provoca pérdidas que oscilan entre un 30 % y un 50 % de los árboles en la etapa de vivero y durante los dos primeros años de establecimiento del cultivo. La pudrición de raíces por *P. cinnamomi* se presentó en cultivos de aguacate ubicados en los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda y Valle

del Cauca, aunque ya había sido detectada en los departamentos de Cesar y Tolima (Castaño, 1978; Córdova & Barriga, 1968; Mejía, 1999; Navarro, 1987; Ríos-Castaño, Román, & Serna, 1976; Saltarén et al., 1998a; Tamayo, 2007). Es de destacar que una afección por una especie no identificada de *Phytophthora* sp., que afecta pedúnculos y frutos de aguacate, ha sido observada en el departamento de Caldas (Salazar & Toro, 1993).

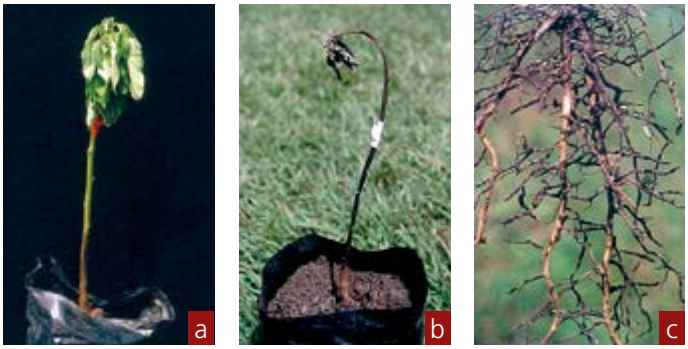
Síntomas

La pudrición de raíces del aguacate se presenta desde la etapa de vivero en los almácigos (Erwin et al., 1983; Lozano, 2004; Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994; Saltarén et al., 1998a). Los arbolitos afectados en la etapa de almácigo pueden llegar a morir prematuramente, antes de que se produzca el prendimiento del injerto, debido a la necrosis del cuello del patrón (figura 7.1a). En otras ocasiones, los arbolitos exhiben escaso crecimiento, reducido desarrollo foliar y amarillamiento generalizado de hojas (Ploetz et al., 1994) (figura 7.1b). A medida que la infección progresa, se presenta la necrosis de la parte basal del tallo del patrón (figura 7.1c).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.1. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en plántulas de aguacate en etapa de vivero. a. Muerte prematura; b. Reducción del desarrollo foliar y amarillamiento; c. Necrosis en el cuello de la planta.

Los arbolitos se marchitan (figura 7.2a), pierden las hojas y se inicia una muerte ascendente del patrón y descendente de la copa (figura 7.2b). Al examinar las raíces secundarias, estas presentan necrosis parcial (figura 7.2c) (Tamayo, 2007).



Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.2. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en plántulas de aguacate en etapa de vivero. a. Marchitez; b. Pérdida de hojas y muerte de la copa; c. Necrosis parcial de las raíces.

En condiciones de campo, la enfermedad se presenta en focos, en las zonas más húmedas (Mejía, 1999). Los árboles afectados detienen su crecimiento (figura 7.3a), las hojas son de tamaño reducido, pierden su color verde normal y son de apariencia pálida (Córdova & Barriga, 1968; Ploetz et al., 1994) (figura 7.3b). Con el transcurrir del tiempo, se presenta un amarillamiento leve pero generalizado del árbol (figura 7.3c), acompañado o no de rebrotes y floraciones excesivas a destiempo (Córdova & Barriga, 1968; Erwin et al., 1983; Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994; Ríos-Castaño et al., 1976).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.3. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en árboles de aguacate en campo. a. Detención del crecimiento; b. Reducción en el tamaño y palidez de las hojas; c. Amarillamiento generalizado.

En ocasiones, los árboles presentan nuevos brotes pero de menor vigor y tamaño, y cuando hay frutos, estos son numerosos y pequeños. A medida que el vigor del árbol es menor, se observa marchitez leve pero progresiva (figura 7.4a), aun en condiciones de adecuada humedad, debido a la pudrición de las raíces absorbentes, lo cual disminuye la toma de agua y nutrientes. Después, las ramas laterales muestran un secamiento descendente y las hojas se secan (figura 7.4b) (Mejía, 1999).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.4. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en árboles de aguacate en campo. a. Marchitez progresiva; b. Secamiento descendente de ramas y hojas.

Luego, se presenta el secamiento generalizado de las hojas, que permanecen adheridas al árbol por algún tiempo (figura 7.5a), con posterior caída gradual de estas, hasta que finalmente el árbol sufre un paloteo generalizado y se seca (figura 7.5b). Al observar las raíces secundarias o absorbentes de los árboles enfermos, estas manifiestan una necrosis o muerte de color oscuro (Mejía, 1999).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.5. Síntomas de la marchitez por *Phytophthora* sp. en árboles de aguacate en campo. a. Secamiento generalizado de hojas; b. Muerte del árbol.

Según Ramírez (2013), la presencia de *P. citricola* se asocia con los síntomas siguientes: árboles adultos de vigor reducido, debilitamiento progresivo, clorosis (figura 7.6a), caída prematura de hojas, floración excesiva, muerte de ramas y muerte de los árboles. Las raíces principales presentan pudrición con tonalidad anaranjada o café rojizo; en la base del tallo se observan lesiones profundas tipo cáncer (figura 7.6b).

Fotos: Guillermo Ramírez

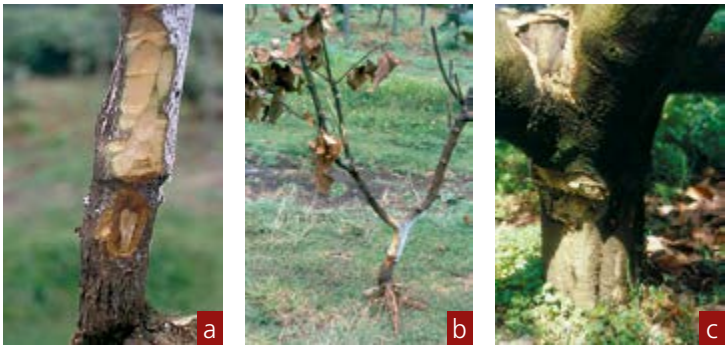
Figura 7.6. Árboles de aguacate en campo afectados por *Phytophthora citricola*. a. Vigor reducido, debilitamiento progresivo y clorosis de los árboles; b. Lesiones profundas en la base del tallo (cáncer).

Por otra parte, Ramírez (2013) sostiene que los árboles afectados por *P. heveae* presentan retraso en el crecimiento, amarillamiento foliar (figura 7.7a) y muerte del árbol en estados avanzados. En la base del tallo se presentan fisuras y exudación, con lesiones generalmente externas, en ocasiones, extendidas al interior del xilema. Si se realizan cortes transversales en la corteza, se observan coloraciones rojizo-castaño (figura 7.7b).

Fotos: Guillermo Ramírez

Figura 7.7. Árboles de aguacate en campo afectados por *Phytophthora heveae*. a. Retraso en el crecimiento y amarillamiento foliar; b. Lesiones de color rojizo-castaño en la base del tallo.

El hongo puede atacar la base del tallo (figura 7.8a) y colonizarlo totalmente, lo cual produce marchitez, secamiento y muerte repentina del árbol (figura 7.8b) (Ploetz et al., 1994). En otras ocasiones, se observan lesiones o chancros de color café en la base del tallo, en la unión del patrón y la copa (figura 7.8c), presumiblemente, causados por otras especies de *Phytophthora*, caso en el cual se presenta amarillamiento parcial, secamiento, paloteo y caída de hojas en una parte del árbol (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994).



Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.8. Árboles de aguacate afectados por *Phytophthora* sp. a. Colonización en la base del tallo; b. Marchitez, secamiento y muerte del árbol; c. Producción de chancros en la base del árbol causados, presumiblemente, por otras especies del hongo.

Manejo genético

Se ha encontrado resistencia moderada o tolerancia al hongo *P. cinnamomi* en las variedades Duke 6, Duke 7 y Thomas (Coffey, Ohr, Campbell, & Guillemet, 1984; Erwin & Ribeiro, 1996; Zentmyer, 1980), sin embargo, estos patrones no se utilizan comercialmente en Colombia.

Manejo cultural

Cuando no se dispone de infraestructura para la producción de patrones e injertos, se deben comprar plantas de aguacate procedentes de viveros registrados ante el ICA, de reconocida sanidad. El ataque del hongo es favorecido por el exceso de humedad, por lo cual, el riego moderado en los semilleros y almácigos es de crucial importancia para evitar la pudrición de raíces y muerte del árbol en esta etapa de desarrollo (Neergaard, 1977). El manejo preventivo de la enfermedad se debe iniciar en la etapa de semillero y almácigo, mediante la producción de plántulas de aguacate sanas.

En el semillero, para el proceso de germinación, se deben usar sustratos inertes, como arena lavada o material absorbente tipo oasis (figura 7.9), el cual consiste en una espuma fenólica de célula abierta que absorbe rápidamente el agua y retiene más de 40 veces su peso.

Ya en el almácigo, se recomienda emplear una proporción de suelo y arena que propicie un buen drenaje. El suelo que va a ser empleado en los almácigos debe ser sometido a un tratamiento de solarización húmeda de 45 a 60 días (ver, en el Capítulo I, "Desinfección del sustrato"). Una vez germinada la semilla y cuando se vaya a realizar la siembra en la bolsa del almácigo, se recomienda mantener un moderado suministro de agua y la aplicación periódica de micorrizas (10 g/bolsa) y productos a base del hongo *Trichoderma* sp. (0,5 g/L) en la parte inferior de la bolsa (Tamayo, 1994, 2007).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.9. Utilización del sustrato inerte tipo oasis en semilleros de aguacate.

Para la siembra definitiva en condiciones de campo, se deben seleccionar lotes con textura franca y con buen drenaje, para disminuir los riesgos de ataque del patógeno (Mejía, 1999). Las labores de desyerbe en la zona de plateo de las plantas se deben realizar a mano o con guadaña, de forma tal que no se causen heridas al tallo y las raíces. Dado que el exceso de humedad es un factor predisponente al ataque del hongo, los árboles se deben ubicar en terrenos no encharcables, tratando de sembrar en balcones o montículos (figura 7.10), para evitar la acumulación de agua en las raíces y la humedad excesiva junto al tallo (Mejía, 1999).

Las aplicaciones de materia orgánica en forma de gallinaza, equinaza o bovinaza (4 a 5 kg/árbol) favorecen el desarrollo y establecimiento de hongos y bacterias que son enemigos naturales del hongo *P. cinnamomi* (Ploetz et al., 1994). Cuando un

árbol muere por la enfermedad, este se debe erradicar inmediatamente (incluyendo las raíces), quemar (figura 7.11) y sacar del campo cultivado, para evitar que sirva de foco de infección, ya que el hongo se disemina fácilmente en el suelo, adherido a herramientas, a botas de trabajo y en el agua de escorrentía.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.10. Siembra de plantas de aguacate en montículo para evitar encharcamientos.

Foto: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.11. Erradicación de árboles afectados por *Phytophthora* sp. en campo.

El lugar donde se erradicó el árbol debe ser aislado o encerrado para evitar el paso de operarios que puedan diseminar la enfermedad a otros lotes de la finca. Posteriormente, se debe espolvorear cal (de 2 a 4 kg) en el sitio afectado (figura 7.12) y, en árboles vecinos, realizar un tratamiento de solarización húmeda de 45 a 60 días (ver, en el Capítulo I, "Desinfección del sustrato"). Después de la solarización, se debe aplicar un producto a base del hongo *Trichoderma* sp. en el suelo (0,5 g/L), para disminuir las probabilidades de diseminación de *Phytophthora* sp. (López-Herrera, Pérez-Jiménez, Zea-Bonilla, Vasallote-Ureba, & Melero-Vara, 1998).

Foto: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.12. Tratamiento con cal en sitios donde se erradicaron árboles afectados por *Phytophthora* sp.

Manejo químico

Dado que el hongo puede infectar la semilla (pepa) del aguacate (Neergaard, 1977), esta se debe tratar, antes de llevarse al semillero, con hipoclorito de calcio al 40 % (1,5 cm^3/L) durante 15 minutos. Después de esto, se debe realizar una inmersión, por la misma cantidad de tiempo, en un producto a base carboxin y captan (2 a 6 g/L), a fin de prevenir posibles pudriciones o la manifestación del hongo en el semillero (Corrales-Medina, Lozano, & Ríos-Castaño, 2000).

Se recomienda realizar un tratamiento del suelo que va a ser empleado para llenar las bolsas de los almácigos con productos a base de dazomet (40 a 50 g/m^2) durante 15 días, mientras se deja airear el suelo por igual periodo de tiempo, para proceder a sembrar. La semilla también debe ser tratada antes de la siembra en el almácigo mediante su inmersión en una mezcla de fungicidas a base de metalaxil y mancozeb (3,75 g/L) o fosetil aluminio (1,5 g/L) y captan (2 a 3 g/L).

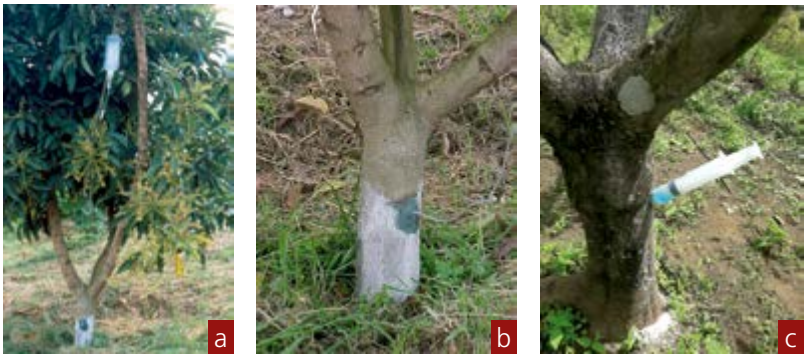
Durante la etapa de almácigo se deben hacer una o dos aplicaciones periódicas de la mezcla de los fungicidas mencionados al suelo de la bolsa. Al momento del trasplante al sitio definitivo, es recomendable sumergir los árboles en la mezcla de los fungicidas, para prevenir ataques tempranos del patógeno en el campo. A la entrada de los lotes, se deben acondicionar sitios con recipientes que contengan productos a base de carbonato de calcio y azufre, hipoclorito de sodio o yodo agrícola, para la desinfección de botas (figura 7.13) y, así, disminuir los riesgos de ingreso de la enfermedad procedente de otros campos o explotaciones agrícolas. El ingreso a los lotes donde se sospeche de la presencia del hongo o se esté realizando tratamiento de árboles con síntomas iniciales de la enfermedad debe restringirse al máximo.

Foto: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.13. Acondicionamiento de recipientes de desinfección en la entrada de los lotes de aguacate, para disminuir los riesgos de contaminación por *Phytophthora* sp.

Cuando en plantaciones establecidas se detecten los primeros síntomas de la enfermedad, se debe recurrir a la aplicación —una vez realizada la erradicación de malezas— de fungicidas a base metalaxil y mancozeb (3,75 g/L) o de fosetil aluminio (1,5 g/L), de forma que se cubra y se empape toda el área de la raíz.

Adicionalmente, se pueden realizar aspersiones foliares de fungicidas a base de fosetil aluminio (1,5 g/L) y de fertilizantes ricos en fósforo y potasio, así como inyecciones al tronco del patrón y la copa de un producto a base de ácido fosforoso, ácido fosfónico, fosfitos o fosfonatos (fosfito mono/dibásico de potasio) (figura 7.14) (Darvas, Toerien, & Milne, 1984).



Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.14. Inyecciones al tronco del patrón y la copa con un producto a base de ácido fosforoso, ácido fosfónico, fosfitos o fosfonatos para el control de *Phytophthora* sp. a. Utilización de bolsa de venoclisis para el tratamiento de la enfermedad; b. Detalle del sellado con plastilina en la utilización del venoclisis; c. Uso de jeringas para la aplicación de productos para el manejo de *Phythophthora* sp.

Los árboles tratados mediante inyección experimentan una leve recuperación del ataque del hongo de 15 a 20 días después del tratamiento (figura 7.15a) y una recuperación total con nuevo crecimiento de 30 a 45 días después de realizada la práctica.

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.15. Recuperación de árboles tratados para el control de *Phytophthora* sp. a. Recuperación parcial (15 a 20 días después del tratamiento); b. Recuperación total (30 a 45 días después del tratamiento).

Luego de la erradicación de árboles enfermos, se deben reducir las posibilidades de diseminación del hongo, tratando el lugar donde se erradicó el árbol enfermo mediante la aplicación de un fungicida a base de metalaxil y mancozeb (3,75 g/L). Cuando se presentan los chancros en la base del tallo —los cuales pueden ser causados por otras especies de *Phytophthora* sp.—, se recomienda hacer un raspado o cirugía de la parte afectada hasta encontrar tejido sano. Posteriormente, se debe aplicar en la zona saneada una pasta compuesta por una mezcla de fungicidas a base de oxicloruro de cobre, fosetil aluminio y aceite quemado. Como medida preventiva, se recomienda pintar la base del tallo del árbol con una solución de un fungicida a base de oxicloruro de cobre.

Pudrición negra de la raíz

Ilyonectria destructans (Zinss) Rossm (= *Cylindrocarpon destructans* (=*Neonectria radicicola*)

Importancia y distribución

Este patógeno ha sido descrito en Suráfrica, Israel, España, Chile, Italia y Australia como causante de afecciones en plantas de aguacate en vivero, con grandes pérdidas económicas. El hongo *Cylindrocarpon destructans* ha sido reclasificado y ahora es conocido en la literatura como *Ilyonectria destructans*, cuyos síntomas son confundidos con los de *P. cinnamomi* (Besoain & Piontelli, 1999; Dann et al., 2011; Parkinson et al., 2019; Vitale et al., 2012; Zilberstein et al., 2007). En un muestreo realizado en la región del altiplano norte de Antioquia se encontró que el 4 % de las plantas de aguacate con síntomas de marchitez, a los 20 y 30 días después de su trasplante al campo, estaban afectadas por *I. destructans*, sin un patrón de distribución espacial definido (Ramírez & Morales, 2013).

Síntomas

Según Ramírez & Morales (2013), las plantas enfermas presentan los siguientes síntomas entre los 20 y los 60 días después del trasplante al campo: amarillamiento generalizado, retraso en el crecimiento y flacidez de tejidos foliares (figura 7.16a). Hacia el tercer mes, se presenta defoliación y necrosis descendente, que termina con la muerte de la planta (figura 7.16b) y necrosis radical.

Fotos: Guillermo Ramírez

Figura 7.16. Síntomas de marchitez por *C. destructans* en etapas iniciales. a. Amarillamiento generalizado, retraso en el crecimiento y flacidez de tejidos foliares; b. Muerte de la planta.

Estrategias de manejo

No existe información sobre medidas de manejo de los daños por el hongo *C. destructans*.

Marchitez por *Verticillium* sp.

Verticillium Nees

Importancia y distribución

La marchitez por *Verticillium* sp. es una enfermedad de creciente importancia en cultivos de aguacate en Colombia, que frecuentemente es confundida con la pudrición de raíces causada por *P. cinnamomi* var. *cinnamomi*. La marchitez por *Verticillium* sp. se ha encontrado en cultivos de aguacate en Colombia en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Risaralda, Quindío y Valle del Cauca (Mejía, 1999; Tamayo, 2007).

Síntomas

Los árboles afectados por *Verticillium* sp. detienen parcialmente su crecimiento. El hongo invade los tallos y las ramas de un lado de la planta y produce marchitez repentina, parcial o total de las hojas (figura 7.17a) (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994). Las hojas de las ramas afectadas toman una coloración café y permanecen adheridas al árbol por algún tiempo, luego caen, mientras que los frutos se mantienen en el árbol (figuras 7.17b). Posteriormente, los frutos caen (figura 7.17c) y se presenta un paloteo o muerte descendente de algunas ramas (figura 7.17d) (Ploetz et al., 1994; Zentmyer, 1949).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.17. Síntomas de marchitez por *Verticillium* sp. en árboles de aguacate. a. Marchitez parcial o total de las hojas; b. Árbol afectado cuyos frutos permanecen adheridos; c. Caída de frutos; d. Muerte descendente de ramas.

Al realizar un corte longitudinal de la rama, se observa una necrosis de color café claro (figura 7.18a), que se extiende por un lado, a lo largo de esta (figura 7.18b) o puede abarcarla totalmente (figura 7.18c) (Ploetz et al., 1994; Zentmyer, 1949).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.18. Síntomas de marchitez por *Verticillium* sp. en ramas de aguacate. a. Necrosis de color café claro; b. Necrosis parcial (lateral y longitudinal) del tallo; c. Necrosis total del tallo.

Manejo cultural

Se debe evitar el establecimiento de cultivos de aguacate en lotes que previamente hayan sido sembrados con especies susceptibles a este hongo, como el tomate de mesa, la fresa, el lulo, la papa y la yuca. Puesto que el exceso de humedad es un factor predisponente al ataque por el hongo, los árboles se deben ubicar en terrenos no encharcables o, en su defecto, realizar los drenajes necesarios para disminuir la humedad en el suelo. El manejo cultural de la marchitez por *Verticillium* sp. consiste en la poda de las ramas afectadas (figura 7.19). Después de la poda, se debe aplicar pintura a base de aceite, con brocha, en la región podada. Cuando un árbol muere por esta enfermedad, se recomiendan las mismas prácticas de manejo cultural mencionadas para el manejo de la pudrición de raíces por *P. cinnamomi*.

Foto: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.19. Poda de ramas enfermas en árboles afectados por *Verticillium* (manejo cultural).

Manejo químico

Dado que el *Verticillium* sp. puede sobrevivir en el suelo en forma de clamidosporas (estructuras de resistencia) y diseminarse —de la misma manera que la pudrición de raíces por *P. cinnamomi*—, se deben realizar las mismas medidas de desinfección de suelo en almácigos y la desinfección de botas a la entrada de lotes recomendadas para dicho patógeno.

En condiciones de cultivo, el manejo químico de marchitez por *Verticillium* es posible —si se realiza preventivamente o si se detectan árboles con síntomas iniciales de la enfermedad— mediante aplicaciones al follaje y tallos de fungicidas a base de benomil (1 g/L), tiabendazol (1 cm^3/L) o metil tiofanato (2 cm^3/L). Cualquiera de estos fungicidas también se debe aplicar al suelo empapando la zona de raíces, después de haber hecho la erradicación de malezas. Las plantas así tratadas se recuperan del daño por el hongo dos meses después (figura 7.20).

Foto: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.20. Recuperación de árboles afectados por *Verticillium* después del manejo químico.

Llaga radical de *Armillaria mellea*

Armillaria mellea (Vahl: Fr.) Kumm.

Importancia y distribución

La llaga radical causada por el hongo *A. mellea* es una enfermedad frecuente en zonas de clima medio, en lotes con altos contenidos de materia orgánica y donde se ha sembrado café, cacao, ciprés, eucalipto, pino, guanábana, macadamia o manzano, ya que estos cultivos son muy susceptibles al hongo (Buriticá, 1995, 1999). La enfermedad se ha detectado en cultivos de aguacate ubicados en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, donde ya había sido observada por Mejía (1999).

Síntomas

Los árboles afectados por *A. mellea* presentan marchitez, un leve amarillamiento foliar (figura 7.21a) y muerte rápida del árbol sin que se presente caída de las hojas (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994). Al examinar la base del tallo y las raíces grandes, se observa un crecimiento micelial de color blanco (figura 7.21b), en forma de abanico, que cubre las raíces (Mejía, 1999).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.21. Síntomas de marchitez en árboles afectados por *Armillaria mellea*. a. Marchitez y amarillamiento foliar; b. Crecimiento micelial del hongo en la base del tallo.

Manejo cultural

En condiciones de campo, se debe realizar desyerbe en la zona de plateo de las plantas a mano o con guadaña, sin que se causen heridas en las raíces. Cuando un árbol muere por la enfermedad, este se debe erradicar (junto con las raíces) inmediatamente,

sacar del campo cultivado y ser quemado, para evitar que sirva de foco de infección. Posteriormente, se debe espolvorear cal en el sitio (2 a 4 kg), mientras que en los árboles vecinos se debe realizar un tratamiento de solarización húmeda de 45 a 60 días (ver, en el Capítulo I, "Desinfección del sustrato"). Después de la solarización, se recomienda aplicar en el suelo un producto a base del hongo *Trichoderma* sp., para disminuir las probabilidades de diseminación del hongo nocivo (López-Herrera et al., 1998). Se debe evitar el establecimiento de cultivos de aguacate en lotes que previamente hayan sido sembrados con los cultivos (arriba mencionados) susceptibles a este hongo.

Manejo químico

No es posible la aplicación de productos químicos para detener el avance del hongo en árboles con síntomas iniciales de la enfermedad, sin embargo, después de la erradicación de los árboles afectados, se recomienda la aplicación en el sitio de un producto a base de formaldehído (formol al 4 %) hasta empapar el suelo.

Llaga radical de *Rosellinia* sp.

Rosellinia De Not.

Importancia y distribución

La llaga radical causada por el hongo *Rosellinia* sp. es una enfermedad frecuente en zonas de clima medio y frío moderado, en lotes con altos contenidos de materia orgánica y donde se han sembrado cultivos muy susceptibles al hongo (café, cacao, cítricos, manzano, papa, zanahoria y guamo, entre otros) (Buriticá, 1995, 1999). La enfermedad se ha observado en cultivos de aguacate ubicados en los departamentos de Antioquia y Risaralda. La llaga radical por *Rosellinia* sp. ya había sido detectada en cultivos de aguacate en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda (Mejía, 1999).

Síntomas

Los árboles afectados por *Rosellinia* sp. presentan síntomas muy similares a los causados por *A. mellea*, como los siguientes: marchitez, amarillamiento foliar y muerte rápida del árbol sin caída de hojas. Al examinar las raíces primarias, se observa un crecimiento micelial de color blanco que las cubre (Mejía, 1999).

Manejo cultural

En condiciones de campo, las labores de desyerbe en la zona de plateo de los árboles se deben realizar a mano o con guadaña, sin causar heridas en las raíces. Si se detectan árboles con síntomas iniciales de la enfermedad, se puede recurrir a la cirugía de las raíces afectadas y a su exposición directa a la radiación solar. Se aconseja hacer zanjas profundas alrededor de los árboles afectados. Cuando un árbol muere por la enfermedad, este se debe erradicar junto con las raíces inmediatamente, se debe sacar del campo cultivado y debe ser quemado para evitar que sirva de foco de infección. Posteriormente, se debe espolvorear cal en el sitio (2 a 4 kg), mientras que en los árboles vecinos es necesario realizar un tratamiento de solarización húmeda de 45 a 60 días (ver, en el Capítulo I, "Desinfección del sustrato"). Después de la solarización, se recomienda aplicar en el suelo un producto a base del hongo *Trichoderma* sp., para disminuir las probabilidades de diseminación del hongo nocivo (López-Herrera et al., 1998). Se debe evitar el establecimiento de cultivos de aguacate en lotes que previamente hayan sido sembrados con los cultivos susceptibles a este hongo (mencionados arriba).

Manejo químico

El manejo químico de la llaga radical por *Rosellinia* sp. es posible si se realiza preventivamente o si se detectan árboles con síntomas iniciales de la enfermedad, mediante aplicaciones de fungicidas a base de benomil (1 g/L) o de metil tiofanato (2 cm^3/L) hasta empapar el suelo. En los sitios donde se han erradicado plantas afectadas por *Rosellinia* sp., se recomienda la aplicación de un producto a base de formaldehído (formol al 4 %) hasta empapar el suelo.

Roña

Sphaceloma perseae Jenk.

Importancia y distribución

La roña es una enfermedad muy común en todas las zonas productoras de aguacate de Colombia (Mejía, 1999). La enfermedad es favorecida por precipitaciones abundantes y la humedad relativa alta en el ambiente. El hongo afecta las hojas, principalmente las nuevas, y causa daños en los frutos, con deterioro de su calidad.

El ataque de la roña es favorecido por la presencia de trips, que abren puertas de entrada al patógeno. Algunas variedades, como Choquette, Hall, Booth 8 y Santana, son muy susceptibles al ataque de la enfermedad en los frutos (Mejía, 1999). Otras variedades que presentan ataques ocasionales de roña en hojas son Rincón y Hass. La roña se ha presentado en cultivos de aguacate de los departamentos de Antioquia (Buriticá, 1995, 1999), Cundinamarca, Caldas, Risaralda y Quindío (Mejía, 1999).

Síntomas

En el fruto se presentan lesiones redondas o irregulares de color pardo o café claro, de apariencia corchosa (figura 7.22a), con leves erupciones que pueden unirse y afectar gran parte del fruto (figura 7.22b) o su totalidad (Ploetz et al., 1994). Las lesiones de la roña son superficiales y no afectan la calidad de la pulpa.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.22. Síntomas de roña en frutos de aguacate. a. Lesiones redondas o irregulares de color pardo o café claro, de apariencia corchosa; b. Lesiones con leves erupciones que pueden unirse y afectar gran parte del fruto o su totalidad.

En las hojas jóvenes y brotes tiernos se observan diminutas lesiones (1 a 2 mm de diámetro) de color café oscuro, rodeadas de un leve halo clorótico (figura 7.23a). En condiciones de lluvias continuas, las lesiones y el halo clorótico aumentan de tamaño (3 a 5 mm de diámetro), toman una tonalidad castaño clara, adquieren variadas formas y se funden hasta cubrir regiones laterales de la hoja, de forma que le dan un aspecto roñoso y arrugado a la lámina foliar (figuras 7.23b) (Ploetz et al., 1994). En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se comban hacia arriba y pueden llegar a morir (figura 7.23c).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.23. Síntomas de roña en hojas de aguacate. a. Lesiones café oscuro, rodeadas de un leve halo clorótico; b. Lesiones de mayor tamaño, castaño claro, que le dan un aspecto roñoso y arrugado a la lámina foliar; c. Necrosis y deformación de las hojas afectadas.

Manejo cultural

Se deben realizar podas de aclareo, que permitan mayor luminosidad y aireación de los árboles.

Manejo químico

El manejo químico de la roña consiste en realizar aspersiones de fungicidas a base de clorotalonil (1 cm^3/L), difenoconazol (0,5 a 1 cm^3/L), benomil (0,5 g/L), oxicloruro de cobre (2 g/L) o hidróxido cúprico (2 g/L), usados en rotación. Teniendo en cuenta que los trips favorecen el ataque del hongo causante de la roña, estos deben mantenerse en poblaciones bajas, mediante la aspersión de productos a base clorfenapir (0,5 cm^3/L), imidacloprid (0,5 cm^3/L) o cipermetrina (0,5 cm^3/L). Las aspersiones de los fungicidas e insecticidas mencionados se deben realizar desde el inicio de la floración y hasta dos o tres semanas después del cuajamiento del fruto.

Mancha angular de la hoja y mancha negra o peca del fruto por *Pseudocercospora* sp.

Pseudocercospora purpurea (Cooke) Deighton (= *Cercospora purpurea* Cooke)

Importancia y distribución

Estas enfermedades son causadas por el hongo *Pseudocercospora purpurea* (o *Cercospora purpurea*) y son frecuentes en cultivos de aguacate ubicados en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Valle del Cauca (Mejía, 1999; Ríos-Castaño et al., 1976). Se han observado también en los departamentos de Antioquia, Tolima y Cundinamarca causando daños en pre- y poscosecha (Tamayo, 2004, 2007; Reina-Noreña et al., 2015). La enfermedad es más severa en condiciones de precipitación alta y en plantaciones débiles o mal nutridas (Mejía, 1999), en las cuales afecta principalmente a las hojas de la parte media y baja del árbol.

El hongo *P. purpurea* está presente en casi todos los cultivos de aguacates criollos y antillanos y causa daños en los frutos y afecciones severas en las hojas, incluso en la variedad Fuerte (Tamayo, 2004). El hongo produce infecciones latentes en el campo antes de la cosecha y solo se manifiesta en los frutos en la etapa de poscosecha (Lonsdale, 1992). La enfermedad afecta hojas y frutos en el campo y causa la llamada *mancha angular de la hoja* y, en poscosecha, causa *la mancha negra o peca del fruto*, que ocasiona pérdidas del 2 % en condiciones de inadecuado almacenamiento (Tamayo, 2004).

Síntomas

En las hojas se observan manchas pequeñas (0,3 a 1 cm de diámetro) de color marrón o café oscuro, de formas irregulares o angulares, con bordes rojizos bien definidos y rodeadas de un marcado halo clorótico (figura 7.24a) (Darvas y Kotze, 1987; Ploetz et al., 1994; Mejía, 1999; Ríos-Castaño et al., 1976; Tamayo, 2004; Reina-Noreña et al., 2015; Rodríguez-Polanco et al., 2020). En condiciones de humedad relativa alta, las lesiones se funden y pueden comprometer grandes áreas de la lámina foliar (figura 7.24b).

En los frutos, las lesiones son de tamaño mediano (1 a 2 cm de diámetro), de color negro, bordes angulosos o irregulares, con bordes rojizos bien definidos (Darvas y Kotze, 1987; Mejía, 1999). Generalmente, la lesión es superficial, levemente deprimida

(figura 7.25a) y no penetra ni compromete la pulpa, por lo cual no hay daño interno del fruto, pero sí deterioro en su apariencia (Tamayo, 2004; Reina-Noreña et al., 2015). En otras variedades, las lesiones son pequeñas (0,5 a 1 cm de diámetro), de color café oscuro o rojizas, con bordes irregulares (figura 7.25b) (Tamayo, 2004). Cuando persisten condiciones de humedad relativa alta en el almacenamiento, el centro de la lesión toma una coloración gris a negra, debido a la esporulación del hongo que causa la enfermedad, la cual puede llegar a deteriorar la pulpa y facilitar la entrada de otros hongos en poscosecha como el *C. gloeosporioides* (figura 7.25c) (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994; Tamayo, 2004).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.24. Síntomas de mancha negra o peca por *Pseudocercospora purpurea* en hojas de aguacate. a. Lesiones café oscuro de formas irregulares o angulares, con bordes rojizos bien definidos, rodeadas de un marcado halo clorótico; b. Lesiones de mayor tamaño en gran parte de la lámina foliar.

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.25. Síntomas de la mancha negra o peca por *Pseudocercospora purpurea* en frutos de aguacate. a. Lesiones superficiales, levemente deprimidas; b. Lesiones pequeñas, café oscuro o rojizas, con bordes irregulares; c. Afección por *Colletotrichum gloeosporioides* (antracnosis), posterior al ataque de la mancha negra.

Manejo cultural

En condiciones de cultivo, se deben realizar podas de aclareo, que permitan mayor luminosidad y aireación a los árboles (Mejía, 1999), pero es necesario sellar las heridas causadas por la poda aplicando pintura a base de aceite, con brocha, en la región podada. Estudios realizados en el Tolima han indicado que las desyerbas y las podas de aclareo en el cv. Lorena contribuyen al manejo integrado de la enfermedad (Rodríguez-Polanco et al., 2020). Se ha demostrado experimentalmente que el tratamiento de frutos de aguacate, en precosecha, con aislamientos de *Bacillus subtilis* reducen la severidad de la mancha negra del aguacate en almacenamiento.

Manejo químico

Para el manejo de la mancha angular en el campo se recomiendan aspersiones foliares antes de la cosecha de productos a base de oxicloruro de cobre (2 g/L), hidróxido cúprico (2 g/L) (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994), benomil (0,5 g/L) (Darvas y Kotze, 1987; Lonsdale, 1992; Ploetz et al., 1994), ciproconazol (0,25 a 0,5 cm^3/L), flusilazol (0,15 a 0,25 cm^3/L) (Lonsdale, 1992; Mejía, 1999) o carbendazim (0,75 a 1,25 cm^3/L) o trifloxystrobin + tebuconazole (0,5 cm^3/L). La aplicación de tebuconazole+ trifloxystrobin, triadimenol, azoxystrobin y difenoconazole, en mezcla con oxicloruro de cobre y en rotación cada 15 días (de floración a cosecha) obtuvo el 65 % de frutos de primera calidad, comparado con el manejo del productor, que obtuvo solo el 45 % (Rodríguez-Polanco et al., 2020). Los cuartos de almacenamiento y las canastillas en las cuales se comercializa la fruta se deben desinfectar periódicamente con productos a base de hipoclorito de sodio al 2 %.

Pudrición chocolate del fruto por *Rhizopus*

Rhizopus stolonifer (Ehrenb: Fr.) Lind

Importancia y distribución

La pudrición del fruto por *R. stolonifer* es una enfermedad que hasta el momento solo se ha detectado en el departamento de Antioquia (Tamayo, 2004). El hongo es considerado un patógeno débil en poscosecha, pero puede llegar a causar pérdidas cercanas al 30 % por deterioro de la calidad del fruto en condiciones de mal almacenamiento (Tamayo, 2004, 2007). La enfermedad solo se ha observado en frutos que han sido cosechados sin pedúnculo, factor que parece favorecer el ataque del hongo (Lund, 1977; Tamayo, 2004).

Síntomas

El ataque por el hongo *R. stolonifer* en frutos se manifiesta, en condiciones de humedad relativa alta o mal almacenamiento, con la aparición de un moho de aspecto grisáceo en el punto de inserción del pedúnculo en el fruto (figura 7.26a). Dicho moho corresponde a masas de conidióforos, que sostienen conidias del hongo que causa la enfermedad (Lund, 1977; Tamayo, 2004). En la inserción del pedúnculo en el fruto es posible observar una pequeña lesión de color café que invade parcialmente la cáscara y la pulpa (figura 7.26b) (Tamayo, 2004).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.26. Síntomas de la pudrición del fruto por *R. stolonifer*. a. Presencia de un moho de aspecto grisáceo en el punto de inserción del pedúnculo en el fruto; b. Lesiones pequeñas, color café oscuro, que invaden parcialmente la cáscara y la pulpa.

Con el tiempo, el hongo ocasiona una pudrición de color chocolate, marrón o café oscuro, de bordes irregulares, que avanza de manera gradual hacia el centro del fruto (figura 7.27a). Después, el hongo invade totalmente el fruto y causa una pudrición interna de la pulpa de color café claro (figura 7.27b), que le da un sabor desagradable y llega a colonizar la semilla (Tamayo, 2004).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.27. Síntomas posteriores de la pudrición del fruto por *R. stolonifer*. a. Pudrición café oscura de bordes irregulares que avanza de manera gradual hacia el centro del fruto; b. Invasión total y pudrición de la pulpa.

Manejo cultural

Cuando se realice la cosecha, el pedúnculo del fruto se debe cortar a ras (figura 7.28). Experimentalmente, algunos aislamientos de la levadura *Pichia onychis* han sido efectivos en el control de *R. stolonifer* en tratamiento poscosecha de frutos de tomate (García & Cotes, 2001), los cuales podrían ser de utilidad para este patógeno en aguacate.

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.28. Corte a ras del pedúnculo del fruto para evitar pudriciones por *R. stolonifer* en poscosecha.

Manejo químico

Dado que el hongo puede infectar la semilla del aguacate (Neergaard, 1977), esta se debe tratar con hipoclorito de calcio (40 %) (1,5 cm^3/L) durante 15 minutos, con posterior inmersión, durante igual periodo de tiempo, en un producto a base carboxin y captan (2 a 6 g/L), a fin de prevenir posibles apariciones en el semillero o almácigo (Corrales-Medina et al., 2000). Los cuartos de almacenamiento y las canastillas en las cuales se comercializa la fruta se deben desinfectar periódicamente con productos a base de hipoclorito de sodio al 2 % o tebuconazole (0,5 cm^3/L). Para prevenir la pudrición por *R. stolonifer* en frutos de aguacate en almacenamiento, estos se deben sumergir en una solución de un fungicida a base de tebuconazole (0,5 cm^3/L), iprodione (0,5 a 1,5 cm^3/L) o fludioxonil y ciprodinil (0,5 g/L) después de la cosecha.

Pudrición del fruto por *Dothiorella*

Dothiorella Sacc.

Importancia y distribución

La pudrición del fruto por *Dothiorella* sp. es una enfermedad que solo se ha observado en frutos de aguacate en la etapa de poscosecha y en el departamento de Antioquia (Tamayo, 2004). Las pérdidas por la enfermedad en poscosecha son cercanas al 10 %, debido al deterioro en la calidad de la fruta cosechada (Tamayo, 2004, 2007). La enfermedad solo se ha observado en frutos que han sido cosechados sin pedúnculo, lo cual parece favorecer el ataque de *Dothiorella* sp. (Tamayo, 2004). El hongo produce infecciones latentes en el campo antes de la cosecha, pero solo se manifiesta en el fruto en la etapa de poscosecha (Darvas & Kotze, 1987; Eckert & Ogawa, 1985; Lonsdale, 1992).

Síntomas

El hongo *Dothiorella* sp. se manifiesta en cualquier parte del fruto (figura 7.29a), pero es más frecuente en la inserción del pedúnculo en este (Darvas & Kotze, 1987). Allí se observa una lesión que ocasiona una pudrición de color marrón o café oscuro en cualquier parte de la cáscara (Mauk et al., 1999), la cual avanza de manera gradual y uniforme hacia el centro del fruto (figura 7.29a) (Tamayo, 2004). El hongo puede causar lesiones de color café oscuro en otras partes del fruto e invadirlo totalmente, lo cual genera una pudrición interna del mismo color en la pulpa (Ploetz et al., 1994). Los síntomas de la pudrición por *Dothiorella* sp. son muy parecidos a los que causa el hongo *R. stolonifer*, sin embargo, se diferencian porque en los ataques por *Dothiorella* sp. no hay crecimiento micelial en la unión del pedúnculo con el fruto y se observa una necrosis marcada en los haces vasculares en el interior de este (figura 7.29b) (Ploetz et al., 1994; Tamayo, 2004).

Manejo químico

Dado que el hongo puede infectar la semilla del aguacate (Neergaard, 1977), esta se debe tratar con hipoclorito de calcio (40 %) (1,5 cm^3/L) durante 15 minutos, con posterior inmersión, durante igual periodo de tiempo, en un producto a base carboxin y captan (2 a 6 g/L), a fin de prevenir posibles apariciones en el semillero o almácigo

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.29. Síntomas de la pudrición del fruto por *Dothiorella*. a. Pudrición café oscura, de bordes irregulares, que avanza de manera gradual hacia el centro del fruto; b. Invasión total y pudrición de la pulpa.

(Corrales-Medina et al., 2000). En condiciones de campo, se deben realizar aspersiones precosecha con fungicidas a base de oxicloruro de cobre (2 g/L), hidróxido cúprico (2 g/L) o benomil (0,5 g/L) (Ploetz et al., 1994).

Para prevenir la pudrición por *Dothiorella* sp. en frutos de aguacate en el almacenamiento, estos se deben sumergir en una solución de un fungicida a base de procloraz (0,5 cm^3/L) (Ploetz et al., 1994) o tiabendazol (1 cm^3/L) (Darvas, 1978), después de la cosecha. Los cuartos de almacenamiento y las canastillas en las cuales se comercializa la fruta se deben desinfectar periódicamente con productos a base de hipoclorito de sodio al 2 %.

Muerte descendente de ramas y brotes: antracnosis del fruto

Glomerella cingulata (Stoneman) Spauld. & H. Schrenk (anamorfo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.)

Importancia y distribución

La antracnosis, causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, es una enfermedad de amplia distribución e importancia económica en todas las zonas productoras de aguacate de Colombia (Mejía, 1999; Navarro, 1987; Ríos-Castaño et al., 1976). *C. gloeosporioides* ocasiona pudrición de frutos en campo y en poscosecha, y llega a generar pérdidas cercanas al 20 % (Tamayo, 2004, 2007).

Este hongo también produce infecciones latentes en el campo antes de la cosecha y solo se manifiesta en la etapa de poscosecha (Binyamini & Schiffmann-Nadel, 1972; Darvas & Kotze, 1987; Eckert & Ogawa, 1985; Lonsdale, 1992; Mauk et al., 1999). La antracnosis del fruto del aguacate se ha observado en cultivos ubicados en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Quindío y Risaralda (Mejía, 1999; Tamayo, 2007), y ya había sido detectada en los departamentos de Cesar, Córdoba y Tolima (Castaño, 1978; Orjuela, 1965; Salazar & Toro, 1993).

Síntomas

El hongo *G. cingulata* ataca brotes tiernos, cogollos, ramas, flores y frutos (Mejía, 1999). Cuando afecta brotes tiernos y cogollos, se presenta en arbolitos de almácigo y produce la muerte descendente de la copa y la pudrición del injerto, que se caracteriza por ser de color café oscuro, negro o rojizo (figura 7.30a). En el campo, la antracnosis causa muerte progresiva y descendente de ramas y cogollos —los cuales presentan una coloración café oscura y negra—. En condiciones de humedad relativa alta, esta enfermedad provoca marchitez y muerte de las hojas (figura 7.30b), y el tallo se cubre de masas de color salmón, que corresponden a conidias del hongo causante de la enfermedad (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994; Tamayo, 2004).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.30. Síntomas del ataque de *G. cingulata*. a. Muerte descendente de la copa y pudrición del injerto en plántulas de vivero; b. Muerte progresiva y descendente de ramas y cogollos de árboles en campo.

Cuando el hongo afecta los pedúnculos, las lesiones son alargadas (figura 7.31a). En condiciones de humedad relativa alta y lluvias continuas, el hongo infecta las flores y la unión del pedúnculo con los frutos en formación, lo cual genera lesiones de color café y pardo oscuro (figura 7.31b) que provocan la caída de estos en estados tempranos de formación. Aunque no son frecuentes los síntomas de ataque del hongo en los frutos en plantaciones establecidas, el patógeno puede penetrar la epidermis de estos y permanecer latente hasta su maduración; es entonces cuando aparecen las manchas en los frutos (figura 7.31c) y se produce su caída prematura del árbol.

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.31. Síntomas del ataque de *G. cingulata*. a. Lesiones alargadas en los pedúnculos; b. Lesiones en la unión del pedúnculo con el fruto; c. Lesiones poscosecha, latentes durante la maduración del fruto.

Los daños por *G. cingulata* en la etapa de poscosecha se presentan en diferentes partes del fruto como manchas redondas de tamaño variable (0,5 a 3 cm de diámetro), de color marrón o café claro, levemente deprimidas en su centro y sin bordes definidos (Darvas & Kotze, 1987; Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994; Tamayo, 2004). Generalmente, la lesión avanza en diámetro, se une a otras rápidamente y cubre gran parte del fruto (figura 7.32a). El centro de la lesión toma una coloración salmón debido a la esporulación del hongo que causa la enfermedad (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994; Tamayo, 2004).

En correspondencia con la lesión en la cáscara del fruto, el hongo produce una pudrición interna en la pulpa de color café claro (figura 7.32b), que le da un sabor desagradable; esta pudrición avanza hasta colonizar la pulpa (figura 7.32c) (Tamayo, 2004). En condiciones de campo, cualquier daño mecánico causado por insectos —como *Monalonium* sp., trips y caros— y por la presencia de otros patógenos —como *P. purpurea*— favorece el ataque o manifestación de la antracnosis en los frutos en poscosecha (Tamayo, 2004).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.32. Síntomas del ataque de *G. cingulata* en frutos en poscosecha. a. Manchas redondas, marrón o café claro, levemente deprimidas en su centro y sin bordes definidos; b. Posterior pudrición interna en la pulpa del fruto; c. Pudrición interna de la pulpa.

Manejo cultural

En condiciones de cultivo, se deben realizar podas de aclareo que permitan mayor luminosidad y aireación de los árboles (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994). También se deben sellar las heridas causadas por la poda, mediante la aplicación pintura a base de agua, con brocha, en la región podada. Se ha demostrado experimentalmente que el tratamiento de frutos de aguacate en poscosecha con aislamientos de *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas* sp. reduce o retarda el desarrollo de la antracnosis en almacenamiento (Korsten, De Villiers, Duvenhage, & Kotzé, 1994, 1997; Montoya, Victoria, & Villegas, 2004).

Manejo químico

En condiciones de campo se deben realizar aspersiones al inicio de la floración, dos o tres semanas después del cuajamiento del fruto, con fungicidas a base de oxicloruro de cobre (2 g/L), hidróxido cúprico, benomil (0,5 g/L) (Mejía, 1999; Ploetz et al., 1994), procloraz (0,5 cm^3/L), tiabendazol (1 cm^3/L) (Ploetz et al., 1994), metil tiofanato (1 cm^3/L), carbendazim (0,75 a 1,25 cm^3/L) o difenoconazol (0,5 cm^3/L). Estos fungicidas se deben asperjar en programas de rotación, para evitar la aparición de poblaciones del patógeno resistentes a los fungicidas. También reduce la incidencia de antracnosis en el almacenamiento, la inmersión de los frutos, después de la cosecha, por tres minutos en suspensiones de fungicidas a base de procloraz (0,5 cm^3/L) o tiabendazol (1 cm^3/L) (Darvas, 1978; Ploetz et al., 1994). Los cuartos de almacenamiento y las canastillas en las cuales se comercializa la fruta se deben desinfectar periódicamente con productos a base de hipoclorito de sodio al 2 %.

Secamiento descendente, necrosis del injerto y pudrición del fruto por *Lasiodiplodia theobromae*

Lasiodiplodia theobromae (Pat.) Griffon & Maubl. (= *Botryodiplodia theobromae* Pat.)

Importancia y distribución

El secamiento descendente y la necrosis del injerto causada por *L. theobromae* es una enfermedad muy frecuente en almácigos de aguacate en los departamentos de Cundinamarca, Magdalena, Antioquia, Caldas y Valle del Cauca (Castaño, 1978;

Pardo-Cardona, 1995; Patiño, 1970; Saltarén et al., 1998a; Tamayo, 2004). El hongo causante del secamiento descendente es uno de los organismos más frecuentes en viveros, el cual pudre las raíces y provoca retraso en el desarrollo de los arbolitos (Lozano, 2004; Saltarén et al., 1998a). Si bien *L. theobromae* ha sido recientemente detectado en frutos en poscosecha en el departamento de Antioquia, su incidencia ha sido muy baja (1 %) (Tamayo, 2004, 2007).

Síntomas

La pudrición por *L. theobromae* se presenta en la unión del injerto como una necrosis de color café que generalmente avanza en forma descendente (figura 7.33a), compromete el patrón e impide el paso de agua y nutrientes, por lo cual la copa muere posteriormente (figura 7.33b).

Cuando el hongo no afecta la unión del injerto, causa necrosis de raíces, retraso en el desarrollo, amarillamiento (figura 7.34a), marchitez y muerte de arbolitos en condiciones de almácigo (Saltarén et al., 1998a). El hongo *L. theobromae* puede causar una pudrición del fruto en poscosecha (Darvas & Kotze, 1987; Ploetz et al., 1994; Tamayo, 2004). Los daños se manifiestan como una pudrición en la inserción del

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.33. Síntomas de pudrición de plántulas por *L. theobromae*. a. Necrosis descendente que compromete el patrón; b. Necrosis descendente que compromete la copa.

pedúnculo en el fruto (Darvas & Kotze, 1987), donde se observa una lesión de color café oscuro (figura 7.34b), que avanza de manera gradual y uniforme hacia el centro de este (Tamayo, 2004). Un leve pero característico crecimiento micelial blanquecino se desarrolla en la unión del pedúnculo con el fruto (figura 7.34c) y se presenta una pudrición interna y blanda de la pulpa, de color café claro u oscuro (figura 7.34d) (Tamayo, 2004).

En estados avanzados de infección, el micelio blanquecino que rodea la inserción del fruto con el pedúnculo se torna de color negro (figura 7.34e) y avanza al interior del fruto hasta deteriorarlo completamente. Los síntomas de la pudrición del fruto por *L. theobromae* en poscosecha son muy parecidos a los que causa el hongo *R. stolonifer*; sin embargo, se diferencian porque, en los ataques por *L. theobromae*, hay crecimiento micelial blanquecino en la unión del pedúnculo con el fruto, mientras que, en el caso de *R. stolonifer*, el crecimiento micelial es de color gris (Tamayo, 2004).

Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.34. Síntomas por *L. theobromae*. a. Amarillamiento de plántulas en almácigo; b. Pudrición en poscosecha de la inserción del pedúnculo en el fruto; c. Crecimiento micelial blanquecino del hongo; d. Pudrición interna y blanda de la pulpa; e. Deterioro interno total del fruto.

Manejo cultural

Se debe evitar el establecimiento de almácigos en lugares húmedos o con poca ventilación.

Manejo químico

Dado que el hongo *L. theobromae* puede infectar la semilla del aguacate, esta se debe tratar con hipoclorito de calcio (40 %) (1,5 cm^3/L) durante 15 minutos, con posterior inmersión, durante igual periodo de tiempo, en un producto a base de carboxin y captan (2 a 6 g/L), a fin de prevenir posibles pudriciones o la manifestación del hongo en el semillero o almácigo (Corrales-Medina et al., 2000). En condiciones de almácigo, se deben realizar aspersiones con fungicidas a base de oxicloruro de cobre (2 g/L), hidróxido cúprico (2 g/L), benomil (0,5 g/L), metil tiofanato (1 cm^3/L), carbendazim (0,5 cm^3/L) o tiabendazol (1 cm^3/L).

Puesto que este patógeno es endófito (organismos que durante algún periodo de su ciclo de vida habitan dentro de las plantas y colonizan sus tejidos sin causar perjuicio aparente) (Ploetz et al., 1994), para las plantaciones de aguacate se recomienda hacer aspersiones precosecha con fungicidas a base de oxicloruro de cobre (2 g/L), hidróxido cúprico (2 g/L), benomil (0,5 g/L) (Ploetz et al., 1994), metil tiofanato (1 cm^3/L), carbendazim (0,75 a 1,25 cm^3/L) o tiabendazol (1 cm^3/L). Estos fungicidas se deben asperjar en programas de rotación, para evitar la aparición de poblaciones del patógeno con resistencia a los fungicidas. A fin de prevenir la pudrición por *L. theobromae* en frutos de aguacate en el almacenamiento, estos se deben sumergir en una solución de un fungicida a base de procloraz (0,5 cm^3/L), después de la cosecha (Ploetz et al., 1994). Los cuartos de almacenamiento y las canastillas en las cuales se comercializa la fruta se deben desinfectar periódicamente con productos a base de hipoclorito de sodio al 2 %.

Pudrición de raíces y muerte de plántulas por *Calonectria*

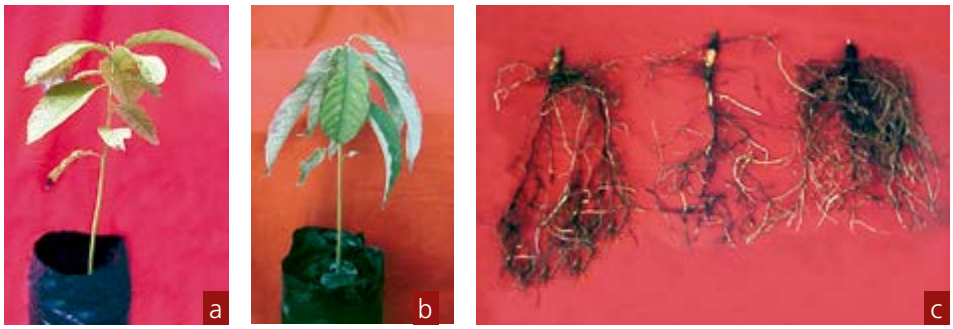
Calonectria De Not (=*Cylindrocladium* Morg)

Importancia y distribución

El hongo causante de la pudrición de raíces y muerte de plántulas de aguacate se reclasificó y ahora es *Calonectria* sp. (Parkinson et al., 2019). Es una enfermedad de reciente detección en Colombia (Saltarén & Varón de Agudelo, 1997). Este patógeno es el organismo más frecuente y severo en viveros de aguacate de los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca (Saltarén & Varón de Agudelo, 1997; Saltarén et al., 1998a, 1998b).

Síntomas

Los daños por *Calonectria* sp. se evidencian en almácigos porque los árboles presentan clorosis intervenal localizada en las hojas de la parte media del dosel (figura 7.35a) y porque progresivamente aparecen hojas con pequeñas lesiones necróticas que se van fundiendo hasta dar lugar a grandes zonas de tejido muerto en la lámina foliar (figura 7.35b). Las plantas se remueven con facilidad debido a la pudrición avanzada en la raíz. El volumen radical es escaso y las raíces secundarias se empiezan a necrosar (figura 7.35c) hasta causar la muerte de los árboles.



Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.35. Síntomas por *Calonectria* en plántulas de almácigo. a. Clorosis intervenal en las hojas; b. Lesiones necróticas en la lámina foliar; c. Raíces secundarias necrosadas.

Manejo

No existe información sobre medidas de manejo de los daños por el hongo *Calonectria* sp.

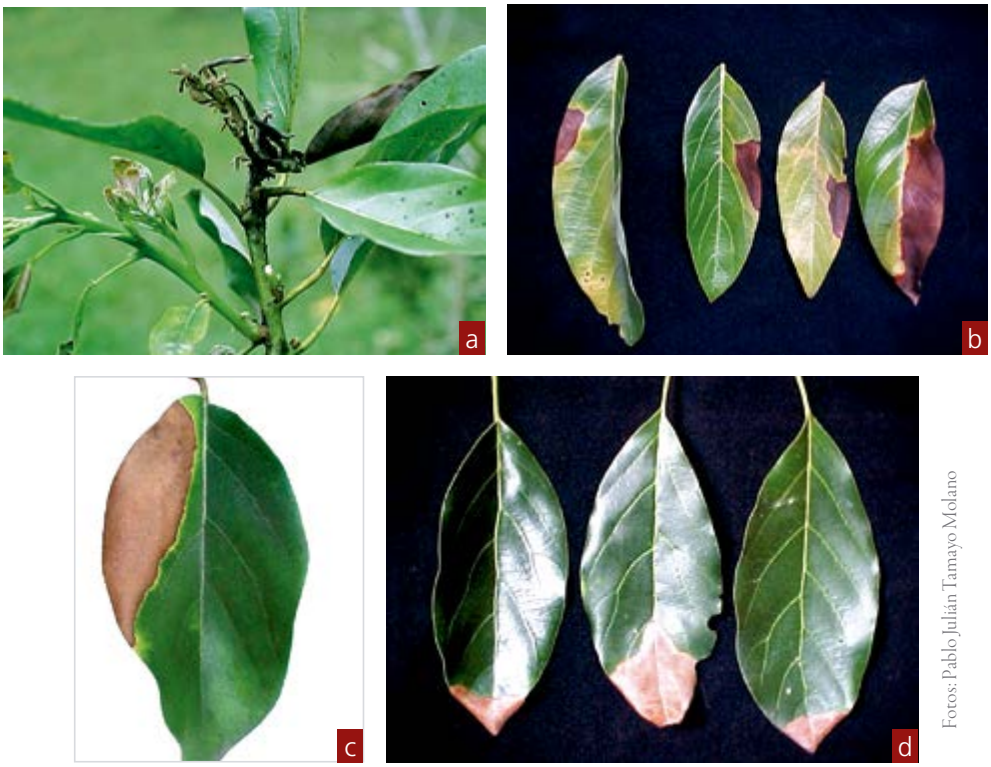
Secamiento de ramas y mancha foliar por *Pestalotia*

Importancia y distribución

El secamiento de ramas o mancha foliar por *Pestalotia* sp. es una enfermedad de poca importancia y de rara ocurrencia en cultivos de aguacate (variedades Hass y Choquette). Se detectó en cultivos ubicados en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca (ICA, 1978) y Quindío, sin embargo, no se observaron daños por este hongo en almácigo (Lozano, 2004).

Síntomas

La enfermedad se presenta en los brotes tiernos, en los cuales causa un leve secamiento de color café en los terminales o puntos de crecimiento (figura 7.36a). El hongo también causa síntomas en las regiones laterales hacia el borde o ápice de las hojas: manchas grandes y uniformes de color café, con bordes marcados o bien definidos de color café oscuro (figura 7.36b) que pueden poseer o no un halo clorótico (figuras 7.36c y 7.36d).



Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.36. Síntomas por *Pestalotia* en ramas y hojas. a. Secamiento en los terminales o puntos de crecimiento; b. Manchas grandes y uniformes en los bordes de las hojas; c. Manchas con halo clorótico; d. Manchas sin halo clorótico.

Manejo cultural

La poda de las ramas afectadas es la mejor medida de manejo de esta enfermedad. Dado que su incidencia y severidad es muy reducida, no se justifican medidas de manejo adicional.

Cenicilla negra, moho negro y fumagina por *Capnodium*

Capnodium Mont.
Asteridiella perseae (Stevens) Hansf.
Calothyriolum aphiahynum Speg.
Lembosia perseae Garcés
Meliola antioquensis Garcés

Importancia y distribución

Las fumaginas del aguacate no son de importancia económica en el cultivo. Su incidencia y severidad es común en las hojas bajeras del árbol, la cual se ve agravada por condiciones de humedad relativa alta y la presencia de hormigas, cochinillas, áfidos y moscas blancas, que secretan sustancias azucaradas que favorecen el crecimiento superficial del hongo e impiden el normal proceso de fotosíntesis. Las fumaginas del aguacate se observaron en cultivos ubicados en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Quindío y Risaralda (Dennis, 1970; Garcés, 1944).

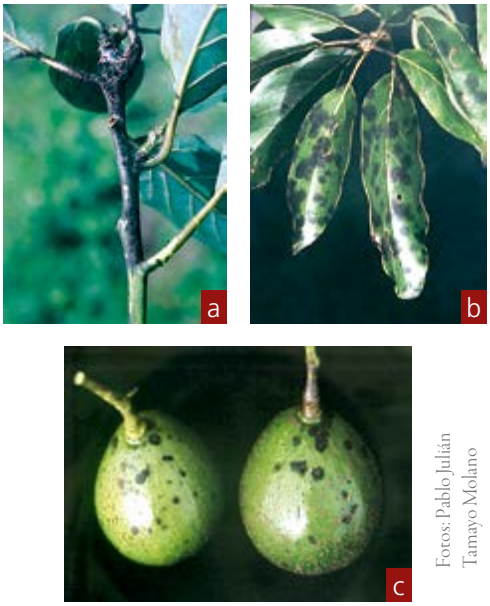
Síntomas

La fumagina afecta hojas, tallos y frutos de aguacate. Sobre la superficie de la hoja y los tallos, se observa una delgada capa de un polvillo de color negro, que asemeja un hollín (figura 7.37), el cual se desprende fácilmente al rasparlo.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.37. Polvillo de color negro causado por la fumagina en hojas de aguacate.

En ocasiones, la fumagina afecta los tallos (figura 7.38a) y los frutos y, en consecuencia, deteriora su calidad. Otro tipo de fumagina produce manchas superficiales de forma circular de color negro, que cubren gran parte de la lámina foliar (figura 7.38c) y, en ocasiones, de los frutos (figura 7.38d).



Fotos: Pablo Julián Tamayo Molano

Figura 7.38. Ataque de fumagina en tallos, hojas y frutos de aguacate. a. Síntomas de fumagina en tallos; b. Manchas de fumagina en las hojas; c. Manchas de fumagina en frutos.

Manejo cultural

La poda de las ramas afectadas es la mejor medida de manejo de esta enfermedad. Dado que su incidencia y severidad es muy reducida, no se justifican medidas de manejo adicional.

Manejo químico

Puesto que la fumagina es favorecida por insectos chupadores, se recomienda la aspersión de insecticidas a base de diazinon (2 cm^3/L), thiociclam hidrogenoxalato (1 g/L), imidacloprid (0,5 cm^3/L) o cipermetrina y clorpirifos (0,5 cm^3/L). Las aspersiones foliares de fungicidas a base de oxicloruro de cobre (2 g/L), hidróxido cúprico (2 g/L) o polisulfuro de calcio (10 a 20 cm^3/L) también disminuyen la severidad de la fumagina en árboles de aguacate.

Mancha de asfalto por *Phyllachora*

Phyllachora gratissima Rehm.

Importancia y distribución

La mancha de asfalto es una enfermedad de poca importancia económica que se ha detectado en cultivos de aguacate en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca (Orjuela, 1965); también ha sido observada en Nariño (Orjuela, 1965; Dennis, 1970). La enfermedad es más frecuente en aguacates criollos y poco común en las variedades mejoradas.

Síntomas

Al inicio, la mancha de asfalto se caracteriza por la presencia de diminutos puntos eruptivos de color negro en la superficie de la hoja, semejantes a gotas de brea y rodeados por un leve halo clorótico (figura 7.39a). Poco tiempo después, las lesiones aumentan de tamaño y adquieren un color café o pardo por el haz (figura 7.39b) y el envés de la hoja (figura 7.39c).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.39. Síntomas de la mancha de asfalto en hojas. a. Puntos eruptivos de color negro en la superficie de la hoja rodeados de un leve halo clorótico; b. Manchas de mayor tamaño de color pardo por el haz; c. Manchas de mayor tamaño de color pardo por el envés.

Manejo

Debido a que la incidencia y la severidad de la mancha de asfalto es muy baja, no se requieren medidas de manejo de esta enfermedad.

Mancha algácea por *Cephaleuros*

Cephaleuros virescens Kunze

Importancia y distribución

La mancha algácea, causada por *C. virescens*, se observó en cultivos de aguacate ubicados en los departamentos de Valle del Cauca (Orjuela, 1965), Antioquia (Pardo-Cardona, 1986, 1988, 1990), Caldas, Cundinamarca y Risaralda. Es una enfermedad de poca importancia económica en cultivos de aguacate en Colombia.

Síntomas

Se observan manchas redondas eruptivas de color naranja (figura 7.40a), verde (figura 7.40b) o amarillo y de apariencia aterciopelada sobre la superficie de la hoja.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.40. Manchas en hojas de aguacate, causadas por la mancha algácea. a. Manchas de color naranja; b. Manchas de color verde.

Manejo químico

Las aspersiones foliares de fungicidas a base de oxicloruro de cobre (2 g/L), hidróxido cúprico (2 g/L) o polisulfuro de calcio (10 a 20 cm^3/L) disminuyen la severidad de la mancha algácea en árboles de aguacate.

Otras enfermedades

En la literatura nacional se ha informado sobre la presencia de una mancha foliar causada por Helminthosporium (Buriticá, 1995) en cultivos de aguacate del departamento de Antioquia. También se han reportado daños en las raíces por *Rhizoctonia* y *Fusarium* (Tamayo, 2007) en almácigos de aguacate de los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca. La importancia económica de las anteriores enfermedades no ha sido bien establecida.

Nematodos

Helicotylenchus Steiner
Rotylenchulus Lindford & Oliveira
Pratylenchus Filipjev

Importancia y distribución

Los daños por los nematodos *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp. y *Pratylenchus* sp. se han observado en almácigos y cultivos comerciales de aguacate en los departamentos de Caldas, Cauca y Valle del Cauca (Saltarén et al., 1998b).

Síntomas

Las plantas afectadas por estos nematodos presentan escaso desarrollo foliar, pobre crecimiento y clorosis moderada.

Manejo cultural

El manejo preventivo de estos nematodos se debe iniciar en la etapa de almácigo mediante la producción de plántulas de aguacate sanas. Las recomendaciones ofrecidas para el manejo cultural de *P. cinnamomi*, en lo relacionado con la desinfección del suelo que va a ser empleado en los almácigos, es aplicable para el control de estos nematodos.

Manejo químico

Las recomendaciones ofrecidas para el manejo químico de *P. cinnamomi*, en lo relacionado con la desinfección del suelo que va a ser empleado en los almácigos, es aplicable para el control de estos nematodos.

Desordenes abióticos

Golpe de sol

El golpe de sol se observa en árboles recién injertados en los almácigos y en los frutos en condiciones de campo. Se presenta en almácigos cuando los injertos se exponen a la acción directa de los rayos de sol, sin la precaución de cubrir o proteger las bolsas plásticas con bolsas de papel, poco después de realizado el proceso de implantación del injerto, lo cual provoca el secamiento y la muerte de la planta (figura 7.41a). El golpe de sol también se presenta en condiciones de campo cuando los frutos del aguacate se exponen a la acción directa de los rayos del sol. El golpe de sol se manifiesta en los frutos con lesiones circulares de color amarillo (de 3 a 5 cm de diámetro) (figura 7.41b). La lesión no posee bordes definidos y deteriora la calidad de la fruta.

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 7.41. Daños causados por golpe de sol. a. Golpe de sol en plántulas injertas; b. Golpe de sol en frutos.

Referencias

Besoain, X., & Piontelli, E. (1999). Pudrición negra en raicillas de palto (*Persea americana* Mill.) por *Cylindrocarpon destructans*: patogenicidad y aspectos epidemiológicos. *Boletín Micológico*, *14*(1-2), 41-47.

Binyamini, N., & Schiffmann-Nadel, M. (1972). Latent infection in avocado fruit due to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Phytopathology*, *62*, 592-594.

Buriticá, P. (1995). Índice de los patógenos causantes de enfermedades de las plantas en Colombia con referencia a su hospedante. *Boletín Técnico. Facultad de Ciencias Agropecuarias*, *4*, 11-49.

Buriticá, P. (1999). *Directorio de patógenos y enfermedades de las plantas de importancia económica en Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia & Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Castaño, J. J. (1978). *Trayectoria de la fitopatología en Colombia (1571-1974)*. Medellín, Colombia: Editorial Letras.

Coffey, M. D. (1987). *Phytophthora* root rot of avocado. An integrated approach to control in California. *Plant Disease*, *71*, 1046-1052.

Coffey, M. D., Ohr, H. D., Campbell, S. D., & Guillemet, F. B. (1984). Chemical control of *Phytophthora cinnamomi* on avocado rootstocks. *Plant Disease*, *68*, 956-958.

Córdova, G., & Barriga, R. (1968). Una enfermedad radicular del aguacate (*Persea gratissima* Mill.) en Colombia. *Revista Fitopatología*, *3*(1-2), 16.

Corrales-Medina, D. M., Lozano, J. C., & Ríos-Castaño, D. (2000, septiembre). *Tratamiento de la semilla de aguacate Persea americana con hipoclorito de calcio*. Ponencia presentada en el XXI Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines, Ascolfi, CIAT, Palmira.

Dann, E., Forsberg, L., Kooke, A., Pegg, K., Shivas, R., & Tan, Y. (2011). *The 'Cylindro' complex of avocado root pathogens*. Ponencia presentada en el VII Congreso Mundial del Aguacate, Cairns, Australia. Recuperado de https://goo.gl/iKtCEP.

Darvas, J. M. (1978). Control of post-harvest diseases on avocados. *South African Avocado Growers Association Research Report*, *2*, 51.

Darvas, J. M., & Kotze, J. M. (1987). Avocado fruit diseases and their control in South Africa. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, *10*, 117-119.

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.

Dennis, R. W. G. (1970). *Fungus. Flora of Venezuela and adjacent countries. Kew Bulletin Additional Series III*. Nueva York, EE. UU.: Lubrecht & Cramer Ltd.

Eckert, J. W., & Ogawa, J. M. (1985). The chemical control of postharvest diseases: Subtropical and tropical fruits. *Annual Review of Phytopathology*, *23*, 421-454.

Erwin, D. C., Bartinicki-García, S., & Tsao, P. H. (1983). *Phytophthora: Its biology, taxonomy, ecology, and pathology*. St. Paul, EE. UU.: The American Phytophathological Society.

Erwin, D. C., & Ribeiro, O. K. (1996). *Phytophthora diseases worldwide*. St. Paul, EE. UU.: The American Phytophathological Society.

Garcés, C. (1944). New or heretofore unreported species of higher ascomycetes from Colombia and Venezuela. *Mycologia*, *36*, 429-458.

García, G. P., & Cotes, A. M. (2001). Búsqueda de alternativas de control biológico de *Rhizopus stolonifer* en la post-cosecha de tomate. *Fitopatología Colombiana*, *25*(1), 39-47.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1978). *Índice de enfermedades de plantas cultivadas en Colombi*a (pp. 189). Bogotá, Colombia: autor.

Korsten, L., De Villiers, E. E., Duvenhage, J. A., & Kotzé, J. M. (1994). Control of avocado preharvest diseases with *Bacillus subtilis* and fungicides sprays. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, *17*, 32-34.

Korsten, L., De Villiers, E. E., Wehner, F. C., & Kotzé, J. M. (1997). Field sprays of *Bacillus subtilis* and fungicides for control of preharvest fruit diseases of avocado in South Africa. *Plant Disease*, *81*, 455-459.

Lonsdale, J. H. (1992). Evaluation of systemic fungicides as pre-harvest treatments of avocados. *South African Growers Association Yearbook*, *15*, 35-38.

López-Herrera, C. J., Pérez-Jiménez, R. M., Zea-Bonilla, T., Vasallote-Ureba, M. J., & Melero-Vara, J. M. (1998). Soil solarization in established avocado trees for control of *Dematophora necatrix*. *Plant Disease*, *82*, 1088-1092.

Lozano, J. C. (2004). La muerte precoz de árboles de aguacate en Colombia. *Ascolfi Informa*, *30*(5), 28-29.

Lund, J. A. (1977). Rhizopus stolonifer. *CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria*, *524*.

Mauk, P. A., Faber, B., & Menge, J. A. (1999). Foliar and fruit diseases of avocado in California. En M. L. Arpaia & R. Hofshi (eds.), *Proceedings of avocado brainstorming* (pp. 131-132). Riverside, EE. UU.: Hofshi Foundation.

Mejía, E. (1999). *Agronomía del cultivo del aguacate en Colombia*. Documento presentado en el Curso Nacional de Frutas Tropicales, Universidad Nacional de Colombia, Palmira.

Montoya, C. A., Victoria, E. V., & Villegas, L. C. (2004). Evaluación de bacterias con potencial de biocontrol sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causal de la antracnosis en frutos de aguacate (*Persea americana*). *Revista Asiava*, *64*, 13-18.

Navarro, R. (1987). Enfermedades del aguacate (*Persea americana* Mill.). *Revista Sociedad de Ingenieros Agrónomos de Antioquia*, *1*(1), 23-28.

Neergaard, P. (1977). *Seed pathology*. Londres, Reino Unido: Macmillan.

Orjuela, J. (1965). *Índice de enfermedades de plantas cultivadas en Colombia*. Bogotá, Colombia: Editorial ABC.

Oudemans, P., & Coffey, M. D. (1987). *Phytophthora citricola* Advances in our understanding of the disease. *California Avocado Society Yearbook*, *71*, 139-145.

Pardo-Cardona, V. M. (1986). Índice de hospedantes de *Cephaleuros* spp. en Colombia. *Gallescencia*, *5*, 71.

Pardo-Cardona, V. M. (1988). *Cephaleuro*s Kunze, en el departamento de Antioquia. *Revista ICNE*, *1*(1), 55.

Pardo-Cardona, V. M. (1990). *Índice de hongos fitopatógenos de las plantas cultivadas en Colombia* (pp. 42). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Pardo-Cardona, V. M. (1995). *Hongos fitopatógenos de Colombia* (pp. 166). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Parkinson, L. E., Le, D. P., Shivas, R. G., & Dann, E. K. (2019). *Pathogenicity and molecular detection of nectriaceous fungi associated with black root rot of avocado* [Conference]. IX World Avocado Congress. Medellín, Colombia.

Patiño, H. (1970). Adiciones al índice de enfermedades de plantas cultivadas en Colombia. En ICA & Universidad de Nariño (Eds.), *Memorias de la reunión de fitopatología y sanidad vegetal* (Tomo 2). Pasto, Colombia: autor.

Pérez, R. M. (2008). Significant avocado diseases caused by fungi and Oomycetes. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, *2*(1), 1-24.

Ploetz, R. C., Zentmyer, G. A., Nishijima, W. T., Rohrbach, K. G., & Ohr, O. D. (1994). *Compendium of tropical fruit diseases*. St. Paul, EE. UU.: The American Phytopathological Society Press.

Ramírez, 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, Medellín, Colombia.

Ramírez, J. G., & Morales, J. G. (2013). Primer informe de *Cylindrocarpon destructans* (Zinss) Scholten afectando plántulas de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Colombia. *Revista de Protección Vegetal*, *28*(1), 27-35.

Reina-Noreña, J., Mayorga-Cobos, M., Caldas-Herrera, J., Rodríguez-Valenzuela, J., & Varón-Devia, E. (2015). El problema de la peca en cultivos de aguacate (*Persea americana* Mill.) del norte del Tolima, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *16*(2), 265-278. https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num2_art:372

Ríos-Castaño, D., Román, C. A., & Serna, J. (1976). El Aguacate. En R. Torres, & D. Ríos-Castaño (eds.), *Frutales: Manual de asistencia técnica No. 4* (pp. 125-154). Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Rodríguez-Polanco, E., Reina-Noreña, J. A., Tamayo-Molano, P. J., Rodríguez-Polanco, L. A., & Varón-Devia, E. H. (2020). Validation of black spot [(*Pseudocercospora purpurea* (Cooke) Deighton] management strategies in avocado crops in northern Tolima. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *14*(2). https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.10169

Salazar, H., & Toro, H. (1993). *Principales enfermedades en diferentes cultivos de importancia económica diagnosticadas en reconocimientos sistemáticos y del Servicio de Sanidad Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Caldas* (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Saltarén, L. F., & Varón de Agudelo, F. (1997). *Cylindrocladium* sp. asociado con muerte de plántulas de aguacate (*Persea americana* Mill.) en viveros del Valle y Risaralda. *Ascolfi Informa*, *23*(4), 40-42.

Saltarén, L. F., Varón de Agudelo, F., & Marmolejo, F. (1998a). Patógenos radicales en material de propagación de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Fitopatología Colombiana*, *22*(2), 52-58.

Saltarén, L. F., Varón de Agudelo, F., & Marmolejo, F. (1998b). Nematomofauna asociada al cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Fitopatología Colombiana*, *22*(2), 68-73.

Tamayo, P. J. (1994). *Integración de métodos de control de las enfermedades de las plantas: guía ilustrada*. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Tamayo, P. J. (2004). Enfermedades poscosecha del aguacate y la curuba. *Ascolfi Informa*, *30*(5), 29-35.

Tamayo, P. J. (2007). Enfermedades del aguacate. *Politécnica*, *4*, 51-70.

Vitale, A., Aiello, D., Guarnaccia, V., Perrone, G., Stea, G., & Polizzi, G. (2012). First report of root rot caused by *Ilyonectria (=Neonectria) macrodidyma* on avocado (*Persea americana*) in Italy. *Journal of Phytopathology*, *160*, 156-159.

Zentmyer, G. A. (1949). *Verticillium* wilt of avocado. *Phytopathology*, *39*, 677-682.

Zentmyer, G. A. (1980). *Phytophthora cinnamomi* and the diseases it causes (Monograph No. 10). St. Paul, EE. UU.: The American Phytopathological Society.

Zentmyer, G. A., & Jefferson, L. (1973). Another species of *Phytophthora* on avocado in California. *California Avocado Society Yearbook*, *56*, 125-129.

Zentmyer, G. A., Klure, L. J., & Neal, E. (1976). Trunk canker of avocado caused by *Phytophhtora heveae*. *California Avocado Society Yearbook*, *60*, 169-170.

Zilberstein, M., Noy, M., Levy, E., Elkind, G., Zeidan, M., Teverovski, E., & Ben Ze'ev, I. (2007). *Wilting disease of young avocado trees caused by Neonectria radicicola in Israel*. Documento presentado en Sixth World Avocado Congress, Viña Del Mar, Chile. Recuperado de https://goo.gl/LP8T7X.

Capítulo VIII

Cosecha, manejo de poscosecha y agroindustria*

Angélica Sandoval Aldana
Freddy Forero Longas
Jairo García Lozano
Mauricio Londoño Bonilla

Introducción

La conservación de frutas y hortalizas —productos perecederos y de alto consumo— constituye una prioridad para el país debido a las altas pérdidas que se registran en las etapas de cosecha y poscosecha como consecuencia de la desarticulación entre eslabones, el sector productivo y todas las etapas de comercialización hasta llegar al consumidor final.

* Este capítulo cita ampliamente la obra de Sandoval, Forero y García (2010), cuya información, además de ser vigente, resulta pertinente y precisa para los objetivos de este capítulo.

Se presentan deficiencias de orden tecnológico tanto en la etapa de producción (para obtener un producto de buena calidad) como en la etapa de poscosecha (en la que están incluidas todas las actividades que se realizan entre la cosecha y el consumo). En esta última son comunes las carencias o fallas en los procesos de recolección, selección, clasificación, empaque y embalaje, situación que conlleva a problemas de comercialización dada la mala calidad del producto ofrecido; con la consecuente disminución del estímulo en la producción.

> Colombia es un país hortofrutícola por excelencia, pero uno de sus principales problemas es la falta de una producción que garantice la continuidad, el volumen y la calidad de la materia prima, especialmente de frutas y verduras. Sin embargo, algunas frutas como el aguacate presentan una alta trayectoria productiva y grandes áreas cultivadas en el país, por lo cual es necesario generar posibilidades de transformación tanto a pequeña como a mediana escala. (Sandoval, Forero & García, 2010, p. 7)

> La implementación de prácticas de poscosecha efectivas y con tecnologías adecuadas, acompañadas del desarrollo de productos agroindustriales a partir de los frutos de aguacate, pueden contribuir a que los productores se asocien como empresas y de esta forma logren una mayor capacidad de negociación para que puedan adquirir los insumos requeridos a menor costo. (Sandoval et al., 2010, p. 8)

Generalidades

El cultivo de aguacate ha tenido una dinámica muy fuerte en el país, impulsada principalmente por el cambio de concepto respecto a esta fruta y por su alta aceptación en los mercados internos y externos debido a su excelente composición nutricional. Además, sus productos procesados son de alta demanda, por lo cual se incluyó en la apuesta exportadora y en el Plan Frutícola Nacional (PFN) (Asohofrucol & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2006).

> El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta muy apreciada en el mercado mundial por su consistencia suave, similar a la de la mantequilla, por su exquisito sabor, su alto valor nutritivo y por sus amplias posibilidades de uso, no solo en la culinaria, sino en procesos industriales. Se estima que contiene un fuerte componente vitamínico (A, C y E), además de extraordinarias propiedades para eliminar el colesterol, ya que contiene lipoproteínas de baja densidad. A su vez, su consumo evita el riesgo de desarrollar arteriosclerosis y es beneficioso para controlar el asma y la artritis reumatoide. (Sandoval, Forero, & García, 2010, pp. 10-11)

El aguacate presenta una variada posibilidad de usos en productos industrializados: pulpas, base de productos para untar (tanto en fresco como refrigerado o congelado), mitades o cubos congelados, aceite para culinaria e industria cosmética. Dentro de las alternativas mencionadas, la pulpa de aguacate congelada ha presentado el mayor volumen de producción como base del tradicional guacamole (Olaeta, 2003).

> Globalmente, el aguacate y el mango son las dos frutas tropicales que han experimentado el mayor aumento de popularidad. Entre 1990 y 2017, la demanda mundial de importación de aguacate se incrementó a una tasa de crecimiento promedio anual del 14 %, superando considerablemente la oferta y, por tanto, aumentando los precios de exportación […]. (Altendorf, 2017, pp. 3-5)
>
> Gracias a la creciente demanda internacional, para el 2018 la producción mundial de aguacate alcanzó 6,3 millones de toneladas, lo que representó un incremento del 6,7 % con respecto al 2017. De entre las principales frutas tropicales, el aguacate ha experimentado el crecimiento más rápido de la producción en la última década, con una tasa de incremento de promedio anual de un 6 %, debido principalmente al aumento de la superficie cosechada de los principales productores. […] Casi la mitad de toda la producción proviene de América Central y el Caribe, debido principalmente a la fuerte participación de México y la República Dominicana. (Altendorf, 2019, p. 8)
>
> […].
>
> Las exportaciones mundiales de aguacate alcanzaron, por primera vez en 2018, 2,2 millones de toneladas, un aumento del 15,9 % con respecto a 2017. Según las estadísticas, México representó el 54 % de las exportaciones mundiales de aguacate en 2018, con envíos destinados principalmente a los Estados Unidos. (Altendorf, 2019, p. 10)

Cosecha

La cosecha es la fase de la explotación comercial del cultivo del aguacate, en la cual el productor planea, organiza, ejecuta y supervisa todas las labores que permiten recolectar y colocar la fruta en el mercado. El producto cosechado debe satisfacer los requerimientos del cliente en términos de calidad, precio y condiciones de entrega.

La recolección del aguacate se hace en forma manual, preferiblemente con tijeras, recolectando una a una la fruta y conservando una pequeña porción del pedúnculo adherido al fruto para no acelerar el proceso de maduración, evitar la entrada de

patógenos y garantizar la buena presentación final del producto (Parra & Serrano, 2017). Durante la cosecha es importante vigilar la forma como se realiza el corte, ya que, si queda mal hecho, se afecta la calidad de la fruta. Para evitar daños por roce o talladura del fruto, el pedúnculo debe tener entre 3 y 4 mm, para lo cual se realiza un corte plano y limpio con una tijera bien afilada (figura 8.1).

> Los implementos de cosecha deben estar limpios y desinfectados para evitar la contaminación de la fruta. La desinfección de las herramientas de cosecha puede hacerse con alcohol (70 %) o con cloro (5 ml/l de agua) y, después de ello, lavarlas muy bien con agua limpia, porque el cloro tiende a oxidar los implementos. Todas las herramientas u otros utensilios que se pongan en contacto con la planta y el suelo pueden transmitir agentes patógenos, por lo que se deben sumergir en la solución desinfectante por unos pocos minutos como medida de prevención. Las herramientas se pueden almacenar cubiertas con una capa protectora de aceite o lavadas y secas para prevenir la corrosión. (Sandoval et al., 2010, p. 25)

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.1. Corte a ras del pedúnculo del fruto. a. Corte del pedúnculo para evitar daño de otras frutas; b. Corte plano del pedúnculo de 3 a 4 mm.

La operación de cosecha se debe realizar con el máximo cuidado, evitando golpes y rajaduras en el fruto que afecten su duración en almacenamiento, su vida de anaquel y su aspecto externo. Las heridas permiten la penetración de patógenos y, en consecuencia, la pudrición de numerosos frutos en el proceso de maduración. Los frutos se deben recolectar en las primeras horas de la mañana, momento en el cual el estrés causado por las altas temperaturas es menor, se disminuye el calor de campo y las pérdidas por deshidratación.

Los frutos cosechados no deben estar húmedos por el rocío o la lluvia (figura 8.2), ya que la humedad excesiva acelera el desarrollo de diferentes agentes patógenos que causan pudriciones posteriores (figura 8.3). Las horas para la cosecha se deben programar teniendo en cuenta las condiciones climáticas, la disponibilidad de mano de obra, la facilidad de transporte y, ante todo, la demanda y las condiciones del mercado.

Figura 8.2. Frutos húmedos no aptos para su cosecha.

Figura 8.3. Pudriciones poscosecha por condiciones de alta humedad en la fruta.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

La fruta se coloca en bolsas de tela que luego son vaciadas en cajas plásticas o bien se colocan directamente sobre una superficie limpia (en la figura 8.4 se aprecian algunos elementos utilizados para esta labor). La fruta que se encuentra en las partes altas del árbol y que no se alcanza manualmente se cosecha utilizando una vara de unos 4 m de largo, de bambú u otro material liviano, en la cual se coloca, en un extremo, un anillo de hierro de 20 cm de diámetro provisto en su parte superior de cuchillas de forma curva, de 5 cm de largo y bien afiladas (la figura 8.5 muestra dos tipos de varas utilizadas para la cosecha). En la parte inferior del anillo se coloca una bolsa de lona fuerte, de 25 cm de largo, para recibir los frutos (Sandoval et al., 2010). El operario introduce el fruto en el anillo, realiza movimientos suaves hacia arriba y hacia abajo, de tal manera que los filos cortantes rompan el pedúnculo del fruto, el cual queda atrapado en la bolsa de lona (en la figura 8.6 se pueden apreciar dos detalles de esta herramienta).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.4. Implementos utilizados para la recolección manual de la fruta. a. Bolsa de tela para cosecha; b. Fondo amplio de la bolsa; c. Canastilla limpia para depositar la fruta cosechada.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.5. Tipos de varas utilizadas para la cosecha de frutos altos. a. Varas de aluminio para la cosecha; b. Vara de guadua provista de cuchilla para la cosecha.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.6. Dos tipos de anillos con bolsa para depositar el fruto cosechado. a. Anillo de aluminio con bolsa de lona; b. Anillo y bolsa eleborados con materiales rústicos.

Cuando los árboles son muy altos puede ser necesario el uso de escaleras para facilitar las labores de cosecha [figura 8.7]. Una práctica que debe evitarse es lanzar el aguacate cosechado desde las partes altas del árbol por el riesgo de daños físicos, especialmente si se llega a golpear contra el suelo. Algunos productores utilizan tubos de tela (sacos abiertos por ambos lados) para amortiguar la caída de la fruta desde lo alto de la escalera, una práctica que facilita la labor, pero se debe vigilar el efecto sobre la calidad y la incidencia de daños físicos sobre la fruta. (Sandoval et al., 2010, p. 22)

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.7. Uso de escalera para la colecta de frutos.

> Los mejores cortes se logran utilizando tijeras bien afiladas para garantizar un menor daño físico; sin embargo, se debe tener cuidado de no rozar con la cuchilla la cáscara del aguacate para evitar hendiduras que podrían ser un factor de rechazo y disminuir la vida comercial al producto. [...] El aguacate cosechado se debe colocar dentro de cajas plásticas limpias, llenas hasta ¾ de su capacidad, para prevenir daños por compresión al estibar las cajas durante el transporte. (Sandoval et al., 2010, p. 23)

Acopio de la fruta en el campo

Antes de acondicionar y preparar el producto para el mercado, este se debe almacenar protegido en determinados sitios dentro de la finca, en especial, al resguardo de la radiación solar (causante de deshidratación, pérdida de peso y la consecuente disminución de calidad de la fruta), así como de la lluvia o la humedad excesiva.

Los centros de acopio (figura 8.8) son especialmente importantes cuando se trata de cultivos extensos o con topografía difícil y escarpada. Las interrupciones en la operación de cosecha por causa de la lluvia u otras razones técnicas o humanas pueden ocurrir, por lo tanto, el acopio en los lotes de producción se debe planificar teniendo en cuenta la ubicación, las vías de acceso y la provisión de infraestructura básica para

esta labor: polisombras de protección solar, estibas para almacenamiento y mesas de selección, entre otras. En el caso de los lotes pequeños, los centros de acopio pueden ser móviles, fabricados con materiales livianos, baratos y fáciles de adquirir en la región.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.8. Tipo de centro de acopio en finca para adecuación de la fruta. a. Centro móvil para acopio de fruta en campo; b. Centro de acopio fijo construido en material y con señalización acorde con las BPA.

> El uso de sacos (costales) para transportar la fruta desde el campo al sitio de empaque no se recomienda [figura 8.9] porque el aguacate sufre golpes, magulladuras, rozaduras y daños por compresión debido a que la carga de otros sacos estibados llega directamente a los frutos; adicionalmente, favorece la fricción entre los frutos y el incremento de la temperatura del producto. Aun para los pequeños productores, la recomendación es que se utilicen cajas plásticas limpias para el producto cosechado. (Sandoval et al., 2010, p. 24)

Fotos: Jairo García Lozano

Figura 8.9. Prácticas inadecuadas de empaque durante la poscosecha. a. Frutos expuestos en empaques de fique; b. Posibles daños en frutos por compresión; c. Condiciones inapropiadas para empaque de la fruta.

Otra práctica que debe evitarse es el transporte a granel de la fruta cosechada [figura 8.10] en el cajón de un vehículo de carga, práctica que realizan algunos productores por la facilidad en el manejo de la fruta y porque brinda la posibilidad de llevar mayor cantidad; sin embargo, bajo estas condiciones la fruta sufre mayores daños por compresión, roces y golpes, debido al mal estado de las carreteras y a movimientos repentinos del vehículo por curvas y pendientes. (Sandoval et al., 2010, p. 24)

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.10. Transporte inadecuado de la fruta. a. Transporte a granel que deteriora la fruta; b. Daños en la fruta causados por mal transporte.

Estos daños pueden resultar poco visibles por la firmeza del aguacate en el momento de la cosecha, pero el deterioro del producto se acelera y los daños se manifiestan cuando el producto alcanza la madurez de consumo, con oscurecimiento de la pulpa, maduración y ablandamiento no homogéneo, mayor susceptibilidad al deterioro y, por lo tanto, menor vida útil del producto.

[...].

Se requiere de una selección previa de la fruta en el campo (figura 8.11) que se efectúa separando aquella que no cumpla con los requerimientos establecidos, con lo que se logra bajar los costos de transporte y aumentar la eficiencia de la planta empacadora, pues solamente ingresará el producto con los atributos de calidad requeridos. Esta operación puede hacerse mientras se empaca la fruta (al sacarla de las bolsas de cosecha), evitando colocarla directamente en el suelo. (Sandoval et al., 2010, p. 25)

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.11. Selección de la fruta en campo. a. Selección y limpieza de frutos; b. Frutos seleccionados, aptos para el mercado.

La selección previa también permite al productor decidir y tomar acciones sobre el uso que se le dará al producto que no califica (otros mercados, descarte, alimento para animales u otros), con lo cual se evita que el producto rechazado se deje en la plantación. Generalmente los productores llevan a cabo la selección en el campo y eliminan la fruta con daños por insectos, con lesiones de roña de severas a muy severas y con deformaciones, muy pequeña o con síntomas de enfermedades.

Índice de madurez

El índice de madurez o de cosecha es el parámetro más importante para determinar el momento oportuno de recolección y para asegurar la vida útil de la fruta durante la poscosecha y su comercialización (figura 8.12). Un índice de maduración o de cosecha debe ser sencillo, rápido y fácil de reproducir; además, debe reflejar la calidad de la fruta al momento de separarla del árbol.

Fotos: Luz Adriana Vásquez Gallo y Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.12. Comercialización del aguacate en almacenes de grandes superficies. a. Frutos de aguacate cv. Hass exhibidos en almacén junto con otros productos; b. Frutos de diferentes variedades en góndolas de supermercado.

Es importante diferenciar los términos *madurez fisiológica* y *madurez comercial*. La madurez fisiológica hace referencia a la etapa de desarrollo de la fruta en la cual se ha producido su máximo crecimiento y su semilla es viable. La madurez comercial o de consumo se relaciona directamente con las exigencias de un mercado específico y con las características organolépticas típicas de cada producto.

> El aguacate no alcanza su madurez de consumo en el árbol debido a que este produce un inhibidor de la maduración que pasa al fruto por el pedúnculo. La determinación del momento de corte es un factor clave para garantizar que la fruta madure adecuadamente, optimizar la calidad y minimizar las pérdidas. (Sandoval et al., 2010, p. 18)

Existen diferentes métodos para determinar con precisión el grado de madurez de la fruta; algunos de ellos se pueden realizar en la finca y otros requieren equipos de laboratorio específicos.

> Para la cosecha del aguacate se utilizan varios indicadores con el fin de definir el momento de corte, entre ellos: el tamaño y forma de los frutos, el color interno del mesocarpio o pulpa, el desarrollo de la zona de abscisión, los días transcurridos después del amarre de la fruta y otros que se basan en mediciones objetivas, como la firmeza de la pulpa, el contenido de aceite y la tasa de respiración del fruto. (Sandoval et al., 2010, p. 18)
>
> [...].
>
> En Colombia los principales criterios de cosecha son el cambio de color en la cáscara, de verde claro a verde oscuro, y la desaparición del brillo, que ha mostrado bastante imprecisión por ser una medición subjetiva, que depende de la experiencia del cosechador. Estos criterios de corte no siempre se ajustan a los parámetros de selección utilizados en el centro de acopio, lo cual se traduce en altos porcentajes de rechazo, principalmente por fruta inmadura, que luego presenta problemas en el almacenamiento, ya que no alcanza la madurez óptima para consumo, la capa exterior de la semilla se adhiere a la pulpa y el sabor y firmeza de la fruta no se desarrollan adecuadamente. (p. 19)

La mayoría de las variedades comerciales que se cultivan en Colombia pueden permanecer en el árbol durante varios días, semanas e incluso meses después de la madurez fisiológica sin que se produzca su abscisión y posterior caída de la fruta. De hecho, y solo en aquellas variedades que cambian de color durante su proceso de maduración, es difícil definir con precisión la madurez de cosecha de forma visual.

El tipo de maduración que se presenta en el aguacate puede resultar ventajoso, ya que el productor puede programar la recolección de la fruta de acuerdo a las condiciones del mercado; sin embargo, conlleva algunos riesgos, como bajos contenidos de aceite, presencia de fibras en la pulpa y frutos con aspecto arrugado, cuando la cosecha es prematura; en el caso contrario, cuando la cosecha se retrasa, la fruta puede presentar maduración no uniforme y mal sabor; además, mientras más tiempo permanezcan los frutos en el árbol, su madurez comercial se produce más rápido y por lo tanto su vida de anaquel también se reduce. Por tal motivo, las labores de cosecha se deben programar con anticipación, teniendo en cuenta la variedad, las condiciones del cultivo, las exigencias del mercado y las distancias hacia los centros de comercialización y de consumo.

Para determinar con precisión los índices de maduración (y poder, así, realizar la cosecha en el momento oportuno), lo mejor es combinar diferentes criterios y tener presentes los siguientes aspectos: conocer las épocas de maduración de las variedades sembradas según las condiciones agroecológicas de cada sitio; identificar los cambios en las tonalidades de color de los frutos y conocer el tamaño promedio de estos de acuerdo con su variedad; en la mayoría de las variedades, la porción del pedúnculo más próxima al fruto se torna amarillenta, lo cual es un buen indicio de madurez de cosecha. En relación con los cambios de color de la cáscara, cuando el fruto no ha alcanzado la madurez fisiológica, esta presenta un color verde brillante, pero, a medida que la maduración avanza, el color se torna verde opaco; tal es el caso de algunas variedades comerciales como Fuerte, Booth, Reed y Trinidad.

La variedad Hass presenta un cambio evidente de color en la cáscara, del verde a un color rojizo, posteriormente morado oscuro y finalmente negro cuando alcanzan la madurez de consumo (figura 8.13). En la variedad Colinred, el cambio de color es menos drástico y presenta estrías rojizas y moradas sobre el color verde, que no desaparece por completo.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.13. Cambio de color en frutos de Hass que indican la madurez de consumo. a. Cambios de color verde a morado; b. Frutos aptos para consumo.

> El contenido de grasa es un criterio de madurez confiable, pero es difícil de determinar. Sin embargo, existe un alto grado de correlación entre el contenido de grasa y el de materia seca en el aguacate, y este último se determina con un método simple, económico y rápido, con un horno para deshidratar la muestra. (Sandoval et al., 2010, p. 19)

El porcentaje del contenido de aceite aceptado a nivel mundial oscila entre el 8 y el 10 %, mientras que el porcentaje de materia seca debe mantenerse entre el 17 y el 25 %. Los requerimientos para valorar estos índices cambian con la variedad, las condiciones ambientales de producción y son reglamentados de forma individual por cada país. La determinación del estado de madurez y, por ende, del momento adecuado para realizar la cosecha de los frutos de aguacate, en realidad, no es sencilla. Con excepción de algunas variedades, no existen indicios externos visibles para establecer los índices de maduración.

El porcentaje de materia seca (MS) está fuertemente relacionado con el contenido de aceite y la calidad (Brown, 1984; Lee, Young, Schiffman, & Coggins, 1983; Ranney, 1991). El contenido total de aceite y la humedad son recíprocos y generalmente se suman a una constante para cualquier cultivar (Swarts, 1978). Por lo tanto, el porcentaje de MS es utilizado actualmente como un índice de madurez en Australia, Israel, Nueva Zelanda y Estados Unidos, entre otros. En la tabla 8.1 se presentan los índices actuales de maduración según el porcentaje de MS legal utilizado en varios países.

Tabla 8.1. Porcentaje promedio de materia seca (% MS) de la pulpa requerido para asegurar una calidad de maduración aceptable en varios cultivares de aguacate

Índice de maduración (% MS)			
Cultivar	**País**	**Promedio (%)**	**Referencia**
Hass	Australia	21,0	Brown (1984)
	Estados Unidos	21,6	Ranney (1991)
	Estados Unidos	21,8	Lee et al. (1983)
	Sudáfrica	23,0	Milne (1994)
	México	22,0	Sánchez (1993)

(Continúa)

(Continuación tabla 8.1.)

Índice de maduración (% MS)			
Cultivar	**País**	**Promedio (%)**	**Referencia**
Hass	Chile	23,0	Waissbluth & Valenzuela (2007)
	España	23,0	Galán Sauco (1990)
Fuerte	Australia	21,0	Brown (1984)
	Australia	22,5	Dettman, Caperon, Leon, English, & Walsh (1987)
	Estados Unidos	19,9	Ranney (1991)
	Estados Unidos	21,0	Lee et al. (1983)
	Sudáfrica	20,0	Milne (1994)
	España	22,0	Galán Sauco (1990)
Bacon	Estados Unidos	18,5	Ranney (1991)
	Estados Unidos	20,0	Lee et al., (1983)
	España	21,0	Galán Sauco (1990)
Zutano	Estados Unidos	18,8	Ranney (1991)
	Estados Unidos	20,2	Lee et al. (1983)
	España	22,0	Galán Sauco (1990)
Gwen	Estados Unidos	25,9	Ranney (1991)
Ryan	Sudáfrica	20,0	Milne (1994)
Edranol	Sudáfrica	20,8	University of California (2013)
Pinkerton	Sudáfrica	20,0	Kruger & Abercrombie (2000)
Ettinger	España	21,0	Galán Sauco (1990)

Fuente: Elaboración propia a partir de Hofman, Fuchs y Milne (2007)

En la tabla 8.2 se presentan los parámetros mínimos de calidad para algunas variedades de aguacate sembradas en Colombia, donde se evidencia el contenido de materia seca y aceite.

Tabla 8.2. Parámetros mínimos de calidad para ocho variedades de aguacate en Colombia

Variedad	Pulpa (%)	Aceite (%)	Materia seca (%)	Dureza (kgf/cm²)
Hass	55,7	25,5	39,5	2,4
Fuerte	70,6	10	21,1	2,2
Booth 8	69,2	6,4	15,8	3,2
Trinidad	62,9	10,8	23,9	2,4
Lorena	69,2	3,3	15,9	3,7
Trapp	68,4	3,8	14,9	4,8
Choquette	77,2	4,6	14,8	2,7
Santana	68,6	3,9	12	4,1

Fuente: Rojas, Peñuela, Gómez, Aristizábal y Chaparro (2004)

> Desde el punto de vista práctico, la determinación del porcentaje de grasa es difícil de realizar, ya que requiere la extracción y determinación del contenido de grasa, lo cual demora días en laboratorios especializados y tiene un costo elevado por muestra. (Sandoval et al., 2010, p. 20)

Por su parte, la determinación del contenido de materia seca es bastante más simple, económica y su implementación en una planta empacadora de aguacate es relativamente sencilla, como se explica a continuación.

Determinación de materia seca

> Los resultados de contenido de materia seca se obtienen en unas pocas horas, por lo que se pueden utilizar para determinar si un lote de la plantación está listo para cosechar, así como para realizar análisis a los frutos cosechados en caso de duda sobre el grado de madurez. El equipo requerido incluye un horno microondas, una balanza analítica, un desecador y cápsulas o placas (tipo platos de Petri o similares) para colocar las muestras. El método consiste en cortar aproximadamente 100 g de pulpa en rebanadas muy delgadas (cortadas con un pelador de papas) y colocarlas a secar en el horno microondas hasta peso constante, proceso que tarda entre 5 y 15 minutos. (Sandoval et al., 2010)

Protocolo para determinación de materia seca

1. Seleccionar cuidadosamente los aguacates, recogiéndolos de las partes sombreadas del árbol y de árboles en diferentes partes del cultivo. La fruta no debe estar blanda para poder ejecutar la prueba, se debe marcar la muestra para evitar confusiones, no mezclar variedades, transportar cuidadosamente y efectuar el análisis lo más pronto posible.
2. Partir la fruta, inicialmente en mitades y luego cada mitad en 4 partes, usando el pelador de papas o un cuchillo; quitar la piel a la pulpa y retirar todos los rastros de la semilla.
3. Pesar el plato vacío y anotar el peso; este será el peso de tara (P1).
4. Colocar el plato vacío sobre la balanza y adicionar la muestra de aguacate (tajadas) de aproximadamente 100 gramos; no necesariamente debe ser este el peso exacto; apuntar el peso del plato más la muestra, que será el peso húmedo (P2).
5. Colocar el plato o portamuestra con los trozos de aguacate dentro del horno microondas.
6. Dado que los hornos microondas varían, es fundamental comenzar a baja potencia y gradualmente aumentarla para evitar que se queme la muestra. Se sugiere, para iniciar, usar el de 40 % de potencia durante 15 minutos.
7. Retirar la muestra del microondas y pesar.
8. Después de pesar, introducir la muestra de nuevo al horno de microondas durante tres minutos al 40 % de la potencia.
9. Retirar la muestra del microondas y pesar.
10. Repetir este proceso a intervalos de un minuto más hasta que no se observe más pérdida de peso (después de varias repeticiones puede determinar el correcto ajuste de la potencia y el tiempo aproximado con el fin de asegurarse de no quemar la muestra).
11. Después de que no se observen cambios significativos de peso, retirar la muestra del horno y pesar; este será el peso seco (P3). (Sandoval et al., 2010, p. 21-22)

Cálculos

$$\frac{\text{Peso seco } (P_3) - \text{Peso tara } (P_1)}{\text{Peso húmedo } (P_2) - \text{Peso tara } (P_1)} \times 100 = \text{contenido de materia seca } (\%)$$

El uso combinado de dos indicadores para determinar el momento de cosecha del aguacate, como la opacidad de la cáscara y el contenido de materia seca, resulta conveniente y de aplicación muy práctica, ya que el primer indicador facilita la cosecha en el campo y, por otra parte, con el segundo se comprueba la madurez fisiológica del fruto. Los resultados sirven para mantener una buena comunicación con el productor y hacer los ajustes que se requieran en los casos en que el contenido de materia seca sea más bajo del requerido (fruta inmadura). (Sandoval et al., 2010, p. 22)

Manejo de poscosecha

La poscosecha se define como la etapa del proceso productivo que incluye todas las actividades que deben ser implementadas para ofrecer una fruta de excelente calidad, desde el momento de la recolección hasta que llega al consumidor final.

Antes de abordar el tema, así como el análisis de los factores que en ello convergen, es necesario mencionar que cualquier actividad que se realice en el huerto antes y durante el desarrollo del fruto influirá de alguna manera en este periodo. Sin embargo, la etapa que generalmente se considera de importancia y que tiene serias repercusiones en la producción empieza desde que se cosecha el fruto de aguacate, ya que a partir de ese momento y hasta su presentación al consumidor en el mercado transcurre un tiempo considerable durante el cual el fruto puede sufrir diferentes tipos de daños mecánicos y fisiológicos, que lo hacen susceptible al ataque de diferentes agentes fitopatológicos. Dentro de los daños que se pueden presentar por agentes patológicos, se encuentran *Colletotrichum gloeosporioides*, *Sphaceloma perseae*, *Alternaria* sp., *Fusarium* spp., *Diplodia* spp., *Pestalotiopsis* sp. y *Phomopsis* sp., entre otros, que inciden en la disminución de la calidad y, por consiguiente, en el precio del producto, causando pérdidas que van desde un 10 hasta un 100 % de la fruta que se envía al mercado.

El manejo del aguacate durante y después de la cosecha debe ser cuidadoso para garantizar al consumidor la calidad e inocuidad de la fruta que requiere; los operarios que laboran en el campo y en la planta empacadora deben conocer bien el producto, sus atributos de calidad y sus principales defectos, así como la tolerancia frente a estos para que no sean considerados como factores de rechazo.

Los procesos de cosecha y acondicionamiento del aguacate deben tomar en cuenta los requerimientos de los clientes y consumidores finales en el mercado meta, así como el tiempo desde el corte del fruto hasta la exhibición en los puntos de venta y los cambios esperados durante el transporte, tales como transformaciones en la textura y el color, propios de la maduración, y cualquier síntoma de deterioro debido a patógenos, insectos o daños físicos en la fruta.

Es básico recordar que el aguacate es un fruto climatérico, es decir que después de cosechado continúa los procesos de maduración (incremento de azúcares, reducción de acidez y cambio de color, entre otros); además, es muy susceptible al daño por frío, lo que significa que durante el almacenamiento puede sufrir deterioro en sus características organolépticas. (Sandoval et al., 2010, pp. 16-17)

Aspectos fisiológicos durante la poscosecha

Producción de etileno

El etileno (C_2H_4) es un gas sintetizado por las plantas en forma constante para cumplir funciones específicas de maduración; su concentración como etileno endógeno es muy baja y aumenta ligeramente antes de iniciar dicho proceso. En los frutos climatéricos, como el aguacate, la producción de etileno se considera alta y su concentración se mantiene así durante todo el proceso de maduración.

El etileno, incluso en concentraciones muy bajas, afecta la tasa respiratoria de los frutos y el proceso interno de maduración. Para alcanzar los objetivos de acelerar o detener la maduración, se deben implementar tratamientos que involucren no solo la presencia de etileno exógeno, sino también el control de otros factores como la temperatura, la humedad relativa, la concentración de gases y el tiempo de almacenamiento. El tratamiento de frutos de aguacate con 100 ppm de etileno a 20 °C y almacenados por 48 horas conduce a obtener su madurez de consumo en tres a seis días, dependiendo de la variedad y del estado de madurez fisiológica en que sean recolectados (Yahia, 2002).

La producción de etileno comienza después de la cosecha y aumenta considerablemente con la maduración a valores superiores de 100µl de C_2H_4/kg/h a 20 °C de temperatura (Cerdas, 2006).

Respiración

La respiración es un proceso metabólico que toma como materia prima compuestos como los azúcares, el almidón y los ácidos grasos y los somete a una degradación oxidativa que da como resultado moléculas más simples, como el dióxido de carbono (CO_2), el agua (H_2O) y otras, liberando durante todo este proceso energía en forma de ATP y kilocalorías. La tasa respiratoria de los frutos cosechados de aguacate depende de las condiciones de almacenamiento, especialmente de la temperatura. En general, la fruta refrigerada disminuye su ritmo respiratorio, aumentando así su vida de almacenamiento.

Transpiración

La transpiración es un fenómeno físico de pérdida de vapor de agua a través de la cutícula, estomas o lenticelas del área expuesta a las condiciones ambientales. La pérdida de agua se evidencia con la disminución de turgencia, lo cual afecta la calidad de la fruta, con la consecuente pérdida de su valor comercial.

Los frutos de aguacate pierden agua a través los poros de su corteza exterior como consecuencia de condiciones inadecuadas de almacenamiento, empaque y transporte principalmente. Estos factores aumentan los niveles de transpiración y respiración, los cuales, a su vez, contribuyen a los cambios de peso del fruto, y además traen como consecuencia la disminución del aroma, cambios en el color y, en general, mala apariencia y deterioro de la fruta. La pérdida de peso de la fruta almacenada es proporcional al aumento de temperatura; se considera que las temperaturas de almacenamiento natural más adecuadas son de 17 °C hasta por 11 días y de 5 °C para almacenamiento refrigerado por un periodo de hasta 20 días.

Adecuación

En el centro de acopio o planta empacadora, el producto se acondiciona para el mercado fresco; las operaciones que allí se realizan contribuyen a mantener la calidad del producto, extender su vida útil y garantizar al consumidor productos inocuos. Es importante capacitar al personal de la planta y a los agricultores sobre los cambios en el aguacate durante la maduración, las enfermedades más comunes, los daños mecánicos y cómo se manifiestan cuando la fruta alcanza la madurez comestible, los cambios de color, los daños por insectos y otros, así como las medidas preventivas para minimizar su aparición.

La preparación del aguacate para el mercado fresco también debe tomar en cuenta los requerimientos del mercado meta, las características y condiciones en la cadena de distribución y comercialización (tiempos, temperaturas, tipo de vehículos, etc.) a las que el producto estará sometido desde la planta empacadora hasta los puntos de venta y sus exhibidores.

Recepción e inspección

La calidad del aguacate no mejora después de la cosecha, pero puede conservarse mediante el manejo cuidadoso en el campo, durante las operaciones en la planta empacadora y la cadena de comercialización (figura 8.14). Las especificaciones de

calidad exigidas por la planta de empaque o procesado deben ser conocidas por todos los productores y se debe dar seguimiento a las labores de campo y manejo de la fruta por medio de visitas y control de los registros que lleven sobre las prácticas de campo.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.14. Operaciones en planta empacadora. a. Recepción de la fruta; b. Inspección detallada e individual de la fruta.

El recibo de la fruta debe ser ágil para evitar las esperas en el medio de transporte bajo el sol o la lluvia, ya que deterioran la calidad. La operación de recepción tiene algunos trámites, como el registro de la cantidad de producto que se entrega, la procedencia de los productos, la identificación del lote y el documento de recibo para el productor, entre otros; algunos aspectos técnicos se incluyen dentro del término *inspección*, como la vigilancia de la calidad de las frutas que se reciben, la cual debe ajustarse a los criterios de cosecha, la acomodación del producto para evitar la contaminación cruzada y permitir su identificación en todo momento, así como la revisión del medio de transporte y los empaques.

Selección

Después de la inspección, los frutos recolectados se seleccionan para separar aquellos que no presentan las condiciones apropiadas para su comercialización; deben descartarse aquellos frutos con daño físico o por insectos, cicatrices, malformaciones, frutos inmaduros o sobremaduros, así como los que se observen deshidratados, con ausencia de pedúnculo o con manchas causadas por agentes biológicos, según las especificaciones de calidad que tenga el mercado al que se dirige la fruta. El sitio destinado para la selección debe tener buena ventilación, estar protegido de los rayos solares y alejado de fuentes de contaminación, como agroquímicos, abonos y fertilizantes o animales, entre otros. También deberá ofrecer a los operarios las condiciones

ergonómicas mínimas, tales como luz suficiente y mesas con una altura que permita realizar esta labor con comodidad y eficiencia. Esta etapa complementa la selección realizada en el campo, pero no la sustituye, pues se hace con el fin de asegurar que el producto que ingresa tenga las características de calidad requeridas y para evitar que producto en mal estado contamine el agua de lavado y los equipos en la planta de empaque.

Para seleccionar los frutos aptos para el mercado se emplean operarios entrenados, lo cual resulta ser eficiente, ya que ningún equipo remplaza la agudeza visual y la destreza del hombre. Los frutos destinados a la comercialización deben tener como mínimo las siguientes características: estar sanos, tener el tamaño, el peso y la forma promedio de la variedad, estar exentos de materiales extraños visibles, como tierra, polvo, agroquímicos y cuerpos extraños, presentar el pedúnculo completo y no presentar deformaciones, hundimientos o arrugamientos.

Clasificación

Una vez se efectúa la selección del producto, se procede a su clasificación con el fin de unificar la calidad de acuerdo con una o varias características, como color, tamaño, peso y sanidad.

La clasificación conduce a conformar categorías o clases comerciales del producto (tabla 8.3). Se puede hacer de forma manual o mecánica, pero generalmente se combinan ambos métodos (figura 8.15). La clasificación manual requiere operarios calificados y entrenados para llevar a cabo esta labor. La clasificación mecánica se efectúa a través de bandas y equipos diseñados para tal fin, combinando diferentes criterios de clasificación de acuerdo con la variedad y el mercado objetivo.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.15. Clasificación del aguacate.

Tabla 8.3. Categorías para la clasificación de algunas variedades de aguacate en Colombia

Categoría	Variedad/peso en gramos					Defectos
Calibre	Hass	Fuerte	Reed	Colinred	Choquette	Calidad
Extra	+180	+270	+350	+500	+1.000	No tolera daño mecánico, daño por plaga o enfermedad y golpe de sol.
Primera	+140 -180	+240 -270	+250 -350	+400 -500	+800 -1.000	No tolera daño mecánico y golpe de sol. Tolera hasta 6 cm^2 de daño por plaga o enfermedad, excepto pasador del fruto.
Industrial	+90 -140	+150 -240	+200 -250	+200 -400	+400 -800	No tolera daño mecánico. Tolera: golpe de sol.
Descarte	-90					

Fuente: Elaboración propia

Lavado y desinfección

La función del lavado y la desinfección de la fruta es remover la suciedad y los microorganismos patógenos de la superficie del aguacate. El lavado es superficial y con él se reduce la carga microbiológica que trae la fruta desde el campo. Esta operación es muy importante para preservar la calidad de la fruta (extender la vida útil) y minimizar el riesgo de transmitir enfermedades a los consumidores (figura 8.16).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.16. Lavado y desinfección del aguacate.

Los aguacates crecen distanciados del suelo, por lo cual el riesgo de contaminación microbiológica es menor comparado con otros productos que crecen cerca de la tierra (fresas, por ejemplo); sin embargo, las plantaciones están expuestas al ambiente y hay otros vectores de contaminación, como los operarios de campo, los materiales de empaque, los medios de transporte y otros.

Para esta operación se utiliza principalmente agua clorada (100 a 150 ppm). Se usa hipoclorito de sodio o de calcio en un tratamiento por inmersión que tarda de dos a tres minutos. Las soluciones de cloro tienen la característica de que su efectividad depende de la concentración de este, la temperatura y especialmente el pH de la solución, que debe estar entre 6,0 y 7,0, niveles a los cuales se encuentra la mayor actividad del cloro como agente desinfectante. Algunas recomendaciones para que este tratamiento sea efectivo a lo largo del día son las siguientes:

- Utilizar agua de buena calidad, para lo cual debe controlarse su calidad microbiológica y química (análisis periódicos), tanto para el caso en que se utilice agua de tubería como de pozo u otra fuente.
- Controlar la concentración del cloro y el pH del agua de lavado a lo largo del día.
- Realizar cambios de agua cuantas veces se requiera según la cantidad y la suciedad de producto lavado.
- Utilizar empaques de campo (cajas plásticas) limpias y desinfectadas con frecuencia y evitar colocar el producto directamente sobre el suelo.

Es conveniente que el lavado se haga utilizando cajas limpias, para lo cual se puede hacer un trasvase cuidadoso de la fruta en la planta empacadora al mismo tiempo que se selecciona. Así mismo, es importante tener en cuenta las recomendaciones anteriores para evitar que las pilas de lavado y desinfección se conviertan en un foco de contaminación para la fruta fresca que se lava.

Tratamientos con fungicidas

Las enfermedades más comunes durante la poscosecha del aguacate son la antracnosis y la pudrición del pedúnculo. El control de estas y otras enfermedades inicia en el campo, con las prácticas de cosecha y poscosecha de la fruta; las principales fuentes de contaminación durante este periodo están en los implementos y los recipientes de cosecha, las bodegas, los vehículos de transporte y las aguas contaminadas usadas para el lavado y la desinfección de las frutas. Adicionalmente a las medidas preventivas, la fruta debe someterse a un tratamiento con fungicida para curar infecciones latentes y prevenir el desarrollo de otras.

Durante la poscosecha, los patógenos logran penetrar por dos vías: la primera, por heridas en los frutos que sirven de puerta de entrada; allí las esporas germinan, crecen y colonizan el tejido expuesto. La segunda vía de entrada es por penetración directa del patógeno, que abarca desde la formación de estructuras florales hasta los diferentes estados de desarrollo de la fruta; esto ocurre en el cultivo y bajo condiciones apropiadas de humedad y temperatura; la infección puede permanecer latente y manifestarse en la poscosecha.

El incremento de las pérdidas en la poscosecha es consecuencia de manejos inadecuados y desconocimiento, por parte de productores y comercializadores, de aspectos tan fundamentales como la sintomatología, la morfología, los agentes causales, la epidemiología y el manejo de los problemas patológicos que afectan las frutas.

La implementación de un tratamiento con fungicida por inmersión es muy fácil de realizar con el producto empacado en cajas plásticas con suficientes drenajes, con tiempos de inmersión de un minuto; es importante remover la humedad superficial después del tratamiento, lo cual puede hacerse mediante rodillos con espuma en procesos continuos, con el uso de ventiladores sobre el producto, o bien dejándolo escurrir por un tiempo prudencial.

Empaque

Las principales funciones de los empaques son contener y proteger al producto hasta el mercado meta, además de facilitar el manejo y la comercialización, con un peso y una calidad uniformes. El empaque debe proporcionar suficiente resistencia mecánica

para soportar el apilamiento de las cajas y no trasladar el esfuerzo a la fruta empacada, permitir un enfriamiento rápido y evitar la acumulación de gases indeseables, como el etileno, para impedir que se acelere la maduración.

La calidad final de los frutos de aguacate depende en gran medida del empaque, por lo tanto se deben empacar solo los frutos limpios, secos, seleccionados y clasificados, pues la inclusión de productos dañados puede impedir su venta y convertirse en fuente de contaminación para el producto sano.

El empaque más adecuado para comercializar aguacate a nivel nacional es la canastilla plástica, en la cual se acomodan, desde el momento mismo de la recolección, hasta 15 kg de fruta (figura 8.17); en ella se colocan uno o dos tendidos de fruta para evitar magulladuras por sobrepeso. Las canastillas plásticas resisten manejos bruscos, cambios de temperatura, humedad excesiva y el uso de detergentes y desinfectantes. Aunque su costo inicial puede resultar elevado, se disminuye notablemente porque son reutilizables; además, permiten buena ventilación y son apropiadas en caso de requerir refrigeración.

Los empaques más utilizados en los mercados internacionales de la fruta son cajas de cartón corrugado, con una capacidad de entre 2,0 y 2,5 kg y un solo tendido de fruta, provistas de alvéolos con el objeto de inmovilizar y proteger la fruta en forma individual (figura 8.18).

Una vez empacadas, las cajas se colocan en arrumes o palets de tres tendidos y cinco cajas cada uno, amarradas con zunchos y colocadas en estibas de madera que facilitan su traslado en el sitio de almacenamiento (figura 8.19).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.17. Empaques y transporte adecuados para la fruta en fincas. a. Canastilla plástica comúnmente utilizada para el empaque de aguacate; b. Transporte de la fruta en la finca.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.18. Empaques para mercados internacionales. a. Caja de cartón para el empaque de aguacate en mercados internacionales (detalle del cuerpo e información general del producto); b. Cajas de cartón para el mercado internacional.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.19. Paletizado de la fruta para el transporte. a. Armado de los arrumes; b. Amarre de los arrumes.

La fruta destinada para el mercado de exportación debe cumplir con estándares precisos de calidad en cuanto a variedad, tamaño, peso, grado de maduración, forma y sanidad, principalmente.

Las dimensiones del empaque, generalmente, las impone el comprador, están dadas por aspectos de comercialización que el mercado ha definido con una determinada cantidad de producto por caja, tamaño de fruto, color y otros atributos. El diseño y los materiales pueden o no ser especificados por el comprador; en ocasiones, para los mercados locales la selección del empaque depende en gran medida de los precios y la disponibilidad. Para seleccionar el empaque adecuado se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Requerimientos del mercado: dimensiones y especificaciones especiales (reutilizable, reciclable, etc.).
- Cantidad de producto por empaque según el peso, el número de frutas por empaque, etc.
- Resistencia mecánica: el empaque es el que debe resistir los esfuerzos a lo largo del transporte, el almacenamiento y la comercialización de la fruta, bajo condiciones de enfriamiento y alta humedad relativa (90-95 %).
- La ventilación debe permitir la circulación del aire frío a través de las cajas para refrigerar el aguacate y evitar la acumulación de gases indeseables dentro de los empaques. Por ejemplo, es preferible el uso de ventilaciones alargadas (cerca del 5 % del área del empaque para cajas de cartón corrugado), ubicadas al menos a 5 cm de distancia de las aristas verticales de las cajas para disminuir el efecto en la reducción de la resistencia mecánica.
- Disponibilidad de espacio para el almacenamiento: cuando se utilizan empaques plásticos, uno de los mayores problemas es el espacio que requieren para el almacenamiento, ya que por lo general no se pueden almacenar uno dentro del otro. En ese sentido, los empaques de cartón permiten el almacenamiento de una gran cantidad de cajas en poco espacio, las cuales se van armando conforme se necesiten.
- Costo y disponibilidad en el mercado: el empaque generalmente representa un alto porcentaje del costo del producto empacado (20 a 30 %) para la mayor parte de los productos agrícolas frescos, lo cual obliga a una selección cuidadosa del empaque y sus materiales. Esto ha llevado a los empacadores a comprar empaques plásticos de segunda mano; sin embargo, la reutilización de empaques requiere que estos sean lavados y desinfectados antes de ser usados, y que se almacenen en un lugar limpio y libre de plagas.

Almacenamiento

En general, el almacenamiento de los productos agrícolas se hace con el propósito de conservar los excesos de producción, regular la oferta, normalizar los precios o simplemente porque no se cuenta con los medios de transporte en forma oportuna. La temperatura y la humedad son factores estrechamente relacionados con el tiempo de conservación en las bodegas o los lugares de almacenamiento. Una vez alcanzadas las condiciones de conservación requeridas, estas deben mantenerse constantes, en particular en lo referente a la temperatura, la humedad relativa y la circulación de aire.

Los frutos de aguacate contienen más del 85 % de su peso en agua y es necesario conservarlo aumentando la humedad relativa y disminuyendo la temperatura de almacenamiento, lo cual minimiza la transpiración y la pérdida de agua, mantiene su textura y calidad y retarda la senescencia de la fruta. Sin embargo, la refrigeración es una tecnología costosa, que demanda gran cantidad de energía.

El mantenimiento a bajas temperaturas es la forma más efectiva de preservar la calidad y prolongar la vida de almacenamiento de los frutos. Debido a la alta susceptibilidad de los frutos de aguacate al daño por frío, es necesario extremar los cuidados y adelantar los estudios que permitan definir con precisión las mejores condiciones para almacenar la fruta recolectada. Las temperaturas de almacenamiento refrigerado más adecuadas para la mayoría de las variedades de aguacate sembradas en Colombia oscilan entre los 5 y los 12 °C, con una humedad relativa de entre el 85 y el 90 %.

Siempre que sea posible, se debe considerar el almacenamiento y aprovechar el frío natural de algunas regiones productoras; es importante que estos sitios sean aireados y completamente limpios, protegidos del sol y alejados de fuentes de contaminación.

Otras recomendaciones, de fácil aplicación y con resultados positivos para la conservación de los frutos de aguacate durante su almacenamiento, son: desinfectar los sitios y bodegas, mantener limpias y desinfectadas todas las canastillas, evitar la sobrecarga de los empaques y no hacer arrumes demasiado altos para permitir la circulación de aire al interior del almacén.

El enfriamiento del aguacate puede hacerse en cuartos fríos. El producto empacado se coloca en forma ordenada dentro de los cuartos refrigerados y se deja enfriar hasta su temperatura óptima de almacenamiento. La acomodación del producto es importante para facilitar la circulación del aire a través (por dentro) y alrededor de las cajas durante el enfriamiento en cuarto frío o con aire forzado (figura 8.20).

La capacidad de refrigeración y operación de los cuartos fríos son aspectos muy importantes para asegurar el enfriamiento de la fruta. Los equipos de refrigeración deben diseñarse para que puedan absorber en un tiempo predeterminado la carga térmica (calor) del producto y de los materiales de empaque, la estructura, las personas trabajando, los cambios de aire y otros. Para ello es importante que durante el diseño se conozcan las condiciones ambientales del lugar donde se ubicará el cuarto frío, la cantidad de producto que almacenará, la temperatura con que la fruta viene del campo, el tiempo de enfriamiento del producto y cuánto permanecerá dentro de las cámaras (tabla 8.4).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.20. Almacenamiento en cuartos fríos para aguacate. a. Arrumes almacenados con buena aireación entre sí; b. Detalle de difusores de aire verticales; c. Detalle de difusores de aire horizontales.

Tabla 8.4. Condiciones de almacenamiento bajo atmósfera controlada para diferentes variedades de aguacate

Variedad	O_2 (%)	CO_2 (%)	Temperatura (º C)
Hass	2-10	4-10	7
Booth 8, Fuchs	2	10	7,5
Edranol	2	10	8
Fuerte	2	10	5,5
Lula	2	10	4-7
Anaheim	6	10	7
Waldin, Fuchs	2	10	7
Criollos	2	10	12-14

Fuente: Yahia (2002)

La operación de las cámaras refrigeradas incluye un buen control de la temperatura y la humedad relativa, higiene y sanitación de la estructura, acomodación de la fruta dentro del cuarto frío, manejo de inventarios (los primeros productos que ingresan deben ser los primeros que se despachan), mantenimiento preventivo del equipo de refrigeración y de humedad (regulador de humedad relativa), minimizar el tiempo en que la puerta del cuarto frío permanece abierta y el del personal que trabaja dentro de las cámaras. Se deben llevar registros de las operaciones de limpieza y de los

controles de temperatura y humedad relativa. El aguacate también puede enfriarse con agua (hidroenfriamiento), pero es importante que una vez que el producto se enfríe, se seque y se mantenga en un cuarto frío.

Transporte

Independientemente del tipo de transporte empleado, los criterios y las condiciones mínimas del sistema de transporte utilizado serán los mismos: las labores de cargue y descargue de los vehículos se deben realizar cuidadosamente, la duración del viaje debe ser lo más corta posible y el producto se debe proteger en relación con su susceptibilidad al daño físico. El sobrepeso causa rupturas de la epidermis, magulladuras o laceraciones del fruto, por lo cual se deben evitar sacudidas y movimientos fuertes al interior del vehículo; los vehículos deben estar provistos de carpas, preferiblemente blancas o de un color claro que refleje la radiación solar y no la absorban, transfiriéndola a la fruta. El sobrecalentamiento de la carga ocasiona deshidratación y pérdida de peso de los frutos. Los vehículos deben permanecer en perfectas condiciones mecánicas y contar con toda la documentación actualizada. Los conductores deben tener una capacitación mínima sobre el tipo de producto que transportan y, de esta forma, aceptarán las recomendaciones para protegerlo, relacionadas con velocidad, volumen y peso mínimo de la carga, cantidad de aire de las llantas y mezclas de productos, entre otras consideraciones.

Es recomendable el uso de camiones refrigerados, pues las fluctuaciones de temperatura provocan la condensación de agua sobre la cáscara de la fruta y esto favorece el deterioro patológico del aguacate y le resta vida comercial. Si las distancias son cortas, pueden utilizarse camiones con aislamiento térmico para conservar la temperatura del producto. El manejo de la temperatura durante el transporte debe ser más cuidadoso cuando se transporta aguacate con madurez de consumo porque el producto es más sensible a los daños físicos y el efecto del incremento en la temperatura sobre el deterioro del producto es mayor.

Exhibición en el punto de venta

El punto de venta es el lugar donde el producto se exhibe al consumidor y este decide su compra. Es un lugar donde el producto se expone a la manipulación de los consumidores, que con frecuencia lo toman en sus manos y presionan para determinar si ha alcanzado su madurez de consumo, que se manifiesta como pérdida de firmeza. Para minimizar el efecto de la manipulación por parte de los consumidores,

se puede limitar la cantidad de producto, acomodarlo en capas de forma ordenada y en un lugar de accesible, pero en el que no sea tan fácil tocar todas las frutas, ya que el consumidor tiende a presionar varias frutas para, posteriormente, escoger las que se quiere llevar a casa.

La exhibición entre 5 a 13 °C ayuda a conservar por un mayor tiempo la calidad del aguacate, aunque con frecuencia esta fruta se presenta bajo condiciones ambientales en los puntos de venta. El efecto de la exhibición a mayores temperaturas no es tan crítico en el punto de venta como en las etapas anteriores porque los tiempos de rotación son del orden de uno a dos días, y el incremento en la temperatura favorece la maduración del fruto para su consumo. Sin embargo, si la exhibición en los puntos de venta es más prolongada, se corre el riesgo de tener aguacates sobremaduros o con deterioro patológico que pierden su valor comercial.

El concepto de calidad

Las normas de calidad para productos agrícolas frescos se establecen como apoyo a la comercialización, de manera que el comprador y el vendedor hablen en los mismos términos. En general, el término calidad se puede definir como el conjunto de cualidades de un producto que ofrece al consumidor entera satisfacción por el precio que este está dispuesto a pagar. Las características que en términos de calidad debe reunir una fruta son calidad comercial, calidad sensorial (organoléptica), calidad higiénica y de protección de la salud y calidad nutricional.

Calidad comercial

La calidad comercial comprende básicamente los aspectos de presentación externa, tales como apariencia general en términos de color, tamaño, forma, presencia de daños, raspaduras y variedad, entre otros. Otros aspectos, como la limpieza del producto, están relacionados con la no presencia de materiales extraños (residuos de hojas y tierra, por ejemplo); y la sanidad está relacionada con la ausencia de plagas y enfermedades. También se toma en cuenta la homogeneidad de una unidad de muestreo. Todos son criterios muy importantes cuando se trata de calidad comercial.

Por su parte, al vendedor también le resulta útil basarse en las normas, porque estas le permiten negociar mejor sus productos e incluso lograr precios preferenciales diferenciados por calidad, además de asegurarse de que si se ajusta a tales normas va a evitar rechazos en las entregas o castigos en los precios.

Las normas de calidad para aguacate incluyen, como atributos de calidad, el color propio de la variedad, la frescura, la sanidad, ausencia o tolerancia de defectos como daños mecánicos, manchas, daños por insectos y otros, así como los rangos de peso o calibre.

Las cadenas de supermercados han contribuido al establecimiento de normas de calidad propias y a la vez han apoyado a los productores para que implementen los cambios necesarios en sus fincas, con el fin de minimizar los riesgos de contaminación de las frutas en su etapa de producción y manejo poscosecha. Con ello aseguran una calidad uniforme para los clientes y pueden identificar con relativa facilidad el origen de problemas que se pueden presentar con algunos productos, pues sus programas permiten identificar la procedencia y los tratamientos a los que han sido sometidos durante su etapa de producción y comercialización.

Calidad sensorial

La calidad sensorial es el conjunto de propiedades o características de un producto que actúan como estímulo a los diferentes sentidos, que son afectados antes, durante y después del eventual consumo; en esa medida, determina que un alimento sea o no consumido. Se refiere a las sensaciones que se experimentan al consumir un alimento y se relaciona con las impresiones gustativas, visuales, olfativas y táctiles. La calidad sensorial adquiere cada día mayor importancia en una sociedad en la que, al tener cubiertas sus necesidades nutricionales, el principal problema que plantea es elegir entre una oferta muy amplia de productos, principalmente por la satisfacción que le genera su consumo. En la percepción sensorial actúan los cinco sentidos, en diferente grado, aunque su evaluación se realiza en forma global.

Calidad nutricional

A medida que aumenta el nivel de vida y el conocimiento de la importancia de alimentarse bien, el consumidor ha tomado conciencia de las bondades de incluir las frutas en su dieta diaria. La calidad nutricional de las frutas se refiere tanto al aporte de nutrientes básicos como a su aporte terapéutico. En este sentido, las frutas se adaptan perfectamente a las exigencias del mercado, ya que no solo constituyen un delicioso alimento, sino que contribuyen a conservar la salud y el bienestar de los consumidores; de hecho, se emplea el término nutracéuticos para describir los productos que reúnen tales características.

Calidad higiénica y de protección de la salud

Este concepto representa la sanidad e inocuidad del alimento, factores que repercuten directamente en la salud humana. Se trata de las sustancias que están presentes en los frutos y que pueden ser perjudiciales para la salud, tales como los contaminantes accidentales, los residuos de tratamientos fitosanitarios y las sustancias producidas por hongos y bacterias. La calidad higiénica y sanitaria está regulada en las reglamentaciones particulares de cada producto o grupo de productos, de forma tal que su cumplimiento garantiza la ausencia de problemas y especifica los límites admisibles en las propiedades consideradas esenciales, para evitar aspectos nocivos sobre la salud de los consumidores. Con relación a la importancia del aguacate para la salud humana, este representa un gran aporte, ya que contribuye a la eliminación del colesterol dañino (lipoproteínas de baja densidad), disminuye el riesgo de desarrollar arterosclerosis y reduce el nivel de los triglicéridos.

Los programas de calidad tienden a ser del tipo preventivo y no correctivo, de manera que se busca prevenir problemas, en lugar de esperar que estos ocurran para tomar acciones correctivas. Los programas incluyen los atributos de calidad deseables de los productos y, adicionalmente, aspectos de inocuidad, calidad en los procesos en el campo, la planta empacadora y los puntos de venta.

Los programas de buenas prácticas agrícolas y de manufactura, de selección de proveedores, manejo de plaguicidas, procedimientos de limpieza y desinfección y otros son necesarios para poder llevar al consumidor productos de buena calidad y seguros (inocuos). Todos estos programas incluyen una serie de registros que permiten identificar el origen del producto en todo momento y las prácticas que se le realizaron en el campo y en el centro de acopio, para protección del consumidor, de los productores y empacadores. Los registros de estos programas son un respaldo del buen manejo de sus plantaciones y sus productos.

Factores precosecha que influyen en la calidad de las frutas

Existen diversos factores en la precosecha que tienen influencia sobre la calidad de las frutas en la etapa de poscosecha, y dependen principalmente de factores como el microclima, la variedad, las prácticas de manejo agronómico, los controles fitosanitarios y el manejo de la cosecha que se implemente.

Los factores ambientales comprenden, entre otros, los siguientes: la temperatura, la luminosidad (duración, intensidad y calidad de la luz), la precipitación, el viento, las características del suelo y la humedad relativa, entre otros.

Los factores agronómicos más importantes se refieren a aspectos como: la calidad del material de siembra, el control de malezas, el manejo de aspectos fitosanitarios, los programa de fertilización, la densidad de siembra, el sistema de riego y el drenaje y los sistemas de poda, entre otros. Todos estos factores influyen en una calidad adecuada en la cosecha; sin embargo, es importante determinar la influencia de cada uno de ellos en la calidad del producto, puesto que se relacionan entre sí.

Control de calidad del aguacate

Las normas de calidad para el aguacate generalmente incluyen la presencia o no de las siguientes características: en Colombia, los controles de calidad están reglamentados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, bajo las normas NTC 1248-2, NTC 1248-3 (Icontec, 1996) y NTC 5209 (Icontec, 2003), que establecen las definiciones, las condiciones de cosecha y almacenamiento, los requisitos mínimos de calidad, la madurez, la clasificación, las disposiciones referentes al calibre, las tolerancias y la presentación para las variedades Booth 8, Choquette, Fuerte, Hass, Lorena, Trapp, Trinidad y Santana. Una relación de los parámetros de calidad se muestra en las tablas 8.2 y 8.5 (Sandoval et al., 2010).

Tabla 8.5. Características físicas promedio para ocho variedades de aguacate en Colombia

Variedad	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Relación (L/D)	Forma	Peso (g)	Cáscara (mm)
Hass	88,6	66,4	1,3	Ovoide	197,0	1,45
Fuerte	119,5	76,2	1,6	Piriforme	334,1	0,84
Booth 8	106,8	84,9	1,3	Ovoide	387,4	1,41
Trinidad	99,4	90,1	1,1	Esférico	410,2	0,72
Lorena	128,9	94,5	1,5	Piriforme	457,6	0,85
Trapp	137,4	94,5	1,5	Piriforme	552,2	1,11
Choquette	130,5	99,2	1,3	Ovoide	662,4	1,53
Santana	159,7	97,1	1,6	Piriforme	683,4	1,41

Fuente: Elaboración propia con base en Rojas et al. (2004)

> Desde esta perspectiva, se destaca la importancia de la participación del productor en todo programa de calidad, pues además de los atributos que él considera importantes en la calidad de los productos frescos que tiene debe tomar en cuenta otros que exigen sus compradores y los distintos actores de la cadena de comercialización.
>
> El agricultor debe conocer más sobre el destino de su producto y, a la vez, debe comprender mejor cómo las prácticas que realiza favorecen o perjudican los atributos de calidad y la inocuidad del fruto, los cambios que sufre desde que sale de su finca hasta que llega al consumidor y cuáles son las prácticas y los registros que debe llevar. Esto le permite ingresar y permanecer en mercados más competitivos, que aseguren la compra de su producto; además, manejarlo mejor y constituirse en un proveedor confiable por la calidad de los productos que ofrece también puede disminuir las pérdidas y el rechazo y le permite hacer un mejor uso de los recursos con los que cuenta (mano de obra, agroquímicos, equipos, etc.).
>
> En el caso de los aguacates criollos, se deben escoger de acuerdo a las mejores características fisicoquímicas y de proceso, tales como rendimientos de pulpa y contenido de materia seca y de aceite. Lo anterior se explica en que el rendimiento en planta, el cual es primordial para el desarrollo de un agronegocio, viene determinado principalmente por las características de los materiales, en este caso, por el rendimiento en pulpa y el contenido de materia seca, lo que determina la productividad y la calidad; así mismo, el contenido de aceite define la cremosidad característica de la pulpa de aguacate, de gran aceptación por el consumidor [tabla 8.6]. (Sandoval et al., 2010, pp. 44-45)

En la tabla 8.7 se resumen los parámetros de calidad recomendados para la selección de los mejores materiales de aguacate. El contenido de pulpa refleja que frutas sobresalientes deben poseer un rendimiento mayor al 70 %, lo que garantiza un excelente rendimiento en planta y, por lo tanto, un mayor beneficio económico. Otro de los parámetros es el contenido de materia seca que, en el área de la agroindustria, es fundamental en productos como la pulpa y el guacamole, los cuales dependen en gran medida de la textura final del producto, que es proporcionada de manera directa por este parámetro, con un límite mínimo del 20 %. Muchos aguacates de origen antillano se descartan debido a que presentan muy frecuentemente una textura acuosa.

De forma similar se establece un valor mínimo del 10 % de rendimiento para aceite, el cual, a pesar de ser bastante exigente, pretende lograr una clasificación lo más rigurosa posible de los materiales a procesar.

Tabla 8.6. Características fisicoquímicas de aguacates criollos seleccionados en el departamento del Tolima

	Parámetro					
Municipio	**Peso (g)**	**Rendimiento (% pulpa, semilla, cáscara)**	**Materia seca (%)**	**Aceite (%)**	**pH**	**Acidez**
Alvarado	577	75-14-11	26,30	11,10	6,44	0,09
	400	69-22-9	31,62	8	6,16	0,06
Chaparral	495	67-21-12	25	14,43	6,10	0,06
	633	76-17-7	23	10	6,25	0,05
Fresno	546	60-21-19	21	8,45	6,33	0,08
	518	73-20-7	29,31	8,69	6,44	0,19
Mariquita	577	77-10-13	30,77	6,43	6,15	0,11
	434	68-20-12	23,97	8,5	6,40	0,05
Rovira	335	54-30-26	39	11,72	6,11	0,17
	450	68-20-12	32,81	9,88	6,17	0,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.7. Parámetros para la selección de materiales de aguacate criollo para fines agroindustriales

Rendimiento de pulpa	> 70 %
Contenido de materia seca	> 20 %
Contenido de aceite (b. s.)	> 10 %

Fuente: Elaboración propia

Control de calidad del producto terminado

El producto terminado debe ser analizado teniendo en cuenta que las características microbiológicas de productos procesados están normalizadas, se aceptan ciertos niveles de presencia (unidades formadoras de colonia [UFC]) de algunos microorganismos

(MO) que comúnmente pueden desarrollarse en este tipo de alimento. Las determinaciones más usuales son las de mesófilos, coliformes, esporas de *Clostridium* sulfito-reductor, hongos y levaduras. El nivel de estos MO permitidos en las mitades o pulpas dependerá del tipo de proceso de conservación. Los niveles de recuentos de microorganismos aceptados por la norma colombiana se observan en la tabla 8.8.

Tabla 8.8. Recuento máximo de microorganismos en productos alimenticios

	Buena*	Aceptable
Mesófilos UFC/g	20.000	50.000
Coniformes totales UFC/g	>9	9
Coniformes fecales UFC/g	>3	>3
Esporas *Clostridium*		
Sulfito reductor UFC/g	>10	>10
Hongos/levaduras UFC/g	1.000	3.000

* Índice máximo permisible para identificar el nivel de calidad
Fuente: Icontec, 2007 (NTC 5468)

Agroindustria

Pulpa de aguacate

El método de conservación que ha tenido los mejores resultados corresponde a la pulpa de aguacate congelada, la cual se puede utilizar como base de productos tipo salsa, para rodajas de papas y galletas saladas, entre otras. Algunas pulpas que se comercializan en la actualidad presentan un elevado nivel de aditivos estabilizantes, como gomas, alginatos, polifosfatos y otros que reducen el desarrollo microbiano, como el sorbato y el benzoato de sodio o potasio. En conjunto, estos aditivos pueden alcanzar niveles superiores al 20 %, lo que reduce el porcentaje de aguacate en la mezcla y disminuye la calidad del producto final. Sin embargo, esto va en contra de la preferencia del consumidor por productos naturales o con baja adición de aditivos (figura 8.21).

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

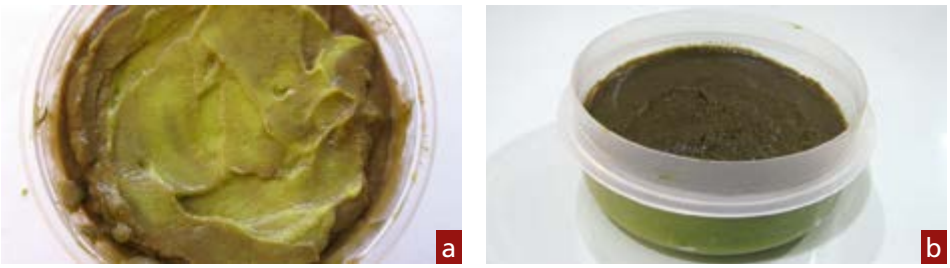
Figura 8.21. Pulpa de aguacate homogenizada. a. Envasado de la pulpa; b. Pulpa empacada en envase hermético; c. Pulpa envasada en buenas condiciones (sin oxidación).

Sin embargo, es posible agregar una mezcla de conservantes, como ácido cítrico, ácido ascórbico y vitamina E (α-tocoferol) que, en combinación con tratamientos de temperatura, han demostrado alta eficiencia en el control de la oxidación de la pulpa y en los cambios organolépticos y fisicoquímicos del producto durante la conservación.

El color de la pulpa se mantiene, en general, inalterable durante todo el almacenamiento de las variedades criollas y mejoradas mientras permanecen congeladas. Este comportamiento se explica porque el almacenamiento a una temperatura de -18 °C reduce notablemente la velocidad de las reacciones químicas y paraliza casi completamente las reacciones metabólicas celulares, lo cual indica que se puede inhibir la acción de la polifenoloxidasa (PPO) y la trasformación de taninos del aguacate, que se visualizan como cambios en la coloración del producto (figura 8.22). La polifenol oxidasa (PPO) es una de las enzimas más estudiadas en la industria de los alimentos, ya que es la responsable de las reacciones de pardeamiento enzimático en frutas y verduras. Una de las razones por las cuales es importante su estudio es porque comercialmente es indeseable, ya que modifica las propiedades sensoriales, nutricionales y, en general, de calidad, lo que perjudica la comercialización de un producto (figura 8.22).

Las pulpas almacenadas a temperatura de -18 °C conservan durante más tiempo sus características iniciales; sin embargo, su calidad comienza a disminuir después de tres meses de almacenamiento. Otro de los inconvenientes es la significativa pérdida de textura que ocurre después de la descongelación debido a la destrucción celular, la cual se manifiesta por una pérdida de consistencia y por la presencia de una fase líquida que varía según la naturaleza de los tejidos congelados. Así, las variedades de

aguacate cuyas paredes celulares sean menos gruesas y estén formadas por pequeñas células resisten mejor la acción combinada de congelar y descongelar que aquellos tejidos formados por paredes largas y finas.



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.22. Oxidación de pulpa de aguacate durante el almacenamiento. a. Pulpa oxidada por mal almacenamiento; b. Detalle de la fermentación de la pulpa.

En el proceso de industrialización del aguacate por congelación, el pardeamiento enzimático causado por la PPO es el principal problema de calidad, ya que el aguacate es un sustrato muy susceptible. La enzima altera la apariencia e induce cambios en el aroma y el sabor. Por esto, la congelación de frutos sensibles a pardeamiento necesita un tratamiento preliminar, el cual puede ser la inactivación de la enzima mediante un tratamiento térmico (escaldado); sin embargo, este método produce en el aguacate la liberación de algunos compuestos aromáticos y sabores desagradables debido a procesos de enranciamiento del aceite presente.

Otra forma de inactivar la enzima es por medio de agentes antioxidantes como el ácido ascórbico y el ácido cítrico, lo cual es posible debido a que el pH de la actividad óptima de la PPO se sitúa entre 6 y 6,5, por lo que con pH cercanos o menores a 3 su actividad se reduce. Para procesos de congelamiento se requiere de envases suficientemente herméticos con el fin de prevenir la transferencia de agua con el entorno.

En la pulpa congelada, el agua está fuertemente retenida en forma de cristales de hielo y por lo tanto no se encuentra disponible para los microorganismos, lo cual, además, limita la acción de las enzimas. La rancidez es un problema común en casi todas las investigaciones acerca de la conservación de pulpa de aguacate debido a la dificultad en la eliminación total del oxígeno dentro del envase.

Para lograr óptimos resultados es necesario considerar que la congelación solo se puede utilizar en la medida en que existan instalaciones adecuadas para el proceso, ya que el producto se debe mantener, sin interrupción, a una temperatura de

almacenamiento de -18 °C hasta el momento del consumo. En la tabla 8.9 se presentan los tiempos de vida útil promedio para pulpa de aguacate adicionada, almacenada bajo atmósfera normal, en porcentaje peso a peso (p/p), con 0,25 % p/p de ácido cítrico, ácido ascórbico (0,02 % p/p) y vitamina E (0,022 % p/p)

Tabla 8.9. Tiempos de conservación de pulpas en atmósfera normal

Variedad	Temperatura (°C)				
	26	15	-1,5	-18	-29
	Tiempo de conservación (días)				
Criollos	4	16	22	132	125
Hass	4	11	21	132	127
Santana	2	11	19	130	125
Fuerte	3	9	17	130	126
Booth 8	2	9	19	130	125

Fuente: Elaboración propia

El uso del vacío y la formulación de aditivos potencia el efecto conservante en todas las variedades, además de presentar un efecto crioprotector a temperaturas de -29 °C. Esto puede verse en la tabla 8.10, en la cual se resume el tiempo de conservación de la pulpa almacenada bajo atmósfera normal y adicionada con la mezcla de antioxidantes: la mayor vida útil se presenta con ácido cítrico (0,25 % p/p), ácido ascórbico (0,04 % p/p) y vitamina E (0,044 % p/p).

Tabla 8.10. Tiempos de conservación de pulpas con empaque al vacío

Variedad	Temperatura (°C)				
	26	15	-1,5	-18	-29
	Tiempo de conservación (días)				
Criollos	16	24	149	208	250
Hass	15	25	139	208	256
Santana	10	24	130	205	246
Fuerte	8	18	127	203	235
Booth 8	8	18	129	203	235

Fuente: Elaboración propia

Guacamole

En el diseño y el desarrollo de productos y procesos agroalimentarios es frecuente acudir a las herramientas estadísticas de diseño para la valoración y la optimización de mezclas de varios componentes e ingredientes que nos permitan generar productos novedosos, con el fin de satisfacer las necesidades de los consumidores. Para la formulación del guacamole, por lo tanto, es posible adicionar especias (productos en polvo, como ají, cebolla, ajo y sal) y utilizar como respuesta la aceptación sensorial general, en función de las proporciones utilizadas.

La evaluación sensorial es el análisis que se realiza a los productos a través de los sentidos, los cuales perciben, integran e interpretan las características organolépticas del producto. Estas pruebas se denominan "de aceptación" y son utilizadas principalmente con el fin de identificar la respuesta que tiene el consumidor (preferencia o aceptación) hacia un producto específico.

Durante el desarrollo de un producto se deben ejecutar diferentes pruebas de aceptación para evaluar el producto en general y, de esta forma, permitir que los posibles consumidores entren en contacto con él. La formulación de la pregunta correspondiente permite identificar el grado de aceptación hacia qué tanto gusta el producto o qué tan aceptable es para el consumidor.

La formulación del guacamole se basa en la pulpa procesada con el mejor tratamiento, que incluye la adición de antioxidantes, conservantes y especias en diferentes proporciones. Para cada análisis sensorial se hace una ficha que incluye la descripción del objetivo de la prueba a realizar y especifica las condiciones de la muestra y su presentación a los consumidores; de la misma forma, se realiza un análisis de los consumidores diferenciados por el rango de edad, sexo y frecuencia de uso del producto para identificar la afinidad con la prueba.

Después del almacenamiento durante tres meses en condiciones de congelación (-18 °C), se realiza un nuevo análisis sensorial con el fin de evaluar el cambio en tres características muy importantes para el consumidor (color, sabor y textura respecto al producto en fresco), ya que durante el periodo de almacenamiento se pueden presentar cambios que afectan el grado de aceptación: el color se vuelve más pálido, los sabores de los ingredientes se acentúan y cambia la textura debido al proceso de congelación-descongelación.

Se realizan pruebas finales de aceptación con la colaboración de agricultores, a los cuales se les presentan tres formulaciones para que ellos seleccionen la de mayor aceptación. El proceso para obtención de pulpa o guacamole se presenta a continuación (figura 8.23) y se detalla cada una de sus etapas.

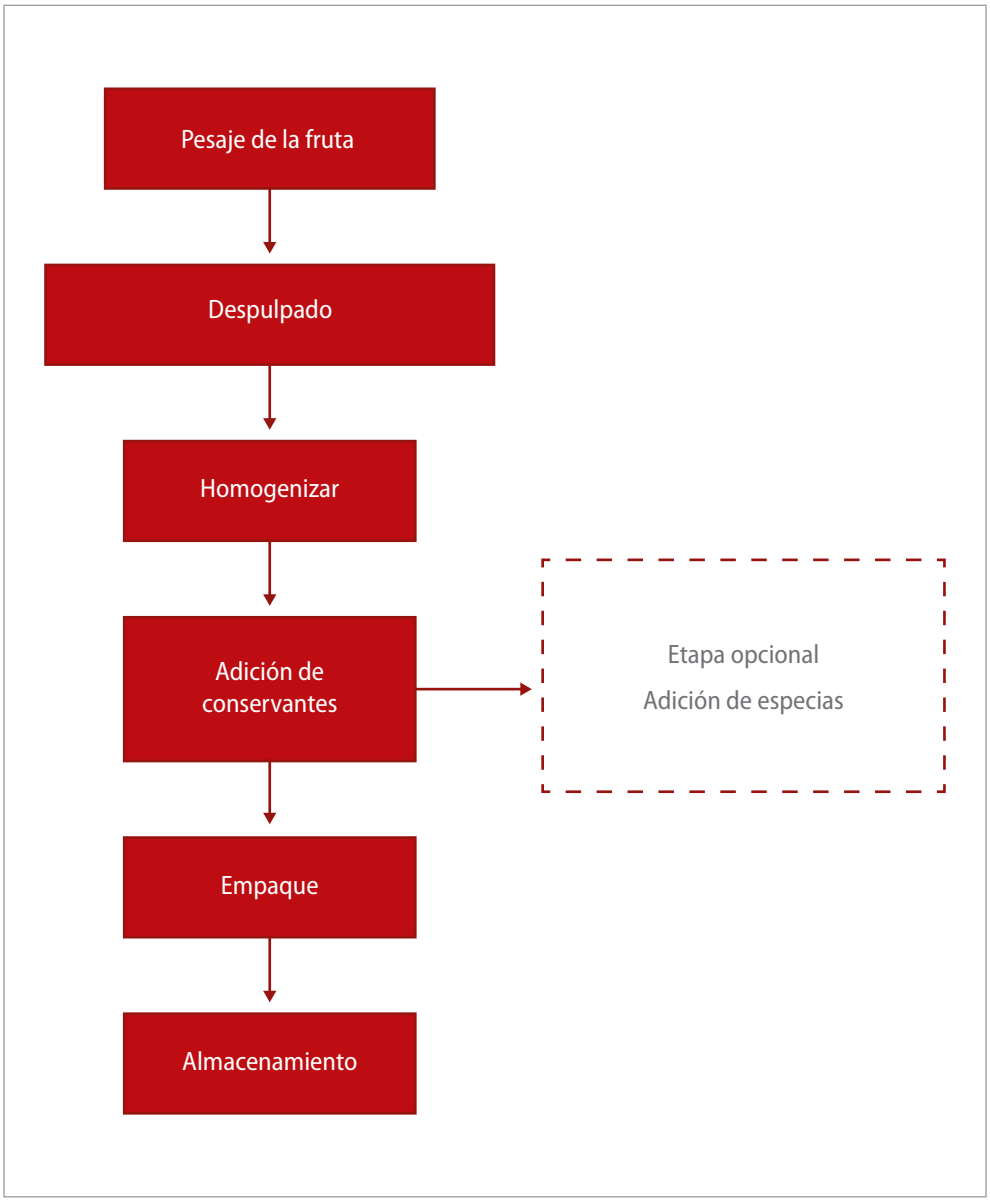


Figura 8.23. Diagrama de flujo para procesamiento de pulpas o guacamole.
Fuente: Elaboración propia

Operaciones de proceso

Corte

Por eficiencia, los operarios se disponen en grupos: unos se encargan de cortar la fruta y otros de separar la pulpa y la semilla (figura 8.24).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.24. Preparación de la fruta para la obtención de guacamole.

Pelado

El pelado es una operación que permite una mejor presentación del producto (figura 8.25).

Fotos: Jairo García Lozano

Figura 8.25. Obtención de la pulpa para procesamiento. a. Cortes en el fruto para facilitar el desprendimiento de la pulpa; b. Cortado de la pulpa para procesamiento.

Homogenizado

La pulpa de aguacate, libre de todo elemento extraño, es colocada en un mezclador tipo batidora con el fin de disminuir el tamaño de los trozos, dando así una mejor apariencia a la pulpa y evitando una rápida separación de los componentes presentes para generar una textura más fina. Esta operación, al igual que el corte y el pelado, debe efectuarse en el menor tiempo posible debido a que la pulpa sometida a homogenización sufre una alta aireación, lo cual puede deteriorarla al aumentar la acción de las enzimas presentes, que causan una oxidación acelerada (figura 8.26).

Fotos: Angélica Sandoval Aldana y Freddy Forero Longas

Figura 8.26. Homogenización de pulpa de aguacate o guacamole. a. Maceración de la pulpa cortada; b. Pulpa macerada y homogenizada.

El tipo de mezclador a utilizar, en lo posible, no debe estar provisto de cuchillas fijas (tipo licuadora) debido a que estas causan una mayor destrucción, lo que reduce el tiempo de vida útil del producto. Se puede trabajar con procesadores móviles que facilitan el mezclado homogéneo, puesto que en esta etapa también se deben adicionar los productos que buscan aumentar la estabilidad y la duración de la pulpa de aguacate. En primera instancia, se debe agregar el ácido cítrico grado alimentario (2,5 g ácido cítrico/kg pulpa), con lo cual se reduce el pH, factor que limitará el crecimiento de microorganismos; posteriormente se adiciona ácido ascórbico (400 mg/kg pulpa) y la vitamina E (440 mg/kg pulpa).

El tiempo de mezclado recomendado es de cinco minutos para el caso de variedades con pulpas altamente viscosas como Hass, Booth 8, Santana y Criollos. Para variedades como Lorena, Papelillo y Choquette, con tres minutos se alcanza la consistencia adecuada; si se usan cuchillas, estos tiempos deben ser reducidos aproximadamente 1,5 minutos. La velocidad de mezclado estará en función del equipo utilizado y se deben realizar pruebas a fin de estimar este parámetro.

Si se desea producir guacamole, en esta etapa es donde se agregan las diferentes especias: una formulación básica incluye la adición de sal (1 % p/p), ajo (1 % p/p) y cebolla (0,5 % p/p); si el producto va a permanecer en condiciones de congelación, se adiciona monoestearato de glicerilo, en una proporción de 0,75 % (p/p). El guacamole se envasa en tarrinas plásticas o en empaques al vacío, lo que prolonga el tiempo de vida útil, preferiblemente en tamaños personales máximo de 200 g.

Envasado

Las pulpas ya obtenidas deben ser aisladas del medio ambiente; esto se logra mediante su empacado con el mínimo de aire en recipientes adecuados y compatibles con las pulpas. Por economía, y para darle vistosidad y funcionalidad a los empaques, se recomienda el uso de bolsas de alto calibre que permitan el sellado al vacío (figura 8.27). La pulpa se debe disponer en la bolsa de tal forma que no se presenten espacios vacíos, los cuales se convierten en puntos de inicio para el deterioro del producto. La bolsa se coloca en una balanza hasta alcanzar el peso deseado. Para darle funcionalidad a este tipo de producto, se recomienda emplear empaques con capacidades de 250, 500 y 1.000 g, con lo cual se cubre la gama de tamaños personales, familiares y empresariales.

Almacenamiento

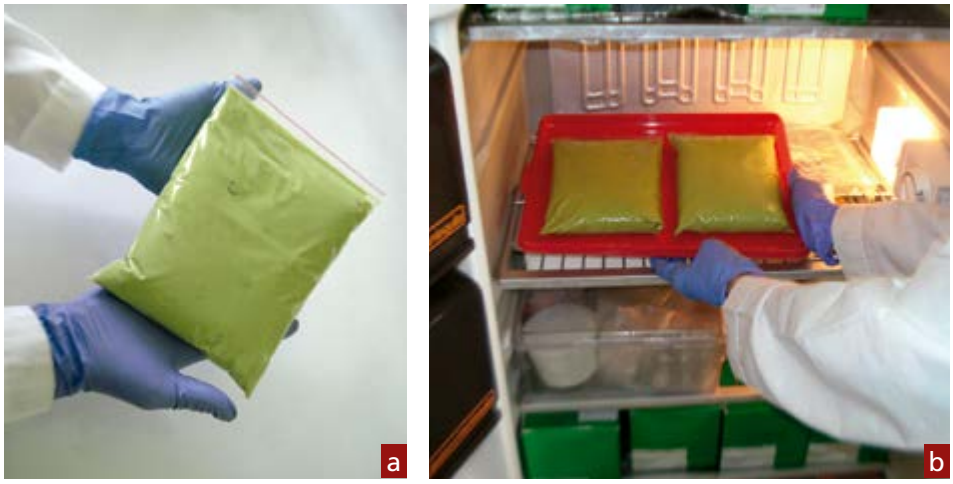
El producto terminado se almacena en un ambiente refrigerado o de congelación (figura 8.28). Para el primer caso, se sugiere una temperatura máxima de entre 2-4 °C, con lo cual se obtiene una vida útil de 15 días. A temperaturas de congelación, entre -10 y -5 °C, la vida útil se garantiza por 4 meses mínimo. Estos tiempos de conservación deben ser tenidos en cuenta para efectuar la venta del producto.

Etiquetado

Cada una de las bolsas debe estar marcada, bien sea con un membrete o con una etiqueta; esta información debe contener, como mínimo, los siguientes datos: fabricante, variedad, fecha de fabricación, fecha de vencimiento, ingredientes y peso.

Fotos: Angélica Sandoval Aldana

Figura 8.27. Empaque de pulpa de aguacate o guacamole. a. Empaque de pulpa en bolsa plástica; b. Sellado hermético de bolsa.

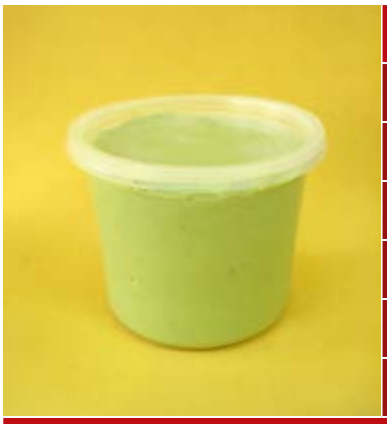


Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.28. Producto terminado y almacenado. a. Revisión de condiciones del empaque; b. Condiciones de almacenamiento de pulpa en frío.

Prototipo de empaque

Para las pulpas se cuenta con dos posibles tipos de empaque: 1) en presentación de atmósfera normal y 2) en empaque al vacío. El prototipo de empaque 1 es un recipiente plástico con tapa (figura 8.29) y el prototipo 2 es la bolsa PET (figura 8.30). Para el guacamole se presenta un empaque al vacío (figura 8.31) en bolsa PET, con capacidad de 250 a 500 g.



Especificaciones	
Forma	Cilíndrica
Material	Tarrina
Capacidad	250-500 g
Atmósfera	Normal
Etiqueta	Impresa
Cierre	Tapa plástica

Información en el envase	
Marca comercial	Contenido
Fabricante	Fecha de vencimiento
Ciudad-Departamento-País	Lote fabricación
Página web	Código barras
Teléfono	Fecha fabricación
Registro Invima	Tabla composición
Ingredientes	Conservación

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.29. Prototipo del Empaque 1 para pulpa.
Fuente: Elaboración propia

Especificaciones	
Forma	Cuadrada
Material	Bolsa PET
Capacidad	250-500 g
Atmósfera	Vacío
Etiqueta	Impresa
Cierre	Termosellado

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.30. Prototipo del Empaque 2 para pulpa.
Fuente: Elaboración propia

Especificaciones	
Forma	Cuadrada
Material	Bolsa PET
Capacidad	250 – 500 g
Atmósfera	Vacío
Etiqueta	Impresa
Cierre	Termosellado

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.31. Prototipo del Empaque 3 para guacamole.
Fuente: Elaboración propia

Equipo requerido para el procesamiento

El inicio del proceso piloto de obtención de pulpa de aguacate, en términos de equipos, requiere una baja inversión, puesto que, por una parte, en el mercado se consiguen ayudantes de cocina que realizan la labor de homogeneizadores (figura 8.32) y, por otra, se requiere de una empacadora de tamaño familiar (realmente no muy grande) cuya envoltura viene en rollos de 30 m; el tamaño del empaque para pulpas, en presentación de 500 g, es de aproximadamente de 20 cm de alto por 15 cm de ancho.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.32. Procesamiento a escala de pulpa aguacate o guacamole.

En el proceso del escalado se requiere una mayor inversión. El pelado se realiza manualmente, pero pueden utilizarse despulpadoras para retirar la semilla. Posteriormente se realiza la homogenización, que es la etapa en la cual se adicionan los conservantes, por lo que se debe garantizar un excelente mezclado sin dañar la consistencia cremosa de la pulpa, que es muy apetecida por los consumidores. Este proceso puede realizarse en una marmita con un agitador especial, para finalmente empacar el producto al vacío.

Tabla 8.11. Equipos para el procesamiento de pulpas de aguacate

Escala piloto (50 kg de fruta o menos)	Escala industrial (500 kg o más de fruta)
Homogenizador (ayudante de cocina)	Despulpadora industrial
Empacadora al vacío tamaño familiar	Homogenizador
	Empacadora a vacío industrial

Fuente: Elaboración propia

Uso de diferentes materiales de aguacate para el procesamiento de pulpas y guacamole

Para obtener una pulpa y un guacamole de buena calidad se requiere el uso de aguacates con un alto contenido de materia seca. Este parámetro permite obtener pulpas con una consistencia cremosa, muy apreciada en la percepción del consumidor. Es importante tener en cuenta que un nivel medio de aceite previene un rápido deterioro de la pasta por autooxidación de los lípidos; el rendimiento en pulpa, partiendo del fruto fresco, no debe ser inferior al 65 %; el contenido de fibra no es tan crítico como en las mitades, pero se prefieren cultivares con un nivel medio; el color de la pulpa es más llamativo cuando se encuentra en la gama del verde.

Aceite de aguacate

Generalidades

El contenido de aceite de una variedad de aguacate en particular puede cambiar considerablemente según la zona agroclimática donde se cultive, debido a que algunas condiciones ambientales facilitan la acumulación de compuestos grasos. Se deben cosechar los frutos en su estado de madurez óptimo para permitir el máximo rendimiento en la extracción, considerando, al mismo tiempo, los posibles riesgos debidos a la presencia de plagas y enfermedades.

Para el proceso de extracción, no se recomienda mezclar frutos sobremaduros con el grueso de la cosecha, ya que estos favorecen la oxidación del aceite final. Para la selección del material vegetal a procesar se debe considerar la composición química, pues el rendimiento está determinado por el contenido de aceite presente. A nivel mundial, y en los resultados obtenidos de las investigaciones de AGROSAVIA, la variedad Hass presenta una mayor superioridad; sin embargo, algunos materiales criollos deben ser estudiados, pues su composición presenta posibles ventajas competitivas.

La pulpa de aguacate, dependiendo de la variedad y la madurez, alcanza niveles de hasta 25 % de aceite, con valores promedio del 15 al 19 %, lo que permite lograr rendimientos de alrededor del 10 % de fruta fresca. La composición del aceite crudo de aguacate contiene alrededor de un 80 a un 85 % de ácidos grasos insaturados, así como un importante nivel de materia insaponificable. Debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, se ha comparado la calidad nutricional del aceite de aguacate y de oliva a nivel cualitativo y cuantitativo, y existen numerosos estudios sobre los beneficios del consumo de ambos aceites. Se reconoce que ayuda a reducir las lipoproteínas de baja densidad (colesterol malo) y el contenido de triglicéridos en la sangre, por lo cual disminuye el riesgo de desarrollar arteriosclerosis.

Se han estudiado una serie de métodos para la extracción del aceite de frutos de aguacate, donde el objetivo primordial siempre ha sido obtener el mayor rendimiento sin dañar su calidad. La extracción por solvente puede dar los mejores resultados, aunque los residuos químicos pueden ser un riesgo para la salud del consumidor; así mismo, las temperaturas aplicadas durante el proceso de recuperación pueden destruir algunos de los nutrientes presentes en el aceite.

Factores que influyen en el contenido de aceite

Cultivar

Existe un gran número de variedades de aguacate disponibles, pero solo aquellos cultivares con el contenido más alto pueden ser considerados para la extracción de aceite. El análisis del contenido de aceite indica que las variedades como Hass presentan un contenido de aceite de entre el 25 y el 30 %. Como el aceite de aguacate se encuentra principalmente en la pulpa o porción comestible, es importante seleccionar los cultivares que presenten un alto porcentaje de pulpa, así como aquellos con semillas pequeñas y con mínimo contenido de cáscara.

Madurez

Durante la maduración, el contenido de aceite de la fruta se incrementa gradualmente y el contenido de agua disminuye. Por lo tanto, se ha encontrado una correlación muy estrecha entre el contenido de aceite y de agua en el aguacate, por lo que existe la práctica común de cosechar los frutos cuando alcanzan como mínimo un 8 % de contenido de aceite; posteriormente a esto, la fruta continúa con su ciclo de maduración.

Métodos utilizados para la extracción de aceite

La extracción de aceite de aguacate se ha realizado desde hace muchas décadas; sin embargo, su uso es predominantemente para la industria cosmética, debido a la alta estabilidad del aceite y a su mayor contenido en vitamina E; para esta industria, la extracción química (con solvente) o de alta temperatura es aceptable.

La extracción con solvente está basada en el uso de éter de petróleo en un equipo Soxhlet de material seco, como se muestra en las figuras 8.33 y 8.34. El uso de solventes para la extracción a escala comercial ha sido cuestionado debido a la contaminación ambiental que causa; adicionalmente, la remoción de residuos químicos del aceite no es del 100 %, lo cual afecta su calidad final. A pesar de las desventajas mencionadas, este método es el mejor para la recuperación total del aceite contenido en la pulpa del aguacate, por eso sus resultados se utilizan como patrón de referencia para la comparación entre procedimientos de extracción.

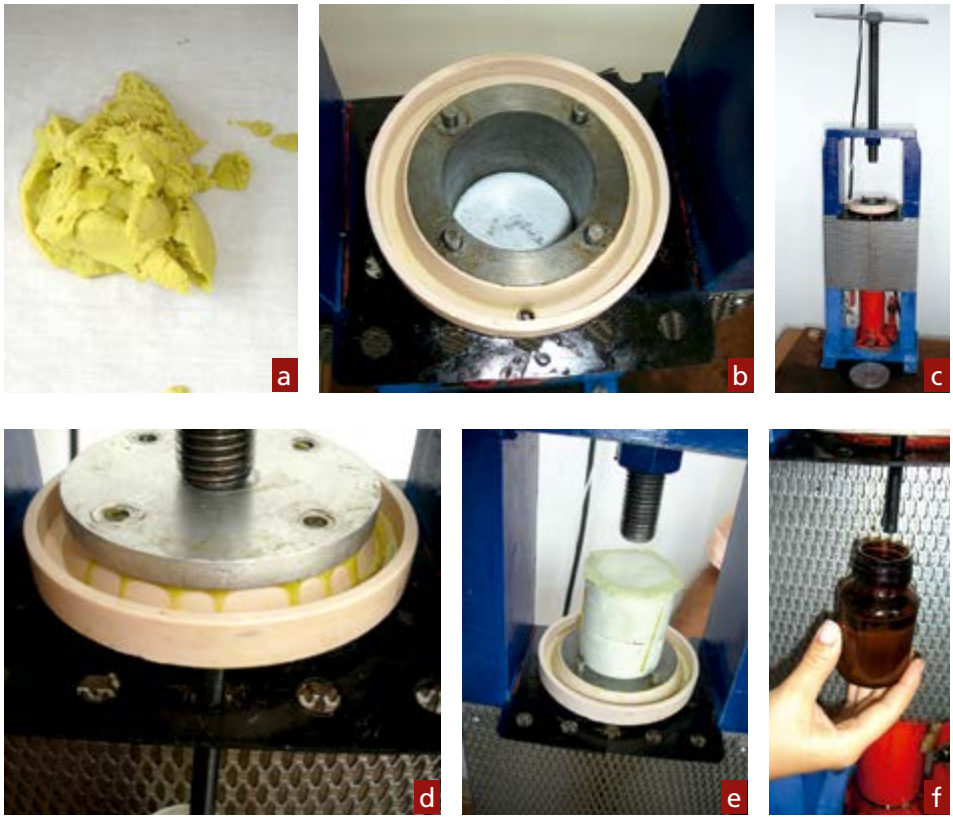
Foto: Catalina Álvarez

Figura 8.33. Extracción con un equipo Soxhlet.

Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada, Catalina Álvarez y Sebastián Ospina.

Figura 8.34. Proceso de extracción con un equipo Soxhlet. a. Pulpa fraccionada; b. Proceso de extracción en el Soxhlet; c. Aceite obtenido del proceso; d. Presentación comercial del aceite.

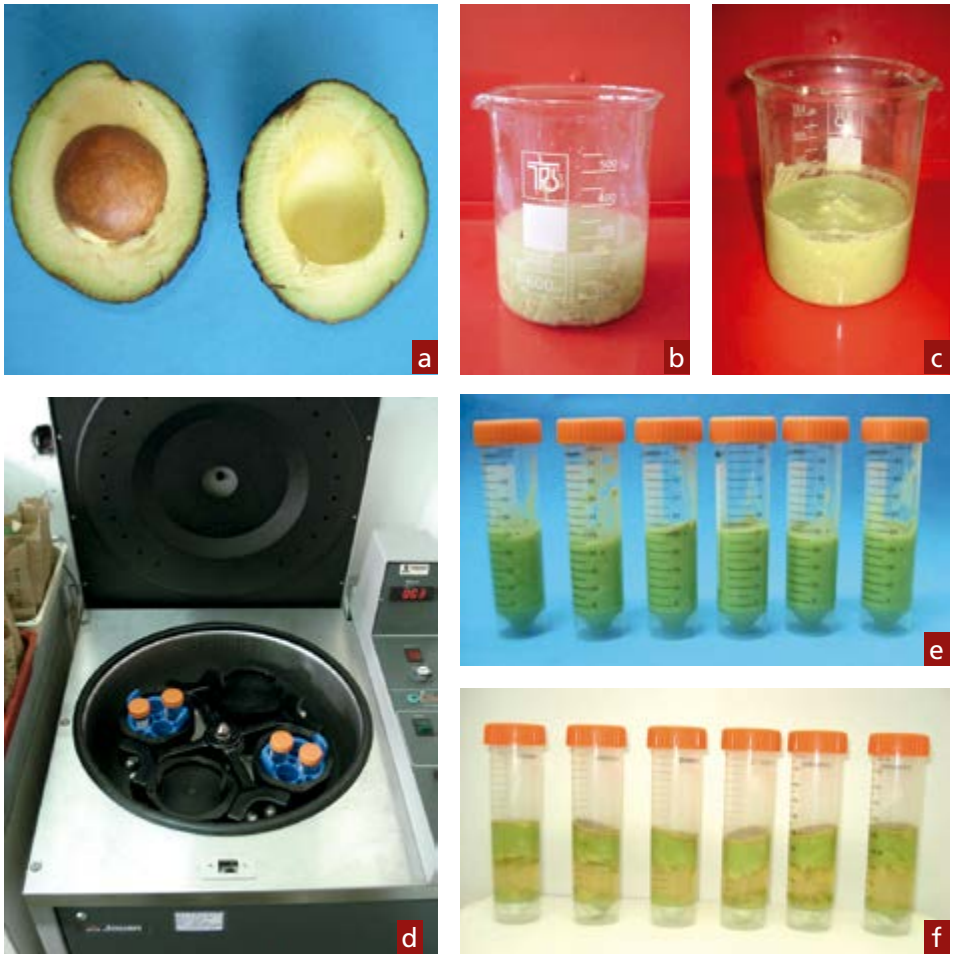
Recientemente se han venido desarrollando industrias de extracción de aceite con fines alimenticios que trabajan con dos técnicas principalmente: el prensado y la centrifugación en frío. Históricamente, la extracción por presión es el procedimiento más antiguo y utilizado para obtener diferentes tipos de aceite, como el de oliva. El equipo requerido consiste en prensas hidráulicas a las cuales ingresa una pasta previamente preparada en capas finas sobre discos de material filtrante denominados capachos. Para la extracción de aceite con esta técnica (figura 8.35) se requiere que la pasta presente un alto contenido de humedad y un alto porcentaje de materias sólidas incompresibles (hueso), condiciones que facilitan el drenaje de las fases líquidas a través de la torta.



Fotos: Angélica Sandoval Aldana, Freddy Forero Longas y Jairo García Lozano

Figura 8.35. Extracción de aceite de aguacate por prensado. a. Pasta de aguacate previamente preparada; b. Cilindro de prensado; c. Ubicación de muestra en el cilindro; d. Prensado de la muestra; e. Residuo de la muestra después del proceso; f. Obtención del aceite.

El proceso de extracción mecánica tipo centrifugación (figura 8.36) tiene como fin separar el aceite del resto de la fruta aprovechando las diferencias en el peso específico de las diversas fases. Por efecto de la decantación posterior a la adición de agua, el aceite se separa en una corriente diferente. La fuerza centrífuga hace que la torta se acumule en la parte interna del cilindro, por lo cual en operaciones por lotes es necesario detener el proceso para retirarla. Una vez finalizado el procedimiento, se guarda el aceite en tanques de acero inoxidable y en un ambiente inerte para asegurar su calidad. En el procesamiento por centrifugación se han realizado diversos estudios variando condiciones de proceso como temperatura, adición de sal y velocidad de centrifugación (revoluciones por minuto).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 8.36. Extracción de aceite de aguacate por centrifugación. a. Fruto de aguacate listo para la extracción; b. Adición de agua a la muestra; c. Homogenización; d. Centrífuga; e. Cilindros utilizados para el centrifugado de la muestra; f. Separación de las fases y obtención del aceite.

Para la extracción de aceite se debe considerar la aplicación de enzimas que permiten un mayor rendimiento de extracción sin alterar las propiedades intrínsecas. Actualmente, en Chile y otros países se ha optimizado el rendimiento de los procesos mecánicos para la extracción de aceite utilizando enzimas con actividades pectolíticas, hemicelulíticas o celulíticas que son aplicadas en la industria alimenticia, principalmente, para la maceración de frutos y la extracción de aceites esenciales y comestibles gracias a su habilidad de romper la estructura de la pared celular y facilitar la liberación de aceite. El papel de las enzimas es muy específico. Comercialmente existen diversas casas matrices que las fabrican, las cuales especifican las condiciones de uso, la importancia del tiempo y la temperatura de incubación, la concentración de la enzima y el pH, entre otras. Los resultados de estudios realizados por AGROSAVIA confirman que la aplicación de enzimas incrementa el rendimiento en la extracción de aceite de aguacate.

Características fisicoquímicas y nutricionales

El aceite de aguacate es uno de los más delicados en cuanto a su vida de anaquel, debido a su composición particular (alto contenido de vitamina E), que lo hace susceptible a degradación por factores como la luz y la temperatura. El color en el aceite se deriva principalmente del contenido de clorofilas, lo cual lo hace atractivo para comidas gourmet y productos cosméticos, ya que les da a estos una apariencia más natural.

Los análisis químicos del aceite de aguacate demuestran que contiene una amplia gama de compuestos benéficos para la salud. El alfa-tocoferol, que se ha relacionado con la reducción de las enfermedades cardiovasculares, se encuentra aproximadamente en una cantidad de 12 a 15 mg/g de aceite en el producto obtenido por prensado en frío. Los niveles de beta-sitosterol fueron aproximadamente de 4,5 mg/g de aceite. Los fitoesteroles (incluyendo el b-sitosterol) inhiben la absorción intestinal de colesterol en el ser humano, disminuyen los niveles plasmáticos de colesterol total y de LDL y pueden prevenir el cáncer de colon, mama y próstata.

En la naturaleza existen unos 40 ácidos grasos distintos. El aceite de aguacate es reconocido por su alto contenido de ácidos grasos insaturados, por lo que ha llegado a superar en calidad al aceite de oliva y es esa la razón de su actual demanda a nivel

mundial, tanto para el sector culinario como para el cosmético. Los ácidos grasos poliinsaturados contenidos en el aceite de aguacate son: linoléico, linolénico y octadecadienoico; los monoinsaturados presentes son palmitoleico, oleico y eicosanoico. Los ácidos grasos poliinsaturados omega 3 mantienen el equilibrio de las grasas en la sangre e inhiben los mecanismos de agregación plaquetaria, por lo que inciden de manera positiva como agentes preventivos del riesgo vascular y son lípidos fundamentales para el desarrollo y el funcionamiento favorable del sistema nervioso central. Se están investigando los posibles beneficios de este ácido graso en una variedad de enfermedades crónicas, incluyendo cáncer, artritis reumatoide, disfunción cognoscitiva y especialmente en enfermedades cardiovasculares.

Los ácidos grasos poliinsaturados omega 6 reducen los niveles de colesterol LDL (colesterol malo), pero también los del HDL (colesterol bueno), por lo que debe existir una buena relación en la ingesta entre los ácidos grasos omega 3 y omega 6 para que produzcan un efecto favorable en la salud humana. Una proporción adecuada entre los omega 3 y 6 contiene una mayor cantidad de ácido linolénico (omega 3) en relación al ácido linoléico (omega 6). Este equilibrio es básico para el metabolismo de las prostaglandinas, que son moléculas importantes para la regulación de las funciones cardíacas, gastrointestinales, hormonales y nerviosas, así como para el equilibrio de los fluidos en el organismo. El ácido palmítico y el esteárico son los ácidos saturados más abundantes; los ácidos oleico y linoleico son los más abundantes entre los insaturados.

En la tabla 8.12 se observa una lista en la que se desatacan, por su alto contenido de ácidos insaturados, materiales criollos de Chaparral (70,09 %), Fresno (69,84 %) y Mariquita (64,98 %); por lo anterior, estos materiales de aguacate deben ser estudiados, ya que ofrecen un mayor valor agregado al consumidor.

Tabla 8.12. Composición de ácidos grasos de aceites extraídos de aguacate

Municipio	Nombre	Ácidos oleico linoleico linolénico (%)	Ácidos elaídico esteárico (%)	Ácido láurico (%)	Ácido palmitoleico (%)	Ácido palmítico (%)	Ácido miristico (%)	Ácido araquidónico (%)
Chaparral	Criollo	70,09	1,60	0,05	0,10	0,03	27,87	0,23
	Criollo	65,09	1,83	0,07	0,36	0,00	32,44	0,21
Fresno	Criollo	69,84	2,08	0,04	0,08	0,04	27,68	0,20
	Lorena	69,09	1,91	0,06	0,12	0,06	28,36	0,40
	Hass	68,11	1,36	0,06	0,11	0,03	29,93	0,22
	Hass	65,66	1,37	0,12	0,51	0,04	30,41	0,24
	Hass	65,01	1,53	0,05	0,08	0,03	33,02	0,25
	Fuerte	73,76	1,89	0,06	0,11	0,03	23,96	0,17
Mariquita	Criollo	64,98	2,40	0,03	0,08	0,03	32,20	0,22

Fuente: Elaboración propia

Operaciones de proceso

En la figura 8.37 se presenta el diagrama de flujo para la obtención de aceite de pulpa de aguacate mediante centrifugación con pretratamiento enzimático para garantizar rendimientos de extracción superiores al 90 %; sin la adición de enzimas, el rendimiento disminuye hasta el 60 %; para el procesamiento, se parte de la pulpa homogenizada.

Dilución con agua: se realiza para facilitar la separación de las fases de la pulpa durante el proceso de centrifugación.

Tratamiento enzimático: para que la enzima adicionada actúe con mayor efectividad se debe ajustar el pH hasta un valor de 5,0. Posteriormente se adiciona la enzima y se deja actuar mediante incubación a una temperatura entre 30 y 50 °C. Lo anterior garantiza un alto rendimiento.

Centrifugación: las centrífugas utilizadas en la extracción de la enzima son equipos horizontales, también conocidos como decanter, en donde se separan dos fases, la oleoacuosa y los residuos o "torta" del proceso. La separación se realiza a altas velocidades. Posteriormente, se requiere una segunda centrifugación con el fin de separar el agua del aceite; esta segunda separación se realiza en centrífugas verticales.

Envasado: el empaque del aceite de aguacate debe hacerse en frascos de vidrio de color oscuro para garantizar y conservar la calidad del producto por más tiempo, debido a que su alto contenido de vitamina E lo hace muy susceptible a la oxidación, que provoca sabores rancios y cambios notorios de color. En las tablas 8.13 y 8.14 se describen las especificaciones e información básica de un prototipo de envase comercial para aceite de aguacate.

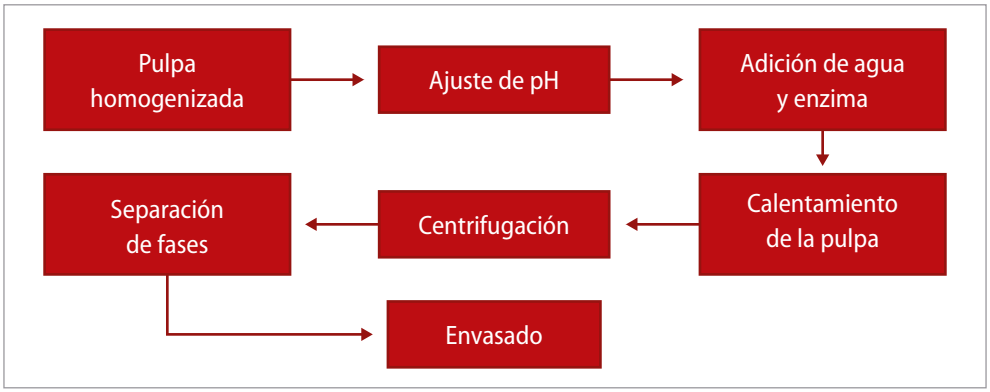


Figura 8.37. Diagrama de flujo para obtención de aceite.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.13. Especificaciones de un prototipo de envase comercial para aceite de aguacate

Especificaciones	
Forma	Cuadrada
Material	Cristal violeta
Capacidad	250 ml y 500 ml
Alto etiqueta	138 mm
Ancho etiqueta	33 mm
Cierre	Rosca

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.14. Información básica de un prototipo de envase comercial para aceite de aguacate

Especificaciones	
Marca comercial	Contenido
Fabricante	Fecha de vencimiento
Ciudad, departamento, país	Lote de fabricación
Página web	Código de barras
Teléfono	Fecha fabricación
Registro del Invima	Tabla composición
Ingredientes	Conservación

Fuente: Elaboración propia

Equipo requerido para el procesamiento

El montaje de una línea de proceso para extracción de aceite de aguacate exige la compra de equipos especializados debido a que los procesos requieren mayor precisión para lograr la correcta separación de la fase oleosa presente en la pulpa de aguacate. El proceso requiere que la fruta entre sin piel; posteriormente, con un tornillo sin fin se retira la semilla y se transporta hasta un homogeneizador; la siguiente etapa se realiza en un nuevo tanque, donde se adiciona agua y se ajusta el pH.

En este mismo tanque se realiza el tratamiento enzimático con calentamiento durante dos horas. Esta nueva mezcla se lleva a la centrífuga horizontal y la fase oleoacuosa resultante se transporta a otro separador; posteriormente se almacena en tanques de acero inoxidable para su envasado final.

Se puede trabajar con equipos prototipo para procesos a menor escala. En ese caso, se requiere una despulpadora y un homogeneizador en la línea de proceso de pulpas. El equipo principal es una centrífuga horizontal, que puede costar alrededor de $80.000.000, y una envasadora de líquidos que tiene un precio de $35.000.000 más o menos. Por tratarse de un proceso continuo, se requiere invertir en dos bombas de desplazamiento positivo para el transporte de los líquidos.

Referencias

Altendorf, S. (2017). *Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales*. FAO.

Altendorf, S. (2019). *Major tropical fruits market review 2018*. FAO.

Asohofrucol & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2006). *Plan Frutícola Nacional. Desarrollo de la Fruticultura en Tolima*. Recuperado de http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_116_FRUTALES%20TOLIMA.pdf.

Brown, B. I. (1984). Market maturity indices and sensory properties of avocados grown in Queensland. *Food Technology in Australia*, *37*, 474-476.

Cerdas, M. (2006). *Manual de manejo pre y poscosecha de aguacate* (Persea americana). San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Dettmann, E. B., Caperon, J., Leon, L. E., English, J. N., & Walsh, M. (1987). New avocado maturity standards. *Subtropical Fruit Grower*, (October), 13-16.

Forero, F., García, J., & Cárdenas-Hernández, J. F. (2007). Situación y avances en la poscosecha y procesamiento del aguacate (*Persea americana* Mill.) *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 189-200.

Galán Sauco, V. (1990). Aguacate. En *Los frutales tropicales en los subtrópicos. Aguacate, mango, litchi y longan* (Vol. 1, pp. 50- 53). Madrid: Mundi-Prensa.

Hofman, P. J., Fuchs, Y., & Milne, D. L. (2007). Cosecha, embalaje, tecnología de poscosecha, transporte y procesamiento. En A. W. Whiley, B. Schaffer, &B. N. Wolstenholme (Eds.), *El palto. Botánica, producción y usos* (pp. 331-364). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (1996). *Frutas frescas. Aguacate. Almacenamiento y transporte*. Bogotá: Icontec.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2003). *Frutas frescas. Aguacate. Variedades mejoradas. Especificaciones*. Bogotá: Icontec.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2007). *Zumos (jugos), néctares, purés (pulpas) y concentrados de frutas* (NTC 5468). Bogotá: Icontec.

Kruger, F. J., & Abercrombie, R. (2000). *Timely nitrogen fertilizing recommendations for Pinkerton growers* [Advisory leaflet]. Nelspruit, South Africa: Institute for Tropical and Subtropical Crops.

Lee, S. K., Young, R. E., Schiffman, P. M., & Coggins, C. W. (1983). Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, *108*(3), 390-394.

Milne, D. L. (1994). Postharvest handling of avocado, mango and lychee for export from South Africa. En B. R. Champ, E. Highley, & G. I. Johnson (eds.), *Postharvest handling of tropical fruits* (pp. 73-89). Canberra, Australia: ACIAR.

Olaeta, J. A. (2003). Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate)* (pp. 749-754). Málaga, España. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/242228349_Industrializacion_Del_Aguacate_Estado_Actual_Y_Perspectivas_Futuras.

Parra, D., & Serrano, S. (2017). *Guía de exportación de aguacate Hass para pequeños y medianos productores en Colombia*. Recuperado de http://bit.ly/2uzmWM7.

Ranney, C. (1991). Relationship between physiological maturity and percent dry matter of avocados. *California Avocado Society Yearbook*, *75*, 71-85.

Rojas, J. M., Peñuela, A. E., Gómez, C., Aristizábal, G. E., & Chaparro, M. C. (2004). *Caracterización de los productos hortofrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad* (pp. 163-178). Chinchiná: Cenicafé.

Sánchez, J. L. (1993). *Índices de madurez en aguacate: muestreo de frutos en campo y determinación de materia seca* [Folleto para productores No. 20]. Uruapan, Michoacán, México: SARH, Inifap, Cirpac.

Sandoval Aldana, A., Forero Longas, F., & García Lozano, J. (2010). *Poscosecha y transformación de aguacate: agroindustria rural innovadora*. Espinal, Tolima: Corpoica, Centro de Investigación Nataima. Recuperado de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4683/1/POSTCOSECHA-DEAGUACATE.pdf.

Swarts, D. H. (1978). Microwaves used in determining avocado maturity. *Citrus and Subtropical Fruit Journal*, *535*(3), 3-5.

University of California. (2013). *Avocado varieties*. Recuperado de http://ucavo.ucr.edu/avocadovarieties/VarietyFrame.html.

Waissbluth, R., & Valenzuela, J. (2007). Determinación del porcentaje mínimo de materia seca para autorizar la cosecha de paltas cv. Hass para ser exportadas. En: *Actas del VI Congreso Mundial del Aguacate*, 12-16 de noviembre, Viña del Mar, Chile. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/5b-213.pdf.

Yahia, E. (2002). Manejo poscosecha del aguacate. *Vitae*, *9*(2), 5-16.

Capítulo IX

Perspectiva del ordenamiento productivo del aguacate cv. Hass en Antioquia

Tatiana Mallanín Rondón Salas
Silvana Builes Gaitán
María Casamitjana Causa
Marcela Duque Ríos
Adriana Katerine Rodríguez-León
Cristian Alexander Vega Marín
Daniel Ruiz
Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo

Introducción

Con la finalidad de orientar una visión sobre el territorio enfocada en los sistemas productivos, en este capítulo se da a conocer la distribución en Antioquia del sistema productivo del aguacate cv. Hass a nivel semidetallado.

El conocimiento del uso de los recursos naturales en una región es de vital importancia para la gestión del territorio, debido a que los sistemas productivos no se encuentran aislados y la dinámica de la población está determinada por la adopción de determinados sistemas agronómicos. En este sentido, se puede decir que existen regiones o zonas que adoptan una identidad vinculada a un cultivo, como es el caso de Medellín y el cultivo de las flores.

La producción del aguacate cv. Hass ha comenzado desde hace algunos años a proyectarse en el departamento antioqueño como un sistema altamente promisorio; sin embargo, el conocimiento de este cultivo para su establecimiento se ha centrado en la adopción de manejos productivos de tendencia generalizada, propios de otros países donde se produce esta variedad.

Es oportuno señalar que la intención de este capítulo no es cuestionar la adopción de tecnologías extranjeras, sino generar conocimiento acerca de los recursos con los que cuenta la región para comprender las posibles situaciones o escenarios en los cuales se presenta o se puede presentar el sistema productivo. Con esto, se busca ubicar los cultivos en zonas dentro del territorio que puedan ser altamente sostenibles y sustentables a través de manejos agronómicos propios de las condiciones colombianas.

En este sentido, resulta relevante efectuar un levantamiento agroclimático que tiene como finalidad presentar el conocimiento sobre un territorio a una escala determinada. Para el caso de este estudio, el levantamiento se efectuó a nivel semidetallado, escala 1:25.000, tomando como base el *Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Antioquia*, presentado por la Gobernación de Antioquia en convenio con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2007), que presenta una actualización a escala general 1:100.000 y un estudio de suelos semidetallado a escala 1:25.000.

Este capítulo tiene como enfoque la búsqueda y cuantificación de áreas bajo el sistema productivo de aguacate cv. Hass, así como de aquellas que presentan potencialidades para su producción, donde no solo convergen cualidades idóneas para el desarrollo del cultivo desde el punto de vista edáfico y climático, sino también cualidades ambientales, sociales y económicas. Esto es importante, dado que, por lo general, las zonificaciones son efectuadas contemplando únicamente el componente edáfico y, en el mejor de los casos, su combinación con componentes climáticos. Por ello, este trabajo abarca otras áreas para efectuar la zonificación, como la socioeconomía, pues el sistema productivo se entiende como un ente que interactúa y se desarrolla por la acción de varios factores. Con este propósito, se utilizan variables y referentes recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1997) y la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2014).

Los levantamientos realizados fueron ejecutados a través de técnicas convencionales de zonificación (Comerma & Arias, 1971; FAO, 1997) y de técnicas innovadoras, como los índices de vegetación, utilizando como referencia el índice de vegetación diferencial normalizado (*normalized difference vegetation index*, NDVI). Debido a la combinación de estas técnicas, fue posible abarcar una gran cantidad de áreas en un menor tiempo, las cuales fueron utilizadas en la cuantificación bajo uso actual y bajo uso potencial para establecer el sistema productivo. Para las variables económicas y sociales también se utilizaron métodos convencionales como la elaboración de un análisis multivariado, que se valió de información colectada a través de encuestas socioeconómicas a productores en zonas donde actualmente se encuentra el cultivo, combinadas con técnicas de geomática con redes neuronales, categorización y jerarquización de variables, entre otras.

Los estudios contemplados en esta publicación contribuyen al enriquecimiento de la información sobre el territorio desde la perspectiva de un sistema productivo, en este caso, del aguacate cv. Hass. Se impulsa así la elaboración de estudios similares sobre otros sistemas de producción agrícola de interés para la región e incluso para la nación, con el ánimo de analizar no solo grandes producciones agrícolas o pecuarias cuantificables en términos de t/ha, sino de que dicha producción se efectúe con responsabilidad ambiental para con las generaciones futuras, de forma que se garantice para estas la seguridad alimentaria en un ambiente con la menor intervención posible.

El aguacate cv. Hass en el mundo

Según los datos reportados por la FAO (2018), la producción mundial de aguacate ha mostrado, en los últimos años, una tendencia al alza. Como se observa en la figura 9.1, en 2014 había en el mundo 519.660 ha de aguacate cultivadas, área que aumentó en un 76 % para el 2018, con un total de 918.531 ha. El crecimiento anual del área cosechada para el período 2014- 2018 fue de un 12 %. Del mismo modo, la producción mundial, que para 2014 alcanzaba los 5 millones de toneladas, para el 2018 alcanzó más de 6 millones de toneladas, con un aumento del 21,3 %. Si bien las áreas cosechadas han aumentado a una tasa mayor que la producción, dicho aumento aún no se traduce en mayores rendimientos (t/ha), los cuales oscilan en torno a las 9 t/ha, sin un marcado aumento anual.

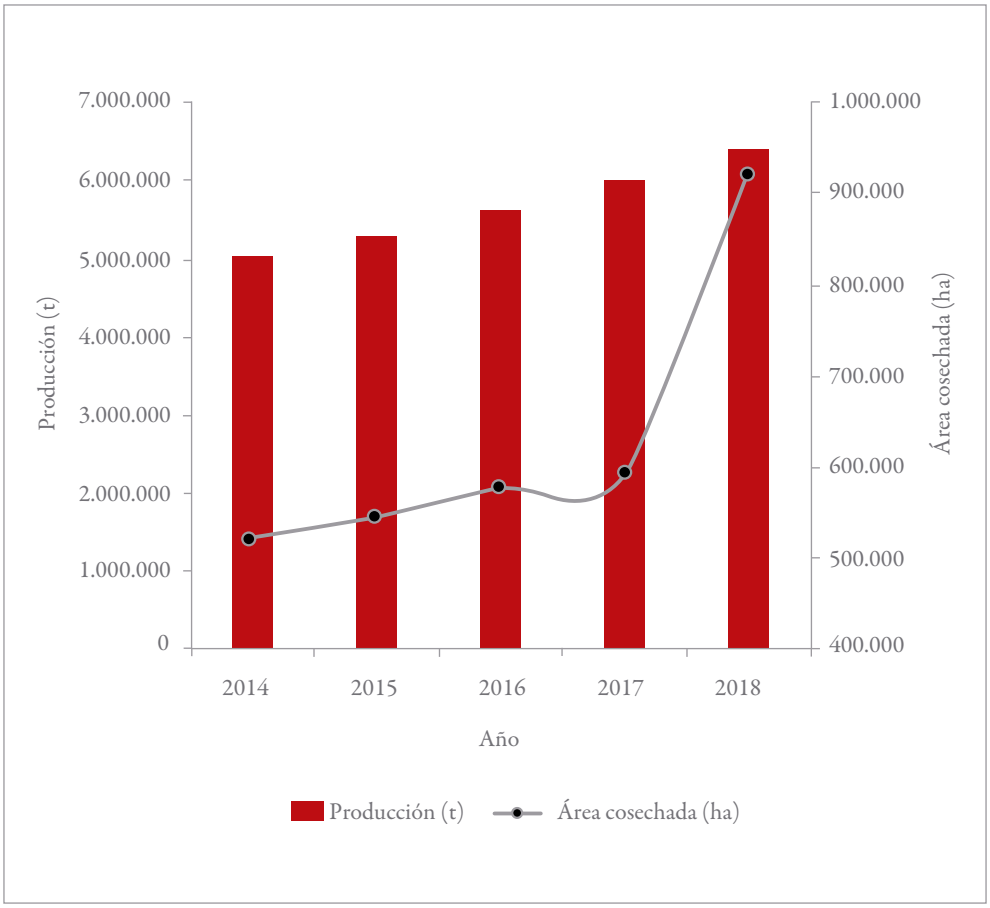


Figura 9.1. Producción y área cosechada de aguacate en el mundo (2018).
Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

La figura 9.2 muestra los principales países productores de aguacate en 2018, donde México aparece como el más importante, seguido por Perú, Indonesia, Colombia y Estados Unidos. Por otra parte, países como China, Sudáfrica, Chile, Haití y Camerún, presentan las producciones y los rendimientos más bajos en la lista. En el mismo año, México reportó una producción superior a 2.000.000 t y Perú e Indonesia reportaron alrededor de 504.517 t y 410.094 t, respectivamente. Para el mismo año, Colombia tuvo una producción total de 326.666 t (FAO, 2018).

Es importante señalar que la producción reportada por México resulta seis veces mayor que la producción reportada para Colombia. En tal sentido, a pesar de que Colombia, a la fecha, se encuentra en la lista de países con importancia en la producción mundial de aguacate, en términos de exportaciones, se considera un país emergente debido, principalmente, a que se está abriendo paso en producción y abastecimiento hacia mercados internacionales (Díaz, Ardila, & Guerra, 2019).

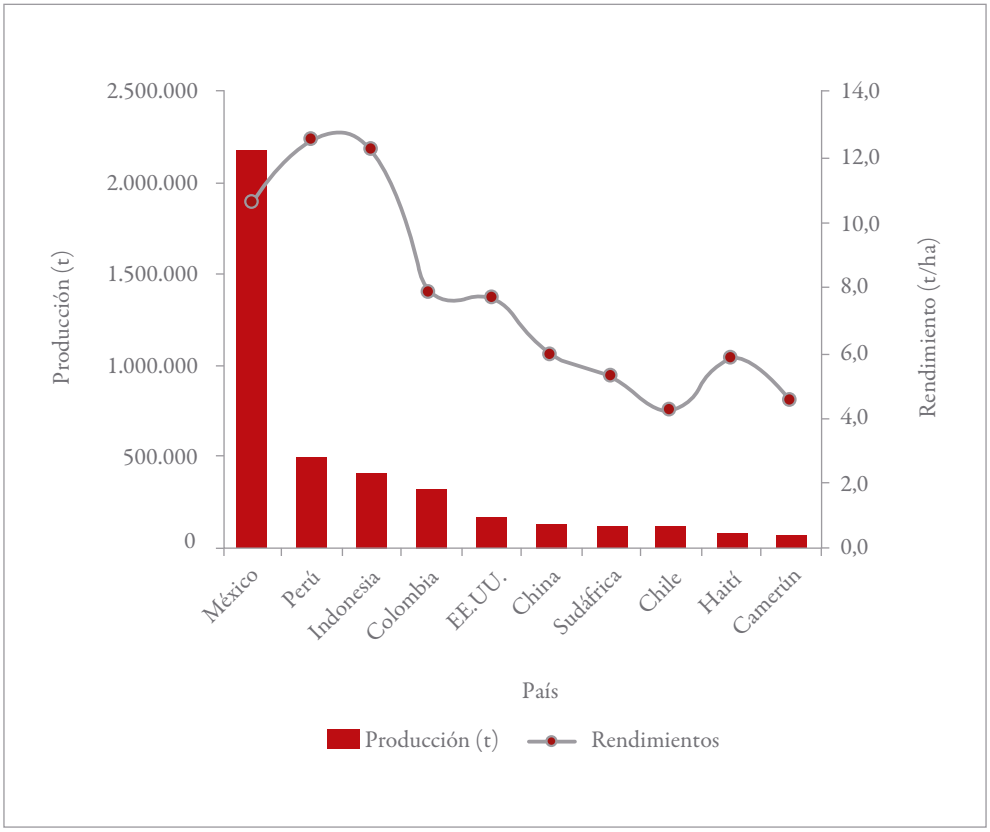


Figura 9.2. Producción y rendimiento mundial de aguacate para el 2018.
Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

En cuanto a las exportaciones (figura 9.3), México mantiene el protagonismo en el mercado internacional, seguido por Holanda, Perú, España y Chile. Valga decir al respecto que el papel que desempeña Holanda es de índole comercial debido a que no figura como país productor del fruto; el comercio efectuado por los Países Bajos es principalmente hacia el mercado internacional con miras al consumo interno (Cámara de Comercio de Medellín, 2012).

En 2018, México reportó ventas por USD 2.391.963.000 (figura 9.3), lo que representa casi el 42 % del mercado mundial del frutal, que se ubicó en USD 5.709.115.000. Dentro del mercado, Chile y Perú representan el 6 % y el 13 %, respectivamente. En la actualidad la tasa anual promedio de crecimiento de exportaciones mundiales de aguacate es 24,5 %. Colombia aún no tiene una participación significativa en las exportaciones y ocupa el décimo lugar (en 2018), incluso después de países como Estados Unidos, Kenia, Sudáfrica y Nueva Zelanda. Su participación se limita a un 1,1 % del valor total de las exportaciones mundiales y un 1,19 % de las cantidades de fruta exportada (FAO, 2018).

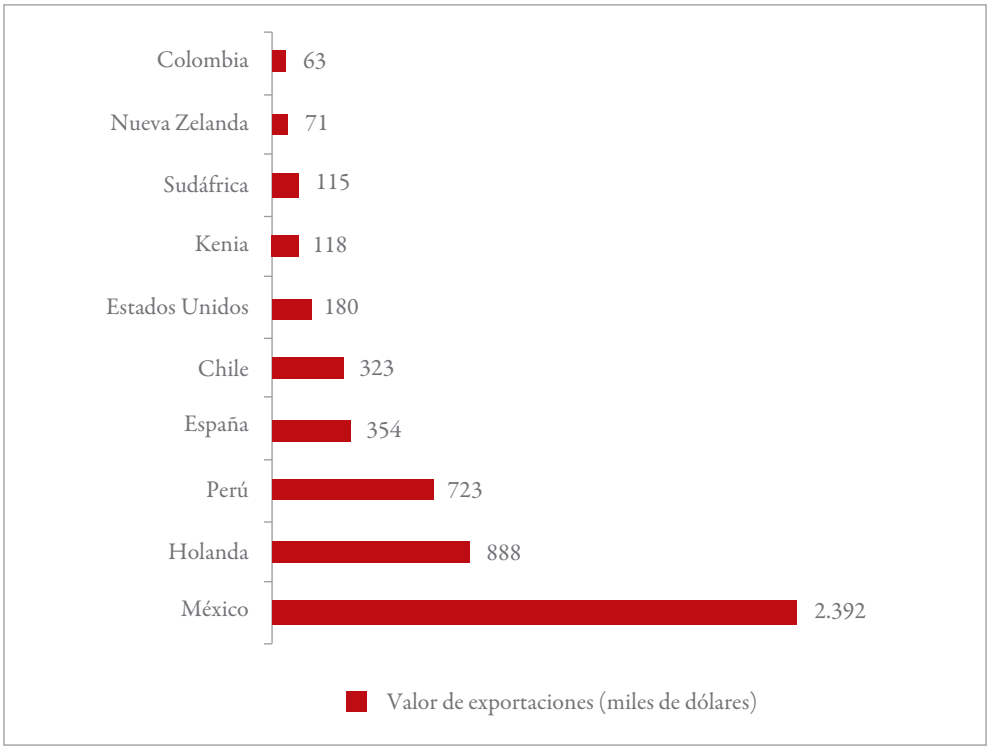


Figura 9.3. Principales países exportadores de aguacate en el mundo para el 2018.
Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

El aguacate Hass de Colombia para el mundo

Al hablar de aguacate Hass, inmediatamente se relaciona con guacamole y, casi de manera directa, con México como país productor y consumidor; sin embargo, hay otros países productores de aguacate, como Colombia. Las primeras exportaciones de frutales en Colombia datan del año 2010 (Centro de Comercio e Inversión de AmCham Colombia, 2015), sin embargo, el auge se da partir del 2012, cuando algunos productores comienzan a posicionar la fruta en territorios como el Reino Unido, Países Bajos y España. Según datos de FAO (2018), las exportaciones colombianas pasaron de unos 11.000 dólares en el 2012 a más de 60 millones en 2018. Parte de esta situación está motivada por la inversión extranjera, que ha jugado un papel determinante en la dinamización de las exportaciones en el país al permitir hacer uso del *know-how* en técnicas de producción y comercialización, especialmente de empresas chilenas y sudafricanas. En la figura 9.4 se observa el crecimiento exponencial en términos de cantidad y valor de las exportaciones del aguacate colombiano.

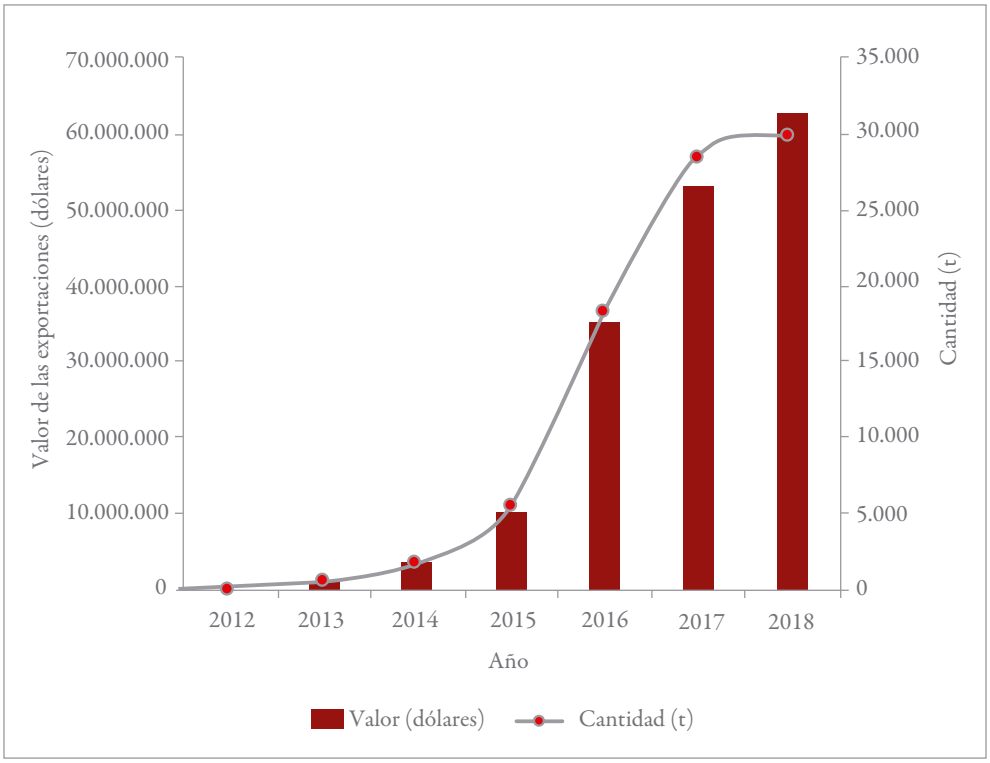


Figura 9.4. Valor y cantidad de las exportaciones de aguacate en Colombia (2012-2018).
Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de FAO (2018)

Tal y como se detalla en la figura 9.5, la mayor proporción de las exportaciones de aguacate Hass efectuadas por Colombia son destinadas a Holanda, un país que cumple una función netamente comercial para la variedad Hass dentro del mercado europeo.

De igual modo se puede destacar la presencia de otros países dentro del mercado de exportaciones de Colombia para esta fruta, como Reino Unido, España, Bélgica y Francia, en este orden de importancia. Las exportaciones hacia Estados Unidos solo toman lugar en noviembre de 2017, después de la aprobación de la entrada de este cultivar en el mercado americano el 15 de agosto de ese año.

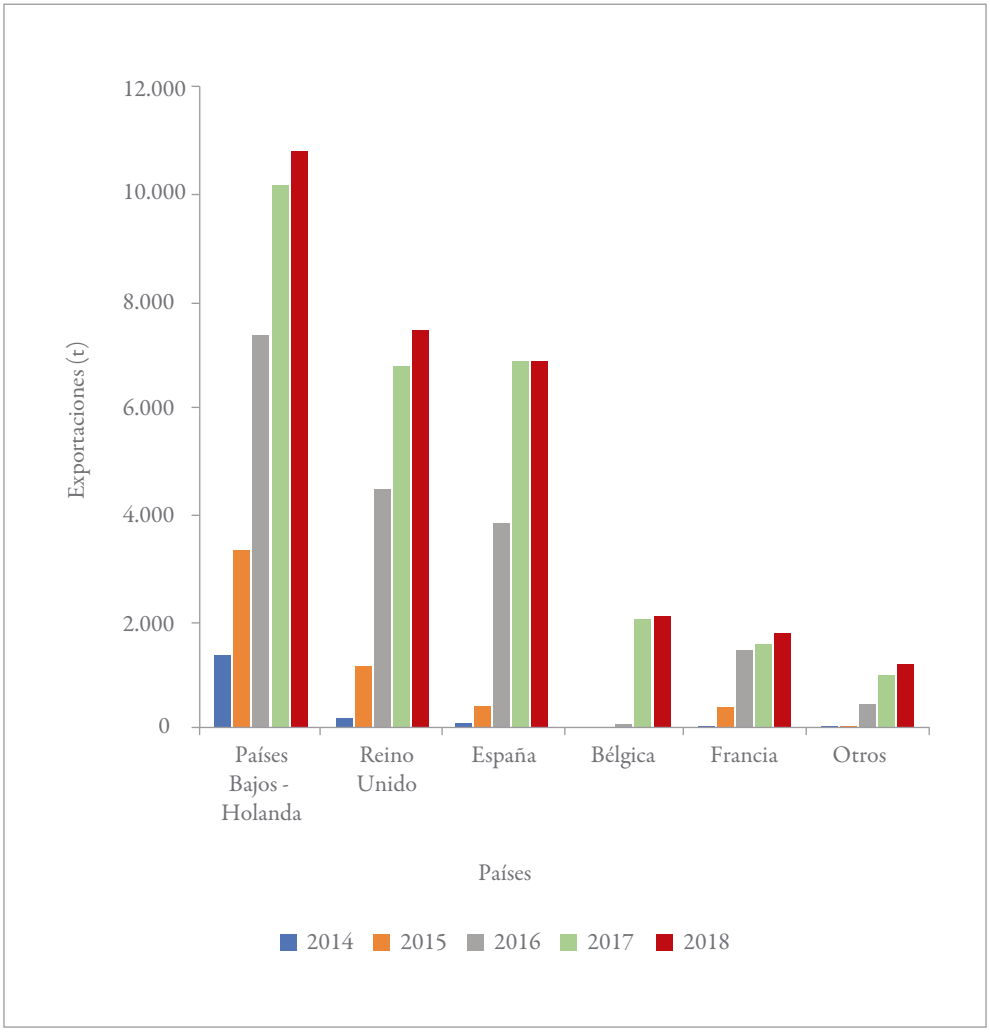


Figura 9.5. Destino de las exportaciones colombianas de aguacate (t) (2014-2018).
Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de SICEX (2018, agosto) y Analdex (2018)

Desarrollo del sector aguacatero en Antioquia

En Colombia, la génesis de producción del aguacate Hass se da en el municipio de El Retiro, ubicado en la zona conocida como oriente antioqueño. De ahí se empezó a propagar hacia otros municipios de la misma subregión, como La Ceja, Guarne, San Vicente, Rionegro, Marinilla, Sonsón y Abejorral. Esta zona, junto con el departamento del Tolima, reúne la mayor cantidad de hectáreas destinadas a la producción de la variedad Hass en Colombia. Para 2018, en el departamento de Antioquia, había 13.734 ha sembradas de aguacate Hass y 6.608 ha en producción (Gobernación de Antioquia, 2018). En la figura 9.6 se presentan los principales departamentos productores de aguacate en Colombia (Antioquia, Caldas, Tolima, Valle del Cauca, Risaralda y Quindío) con sus correspondientes producciones y rendimientos para 2019 (Agronet, 2019).

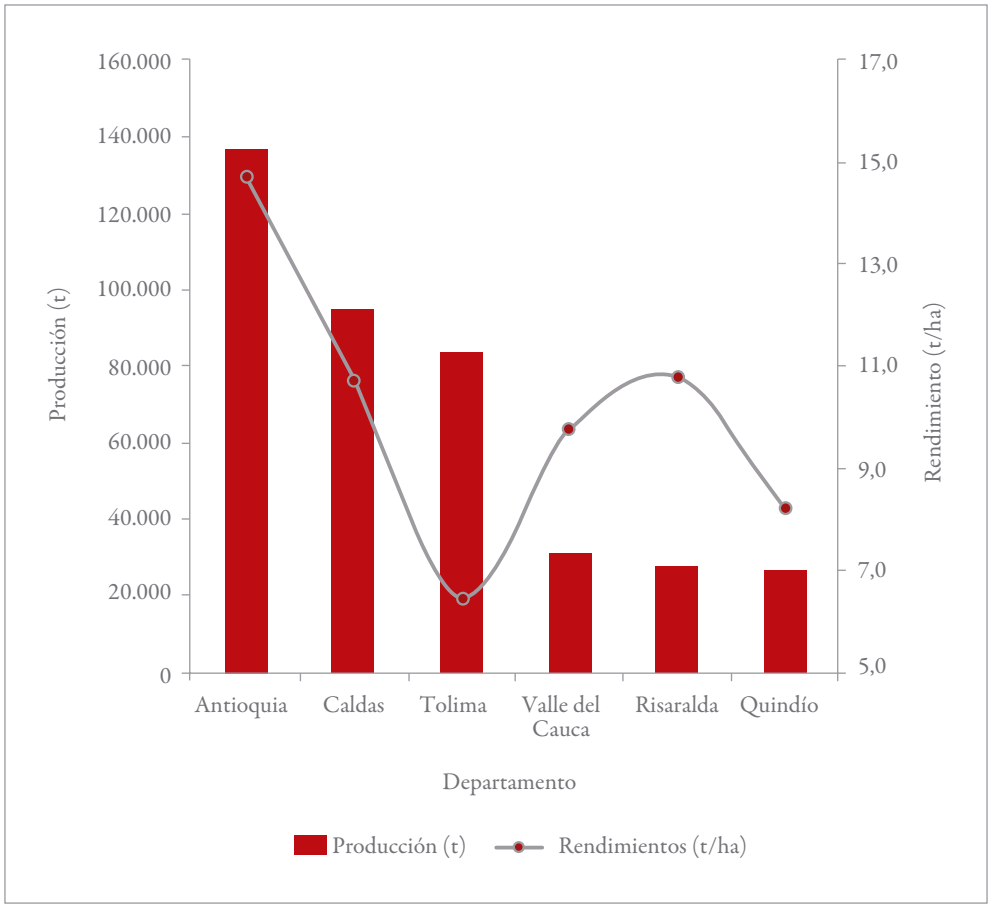


Figura 9.6. Producción y rendimiento de los departamentos productores de aguacate en Colombia en 2019.
Fuente: Elaborado por J. Bernal y C. Díaz con base en datos de Agronet (2019)

Cabe señalar que las mayores tasas anuales de crecimiento en áreas cosechadas de aguacate Hass se concentran en la zona del Eje Cafetero, especialmente en los departamentos de Caldas y Risaralda, con un promedio del 55 y el 44 % respectivamente. Es importante anotar que para estos departamentos no existe discriminación al momento de reportar valores de producción por variedad de aguacate.

El departamento del Valle del Cauca no es la excepción al momento de reportar su producción para este fruto. Entre los departamentos donde se encuentra ampliamente establecido el cultivo están Tolima, Caldas y Antioquia, y es en este último que se evidencian las más altas producciones (137.179 t) y los más altos rendimientos (14,74 t/ha). Es particular el caso de Tolima, que presenta una producción relativamente alta, con 83.110 toneladas, pero con bajos rendimientos, de 6,46 t/ha. Estas particularidades dentro de los departamentos muy posiblemente se encuentran asociadas a varios factores, entre los que se pueden mencionar el manejo del cultivo, las condiciones agroclimáticas favorables o desfavorables, las condiciones edáficas y el material genético, entre otras.

El cultivo de aguacate en Colombia se encuentra ampliamente difundido, sin embargo, el aguacate cv. Hass, en particular, es de reciente adopción en la nación. Este cultivo presenta ciertos condicionantes ambientales para su producción exitosa y, como cualquier otro, no escapa a la necesidad de requerimientos mínimos desde el punto de vista fisiológico, edáfico, hídrico y climático para lograr no solo su establecimiento en un área determinada, sino la mayor expresión de su vigor, lo cual se traduce en rendimientos aceptables y competitivos a nivel de mercado, tanto en cantidad (t/ha) como en calidad de fruta.

En las últimas décadas algunos productores con tradición en la ganadería y en otros cultivos como el café y la granadilla, e incluso productores de aguacate de otros cultivares, decidieron emprender un cambio en el uso de sus tierras y enfocarse en la producción de aguacate cv. Hass. Muchos establecieron sus plantaciones de manera conjunta con los cultivos que por tradición tenían sobre sus tierras. La adopción de este nuevo cultivo vino enlazada a muchos retos, como la adopción de técnicas de manejo de un cultivo proveniente de países con condiciones edáficas y climáticas distintas a las que se presentan en Colombia y el desconocimiento de los requerimientos del cultivo para esta región. Este esfuerzo, en la actualidad, ha brindado grandes satisfacciones, pero también algunos tropiezos en el día a día de los productores.

A partir de la necesidad manifestada por los productores de mitigar los tropiezos que enfrentan en el día a día, unieron esfuerzos con las asociaciones, el gobierno y algunas entidades dedicadas a la investigación científica para caracterizar, identificar y tratar de ofrecer soluciones a las dificultades que aquejan a este sistema productivo en la región antioqueña, con miras a resolverlos y prevenir situaciones futuras en el establecimiento de nuevos huertos comerciales.

Ante ello, se elaboró un macroproyecto en el cual convergen diferentes entidades y se enmarca un componente denominado *zonificación*, que fue liderado desde la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). El objetivo de este macroproyecto fue caracterizar el sistema productivo del aguacate desde un punto de vista edáfico, climático y socioeconómico a través de la identificación y la caracterización de zonas bajo uso actual, con miras a establecer o determinar zonas de uso potencial dentro del territorio antioqueño. Cabe destacar que el alcance de este proyecto y el uso de los resultados obtenidos no se encuentran limitados a la región antioqueña; por el contrario, la información generada desde los cultivos, la mayoría establecidos para exportación, sirve como marco para conocer sectores dentro de otras regiones del territorio colombiano con potencialidad para el establecimiento de este sistema productivo.

Para saber la potencialidad de una zona geográfica se deben conocer los requerimientos mínimos para el establecimiento y la producción exitosa del aguacate Hass. A través de la investigación documental de experiencias sobre este cultivo en otros países, se procedió a elaborar una tabla de requerimientos, que se encuentra adaptada a las condiciones del territorio antioqueño, debido a que mucha de la información que contiene procede de estudios efectuados en la región y a que los datos fueron validados por expertos en diversas áreas del conocimiento involucrados con el cultivo de aguacate. En la tabla 9.1 se presentan los requerimientos ecofisiológicos, edafoclimáticos y las limitantes fitosanitarias para el cultivo del aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.

Tabla 9.1. Requerimientos ecofisiológicos, edafoclimáticos y limitantes fitosanitarias para el cultivo de aguacate en el departamento de Antioquia

Variable	Altitud (m s. n. m.)
Rango	Óptima: ≥ 1.770 a ≤ 2.200
Descripción del efecto	• ≥ 1.700: favorecen los rendimientos. • ≥ 1.900: se ha encontrado incremento del contenido de la pulpa del 64 al 67 % y menores proporciones de semilla y cáscara; frutos de mejor calidad. • ≥ 2.000: hay aumento del peso de los frutos, en promedio 190 g (Bernal, 2016). • ≥ 2.100: hay presencia de granizadas. Especialmente si son zonas de alta precipitación y si las granizadas son históricamente frecuentes, no se recomienda la siembra (Bernal & Díaz, 2008). En altitud óptima, hay incremento en el contenido de ácido graso oleico (insaturado). • ≤ 1.700: disminución del ácido linoleico (saturado) (Bernal, 2016; FAO, 1997).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	En Antioquia, la calidad organoléptica de la fruta de los árboles sometidos a altitudes ≥ 2.200 m s. n. m. no es conocida de manera oficial; sin embargo, en el territorio existen huertos para exportación establecidos a ≥ 2.400 m s. n. m. En los sistemas productivos ubicados por encima del nivel óptimo se evidencian problemas asociados a granizadas, las cuales pueden causar desde caída significativa de los frutos hasta daños estéticos.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Radiación solar (horas/día)
Rango	≥ 4 ≤ 5,5 Óptima: 4
Descripción del efecto	• < 4: reduce el crecimiento vegetativo, el número y la longitud de los brotes, el área foliar y la actividad fotosintética ("Teledetección", s. f.; Bernal, 2016). • 5,5: promueve quemaduras en el fruto y las ramas (golpe de sol) (Galán-Sauco, 1990; Salazar-García, Cossio-Vargas, & González-Durán, 2008; Sánchez, 1981). • El punto de saturación lumínica para una hoja de aguacate Hass en campo es de 1.110 µmol/m²/s de PPF ("Teledetección", s. f.). • La tasa máxima neta fotosintética (Amax) es 23 µmol/m²/s ("Teledetección", s. f.). • El punto de compensación de luz de PPF es 10 µmol/m²/s para plantas en campo ("Teledetección", s. f.).
Variable	Precipitación (mm/año)
Rango	≥ 665 a ≤ 2.000 Óptimas: ≤ 2.200
Descripción del efecto	• ≤ 1.500 provocan caída de las hojas. • ≥ 2.200 reducen los rendimientos al provocar la caída de los frutos (Benacchio, 1982; Bernal & Díaz, 2008; Galán-Sauco, 1990; Gandolfo, 2008; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981). • El déficit hídrico promueve la aparición de desórdenes fisiológicos en el almacenaje y la madurez del fruto. • La adecuada suplencia hídrica aumenta la vida poscosecha y ayuda a mitigar los bajos niveles de O_2, los altos niveles de CO_2 y promueve el menor contenido de Ca en la pulpa (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012; Saavedra, Vásquez, & Mejía, 2012).

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Descripción de la variable en zonas bajo estudio	La distribución de las precipitaciones en las zonas de producción no muestra un comportamiento similar: hacia el oriente son de tipo bimodal, más bajas en los períodos de diciembre a mayo y de junio a agosto; sin embargo, casi siempre cubren el requerimiento del cultivo. En el suroeste, la distribución de la precipitación es de tipo modal, sin picos máximos bien definidos; generalmente inicia el período marcado de fuertes precipitaciones entre los meses de marzo a noviembre, en el cual son cubiertos los requerimientos del cultivo. Sin embargo, en ocasiones, en junio y julio la precipitación sobrepasa el óptimo requerido por el cultivo, mientras que en los meses de diciembre a febrero no se cubre el requerimiento hídrico, por lo cual algunos productores que cuentan con suelos con baja capacidad de retención deben hacer prácticas de riego. Una situación similar ocurre hacia el norte del departamento, cuya distribución de precipitaciones es modal, aunque es poco frecuente el uso de prácticas de riego en esta zona. Esto concuerda con lo expuesto por Jaramillo y Chaves (2000). Es importante destacar que las floraciones son promovidas por los meses de altas precipitaciones y se desarrollan en la época seca. En el departamento, en la mayoría de los casos, se presentan dos flujos florales, con algunas excepciones de hasta tres (Bernal, 2016). El flujo de crecimiento de las raíces durante el período prolongado de lluvias alcanza su máximo inicio en la época seca, y existe una correlación negativa entre los períodos de crecimiento vegetativo y de crecimiento del sistema radical (Cuesta, 1994; Ávilan, Rojas, Suárez, & Miranda, 2014; Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012; USAID, 2014). Las raíces crecen cuando el primer ciclo vegetativo comienza a declinar. Luego viene un segundo período de crecimiento vegetativo y hay equilibrio entre el crecimiento radical y el vegetativo (Cámara de Comercio de Medellín, 2012).

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

	Otro factor relevante es la alternancia en la producción o vecería (años *on* y *off*). Este factor es de origen genético y se encuentra mayormente asociado al nivel de carbohidratos (CHO) acumulados en el tronco del árbol. La fructificación demanda alto contenido de CHO, por lo cual, en años de alta producción, las reservas bajan y para el año siguiente la producción de brotes florales es menor (Sánchez et al., 2001).
Variable	Temperatura atmosférica (°C)
Rango	Diurnas: 25 a 30. Nocturnas: 15 a 20. Óptimas: ≥ 14 ≤ 27 entre diurnas y nocturnas
Descripción del efecto	• ≤ 10 °C reducen la Φ (productividad cuántica) de 0,055 µmol CO_2 µmol^{-1} fotones a 0,034 µmol CO_2 µmol^{-1} fotones; en períodos cortos de tiempo a esta temperatura se estimula la inducción floral cuando han existido períodos de temperaturas ≥ 36 °C; Fv/Fm (eficiencia cuántica máxima del fotosistema II): los valores varían entre 0,79-0,81 en temperaturas mínimas de 12,9 °C; por debajo de ≤ 10 °C se encuentra alrededor de 0,41, lo que induce daños en el PSII; por encima de 37 °C hay daño irreversible al FSII (Gobernación de Antioquia, 2016). • ≤ 10 °C provocan daños por frío en distintos órganos de la planta cuando esta temperatura se da en forma recurrente. • ≤ 15 °C o ≥ 40 °C provocan el decrecimiento de hasta un 33 % de la tasa fotosintética en comparación a la tasa que se presenta en la temperatura óptima (Gobernación de Antioquia, 2016). • ≥ 36 °C causan daños en la fecundación y el cuajado del fruto (Gobernación de Antioquia, 2016).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Las variaciones de temperaturas para la región de Antioquia en cuanto a la temperatura atmosférica no muestran variaciones superiores a 5 °C, mientras que la temperatura del suelo no registra variaciones que superen los 10 °C (Bernal, 2016).

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Temperatura del suelo (°C)
Rango	≥ 13 ≤ 30. Óptimas: ≥ 14 ≤ 18. Isotérmica
Descripción del efecto	Por encima o por debajo de este rango de temperatura se ve afectado el desarrollo del sistema radical. Para el caso de Antioquia, el suelo presenta una condición *buffer*, con tendencia a que, a temperaturas altas en el ambiente, el suelo se mantiene a temperaturas bajas y viceversa (Bernal, 2016; FAO, 1999; Salazar-García et al., 2008).
Variable	Humedad relativa (%)
Rango	Óptima: ≥ 50 ≤ 80
Descripción del efecto	• ≤ 50 % provoca la muerte por desecación del polen. • ≥ 80 % aumenta la incidencia de enfermedades, principalmente fúngicas (Bernal & Díaz, 2008; Galán-Sauco, 1990; Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	En la mayoría de las zonas de producción ubicadas desde el norte hasta el suroeste del departamento, se encuentran porcentajes de humedad relativa que oscilan entre el 72 % hasta valores superiores al 90 %. Es importante puntualizar que los cambios más bruscos en los porcentajes de HR ocurren hacia el suroeste, con variaciones de hasta un 23 % entre los meses de mayo y noviembre, mientras que hacia el norte las variaciones en el porcentaje de HR en los mismos meses no superan el 6 %.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Regímenes de humedad del suelo (%)
Rango	Óptima: ústico y údico
Descripción del efecto	En suelos con estos regímenes de humedad y con buen drenaje promueven de forma favorable el desarrollo radical (FAO, 1999; Salazar-García et al., 2008)
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	El régimen predominante en la región es údico, pero en dos de los seis órdenes de suelo donde se presenta el cultivo, como el Inceptisol y el Alfisol, este último con inclusión en algunos municipios, presentan, como características propias, un mal drenaje subsuperficial que hace que los productores efectúen zanjas de drenaje en el terreno para evitar el exceso de agua y el daño a las raíces.
Variable	Textura
Rango	Franca, franco-arenosa, franco-limosa
Descripción del efecto	No son deseables las clases texturales con altos contenidos de arcilla, como las franco-arcillosas y las franco-arcillo-limosas (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Descripción de la variable en zonas bajo estudio	En las zonas de producción dentro del departamento, la mayoría de los suelos presenta profundidades efectivas muy superiores a las óptimas que permiten un buen desarrollo y anclaje del sistema radical del cultivo. Sin embargo, la exploración que pueda efectuar el sistema radical del cultivo en algunos suelos como el Alfisol se ve principalmente limitada por otros factores, entre los que se pueden mencionar: el uso del suelo en sistemas de producción que anteceden al cultivo; las clases texturales, específicamente la distribución del tamaño de partículas; la susceptibilidad a la erosión laminar o por remoción. En relación con el primer factor, por lo general se trata de suelos que en la actualidad están bajo cultivo de aguacate y que antes se encontraban bajo producción de café, pastos y ganadería. Algunos cuentan con moderada susceptibilidad a la compactación, especialmente dentro de los primeros 50 cm, con lo cual impiden, por resistencia, la penetración de gran parte del sistema radical y limitan, de esta manera, su desarrollo a esta profundidad. El segundo factor tiene que ver con la manera en que se encuentran distribuidas las fracciones de partículas en la clase textural. En el territorio se encuentran texturas óptimas, pero con predominio de fracciones finas o muy finas, lo que acarrea problemas de asfixia radical y drenaje, dada la alta capacidad de retención de humedad característica de dichas fracciones. Esto hace que el productor deba incurrir en prácticas para el manejo del agua, como zanjas de drenaje. Los contenidos de fracciones finas, como las arcillas, son ≥40 %, y las arenas finas y muy finas superan el 50 %, en la mayoría, con una estabilidad estructural moderada, que presenta un porcentaje de agregados de <250 mm en cerca del 20 % de los suelos. El último factor se observa en plantaciones sobre suelos muy jóvenes donde, por remoción, ya no existe presencia del horizonte A u horizonte orgánico o se observa, por las altas pendientes, material grueso proveniente de posiciones superiores en la ladera, en partes más bajas, sea por acción antrópica o por factores de tipo ambiental que reflejan la baja estabilidad estructural de algunos suelos bajo este sistema productivo.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Profundidad efectiva (cm)
Rango	≥ 30 cm Óptima: ≥ 50 cm
Descripción del efecto	• ≤ 30 cm causa poco desarrollo del sistema radical (Salazar-García et al., 2008; Sánchez, 1981).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Aplica la misma "Descripción de la variable en zonas bajo estudio" de la página anterior
Variable	Pendiente (%)
Rango	≤ 1 % a ≤ 20 %. Óptima: ≤ 12 %
Descripción del efecto	≥ 20 %: prevalecen suelos poco profundos que provocan poco desarrollo radical y proporcionan poco sostén a la planta.
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	El cultivar Hass se encuentra en pendientes muy superiores a las reportadas como óptimas (>40 %). En dichos sistemas la susceptibilidad a la erosión laminar y por remoción se incrementa considerablemente, lo cual pone en riesgo la sostenibilidad y la sustentabilidad de los sistemas productivos de aguacate. Sin embargo, muchas plantaciones efectúan prácticas de manejo sobre las terrazas.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Drenaje
Rango	Bien drenados a moderadamente bien drenados
Descripción del efecto	Suelos en condiciones de anegación por períodos superiores a 24 h provocan asfixia radical (FAO, 1999, 2017).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Los suelos donde se encuentran los cultivos de aguacate son, por lo general, moderadamente bien drenados en todo el perfil. Sin embargo, existen suelos que cuentan con esta condición en horizontes hasta los 60 cm y luego pasan a moderadamente mal drenados en horizontes más profundos, donde se evidencian elementos precipitados como el calcio, el hierro y el azufre; este último elemento se evidencia por la presencia de moteados y desprendimiento de olor a esas profundidades. Los productores hacen uso de zanjas de drenaje para sacar el exceso de agua de sus cultivos.
Variable	Contenidos de materia orgánica (MO) (%)
Rango	≥ 2 %. *Óptimo*: ≥ 6 %
Descripción del efecto	• ≤ 2 %: no deseado, dada la función de la MO como fuente y sumidero de nutrientes (Bernal & Díaz, 2008; Calabrese, 1992; Jaramillo & Chaves, 2000; FAO, 2017).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Los contenidos de MO (%) oscilan entre el 10 y el 22 % y disminuyen a medida que se profundiza el perfil.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Acidez (pH)
Rango	≥ 5,5 a ≤ 7,5. *Óptimo:* ≥ 6
Descripción del efecto	• ≥ 7,5 produce clorosis en las hojas dada la limitada absorción de elementos como el Fe, poco disponible en este pH. • ≤ 5,0 efectos tóxicos por alta saturación con Al ≥ 1,1 meq/100 g. • ≥ 7,7 la planta es sensible al Na, se presentan problemas por salinidad con valores de CE ≥ 2,0 $ds.m^{-1}$ (Calabrese, 1992; Jaramillo & Chaves, 2000; FAO, 1997, 1999, 2017; Salazar-García et al., 2008).
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Algunos suelos donde se produce aguacate en la actualidad cuentan con un pH cercano a 5,3 que está por debajo del valor mínimo. Para esta condición particular, los productores recurren a prácticas de encalado y logran mejoras momentáneas, dada la condición *buffer* de algunos suelos. Esta práctica debe ser efectuada con especial cuidado en suelos pertenecientes al orden Andisol, dada la presencia de elementos abundantes como el aluminio y el sílice, que se ocupan del complejo intercambio; esto, aunado a la capacidad de retener elementos como el fósforo puede llegar a causar desequilibrios importantes en la nutrición del aguacate que podrían afectar la fijación de otros elementos importantes que son adsorbidos a pH cercanos a la neutralidad 7 y, por encima de esta, a > 7, como el potasio, el calcio y el hierro (Casanova, 1994). En pH mayores a 7 se comienzan a evidenciar problemas de salinidad que son poco tolerados por el cultivo (Calabrese, 1992; Jaramillo & Chaves, 2000; FAO, 1997, 1999, 2017; Salazar-García et al., 2008). Esto por mencionar algunos de los factores esenciales para las funciones metabólicas que permiten el desarrollo vegetativo y del fruto y que incluso llegan a afectar su calidad en la poscosecha.

(Continúa)

(Continuación tabla 9.1.)

Variable	Porosidad total (PT) (%)
Descripción de la variable en zonas bajo estudio	Se encontró que los sistemas productivos cuentan con una PT ≥ 50 %; sin embargo, la mayor proporción de poros es atribuida a microporos, situación que, asociada a otras variables como la considerable presencia de fracciones finas de partículas, agudiza los problemas asociados al mal drenaje, lo que podría llegar a provocar problemas asociados al sistema radical.

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes citadas y de datos obtenidos de las evaluaciones de algunas variables en campo

Es importante señalar que los rangos asociados a las variables presentes en la tabla 9.1 no deben ser considerados como absolutos, es decir, muchas de las variables presentadas no limitan de forma independiente el cultivo, ya que el conjunto o la interacción de muchas de estas variables son las causantes del éxito o del fracaso de las plantaciones comerciales. También es cierto que algunas de las variables presentes tienen mayor incidencia que otras sobre el cultivo y otras tantas logran mejorarse con planes de manejo agronómico acertados para solventar el problema inicial. Por ejemplo, la variable *pendiente*, por sí sola, puede llegar a tener efectos múltiples sobre otras, como *fertilidad*, *drenaje* y *erosión*, por mencionar algunos de los aspectos involucrados; pero la pendiente puede ser manejada con siembra sobre sistemas de terrazas, la erosión se reduce con el uso de coberturas y el drenaje mejora con zanjas de escorrentía o de infiltración. Así, lo que se quiere evidenciar es que se trata de variables que, de algún modo, el hombre puede controlar (cosa que no sucede, por ejemplo, con la temperatura y la radiación solar o la radiación PAR).

El número de áreas potenciales que puedan darse dentro de la región aumenta o disminuye debido a la variable que se considere limitante; siendo esto así, existirán áreas categorizadas como *altamente potenciales*, donde el número de variables limitantes sea prácticamente cero, o áreas con *potencial limitado* por más de un número significativo de variables; estas últimas son las que requieren de mayor inversión financiera inicial o de establecimiento, así como de mantenimiento para el manejo y la producción exitosa del cultivo.

Debido a esto, la zonificación efectuada en este estudio cobra sentido, ya que no solo fueron identificadas, sino caracterizadas, las demandas o requerimientos del cultivo a nivel fisiológico, edáfico y climático, así como los riesgos sanitarios para su establecimiento y su producción exitosa. Adicionalmente, la evaluación del sistema se efectuó con proyección de sostenibilidad y sustentabilidad, contemplando criterios de salud y de calidad de los suelos, así como riesgos ecológicos, ambientales y condiciones sociales y económicas.

Muchos estudios de zonificación enfocan sus avances en la visualización del cultivo en el territorio solo desde las necesidades edáficas y climáticas. En muchos casos, estas prácticas conllevan que las zonas sugeridas resulten *inviables* o, en el peor de los casos, que no logren cuantificarse las áreas como *potenciales* debido a que las variables limitantes se consideran como factores limitantes únicos, sin evaluar la posibilidad del control agronómico sobre estos. En el primer caso (áreas inviables), existen muchas razones que explican estos resultados, como la existencia de centros poblados o de otros cultivos, pero casi nunca se efectúan estudios de mercado o sociales como base para adoptar un sistema productivo. En este sentido, la sociedad juega un papel fundamental en el cambio de uso de la tierra debido a que es ella quien decide si, por tradición, necesidad, mercado, moda, etc., se adopta o cambia de sistema productivo; por lo tanto, es importante tener en cuenta que la dinámica dentro de las sociedades es compleja y parte de la multifuncionalidad que presente el territorio.

El estudio efectuado dentro del proyecto de zonificación contempló una serie de mapas elaborados a través de diferentes técnicas de geomática: conjuntos borrosos, interpolación Kriging, uso de imágenes de teledetección e índices de vegetación, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por su sigla en inglés). Este conjunto de técnicas, así como la validación de la presencia de las unidades de producción en campo y la toma de información primaria de suelos, registros climáticos, información fisiológica y de limitantes fitosanitarias, sirvieron de marco para la cuantificación de las áreas en uso actual y la determinación de las áreas con potencial para el cultivo de aguacate Hass en la región.

Antes de continuar, es necesario definir el concepto de NDVI o índice de vegetación, el cual se entiende como un parámetro que se calcula a partir de los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert, González-Piqueras, & García-Haro, 1997). El NDVI o índice de vegetación de diferencia normalizada es usado para estimar la cantidad, la calidad

y el desarrollo de la vegetación con base en la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente en una plataforma espacial, que permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas. Así mismo, en la interpretación del índice se deben considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo durante un año, para distinguir las oscilaciones naturales de la vegetación, así como los cambios en la distribución temporal y espacial causados por otros factores. El NDVI permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa), con la ventaja, respecto a otros índices, de tener sencillez de cálculo y facilitar la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación (Departamento Provincial de Aguas, 2017; Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2017).

El NDVI se calcula con la siguiente ecuación:
$NDVI = ((IR - R) / (IR + R))$
Donde:
IR = valores de pixel de la banda infrarroja
R = valores de pixel de la banda roja

Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un *dataset* ráster multiespectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR). El rango de valores de las reflectancias espectrales oscila entre -1 y +1 (Departamento Provincial de Aguas, 2017). A partir de esto, se clasificarían de la siguiente manera:

- El agua tiene reflectancia R > IRC y, por lo tanto, valores negativos de NDVI.
- Las nubes presentan valores similares de R e IRC, por lo que su NDVI es cercano a 0.
- El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos, aunque no muy elevados.
- La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI (ESRI, 2017).

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Diversos estudios y publicaciones señalan que los valores por encima de 0,1 indican presencia de vegetación, y cuanto más alto sea el valor de este índice, las condiciones de vigor son mejores.

De acuerdo con esto, en las imágenes el NDVI presenta color marrón para las zonas con escasa vegetación, hasta verde oscuro en las zonas con vegetación densa; el valor

puede variar dependiendo de la función del uso del suelo, la estación fenológica y la situación hídrica climática de la zona. Este índice permite detectar en qué partes la cobertura vegetal se encuentra en sequía o cuándo la plantación está lista para cosechar ("Teledetección", s. f.).

A continuación se presenta una serie de mapas a escala semidetallada del departamento de Antioquia que lo caracterizan de manera general. Sobre estos, una vez identificadas las zonas con producción de aguacate (mediante el programa ArcGIS), se efectuaron los algoritmos para determinar las áreas potenciales según los rangos óptimos de las variables presentes en la tabla 9.1.

La figura 9.7 corresponde a un mapa construido a partir de la información oficial obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En esta figura se evidencian cuatro tipos de climas delimitados por el factor temperatura en el departamento de Antioquia: cálido, templado, frío y muy frío.

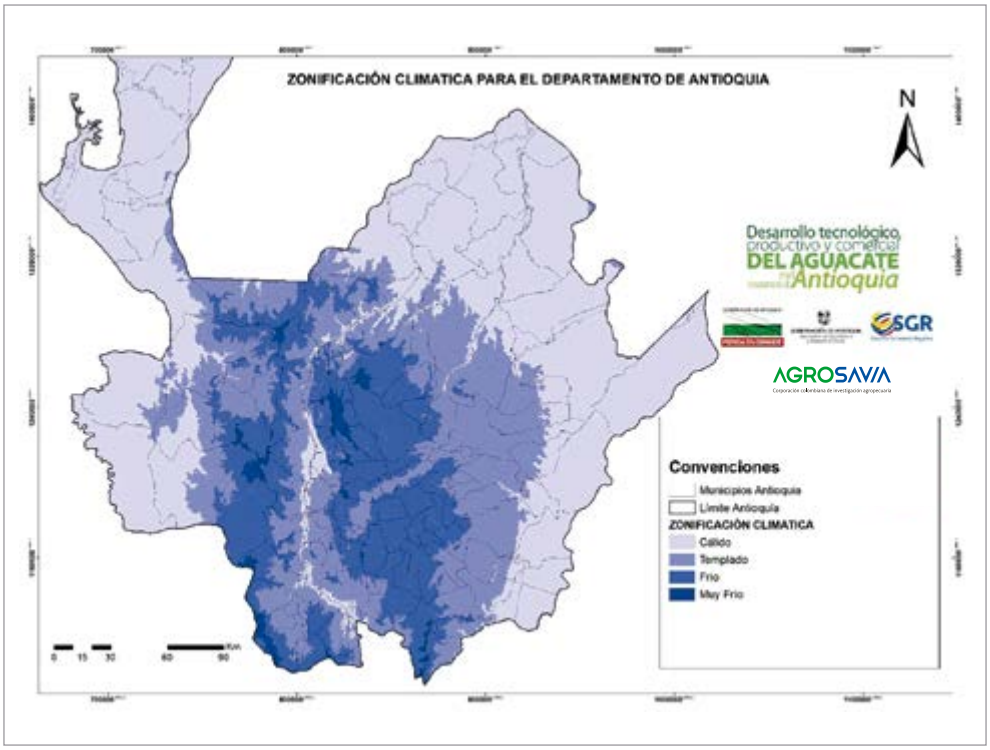


Figura 9.7. Mapa del clima en el departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia a partir de IGAC (2007) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam] (2017)

Las zonas productoras de aguacate cultivar Hass a nivel comercial se encuentran principalmente en zonas de clima frío a templado, como se evidencia en la figura 9.8.

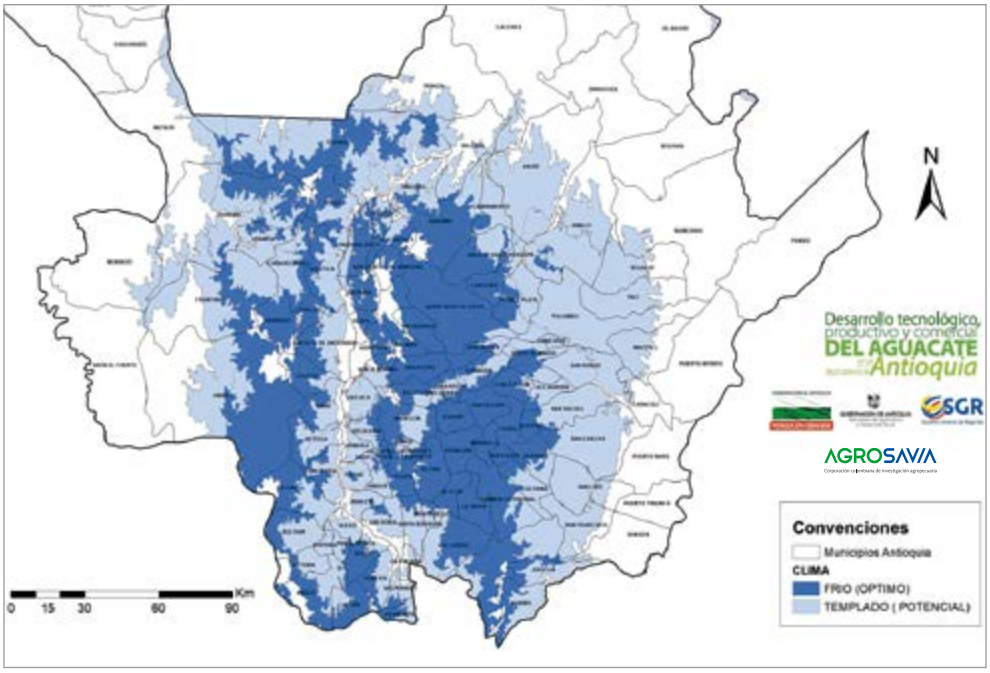


Figura 9.8. Mapa de clima óptimo y potencial para el cultivo de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

El mapa del promedio anual de precipitación fue elaborado a partir de información del IGAC (2007) y del Ideam (2017), así como con la información proveniente de la serie de datos históricos pertenecientes al proyecto Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA) (Corpoica & Fondo de Adaptación, 2016), ejecutado por Corpoica. Del mismo modo, se consideró información climática obtenida a través de estaciones establecidas por el proyecto financiado por el Sistema General de Regalías (SGR), SGR-Aguacate, para el monitoreo de variables climáticas en áreas con cultivos comerciales (figura 9.9).

En el mapa se presentan tres rangos: el primero abarca desde los 1.001 hasta los 2.000 mm/año; el segundo va desde los 2.001 hasta los 3.000 mm/año, y el tercero desde los 3.000 a los 7.000 mm/año. Estos rangos son los que se observan en Antioquia, aunque no son los que la literatura reporta como óptimos para el aguacate cv. Hass.

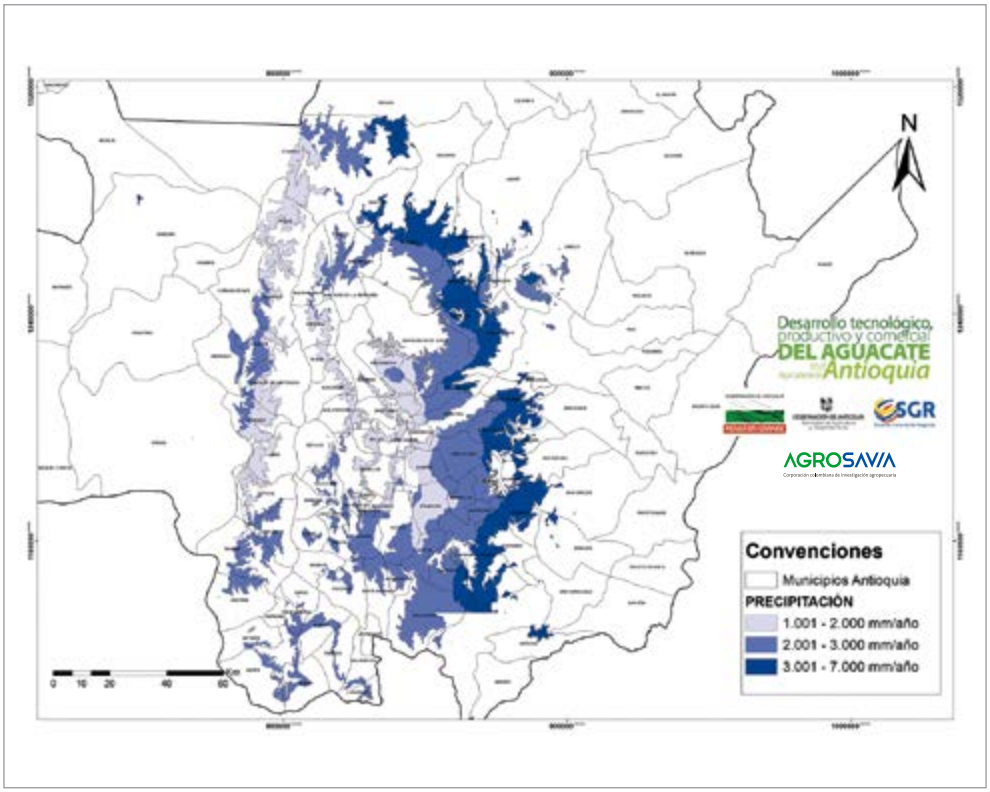


Figura 9.9. Mapa de precipitación promedio anual del departamento de Antioquia (mm/año).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGAC (2007), Ideam (2017) y Corpoica y Fondo de Adaptación (2016)

Es importante señalar que los datos presentes en la tabla 9.1 corresponden a la precipitación acumulada para los municipios donde el proyecto logró establecer las estaciones climáticas. Dicha información fue corroborada con datos de las estaciones cercanas a los sitios de muestreo establecidas por el Ideam, por lo cual se considera información primaria.

El mapa de la figura 9.10 fue construido con base en la información del Estudio General de Suelos elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2007) y el estudio de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare [Cornare] (1995). Según el estudio a escala semidetallada, en Antioquia hay tres asociaciones de suelos: la primera, en color verde, señala cinco órdenes predominantes: Entisol, Inceptisol, Mollisol, Andisol y Alfisol; la segunda cuenta con el agrupamiento de dos órdenes de suelos principales, Entisol e Inceptisol; y la tercera agrupa tres: Histosol, Entisol e Inceptisol.

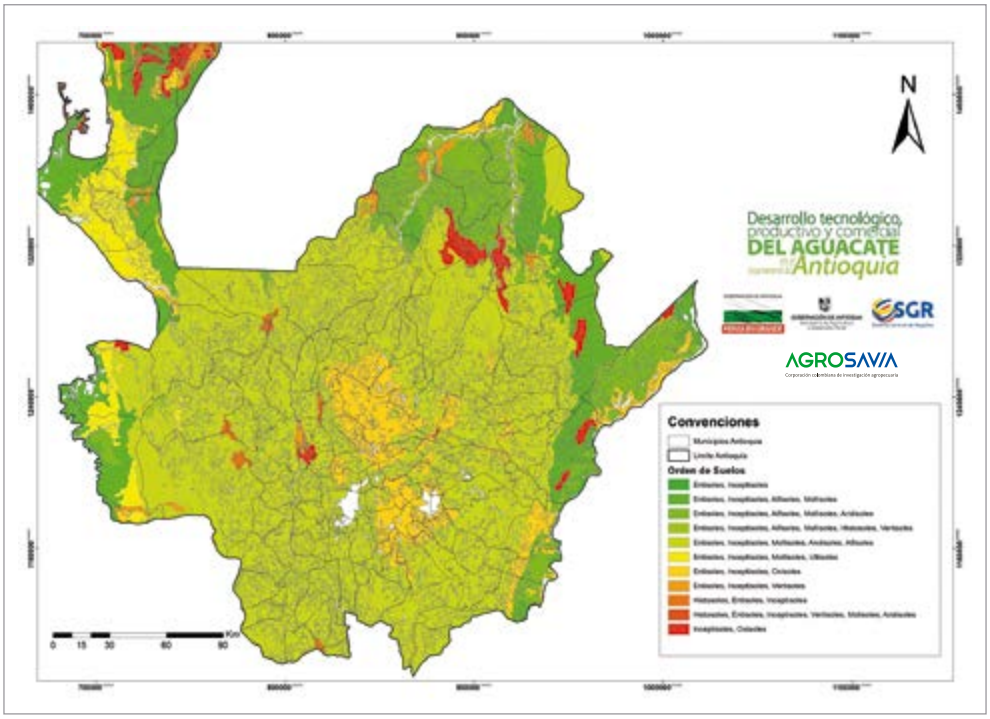


Figura 9.10. Mapa de órdenes de suelos presentes en el departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGAC (2017)

Al momento de validar la presencia de las unidades productivas y de caracterizarlas a través de la evaluación de diferentes variables para determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos, se procedió a efectuar una serie de perfiles modales con el fin de validar la información presente en el mapa y, a la vez, caracterizar las variables pertinentes sobre dichos perfiles. De igual modo, se usaron perfiles ubicados en taludes de carreteras para la clasificación de estos órdenes de suelos.

Dentro de estas asociaciones de suelos, los aguacates cultivados comercialmente se encuentran principalmente en los órdenes Inceptisol, Andisol, Entisol, Mollisol y Oxisol. El orden Inceptisol se encontró en muchas de las unidades productivas visitadas, con presencia en el norte, el suroeste y el oriente del departamento (figuras 9.11 y 9.12).

Andisol es el segundo orden que se presenta en las zonas del departamento donde hay cultivares de aguacate Hass y en algunas plantaciones se encuentra en compañía de Entisol.

Fotos: Tatiana Mallanín Rondón Salas

Figura 9.11. Perfiles modales en fincas productoras de aguacate. a. Inceptisol; b. Andisol.

Foto: Katherine Rodríguez

Figura 9.12. Perfil de suelo Oxisol, encontrado en menor proporción dentro de los sistemas productivos de aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.

El establecimiento de unidades comerciales sobre suelos de los órdenes Entisol, Mollisol, Oxisol y Alfisol tiene una menor proporción que el establecimiento sobre el resto de los órdenes mencionados. Al observar la variabilidad de órdenes presentes, es posible pensar que el cultivar Hass es flexible ante diferentes condiciones de suelos; sin embargo, este cultivar está sobre un portainjerto o patrón, el cual es el que verdaderamente se adapta a una determinada condición del suelo según su rusticidad. En la actualidad, algunos productores están intentando establecer el cultivar Hass con un patrón o portainjerto de la misma variedad, tal y como se hace en países como Chile, donde ha resultado ser una buena estrategia para reducir problemas de incompatibilidad con el patrón, aunque se trata de una técnica de manejo que debe ser comprobada para su implementación dentro de las unidades de producción ubicadas en el departamento, dado que las condiciones edafoclimáticas son distintas.

Dentro de los órdenes de suelos encontrados, las principales limitantes son el drenaje, las pendientes, la estructura y los niveles de pH ácidos y extremadamente ácidos. Los suelos recomendados para el cultivo de aguacate respecto a la variable *textura* son de tipo franco, en especial cuando tienen tendencia a presentar partículas medias y gruesas. Al validar esta información en campo, se encontró que la mayoría de los cultivares comerciales están ubicados en suelos con las texturas siguientes: franca (F), pero con tendencia a presentar partículas finas, como franco-arenosas (Fa) con predominio de arenas finas y muy finas en un porcentaje >50 %; franco-arcillo-limosas (FAL), franco-arcillo-arenosa (FAa) y, solo en algunos, casos areno-francosa (aF). Esto genera problemas de drenaje superficial y subsuperficial debido a que, a pesar de contar con un suelo franco a nivel textural, el predominio de las partículas finas (como arenas muy finas cuyo diámetro es similar al de las partículas de limo) genera un comporta-miento en campo semejante al de un suelo con condiciones asociadas a la textura de tipo fina, como suelos arcillo-limosos (AL) o franco-limosos (FL), por lo cual se presenta una condición de drenaje deficiente.

En vista de ello, los productores se ven en la necesidad de implementar zanjas de escorrentía dentro de los huertos, algunas muy profundas, con la idea de eliminar el exceso o la acumulación de agua para evitar problemas de tipo sanitario o de asfixia radical. Para algunos productores, estas técnicas de manejo han funcionado cuando el problema de texturas mixtas se encuentra a partir de los 80 cm de profundidad; para otros el problema es más complejo de manejar, ya que si se encuentra a los 60 cm o antes se hace difícil la exploración de las raíces y, en algunos casos, se presentan enfermedades relacionadas con el sistema radical debido al exceso de humedad. Algunos de los suelos estudiados presentan texturas mixtas, lo cual hace difícil el manejo del drenaje.

Otro problema es la variable *pendiente*, ya que los suelos donde se encuentra sembrado el aguacate, en su mayoría, alcanzan pendientes superiores al 30 %, lo cual trae consigo problemas potenciales de erosión elevada y, por ende, de degradación física de los suelos. Si bien el aguacate Hass ha logrado establecerse en estas condiciones, la sostenibilidad y, en algunos casos, la sustentabilidad del sistema productivo se ven comprometidas debido a que existe una alta probabilidad de lavado o arrastre de nutrientes provenientes de la escorrentía superficial. Esto puede traducirse en la necesidad de mayor aplicación de nutrientes por parte del productor, que incurriría en un incremento de sus costos operativos y, lo que es más delicado, podría contaminar las aguas superficiales y generar problemas de acidificación del suelo por la mayor aplicación de fertilizantes (Cuesta, 1994; Day, Hughes, & Butcher, 1992; Dumsday & Seitz, 1985). El aguacate Hass, en muchos huertos, se encuentra en pendientes superiores a las recomendadas, y aunque algunos productores efectúan la siembra sobre terrazas, en la mayoría de las plantaciones esta práctica no es usada.

El mapa de uso potencial basado en la variable *pendiente* (figura 9.13) fue elaborado considerando tres rangos, que incluyen el rango óptimo recomendado por los estudios previos y la literatura; sin embargo, también se consideraron valores de pendientes en las cuales se encuentran actualmente cultivares de aguacate y que presentan un potencial variable según el manejo agronómico que se haga en estos sistemas productivos. Esto es importante porque dicho mapa fue elaborado contemplando la realidad de los sistemas productivos en el departamento y no únicamente los valores recomendados en la literatura (tabla 9.1). Los rangos de la variable *pendiente* establecidos fueron los siguientes: 0-12 %, 12,1-20 % y 20,1-30 %. Las áreas potenciales en Antioquia, para los rangos de pendientes establecidos, son las siguientes: 1.747.736,8; 1.029.808,62 y 1.059.197,86 ha, respectivamente. Sin embargo, estas áreas solo consideran como limitante la variable *pendiente* dentro del territorio.

La figura 9.14 muestra un mapa elaborado con diversas técnicas, pero la base es el índice de vegetación NDVI. Para su construcción, se trazaron polígonos sobre plantaciones comerciales en campo utilizando un GPS. Con la herramienta de teledetección se encontró un valor promedio para todos los polígonos trazados donde existe el cultivar Hass. Estos polígonos fueron trazados y diferenciados en plantaciones con distintas edades, con el propósito de detectar dónde se encontraba aguacate Hass en el territorio. Con un promedio de 5 en el rango de NDVI, toda el área en color azul oscuro es donde se encuentra actualmente establecido el cultivo de aguacate Hass.

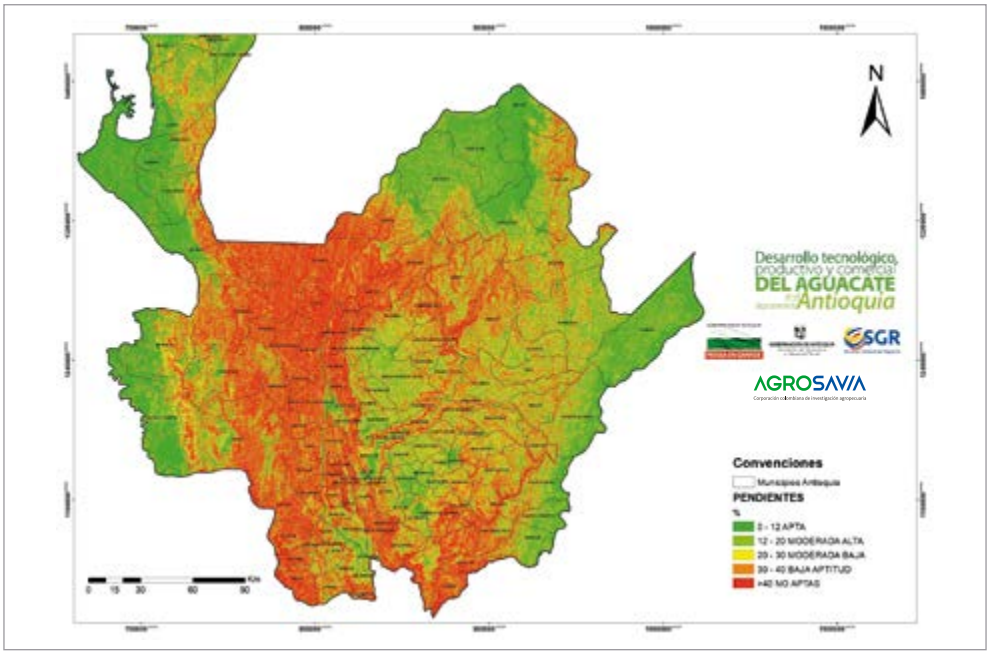


Figura 9.13. Mapa de zonas aptas para aguacate cv. Hass en Antioquia delimitado por pendientes.
Fuente: Elaboración propia

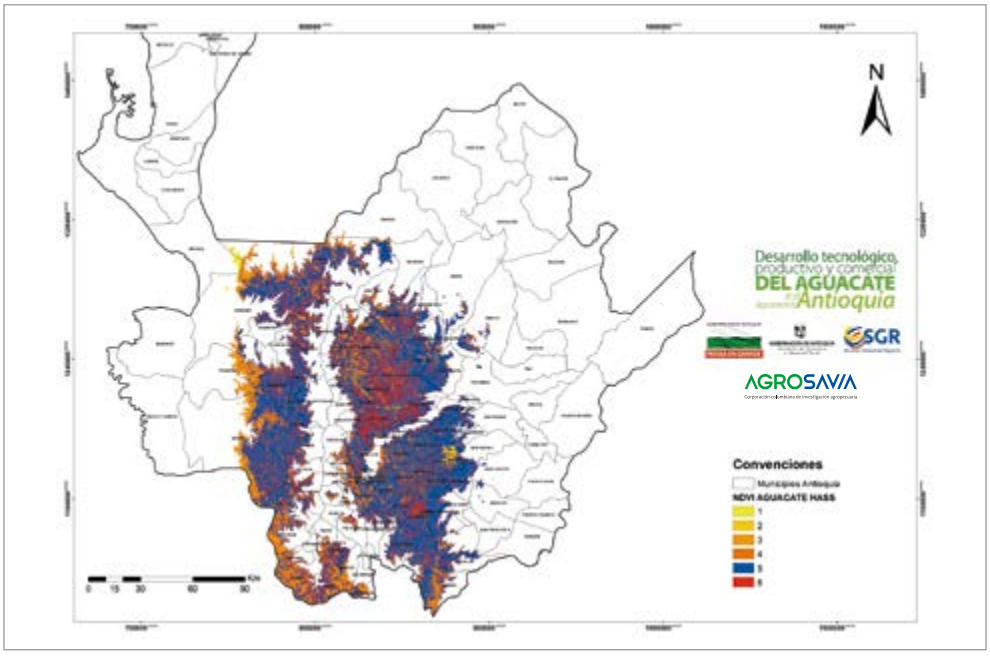


Figura 9.14. Mapa de cultivo actual de aguacate Hass en el departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que, al no existir la huella espectral de este cultivo, debido al alto costo de su determinación (que no es objeto de este estudio), la probabilidad de acierto del cultivo con las metodologías utilizadas es del 70 %, ya que pueden estar siendo cuantificadas zonas *buffer* o de algún otro cultivar cuya reflectancia sea muy similar al cultivar Hass. El total estimado de hectáreas con presencia de aguacate Hass dentro del departamento es de 303.903,63, lo cual representa el 0,48 % de Antioquia. Es necesario señalar que el nivel de probabilidad puede aumentar considerablemente si se efectúan estudios específicos para establecer la huella espectral de este cultivar.

Por último, se puede mencionar que dentro de las limitantes importantes para el aguacate Hass se encuentra la altitud, dado que los rangos son muy amplios: desde los 1.100 hasta los 2.200 m s. n. m.; con base en ello, se consideraron los rangos máximos y mínimos como criterio respecto a la altitud en la cual se debe establecer el cultivar para lograr producciones exitosas. En Antioquia existen huertos comerciales ubicados por encima de la altitud óptima recomendada cuya producción de fruta va hacia el comercio internacional. Sin embargo, dichas plantaciones sufren los embates de las bajas temperaturas o la presencia de granizadas que dañan la fruta o provocan su caída en etapas tempranas, lo cual acarrea pérdidas económicas para los productores. Estos riesgos se acentúan a medida que las plantaciones comerciales son establecidas cerca a los extremos del rango de altitud recomendado.

Descripción de la tipología de sistemas productivos de aguacate cv. Hass en Antioquia

La caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas productivos de aguacate cv. Hass en Antioquia tomó como insumo base las encuestas realizadas dentro del componente socioeconómico del proyecto "Zonificación del cultivo de aguacate Hass con base en criterios de sostenibilidad y competitividad". Dichas encuestas incluyeron preguntas socioeconómicas, pero se enfocaron especialmente en identificar el nivel tecnológico de las fincas consideradas. El análisis estadístico utilizado para procesar la información fue multivariado y permitió identificar cuatro grupos homogéneos de sistemas productivos en Antioquia, numerados de 1 a 4 en función del nivel tecnológico. Los grupos 1 y 2 se describieron de manera conjunta debido a que el resultado de la mayoría de variables utilizadas en el análisis reportaron resultados similares. Igualmente, se realizó una descripción conjunta de los grupos 3 y 4.

Grupos 1 y 2: El 44 % de las fincas de la muestra total se encuentran en estos dos grupos. Estas fincas tienen un tamaño que oscila entre 5 y 8 ha. Más del 60 % de las fincas de estos dos grupos tiene un acceso principal a una red vial terciaria y más del 60 % se encuentra a una distancia de la cabecera municipal de entre 1 y 10 km. Más del 95 % de los productores de estos grupos se declaran propietarios de los predios donde se encuentra establecido el cultivo de aguacate.

Alrededor del 60 % de los productores de ambos grupos declaró no tener acceso a asistencia técnica, y aquellos que la tienen optan, en su mayoría, por los servicios de un asistente técnico particular. La preparación del suelo para el establecimiento de aguacate se hace de manera manual en más del 90 % de los predios de ambos grupos, y en poco más del 50 % se encuentra asociado a otro tipo de cultivo, principalmente fríjol, maíz y arveja. La fertilización predominante para ambos grupos es de tipo integral, que combina fertilizantes químicos y abonos orgánicos. Con respecto al manejo de plagas y enfermedades, predomina el uso de sustancias químicas, con más de un 70 % de predios en cada grupo que reportó esta práctica. En más del 80 % de los predios de cada grupo se producen alimentos para el autoconsumo de las familias de los productores. En poco más del 10 % de ambos grupos, los cultivos cuentan con certificado de exportación del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

El número aproximado de árboles de aguacate Hass establecidos en los predios es de 450, con distancias que varían entre 6 × 6, 7 × 7 y 8 × 8. Las áreas sembradas están alrededor de las dos hectáreas y solo la mitad de estas se encuentra en producción. Los cultivos del grupo 1 son los más jóvenes, con menos de cinco años. Para el grupo 2, la edad de los huertos alcanza los cinco años. Los rendimientos por hectárea para ambos grupos están alrededor de las 4,5 t/ha.

Los productores de ambos grupos reciben por cada kilo vendido de aguacate un poco más de $1.500 y comercializan o el producto a través de intermediarios en plazas de mercado o almacenes de cadena.

Un poco más del 20 % de los predios en ambos grupos lleva algún tipo de contabilidad de costos de producción. Más del 8 % de los productores declara tener algún tipo de acuerdo comercial de tipo formal, la mayoría de veces con comercializadoras nacionales e internacionales. Con el fin de financiar la actividad del cultivo de aguacate Hass, el 33% de los productores de ambos grupos solicitaron créditos a la banca el año anterior a la encuesta, y a más del 60 % de ellos les fue concedido. Aproximadamente el 80 % de los productores en ambos grupos ha recibido apoyo estatal o de otra fuente para el desarrollo de la actividad aguacatera. Más del 40 % de los productores

reportan estar organizados bajo algún tipo de asociación de productores, y más del 70 % de ellos dice haber percibido algún beneficio de dicho ejercicio.

Grupos 3 y 4: Estos dos grupos representan el 56 % de las fincas de la muestra total. Los predios del tercer grupo tienen un tamaño de entre 10 y 60 ha, mientras que en el grupo 4 los predios tienen más de 60 ha. Más del 60 % de las fincas en ambos grupos se encuentran ubicadas a una distancia de entre 1 y 10 km de las cabeceras municipales. Más del 80 % de los productores de estos dos grupos se declaran propietarios de los predios donde se encuentran establecidos los huertos de aguacate Hass. Más del 95 % de los productores en estos dos grupos acceden a servicios de asistencia técnica, y poco más del 70 % de ellos reporta hacer uso de los servicios de un asistente técnico particular. La preparación del suelo para establecer el cultivar se hace de manera manual en más del 90 % de los predios y en más del 15 % el aguacate Hass se establece como sistema de monocultivo.

El tipo de fertilización predominante en el grupo 3 es de tipo integral, combinando fertilizantes químicos y abonos orgánicos, mientras que en los predios del grupo 4 se realiza preferentemente con fertilizantes químicos. Con respecto al manejo de plagas y enfermedades, en el grupo 3 predomina el uso de un control fitosanitario integral, pero también existen fincas que reportan hacer uso únicamente de remedios biológicos, orgánicos o químicos. En el grupo 4 predomina la aplicación de un manejo fitosanitario integral. Más del 70 % de las fincas cuenta con certificado de predio exportador ICA y poco más del 40 % con la certificación de buenas prácticas agrícolas de GlobalGap.

El número aproximado de árboles de aguacate Hass establecidos para ambos grupos es de más de 700. Las distancias de siembra predominantes para ambos grupos son de 6 × 6 y 7 × 7. Las áreas sembradas para el grupo 3 y 4 son de más de 3 y 10 ha respectivamente. Los huertos de ambos grupos tienen en promedio un poco más de 6 años y los rendimientos son aproximadamente de un poco más de 9 t/ha. Menos de la mitad de los predios en ambos grupos producen alimentos para el autoconsumo. Los productores de ambos grupos reciben un precio por kilo vendido de aguacate de más de $2.500 y comercializan el producto a través de intermediarios a nivel nacional e internacional.

Con respecto al registro de costos de producción, en el grupo 3 menos del 50 % de los productores reportan esta actividad, mientras que en el grupo 4 menos del 10 % de los productores la lleva a cabo. Más del 70 % de los productores en estos dos grupos declara tener algún tipo formal de acuerdo con comercializadoras o

exportadoras. Más del 50 % de los productores declara estar asociado bajo algún tipo de organización de productores y más del 85 % de ellos dice haber percibido algún beneficio de dicho ejercicio.

El número aproximado de árboles establecidos de aguacate Hass para el grupo 3 es de 800 plantas por predio, mientras que en el grupo 4 los predios tienen establecidos alrededor de 4.000 árboles. Las distancias de siembra predominantes para ambos grupos son de 6 × 6 y 7 × 7. Las áreas sembradas rondan las 4 ha en el grupo 3, mientras que en el grupo 4 alcanzan las 13 ha. Los cultivos de ambos grupos tienen en promedio 6 años y los rendimientos están alrededor de las 6 t/ha. Tan solo en el 34 % de los predios de estos dos grupos se producen alimentos para el autoconsumo.

Los productores de ambos grupos reciben un precio por kilo vendido de aguacate de alrededor de $2.500 y comercializan el producto a través de intermediarios a nivel nacional e internacional.

Durante todo este análisis se procedió a efectuar la cartografía de los grupos socioeconómicamente homogéneos, especialmente en cuanto al nivel tecnológico. El mapa fue elaborado empleando la interpolación de Kriging (figura 9.15).

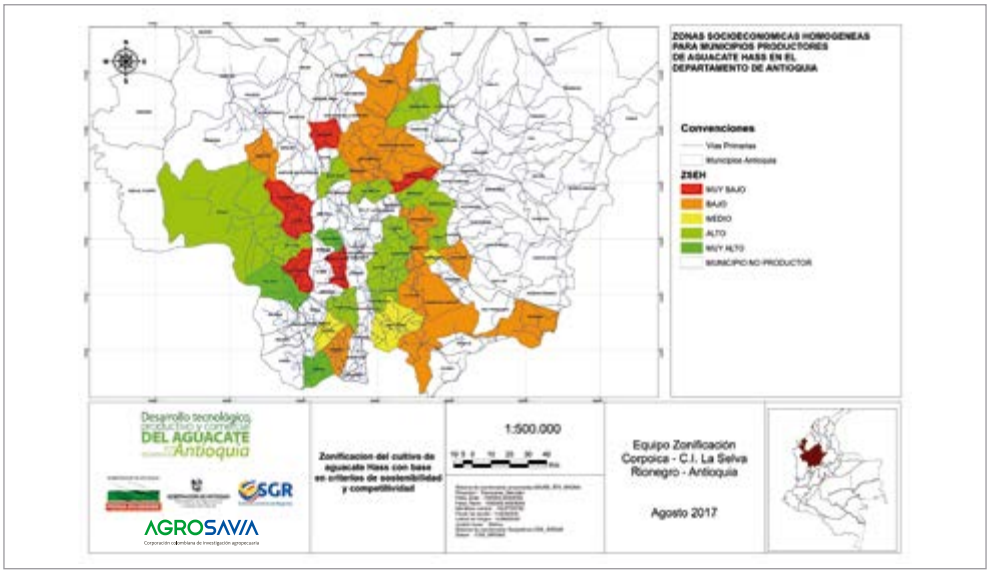


Figura 9.15. Mapa de zonas socioeconómicamente homogéneas para municipios productores de aguacate Hass en el departamento de Antioquia.

Nota: Este mapa se realizó para poder mostrar las zonas mencionadas a nivel departamental. El mapa original se encuentra dividido por municipios, a una escala 1:25.000.

Fuente: Elaboración propia

Zonas aptas y competitivas para el aguacate cv. Hass en Antioquia

Para determinar las zonas aptas y competitivas para el aguacate Hass, se elaboró un mapa (figura 9.16) que contempla las diferentes variables obtenidas mediante información primaria y secundaria con la metodología propuesta por Comerma y Arias (1971) y FAO (2017), y con ajustes de la metodología de la UPRA (2014). Para esto, se categorizaron 31 variables dentro de cuatro dimensiones: biofísica, económica, social y tecnológica; a cada una de estas dimensiones y variables les fue asignado un peso porcentual y como resultado se obtuvo un mapa de zonas aptas y competitivas para el aguacate Hass en Antioquia.

En la figura 9.16 se aprecia que las zonas dentro de los municipios que presentan mayor aptitud y competitividad son aquellas de color verde oscuro. La distribución de esta categoría se aprecia fácilmente, en mayor proporción, en los municipios de San Pedro de los Milagros, Belmira, Entrerríos, Santa Rosa, Guatapé, El Peñol, Rionegro, Guarne, Marinilla, La Unión y La ceja, y en algunas zonas de Urrao y Sonsón, con un área aproximada de 152.110 ha.

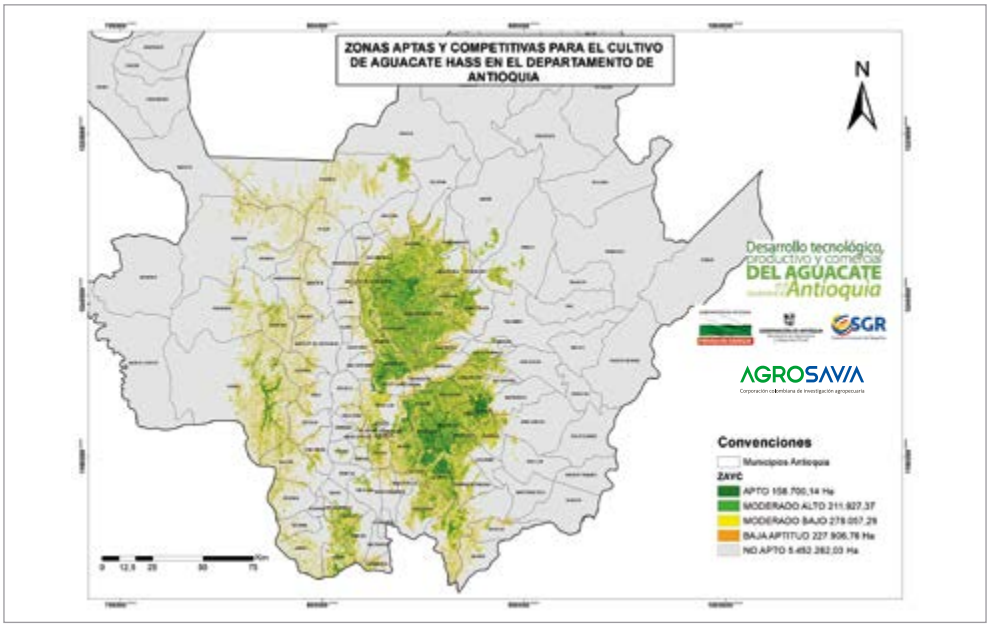


Figura 9.16. Mapa de zonas aptas y competitivas para aguacate cv. Hass en el departamento de Antioquia.
Nota: La escala del mapa original es 1:25.000; esta es una muestra para poder visualizarlo en su totalidad.
Fuente: Elaboración propia

Las zonas de moderada a alta potencialidad y competitividad están señaladas en color verde claro. Esta categoría se identifica en algunas áreas de los municipios mencionados, pero cobran importancia nuevas zonas ubicadas en otros municipios como Jericó, Támesis, Jardín, Angostura, Carolina del Príncipe, Yarumal, Abejorral; el oeste de Gómez Plata; el noreste de los municipios de Frontino, Abriaquí y Liborina; el norte de Medellín y Fredonia; y el sur de Angelópolis, Concordia y Salgar, con un área aproximada de 202.110,5 ha.

La distribución de las zonas con moderada a baja aptitud y competitividad está señalada en amarillo y tiene un área aproximada de 263.525,86 ha. El área con baja aptitud y competitividad se encuentra señalada con color naranja, la cual abarca aproximadamente 214.325,46 ha. Ambas categorías se aprecian hacia el noroeste de los municipios de Bolívar, Salgar, Caicedo, Urrao e Ituango y hacia el centro-oeste de Dabeiba, así como al este del departamento, en Alejandría, Granada, San Luis y Argelia.

Se puede apreciar un descenso en la aptitud y competitividad hacia el centro del departamento: municipios como Barbosa, Girardota, Copacabana, Medellín y parte de Itagüí resultan no aptos ni competitivos para el cultivo de aguacate Hass. Así mismo, el color gris que representa esta categoría se expande por el resto del territorio hacia los bordes del departamento donde las condiciones climáticas, ambientales y sociales no son favorables para el desarrollo de este cultivar.

Es evidente que en el mapa se forma lo que se puede denominar *eje aguacatero* casi en el centro del territorio, ya que abarca el mayor porcentaje para las dos primeras categorías: aptas y competitivas a moderadamente aptas y competitivas. El resto de categorías se distribuyen de manera atomizada por el territorio, aunque es importante señalar que la menor aptitud es sinónimo, en este caso particular, de la necesidad de mayor inversión, al igual que, posiblemente, de menor sustentabilidad y sostenibilidad del sistema productivo. Por ello estas zonas son las menos favorecidas cuando se conjugan no solo variables biofísicas, sino también económicas, sociales y tecnológicas.

Este estudio permitirá, tanto a los entes gubernamentales como a los posibles inversionistas, tomar decisiones respecto a la selección de zonas para establecer huertos comerciales con un mayor porcentaje de acierto, procurando así que los próximos huertos comerciales de aguacate Hass sean establecidos en áreas que apoyen sistemas productivos sostenibles y sustentables.

Referencias

Agronet. (2019). *Base de datos online*. Recuperado de http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx.

Ávilan, D., Rojas, J., Suárez, J., & Miranda, D. (2014). *Criterios para el establecimiento de un proyecto productivo de aguacate en el departamento del Tolima; municipio de Mariquita* (tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Bogotá, Colombia.

Benacchio, S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el Trópico Americano*. Maracay, Venezuela: Fonaiap - Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura y Cría.

Bernal, J. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín, Colombia.

Bernal, J., & Díaz, C. (Comps.) (2008). *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/tecnologacultivoaguacate.pdf.

Calabrese, F. (1992). *El aguacate*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

Cámara de Comercio de Medellín. (2012). *Cadena del aguacate en Antioquia*. [Informes Estudios Económicos]. Recuperado de http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Publicaciones%20regionales/1%20Aguacates_Oct19.pdf.

Casanova, E. (1994). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.

Centro de Comercio e Inversión de AmCham Colombia. (2015). *Aguacate Hass: una oportunidad cercana para los exportadores colombianos*. Recuperado de https://amchamedellin.com/imagenes/articulo/archivo/aguacate-hass1442.pdf.

Comerma, J., & Arias, L. (1971). *Un sistema para evaluar las capacidades de uso agropecuario de los terrenos en Venezuela*. Maracay, Venezuela: Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.

Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare). (1995). *Uso potencial del suelo en los municipios del Altiplano del Oriente Antioqueño (Rionegro, Marinilla, San Vicente, El Carmen de Viboral, Guarne, El Retiro, La Ceja, El Santuario y La Unión)*. Rionegro, Colombia: Cornare.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) & Fondo de Adaptación. (2016). *Modelos de adaptación y prevención agroclimática (MAPA)*. Recuperado de http://www.corpoica.org.co/site-mapa/mapa/.

Cuesta, M. D. (1994). Economic analysis of soil conservation projects in Costa Rica. En E. Lutz, S. Pagiola, & C. Reiche (eds.), *Economic and institutional analyses of soil conservation projects in Central America and the Caribbean* (pp. 40-52). Washington DC, EE. UU.: World Bank.

Day, J. C., Hughes, D. W., & Butcher, W. R. (1992). Soil, water and crop management alternatives in rainfed agriculture in the Shael: an economic analysis. *Agricultural Economics*, *7*(3-4) 267-287. Recuperado de https://doi.org/10.1016/0169-5150(92)90053-2.

Departamento Provincial de Aguas. (2017). *Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)*. Recuperado de: http://www.dpa.gov.ar/clima/informes/NDVI.pdf.

Díaz, J. C., Ardila, C., & Guerra, M. A. (2019). Estudio de caso sobre la admisibilidad del aguacate Hass colombiano en el mercado estadounidense: oportunidades en el Este de Asia. *Revista Mundo Asia Pacífico*, *8*(145), 5-27. https://doi.org/10.17230//map.v8.i14.01

Dumsday, R., & Seitz, W. (1985). A model for quantifying incentive payments for soil conservation in cropping regions subject to water erosion. En S. A. El-Swaify, W. C. Moldenhauer, & A. Lo (eds.), *Soil erosion and conservation* (pp. 296-305). Ankeny, EE. UU.: Soil Conservation Society of America.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2017). *Función NDVI*. Recuperado de http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm.

Fischer, G., & Orduz-Rodríguez, J. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fischer (ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Bogotá, Colombia: Produmedios.

Galán-Sauco, V. (1990). Aguacate. En *Los frutales tropicales en los subtrópicos* (Vol. 1). *Aguacate, mango, litchi y longan* (pp. 50-53). Madrid, España: Mundi-Prensa.

Gandolfo, S. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal, Valencia, España.

Gilabert, M., J. González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, *8*, 1-10.

Gobernación de Antioquia. (2016). *Anuario estadístico de Antioquia 2016*. Recuperado de http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/anuario-estadistico-de-antioquia-2016.

Gobernación de Antioquia. (2018). *Anuario Estadístico de Antioquia: evaluaciones agropecuarias* [Documento interno]. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (SADRA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2017). *Tiempo y clima. Atlas climatológico, de radiación y de viento*. Recuperado en http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Antioquia*. Bogotá: autor.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2017). *Datos abiertos agrología – Mapas de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000. Departamento: Antioquia* [Shapefile]. Recuperado de https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/datos-abiertos-agrologia.

International Trade Centre (ITC). (2017). *Trade Map, datos para análisis e investigación de mercados*. Recuperado de http://www.trademap.org/Index.aspx.

Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, *51*(2), 102-113. Recuperado de http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(02)102-113.pdf.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1997). *Zonificación agroecológica. Guía general*. Recuperado de 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*. Recuperado de http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/manejoefi%20nuti.pdf.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2017). *Faostat, datos sobre alimentación y agricultura*. Recuperado de http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2018). *Faostat, datos sobre alimentación y agricultura*. http://www.fao.org/faostat/es/#data/TP

Saavedra, R., Vásquez, H., & Mejía, E. (2012). Aguacate (Persea americana Mill.). En G. Fischer (ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 319-348). Bogotá, Colombia: Produmedios.

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. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n2/v14n2a8.pdf.

Sánchez, J. L., Alcántar, J. J., Coria, V. M., Anguiano, J., Vidales, I., Tapia, L. M., ... Vidales, J. A. (2001). *Tecnología para producir aguacate en México*. [Libro técnico Nº 1]. Michoacán, México: Sagarpa-Inifap, Campo Experimental Uruapan.

Sánchez, P. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

"Teledetección". (s. f.). *Teledetección y estudio de la vegetación*. Recuperado de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td_ndvi.htm.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2014). *Consolidación de la metodología de evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000)*. Bogotá, Colombia: autor.

Capítulo X

Estructura de costos de producción

Jorge Alonso Bernal Estrada
Cipriano Arturo Díaz Díez

Conceptos básicos

Según García (2004), se entiende por *costo* la inversión requerida para producir un bien o prestar un servicio. El costo tiene la connotación de contribuir a un objetivo de producción; en esto, se diferencia del concepto de *gastos*. El establecimiento de costos de producción agrícola es un instrumento para tomar decisiones y, como tal, debe proveer la mejor información posible a fin de disminuir el riesgo. Por esta razón, se deben construir costos de producción lo más cercanos a la realidad. Algunas de las decisiones que se toman con base en los costos agrícolas son las siguientes:

- Iniciar o no un negocio según la coyuntura política o de gobierno alrededor del cultivo (incentivos tributarios, créditos blandos, recursos de fomento, reducción de intereses y periodos de gracia, entre otros)
- Orientar la investigación (algunos rubros en la estructura de costos pueden dar pie a demandas de investigación con miras a reducir gastos y aumentar los rendimientos)

- Establecer ventajas comparativas (evaluar si la zona donde se establece el cultivo presenta las mejores condiciones de adaptación, productividad e inversión sobre otras especies potenciales)
- Invertir en un cultivo u otro
- Otorgar financiación para inversiones agrícolas
- Constituir un seguro de cosecha
- Recibir prendas sobre cultivos
- Realizar avalúo de daños

Factores que afectan los costos agrícolas

Los costos agrícolas dependen de la oferta ambiental propia de cada ecosistema, del balance hídrico de la región, de la luminosidad, la humedad relativa y las heladas, entre otros factores. El aporte de agua por precipitación, por ejemplo, determinará la necesidad de que se generen costos por riego o mantenimiento de drenajes, la fotosíntesis depende de la luminosidad, la presencia de hongos patógenos puede estar influenciada por una mayor humedad relativa o mayor nubosidad y los cambios bruscos de temperatura causan estrés en la planta y alteran su fisiología.

Por otra parte, los costos agrícolas dependen de los patrones de tecnología: el uso indiscriminado o inadecuado de insumos industriales puede encarecer innecesariamente los costos. De acuerdo con todos los criterios enunciados anteriormente, se obtienen los costos totales por unidad de superficie.

Producción agrícola

Los costos agrícolas son la inversión requerida para obtener una determinada cantidad de producto. La producción, a su vez, depende de varios factores que se pueden agrupar así:

- Potencial genético de la especie cultivada
- Disponibilidad de agua
- Disponibilidad de nutrientes
- Uso eficiente de la energía solar
- Talento humano (manejo del cultivo, administración, control de plagas y enfermedades)

Costos unitarios

García (2004) menciona que el *costo unitario* es el costo total del cultivo dividido entre el número de unidades producidas, es decir, el costo de producir una unidad de producto, ya sea un kilogramo o una tonelada. Este costo unitario de producción se puede comparar con el precio unitario que paga el mercado por el producto, lo cual permite tomar decisiones.

Si se mantiene constante el patrón de costos totales y la producción resulta eficiente —es decir, con una mayor cantidad de unidades producidas—, el costo unitario disminuye; por el contrario, con una menor producción con el mismo costo, se aumenta el valor del costo unitario. De igual forma, si se mantiene constante la producción, pero se disminuyen los costos totales, se logra bajar el costo unitario del producto.

En general, la disminución de costos unitarios garantiza la competitividad del cultivo y su permanencia en el mercado, por lo cual, esta debe ser un propósito de los productores, apoyados por los investigadores, extensionistas y asistentes técnicos. Con base en el costo total, es importante conocer también la proporción en que cada uno de estos costos participa en el costo final y tener, así, la estructura de costos completa.

Una vez comprendida la importancia de los costos de producción agrícola, es necesario profundizar en el tema: tener en claro un sistema de clasificación de costos y un procedimiento para establecerlos.

Clasificación de los costos agrícolas

Hay diferentes maneras de establecer los costos. Una de ellas es utilizar una clasificación de acuerdo con la identidad con el producto. Algunos costos pueden ser identificables por su participación en la elaboración del producto, otros no son tan fáciles de establecer; en todo caso, se clasifican siempre en costos directos, costos indirectos y costos financieros (García, 2004).

Costos directos

Pueden ser fácilmente identificables con la producción, pues son causados directamente por el proceso productivo. Tal es el caso de los insumos, la mano de obra, el transporte, el arrendamiento de tierras, los empaques, la maquinaria, los materiales, etc.

Costos indirectos

Usualmente son costos globales que demanda el negocio. Es muy difícil identificarlos con el producto, pues se refieren a honorarios profesionales, relaciones públicas, seguros, servicios públicos, asesorías, papelería, licencias, trámites y contabilidad, entre otros. Los costos de ventas (que también pertenecen a los costos indirectos) corresponden a las comisiones pagadas por estas, la publicidad y los gastos de notaría y registro.

Costos financieros

Corresponden al costo del dinero vinculado con el proyecto de inversión y comprenden los valores financiados por el sistema financiero. Generalmente, en los proyectos agrícolas y de construcción, equivalen al 80 % de los costos directos, sin embargo, los recursos financieros propios del inversionista tienen un interés de oportunidad, ya que podrían generar rendimientos si no estuviesen vinculados al proyecto. Por esta razón, el costo financiero se estima sobre los saldos negativos dentro del flujo de caja del periodo analizado. El valor del dinero sale de un costo promedio ponderado entre el interés de oportunidad del dinero del inversionista y el costo del dinero en el sistema financiero.

Costos en proyectos de mediano y tardío rendimiento

Los negocios tienen ciclos de acuerdo con su complejidad y duración. Un proyecto de inversión puede contemplar las etapas de preinversión (estudios de preinversión y factibilidad), de puesta en marcha o inversión y, finalmente, de operación.

Costos de preinversión

Los costos de preinversión corresponden generalmente a estudios, investigaciones y diseños preliminares. Si el proyecto muestra viabilidad y se lleva a cabo, estos costos son imputables a la inversión.

Costos de inversión

Se puede decir, en términos generales, que los costos de inversión comprenden todas las erogaciones hasta el momento en que el negocio empieza a producir beneficios. Pueden ser, entre otros, estudios preliminares, compra de terrenos, construcciones, maquinaria, equipos y establecimiento de cultivos.

Costos de operación

Cuando el negocio inicia la producción de beneficios, termina la fase de inversión y tiene lugar la fase de operación, la cual implica sus propios costos. Los costos de operación corresponden a las erogaciones rutinarias para que el negocio funcione: insumos, mantenimiento, servicios, administración y costos de ventas.

Método para determinar los costos

De acuerdo con García (2004), el nivel de tecnología establecido para un cultivo es un factor fundamental para determinar los costos. En consecuencia, es necesario identificar, en primera instancia, las actividades a realizar y las unidades físicas requeridas para ello —expresadas en magnitud y número, por ejemplo, fertilizantes requeridos (300 kg/ha), control de malezas (25 jornales/ha), etc.—.

Como el patrón de actividades es más o menos constante para cada cultivo, una vez establecido se sigue utilizando hasta que se produzca un cambio tecnológico significativo. Para cada ciclo del cultivo, es necesario establecer el costo de cada unidad y de cada actividad, para lo cual se toman los precios del mercado. Estos precios son un elemento variable, por lo tanto, es necesario investigarlos para cada época.

La suma de todos los costos corresponde a los *costos totales*. Una vez que estos se establecen y se conoce el número de unidades que se espera producir, se obtiene la relación entre los dos datos para obtener el *costo por unidad producida*.

Ejemplo:

Los costos totales de un cultivo ascienden a $1.500.000; el total de unidades producidas es de 2.500 kg, de tal manera que el valor por unidad productiva (costo unitario) es igual a

$$\text{Costo unitario} = \frac{\$1.500.000}{2.500\ \text{kg}} = \$600/\text{kg}$$

Si el precio del mercado de ese producto es de $800/kg, el negocio analizado es viable; si por el contrario fuese únicamente de $500/kg, el negocio no es rentable. Con estos datos, el productor tiene elementos de juicio para tomar decisiones.

En las tablas 10.1 a 10.5 se presenta, a manera de ejemplo, la estructura de costos para una hectárea de aguacate, a una distancia de 7 × 7 m en cuadro (204 árboles/ha).

Tabla 10.1. Periodo de semillero (1,5 meses): cuando se obtiene el material de siembra (árboles) en la finca

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Selección de frutos	Jornal	0,25		
Preparación de frutos	Jornal	0,25		
Mantenimiento semillero	Jornal	0,5		
Subtotal	**Jornal**	**1**		
Insumos	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Arena	Bulto	2		
Fungicida	Kilogramos	0,05		
Insecticida	Kilogramos	0,1		
Frutos para la extracción de semilla	Bulto	1		
Subtotal				
Total				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.2. Periodo de almácigo (11 meses)

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Preparación de suelo y solarización	Jornal	0,5		
Llenado de bolsas	Jornal	0,5		
Siembra	Jornal	0,5		
Injertación	Jornal	5,0		
Manejo	Jornal	10,5		
Subtotal	**Jornal**	**17,0**		
Insumos	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Arena	Bulto	3		
Gallinaza	Bulto	3		
Insecticida	Litro	0,1		
Fungicida	Gramos	80		
Cal	Bulto	2		
Subtotal				
Materiales	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Bolsas	Unidad	245		
Subtotal		245		
Total				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.3. Periodo de vivero (0,25 meses): cuando se compran las plantas injertadas

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Acarreo	Jornal	0,25		
Mantenimiento	Jornal	0,75		
Subtotal	**Jornal**	**1**		
Insumos	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Plantas injertadas	Plantas	245*		
Subtotal				
Total				

* 204 para el establecimiento y 41 para la reposición en caso de pérdida (20 %).
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.4. Periodo de establecimiento y desarrollo del cultivo (años 1 al 4)

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Selección del lote	Jornal	1		
Limpieza lote	Jornal	10		
Cercado	Jornal	10		
Trazado	Jornal	2		
Ahoyado	Jornal	5		
Transporte bolsas al lote	Jornal	1		
Siembra	Jornal	4		

(Continúa)

(Continuación tabla 10.4)

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Plateos (cada 3 meses) (16)*	Jornal	64		
Fertilización (cada 4 meses) (12)*	Jornal	28		
Control fitosanitario (12)*	Jornal	12		
Poda de formación	Jornal	8		
Poda de manejo	Jornal	4		
Deshoje sanitario	Jornal	4		
Mantenimiento de equipo	Jornal	3		
Transporte insumos campo	Jornal	4		
Construcción ramada	Jornal	2		
Control de malezas (12)*	Jornal	36		
Fertilización foliar (8)*	Jornal	8		
Subtotal	**Jornal**	**206**		
Insumos	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Fungicida	Kilogramo	4		
Insecticida	Litro	4		
Herbicida	Litro	2		
Adherente	Litro	1		

(Continúa)

(Continuación tabla 10.4)

Insumos	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Gallinaza	Tonelada	3,5		
Fertilizante compuesto	Bulto	15		
Fertilizante de elementos menores	Bulto	1		
Cal	Bulto	8		
Foliar	Litro	10		
Subtotal				
Herramientas	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Barretón	Unidad	1		
Azadones	Unidad	2		
Machetes	Unidad	2		
Navajas	Unidad	2		
Subtotal		7		
Equipos	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Bomba de espalda	Unidad	3		
Bomba estacionaria	Unidad	1		
Motobomba	Unidad	1		
Subtotal				

(Continúa)

(Continuación tabla 10.4)

Materiales	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Plástico ramada	Metro	50		
Manguera sistema fumigación	Metro	500		
Boquillas	Unidad	6		
Tanque de 1.000 litros	Unidad	1		
Canecas	Unidad	3		
Baldes	Unidad	5		
Alambre	Rollo	5		
Grapas	Caja	3		
Estacones	Unidad	120		
Palos ramada	Unidad	20		
Subtotal				
Administración	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Administrador	Jornal	2		
Alquiler de lote	ha/mes	5		
Combustible	Galón	17		
Mantenimiento equipo	Unidad	1		
Subtotal				

* Número de veces que se realiza la labor
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.5. Periodo de mantenimiento (año 5 o más)

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Fertilización	Jornal	10		
Plateo (2)*	Jornal	10		
Control de malezas (3)*	Jornal	2		
Poda sanitaria (2)*	Jornal	2		
Control fitosanitario (4)*	Jornal	8		
Recolección frutos enfermos (8)*	Jornal	4		
Cosecha (8)*	Jornal	16		
Fertilización foliar	Jornal	2		
Empaque	Jornal	4		
Selección y preparación	Jornal	8		
Venta	Jornal	4		
Manejo	Jornal	1		
Subtotal	**Jornal**	**71**		
Insumos	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Fungicida	Kilogramo	5		
Insecticida	Litro	5		
Herbicida	Kilogramo	2		
Adherente	Litro	1		
Fungicida	Kilogramo	5		
Insecticida	Litro	5		

(Continúa)

(Continuación tabla 10.5)

Insumos	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Herbicida	Kilogramo	2		
Adherente	Litro	1		
Gallinaza	Tonelada	3,5		
Fertilizante compuesto	Bulto	9		
Fertilizante de elementos menores	Bulto	2		
Cal	Bulto	8		
Fertilizante foliar	Litro	2		
Subtotal				
Materiales	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Boquillas	Unidad	6		
Fibra	**Rollo**	1		
Empaques	Canastillas	100		
Subtotal				
Administración	**Unidad**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Administrador	Jornales	2		
Alquiler de lote	ha/mes	5		
Combustible	Galón	20		
Subtotal				
Total año				

* Número de veces que se realiza la labor
Fuente: Elaboración propia

Referencias

García, T. J. (2004). Costos de producción de frutas. Conceptos básicos sobre costos agrícolas. En *Guía económica de frutas N.º 3* (marzo-junio, pp. 24). Bogotá, Colombia: Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola y Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol).

Impresión y encuadernación:
DGP Editores

Terminó de imprimirse en
octubre de 2020, en Bogotá, D. C., Colombia

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

El aguacate ha sido plantado y consumido desde hace más de nueve mil años sobre la Tierra, sin embargo, solo hacia finales del siglo XX se dio un aumento sostenido de su cultivo y producción, que sobrepasó, en 2018, los 5,6 millones de toneladas. Además del valor que ha adquirido como parte de la dieta humana para su consumo en fresco —no solo por la versatilidad de sus combinaciones con otros alimentos, sino por sus importantes contenidos de fibra, proteínas, minerales, vitaminas A y B y ciertas vitaminas liposolubles poco frecuentes en otros frutos—, está recibiendo atención como medio para la obtención de productos farmacéuticos, grasas, colorantes y productos alimenticios derivados.

No obstante, la composición y las cualidades nutricionales de los frutos son muy variables, pues dependen del clima, el suelo, la temperatura, la humedad, la cantidad de lluvia durante el desarrollo del fruto y las prácticas de manejo del cultivo, además de las diferencias genotípicas entre cultivares. Colombia, infortunadamente, aún no cuenta con toda la información técnica necesaria para acompañar el incremento de nuevas áreas de cultivo y salvaguardar las actuales. Esta obra, en consecuencia, se propone colmar en buena medida ese vacío, mediante el tratamiento de temas clave para su cultivo: ecofisiología, origen, taxonomía, morfología, variedades, condiciones climáticas y de suelo, sistemas de propagación, manejo agronómico, nutrición, fertilización, buenas prácticas agrícolas, manejo integrado de plagas y enfermedades, ordenamiento productivo, cosecha y poscosecha, agroindustria y costos de producción. Todo ello, teniendo siempre presente la productividad sostenible y la generación de productos inocuos, de calidad y con valor agregado, con beneficios económicos y sociales equitativamente distribuidos en la cadena productiva.

www.agrosavia.co

ISBN: 978-958-740-383-1

9 789587 403831

BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**

TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00** EXT. **1257 o 1274**

SKYPE: **biblioteca.agropecuaria**

Distribución gratuita

Prohibida su venta

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

UNIDOS

SGR
Sistema General de Regalías

El campo es de todos
Minagricultura