



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, Córdoba, Guainía, La Guajira, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Sucre y Vichada

Fuente: Elaboración propia con base en información del MADR (2019)

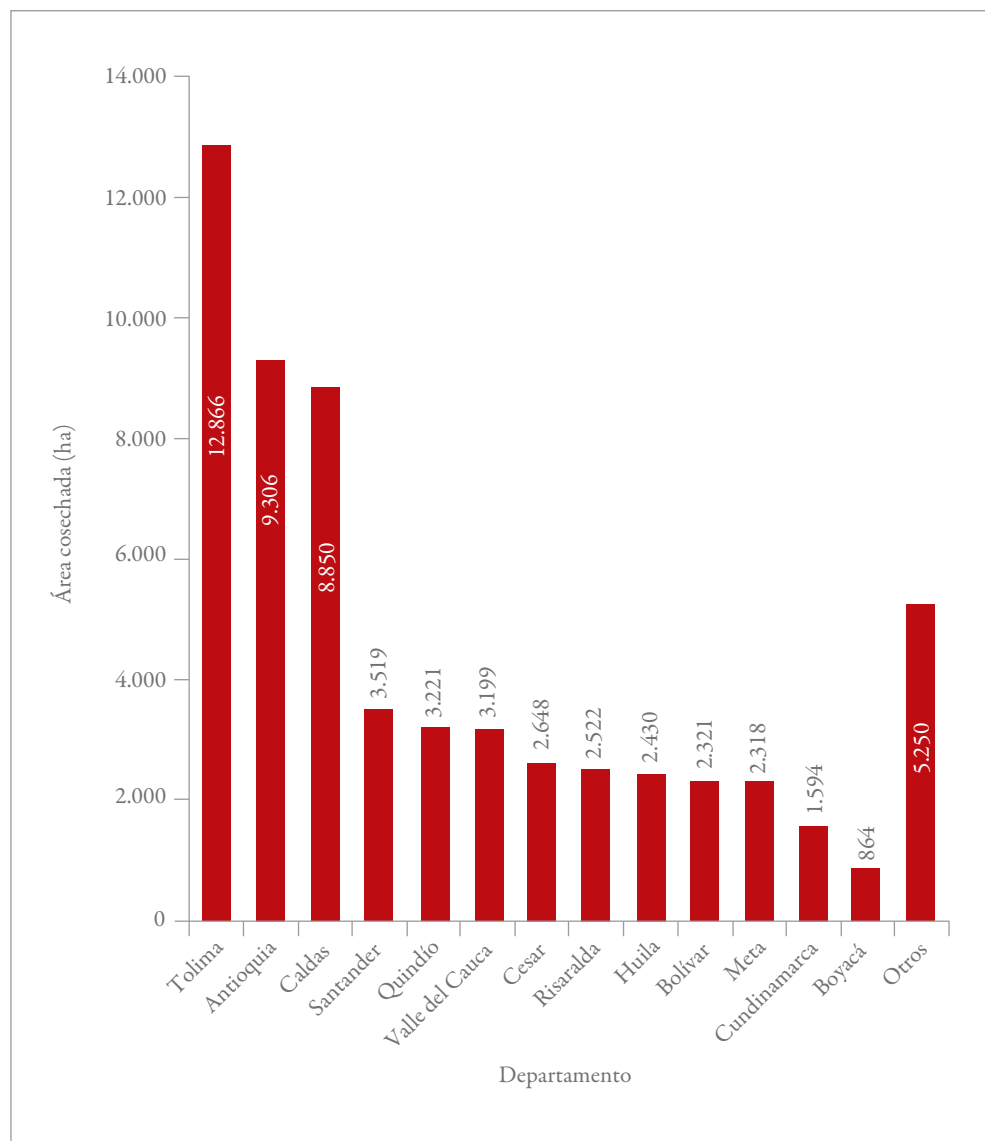


Figura 1.2. Área (ha) cosechada de aguacate en Colombia por departamento (2019).

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 dividido, 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, & Whaley, 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 frijol, 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
Francés	Avocat
Portugués	Abacate
Alemán	Avogadobaun, advogato, avvocato
Italiano	Avocado
Holandés	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-Sauco, 1990).

El género *Persea* hace parte de la familia de las lauráceas (Galán-Sauco, 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-Sauco, 1990; Zentmyer & Ohr, 1978), y *P. schiedeana* Ness, especie con frutos comestibles, compatible sexualmente y por injerto con el aguacate (Galán-Sauco, 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-Sauco, 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).

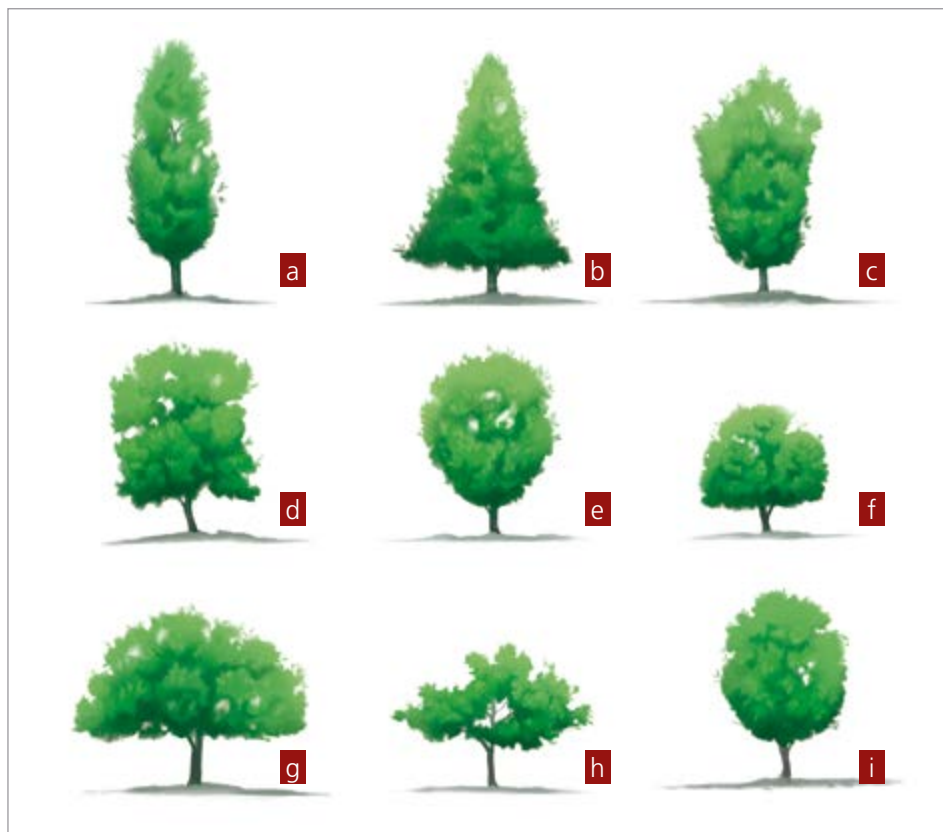


Ilustración: Juan Felipe Martínez

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) insubерizadas 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 inhibitorio 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 pseudoterminal, 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).

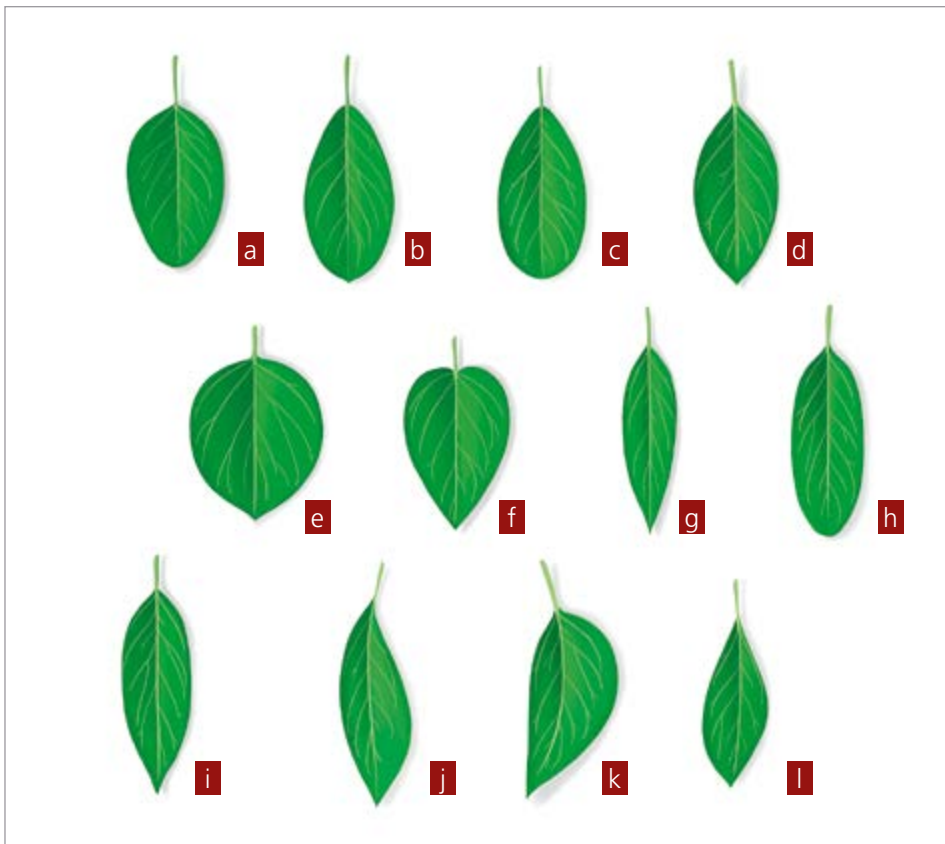


Ilustración: Juan Felipe Martínez

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).

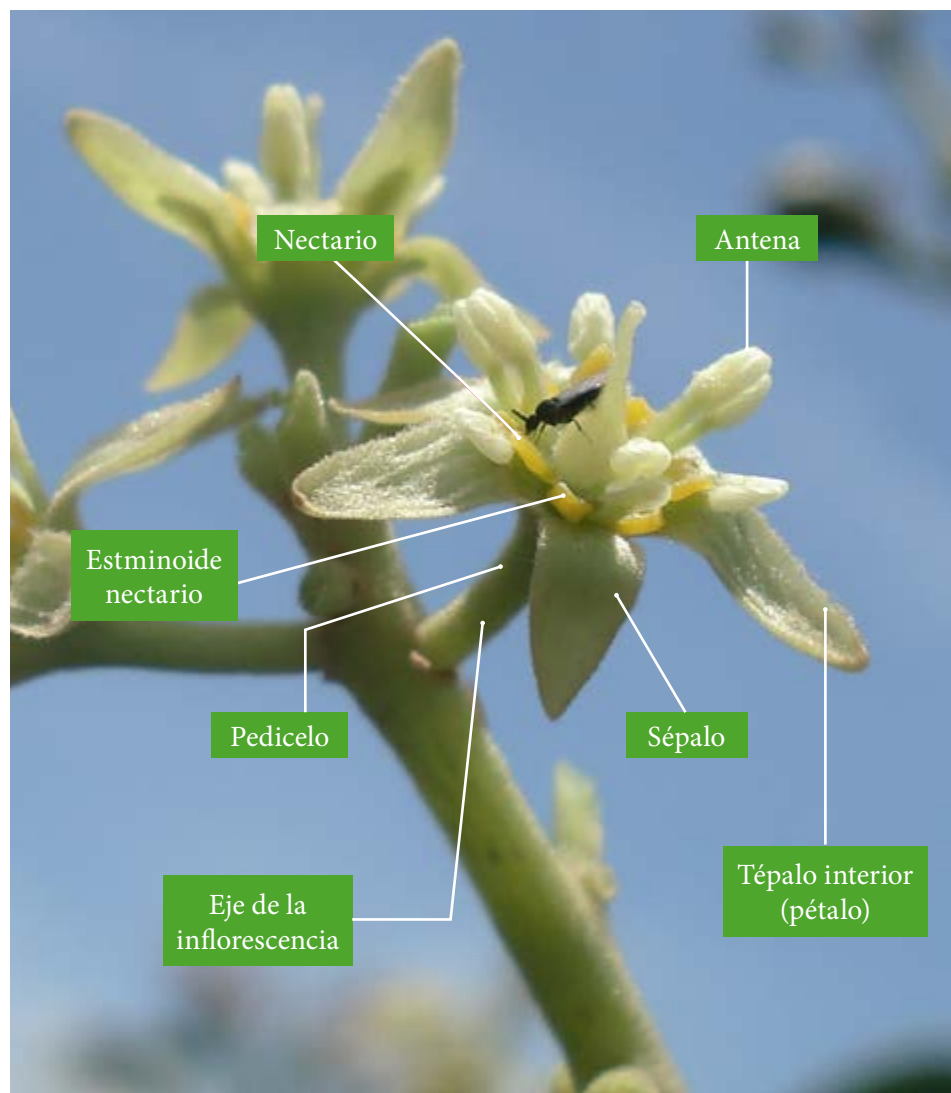


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

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).

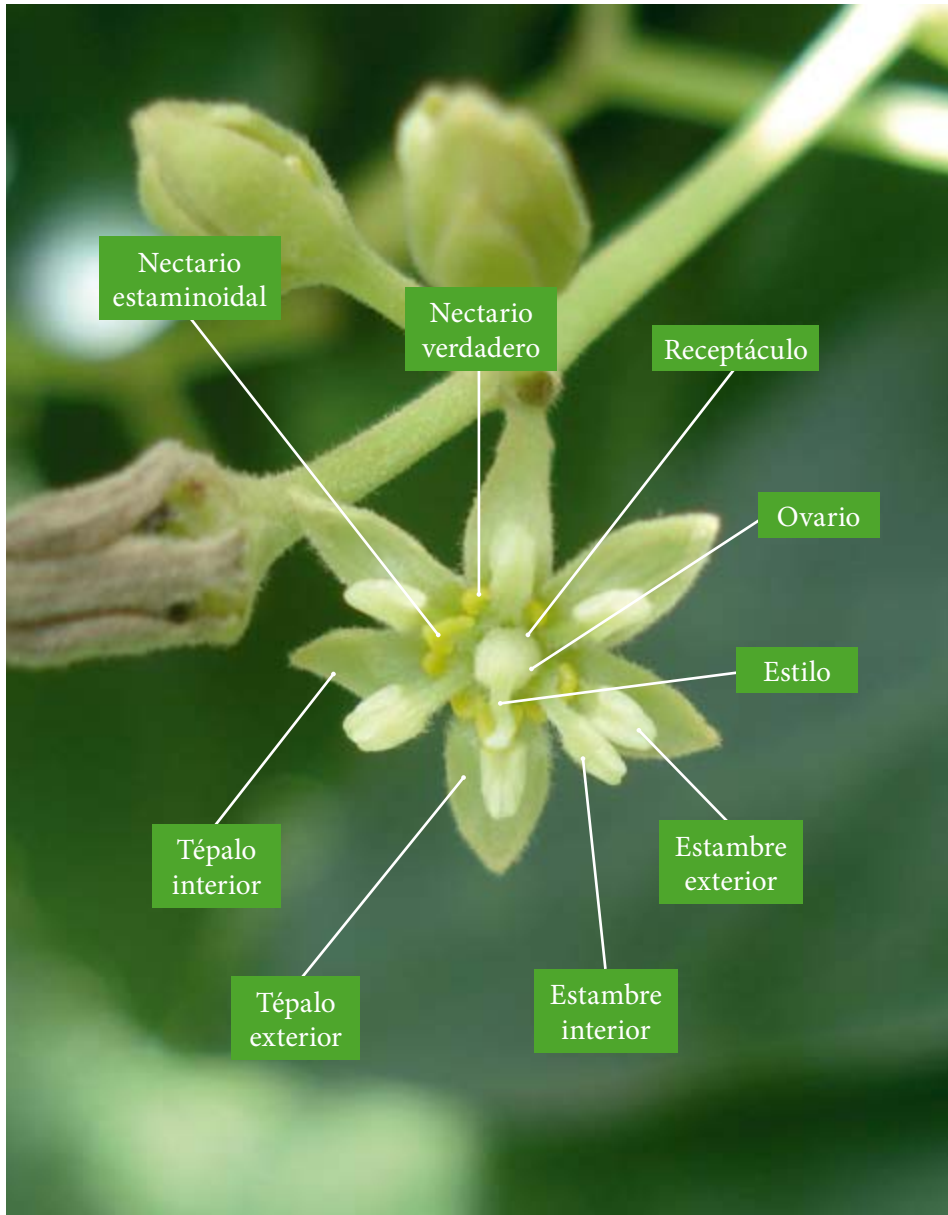


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

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 & Bringham, 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	Gripaña	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	Notthrop	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).

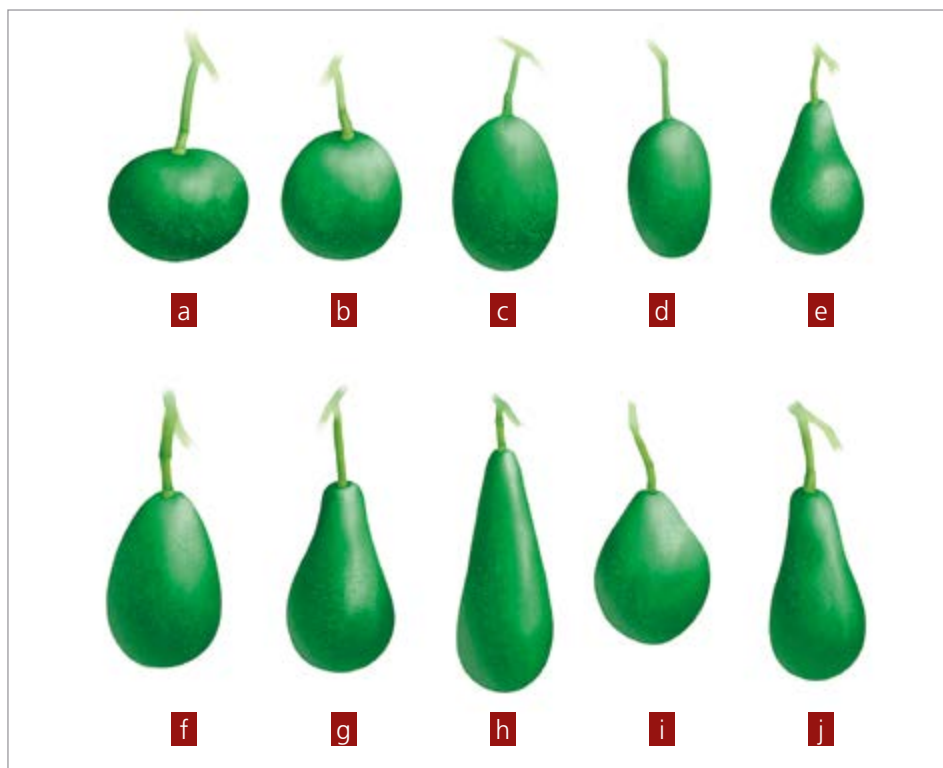


Ilustración: Juan Felipe Martínez

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. Rombooidal; 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 gotitas 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 “juventud 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).

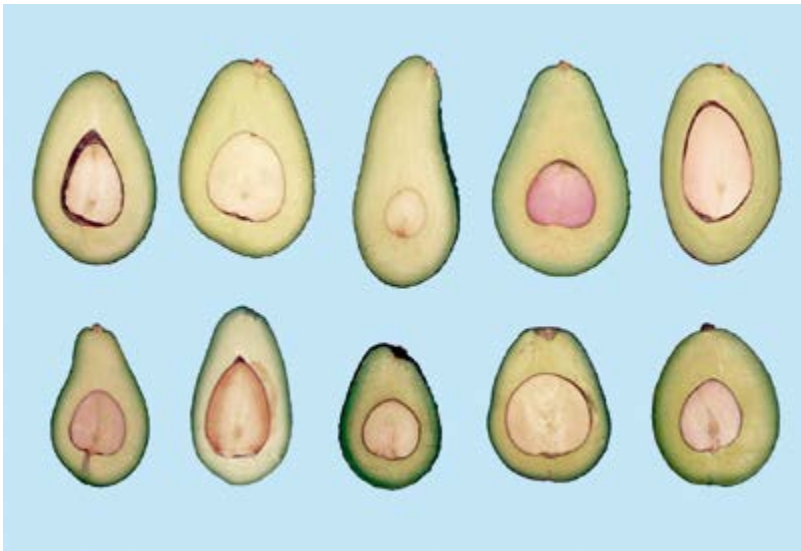


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

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).

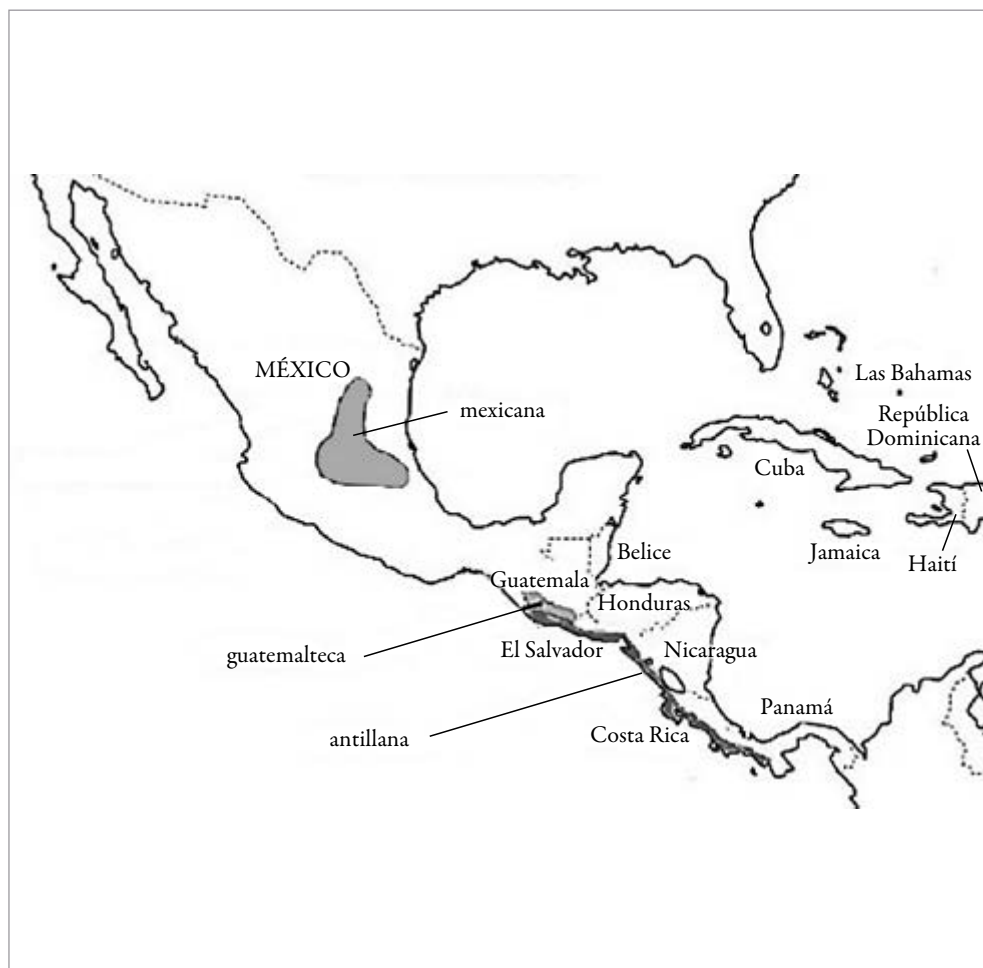


Figura 1.19. Supuestos centros de origen de las razas ecológicas mexicana, guatemalteca y antillana del aguacate.

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. (°C)		-9	-4,5 a 6	-2,2 a 4,0
Temperatura rango (°C)		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
		Tamaño (mm)	0,8	3,0 a 6,0
		Textura	Lisa	Áspera
		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
		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).



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
Nimlihoh	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 a 10 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 $\times$ 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 Entrerriós, por lo que solo Jericó y Rionegro estarían dentro del rango óptimo para el cultivar propuesto por Wolstenholme (2007) (figura 1.28).

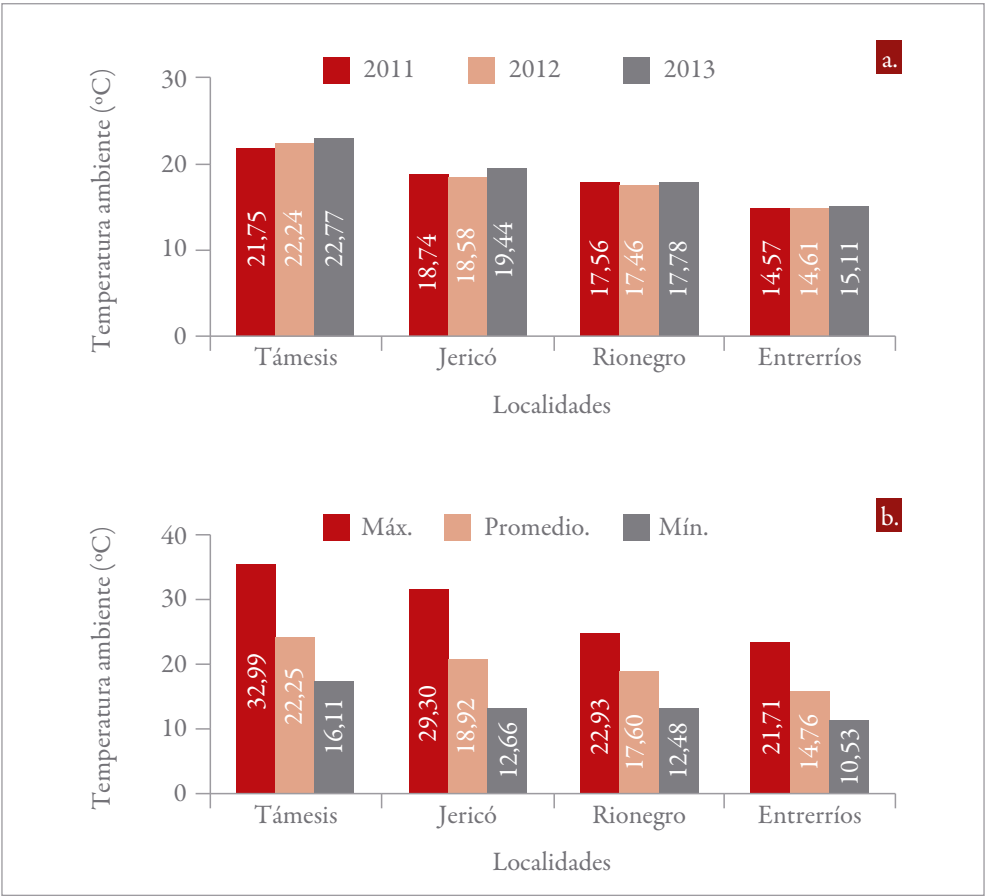


Figura 1.28. Temperaturas registradas en tres años continuos de lectura (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Temperatura promedio; b. Temperaturas máxima, promedio y mínima.

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 % (Entrerriós). 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 pre-disponente para problemas fitosanitarios.

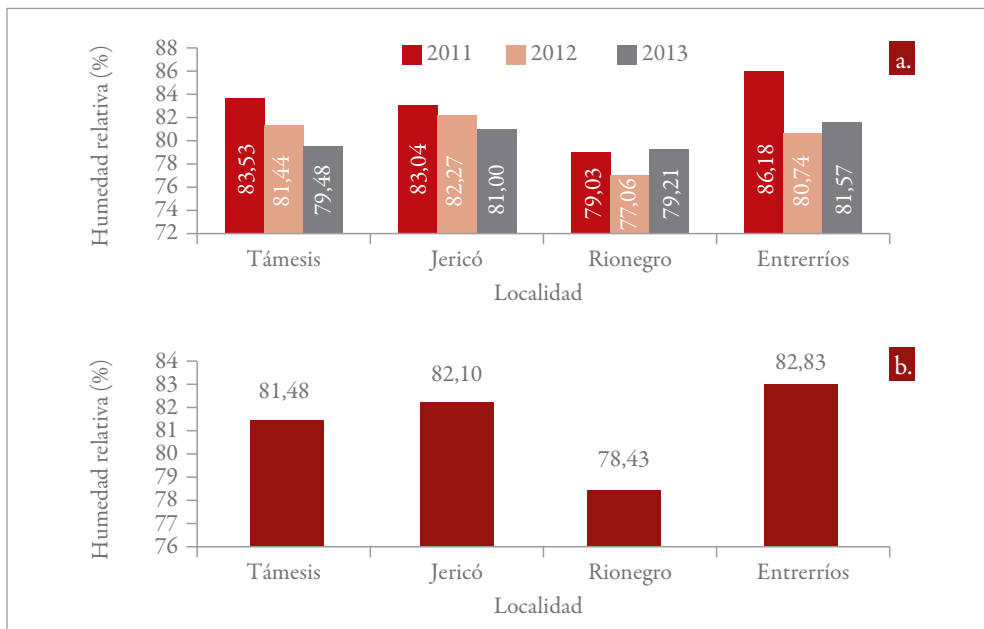


Figura 1.29. Humedad relativa registrada en tres años de evaluación continua (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Humedad relativa promedio por año; b. Humedad relativa promedio en los tres años.

Fuente: Elaboración 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.

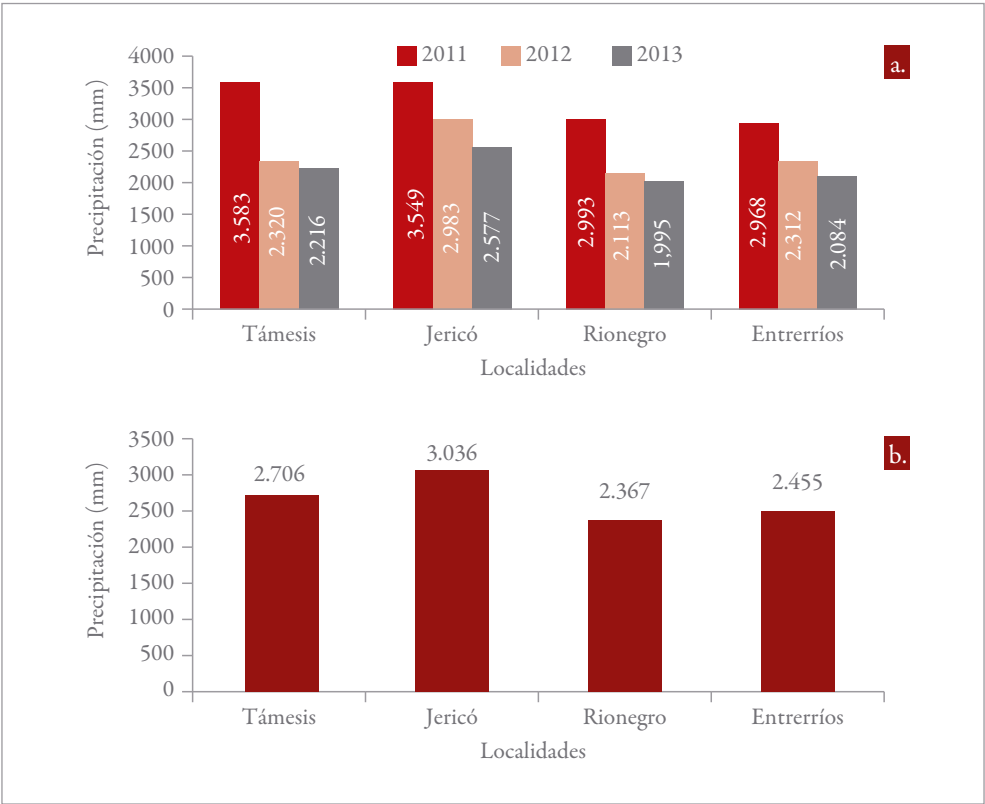


Figura 1.30. Precipitación registrada en tres años continuos de evaluación (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Precipitación anual máxima, promedio y mínima por año; b. Precipitación total promedio en los tres años.

Fuente: Elaboración 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 Entreríos, 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 (Bárceñas, 2000).

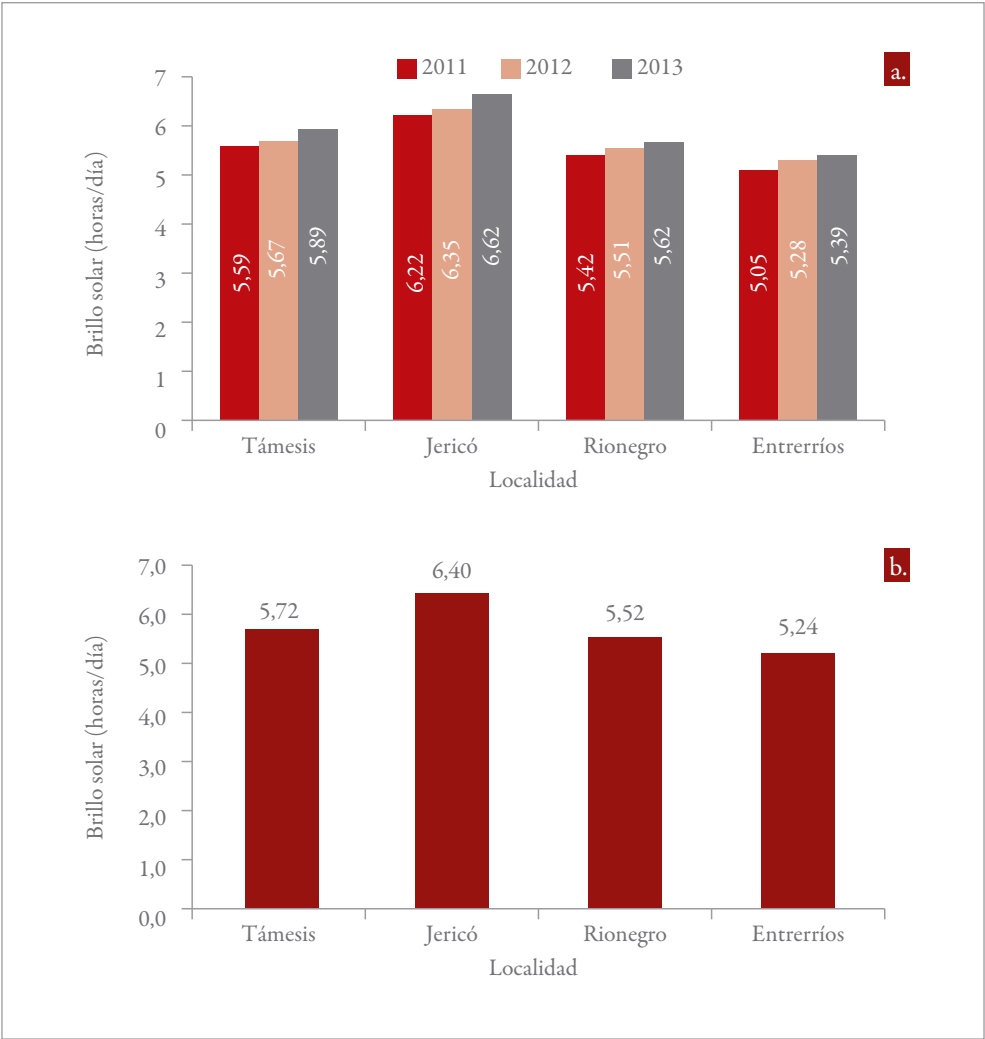


Figura 1.31. Brillo solar registrado en tres años de evaluación (2011-2013), en cuatro localidades del departamento de Antioquia. a. Brillo solar máximo, promedio y mínimo por año; b. Brillo solar promedio en los tres años.

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.

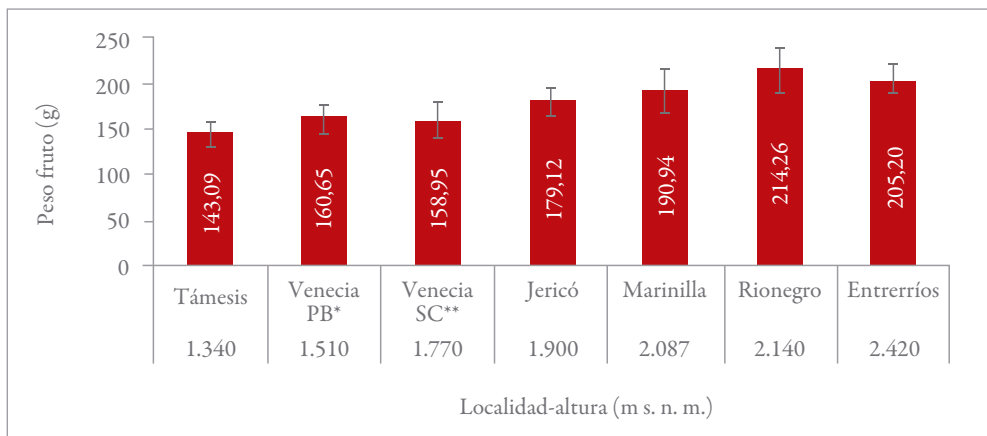


Figura 1.32. Peso del fruto, en dos años de evaluación, en árboles de aguacate cv. Hass establecidos en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

*PB: Piedras Blancas (finca). **SC: Santa Cruz (finca).

Fuente: Elaboración 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.

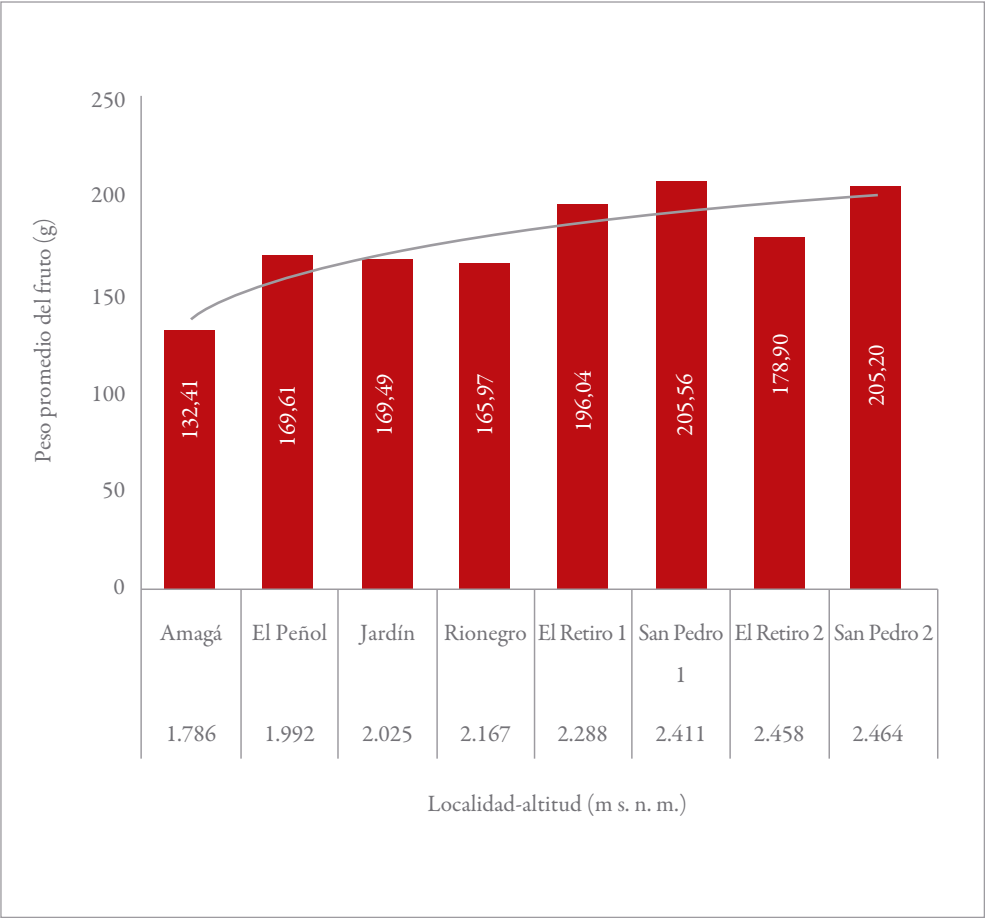


Figura 1.33. Peso promedio del fruto en árboles de aguacate cv. Hass, establecidos en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).
Fuente: Elaboracion propia

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 Entreríos, 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).

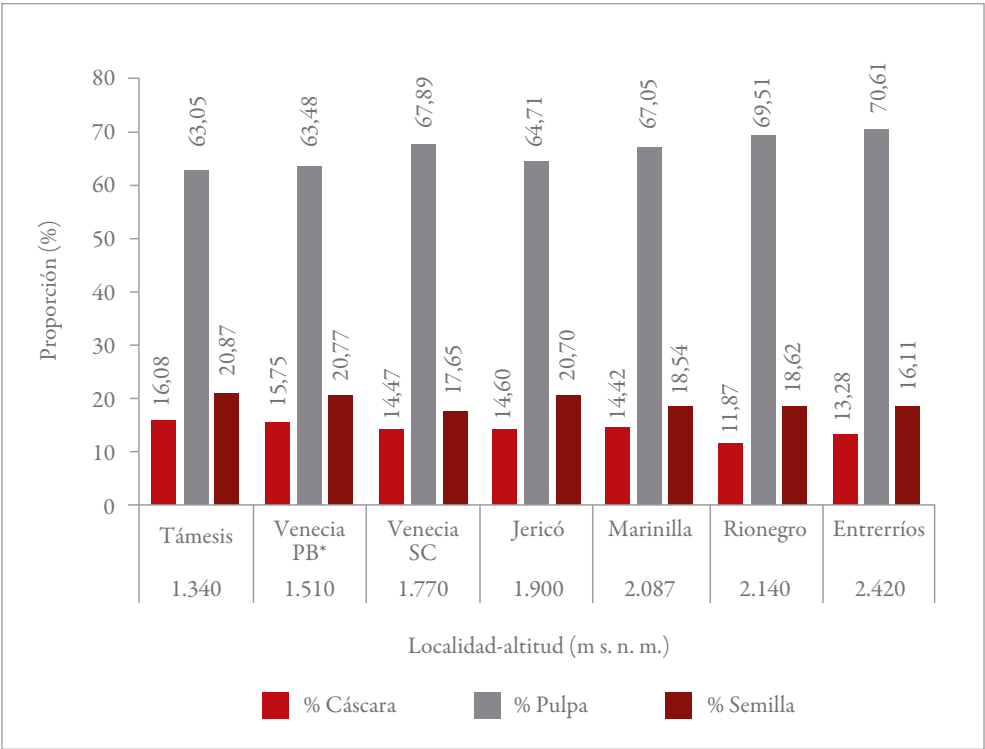


Figura 1.34. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).
Fuente: Elaboración propia

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).

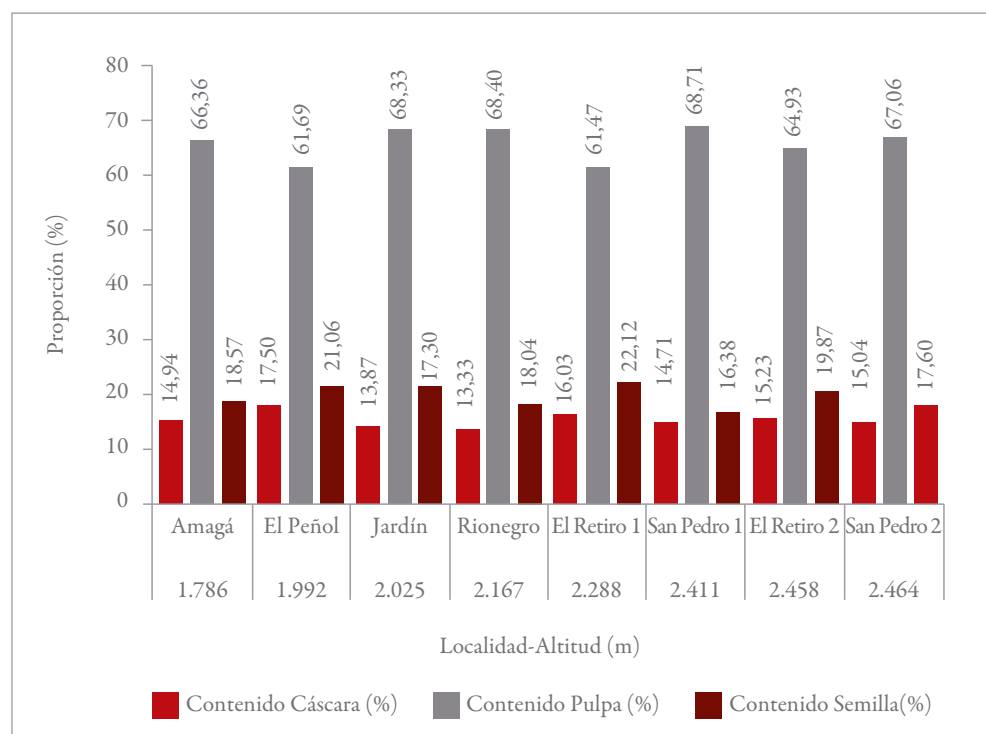


Figura 1.35. Proporción de cáscara, pulpa y semilla en frutos de aguacate cv. Hass, procedentes de ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).

Fuente: Elaboración 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 Entreríos, 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 Entreríos 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).

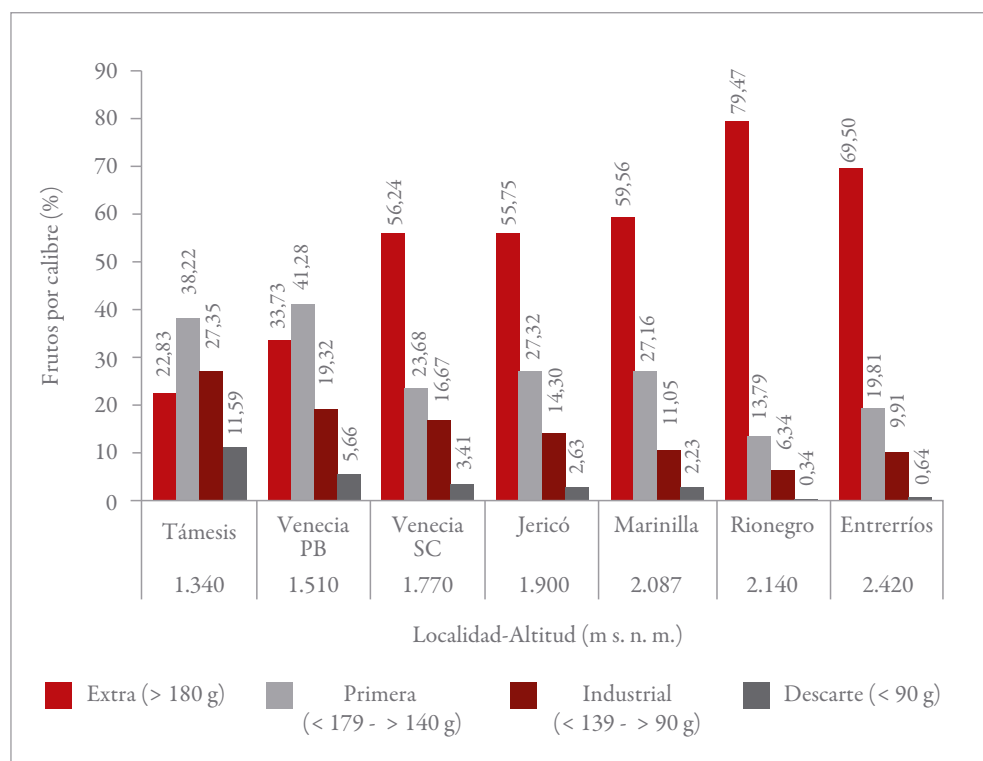


Figura 1.36. Porcentaje de frutos obtenidos por calibre (según normas de exportación), en aguacate cv. Hass, procedentes de siete ambientes del departamento de Antioquia (2011-2012).

Fuente: Elaboración 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.

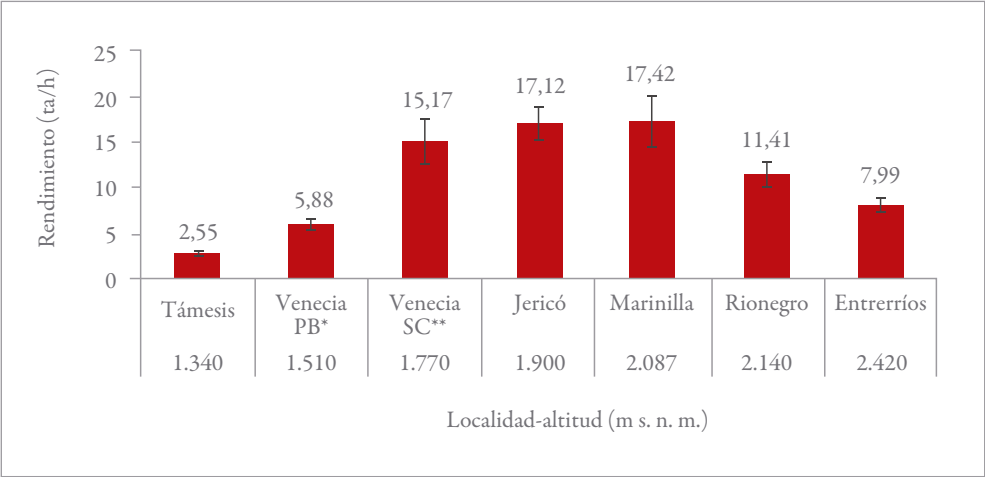


Figura 1.37. Rendimiento esperado (t/ha) en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia, en dos años continuos de evaluación (2011-2012).
Fuente: Elaboracion propia

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.

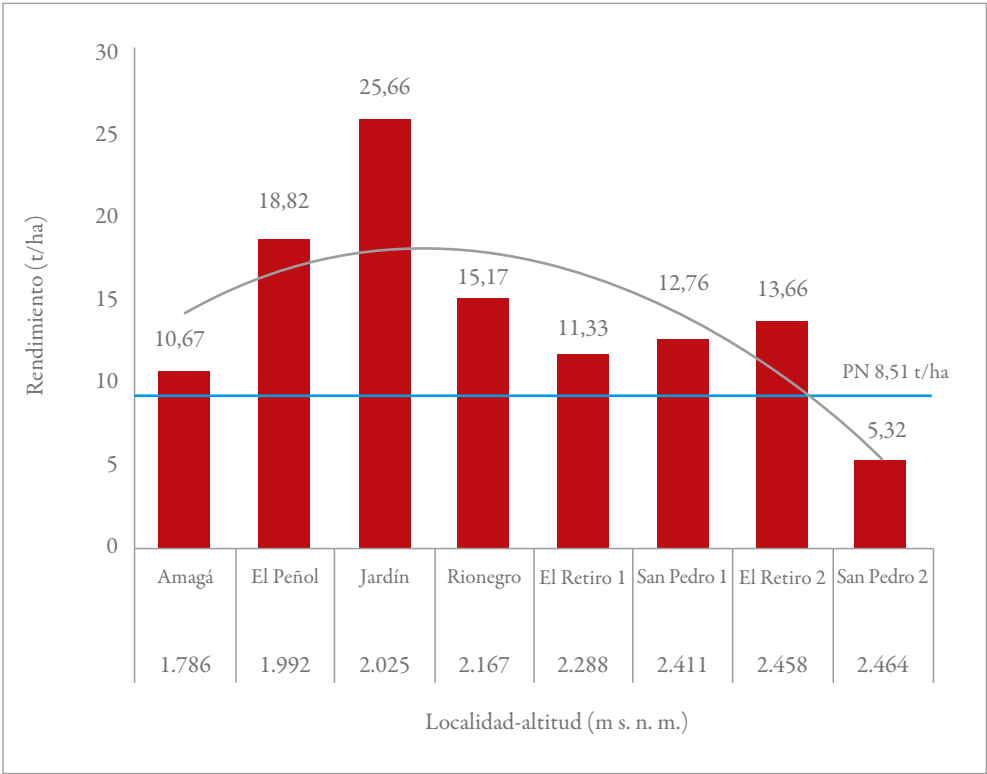


Figura 1.38. Rendimiento (t/ha) en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia, en un año de evaluación (2015-2016).

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 árboles 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 aplanado (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 morfológicamente 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 $\times$ 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 considerarse que comienza la etapa moderna del cultivo del aguacate. Actualmente, la variedad está 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 peciolo 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 amarillo 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 sombra 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 % ($G \times M = 25\%$ y $G \times A = 23\%$), 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). Perteneció 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. Perteneció 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 (Amórtégui, 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 “Curumani” (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 departamento 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 amarillado 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).

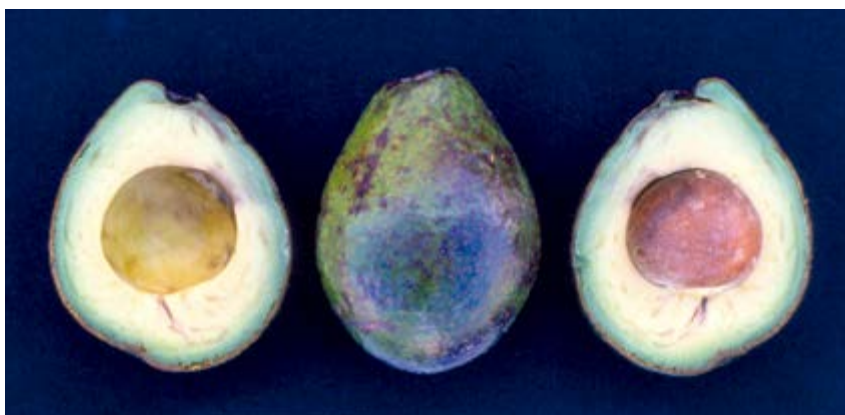


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

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 °C (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 piri-forme, 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, achata-dos 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 sexuales 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 $\times$ 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 desprendida 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 embargo, 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 considerados 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 *Phytophthora* 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*, *Bielschmeda* 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 $\times$ 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
Entrerriós	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.

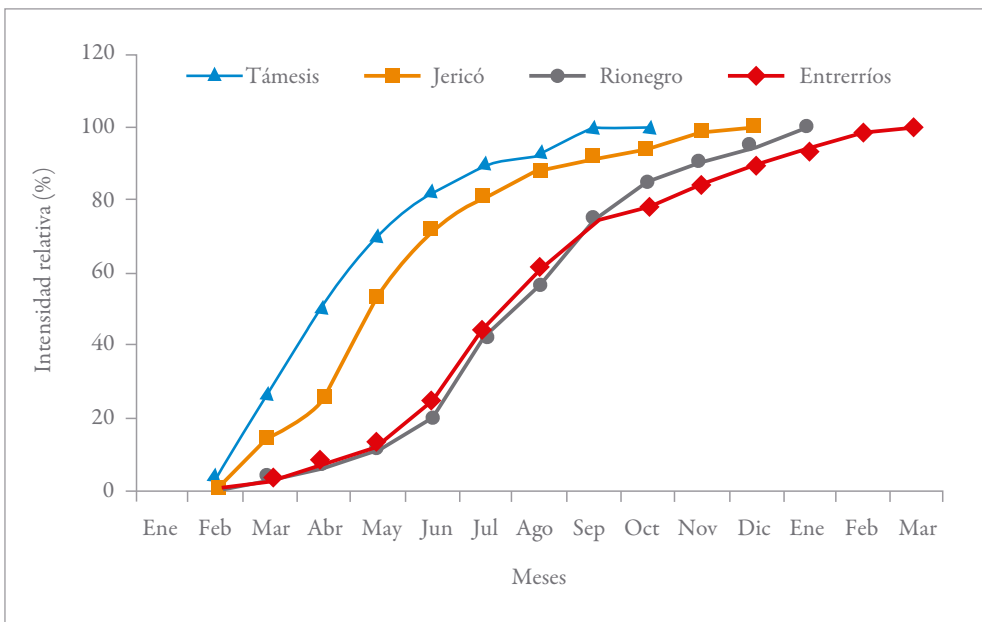


Figura 1.67. Crecimiento del fruto de aguacate cv. Hass, en cuatro localidades del departamento de Antioquia (2012-2013).

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.

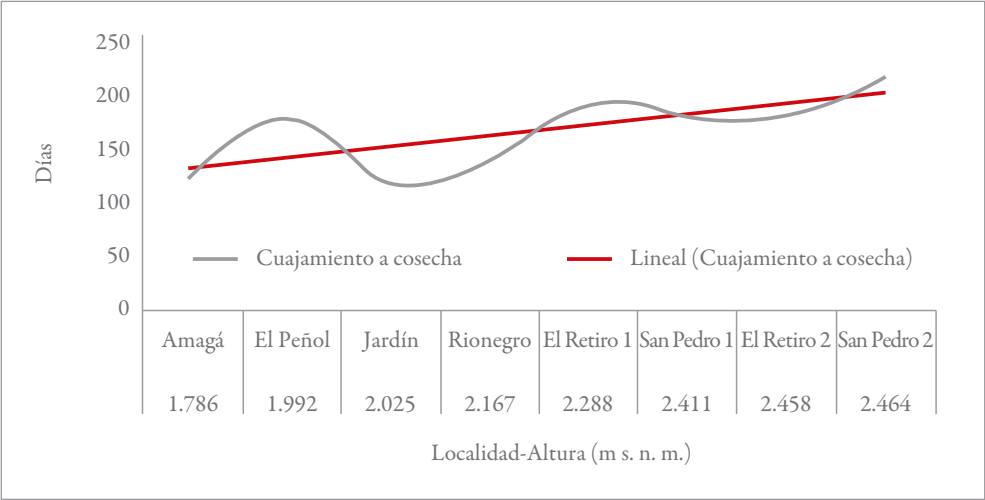


Figura 1.68. Tiempo transcurrido entre el cuajamiento del fruto y la cosecha en ocho localidades del departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

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 mencionar 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. Enterríos (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 23° 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 24° 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 16° 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 40° N, en la costa del mar Negro, en la región de Batoum hasta los 39° 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 43° de latitud N y S (Wolstenholme, 2007) (figura 1.70).

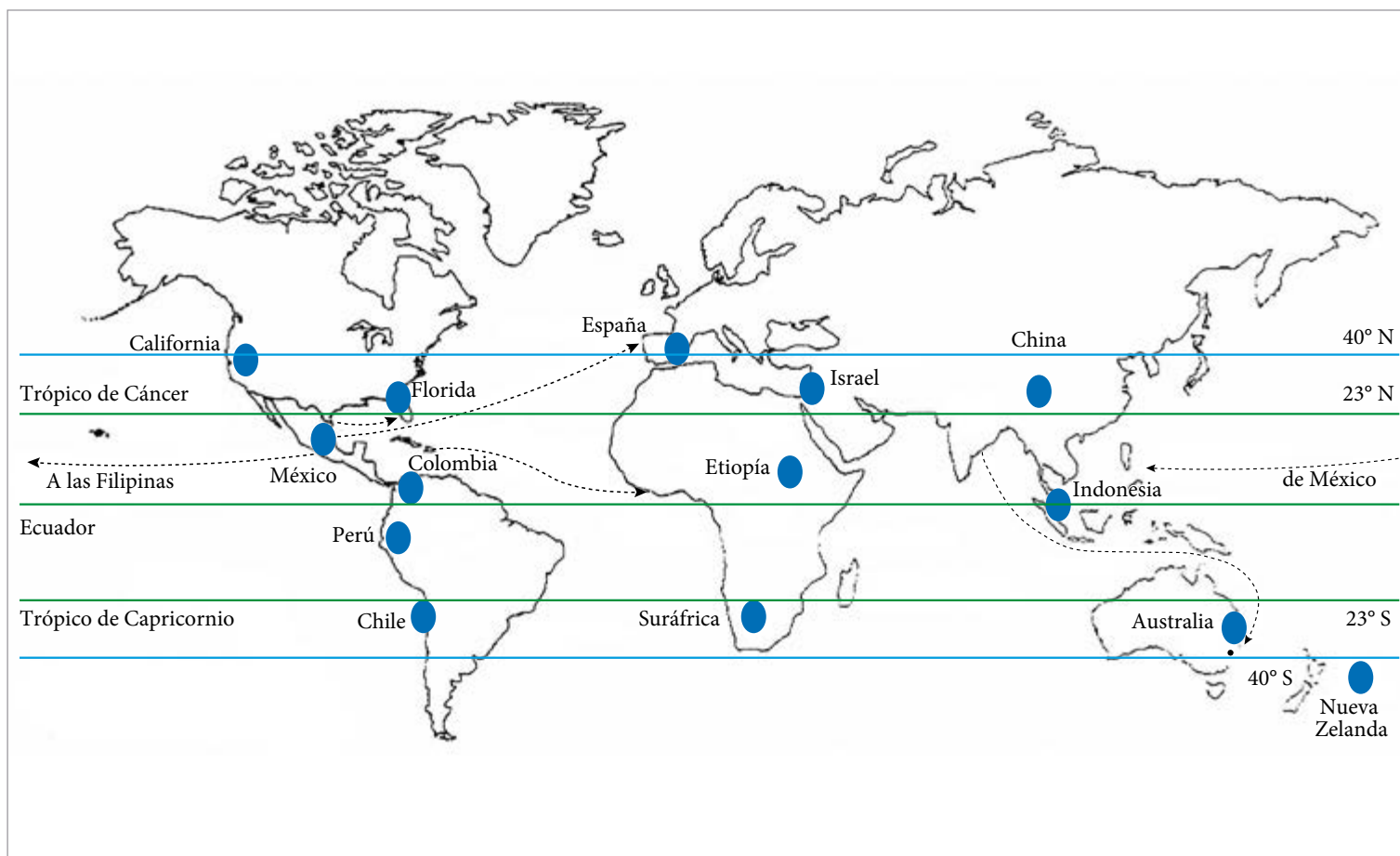


Figura 1.70. Latitudes donde actualmente se encuentra el cultivo de aguacate en el mundo.

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 (Wolstenholme, 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 <i>Phytophthora cinnamomi</i> 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 oxiclورو 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 <i>P. cinnamomi</i> .

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 para 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 árboles 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.

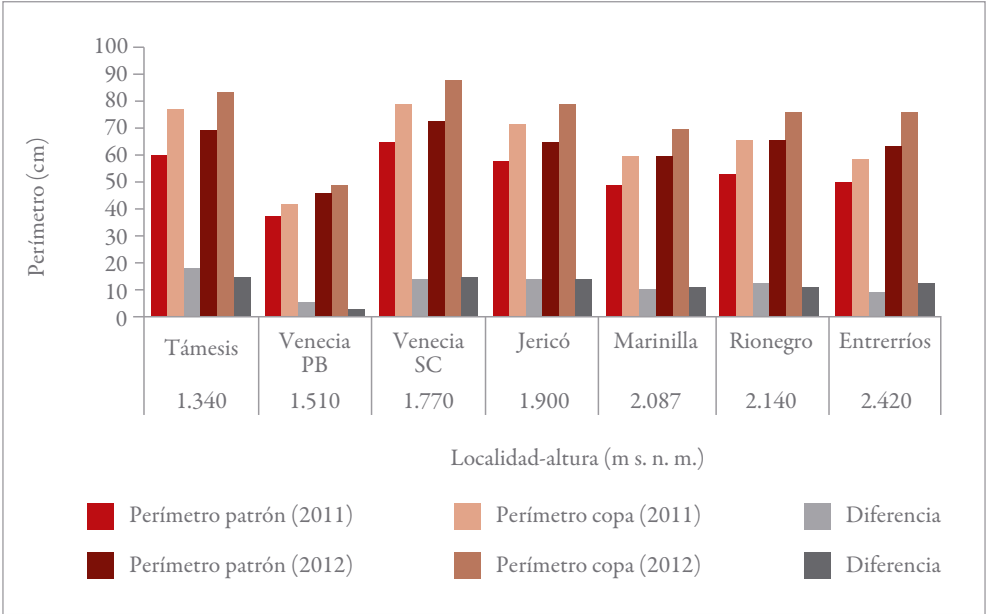


Figura 1.78. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Fuente: Elaboración propia

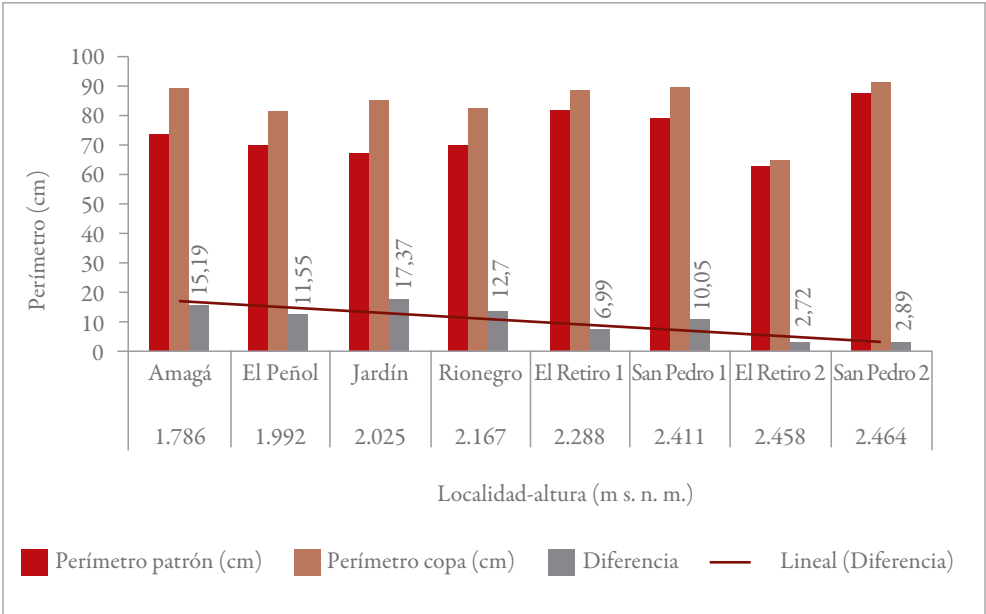


Figura 1.79. Perímetro del portainjerto y la copa (10 cm arriba y abajo del injerto), en árboles de aguacate cv. Hass, plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia.

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 aguacate 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 portainjertos 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 descubierta 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 tolerancia 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 $\times$ 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 $\times$ 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 reproductiva 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 encontrarse 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 encerradas, 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.

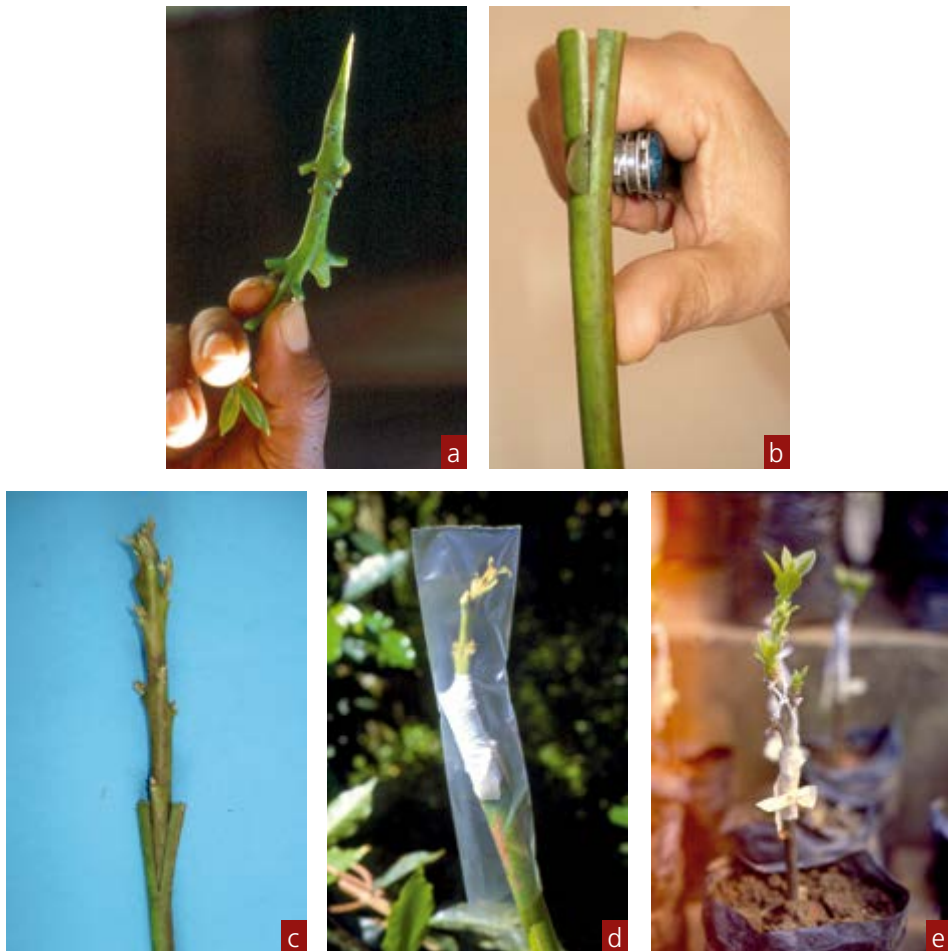
Injerto de púa terminal

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 a 7 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-Sáuco, 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-Sáuco (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).

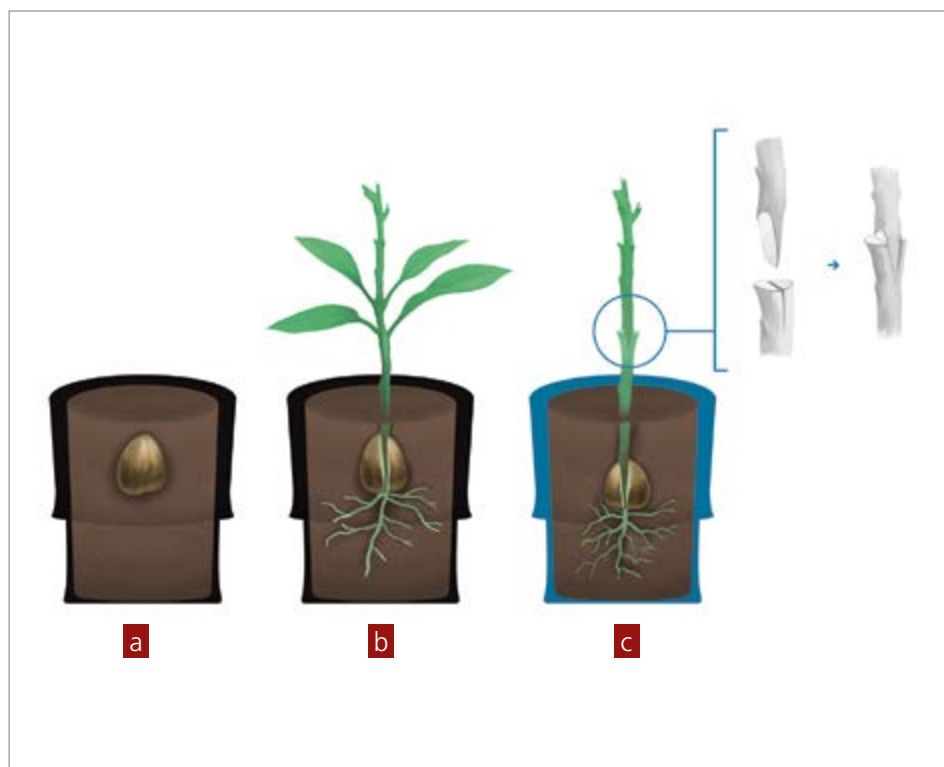


Ilustración: Juan Felipe Martínez

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 rellena 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 (Ernst, 1999).

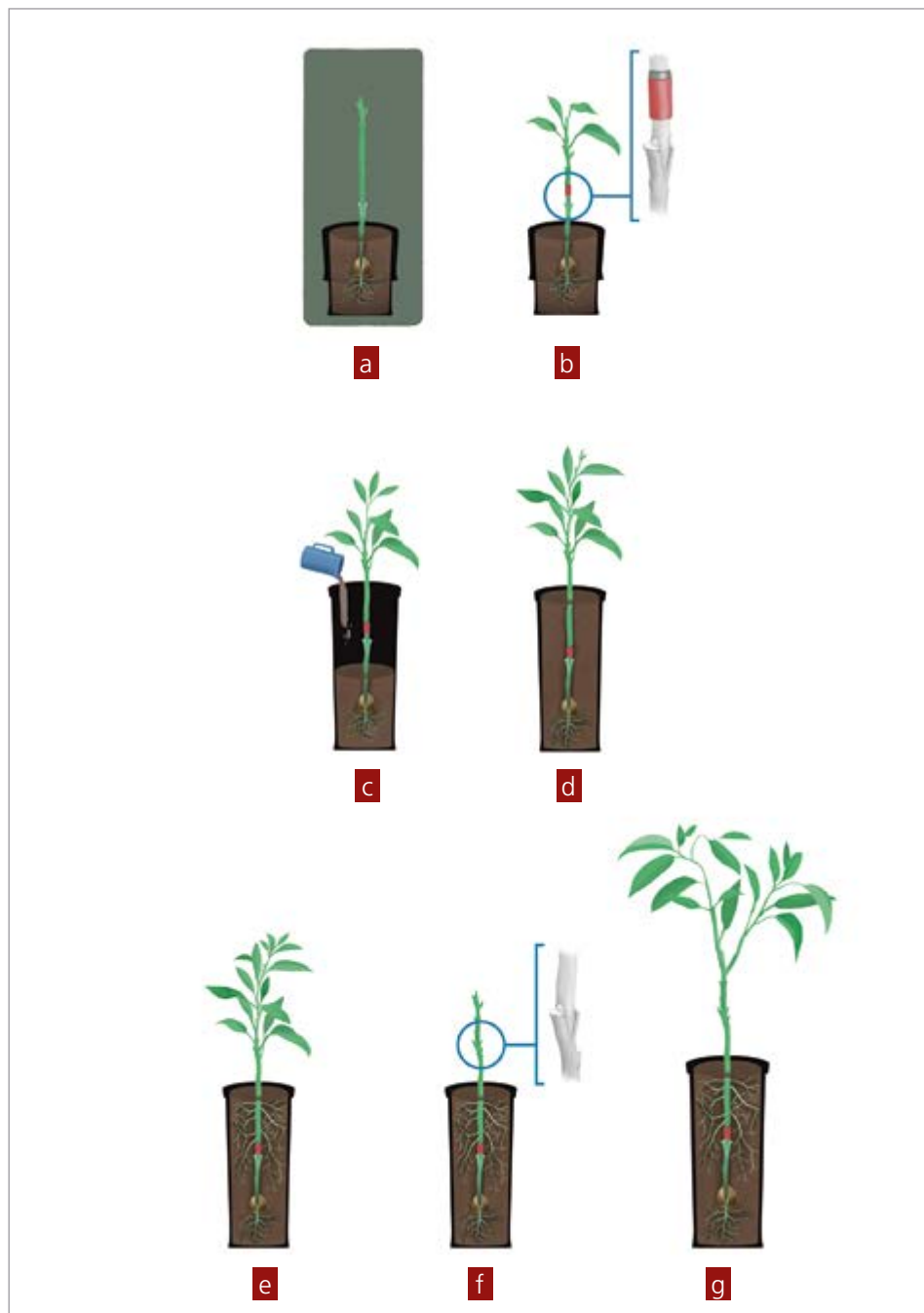


Ilustración: Juan Felipe Martínez

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 rellena 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 posteriormente. 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 $9,6 \times 6$ 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 $9,6 \times 12$ (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 mojado 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 una 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 cuadrículado, 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 $3,5 \times 7$ 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 $\times$ 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 forma 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. Introducción 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 desinfectar 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 las 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 contenido 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 & Goldschmidt, 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 ($> \text{altura} > \text{tiempo}$), 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 herramienta para manejar la época e intensidad de la floración en frutales es el GA_3 , que inhibe la floración y retrasa la fecha de anthesis (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 GA₃, 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 CO₂ 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 CO₂ 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 productivo, 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 abscisión 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 influyen 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 °C, 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 Esrada

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).



Figura 1.114. Yema en estado D_2

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **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 45°. 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}

- **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

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 45° . 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 45° . 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).

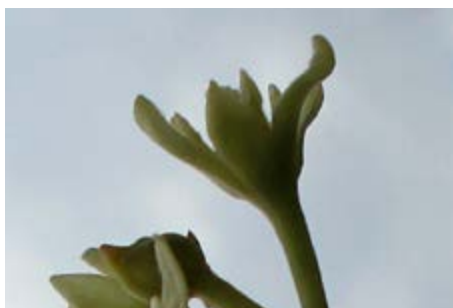


Figura 1.124. Subestado F_{5m}

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **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 desecados 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).

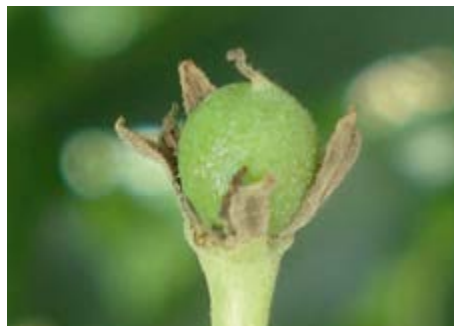


Figura 1.127. Estado H (cuajado).

Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

- **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

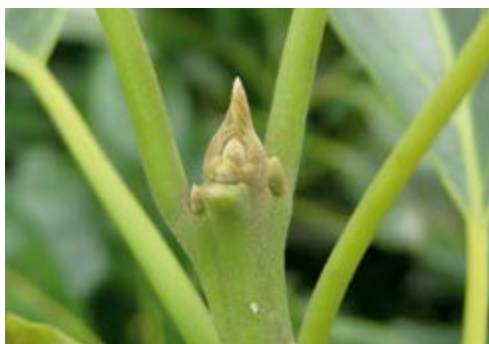


Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

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.



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

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



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.



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

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



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.



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

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).

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 °C/18 °C (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 °C/20 °C (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 GA₃ 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 GA₃ 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 mesocarpio 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-Sauco, 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)

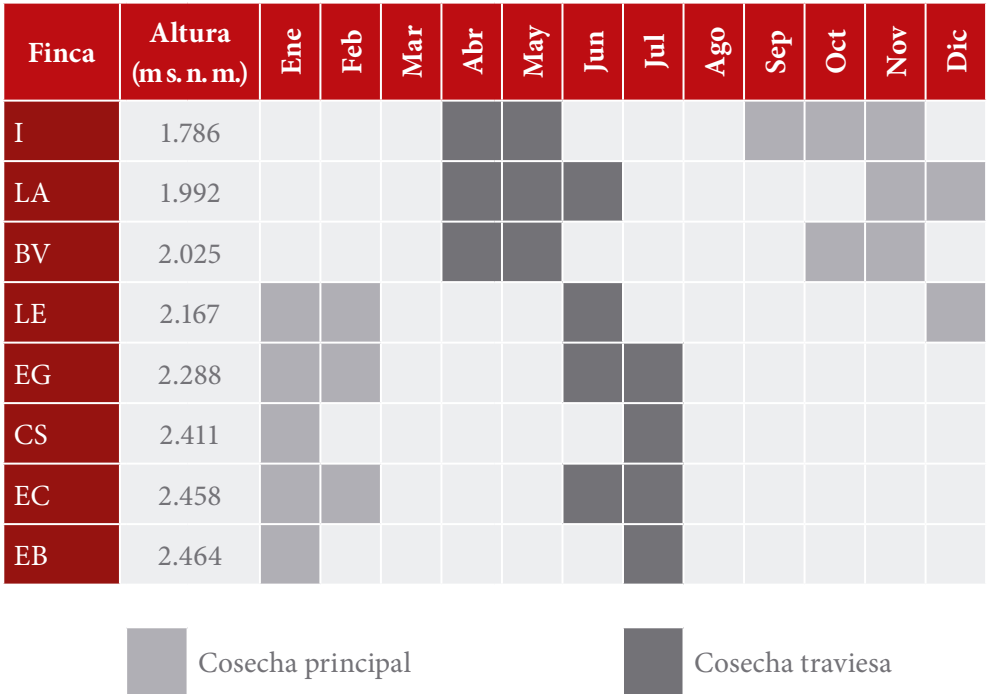
De acuerdo con una investigación de Díaz y Bernal (2017), los flujos florales en ocho localidades del departamento de Antioquia en aguacate cv. Hass tuvieron una duración e intensidad diferente, lo que implica floraciones sucesivas. Este comportamiento fenológico origina la presencia simultánea de fruto 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)



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												
Entrerriós	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															
Entrerriós	2.420															

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con información de los productores de aguacate cv. Hass en Antioquia, las épocas de cosecha principal y travesía 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 CO₂.

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.
- Amórtelui, 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., Stottlemeyer, 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>.
- Avilán, 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 Uruapan, 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 Association Yearbook*, 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). Wageningen, 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 Abscission 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). Bioenergetics, 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 Varieties*. 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 Involved with Fruitlet Abscission 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). Welington, 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](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-Sáuco, 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 *Proceedings 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 Trees 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 World Avocado Congress*. Cairns, Queensland, Australia. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC7/Section_14/IllsleyCarlos2011b.pdf
- International Plant Genetic Resources Institute [Ipgril]. (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 World 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 Hard and 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 *Persea* 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. Whaley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *El Palto. Botánica, producción y usos* (pp. 47-74). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Lahav, E., & Whaley, A. W. (2007). Riego y nutrición mineral. En A. W. Whaley, 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*, 108, 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 Gibberelic 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., & Bringham, 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, Australia. Recuperado de <http://www.congresomundialdeaguacate2011.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*, Medellín, 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>
- Monselesse, 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 Avocado: 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 Vegetable 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. Whaley, 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 Agricultural 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). GA₃ 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 GA₃ 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). Fisiología 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 Society 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: Comstock 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., & Miksieck, 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 Yearbook*, 41, 82-84.
- Whiley, A. W. (1990). CO₂ Assimilation of Developing Fruiting Shoots of Cv. Hass Avocado (*Persea americana* Mill). *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 13, 28-30.
- Whiley, A. W. (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 Field 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.



