

Capítulo I



Recurso genético y propagación de aguacate cv. Hass

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

INTRODUCCIÓN

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

RECURSOS GENÉTICOS DE AGUACATE

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

GENÉTICA DE AGUACATE CV. HASS

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

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

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

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

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

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

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

PORTAINJERTOS COMERCIALES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

AVANCE SOBRE LA IDENTIFICACIÓN DE PORTAINJERTOS CRIOLLOS EN ANTIOQUIA

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

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

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

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

EFECTO DEL PORTAINJERTO SOBRE AGUACATE CV. HASS

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

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

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

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

PROPAGACIÓN DE AGUACATE CV. HASS

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

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

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

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

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

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

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

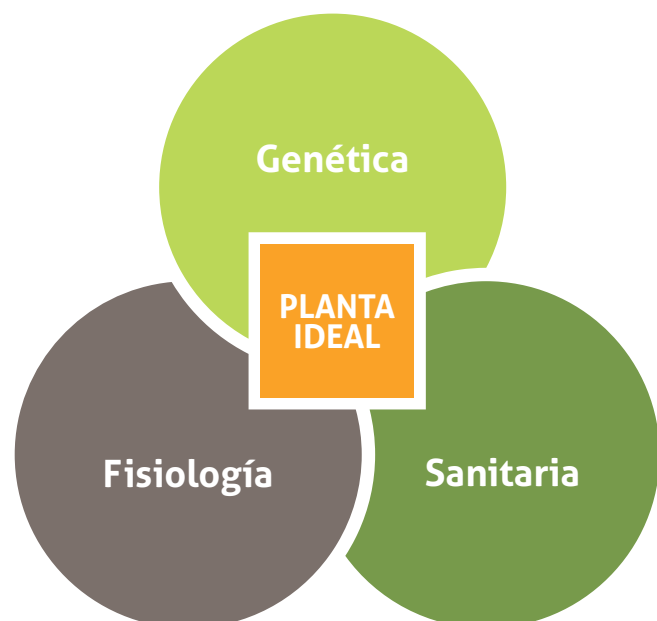


Figura 2. Esquema ilustrativo sobre la identidad genética, la calidad fisiológica y sanitaria que debe poseer una planta ideal de aguacate cv. Hass

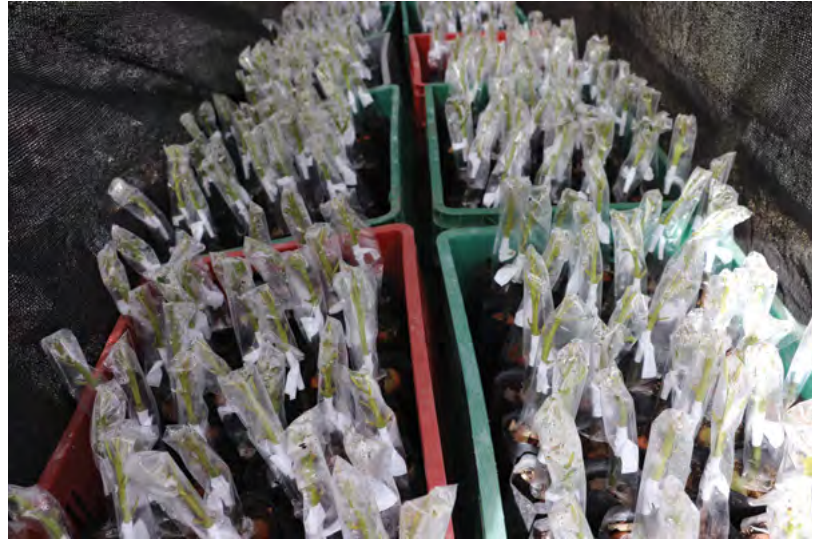
Fuente:
Elaboración propia

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

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

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

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



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

HUERTOS BÁSICOS DE SEMILLA SEXUAL

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

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

Fotos: Oscar Córdoba G.

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

HUERTOS BÁSICOS DE SEMILLA ASEXUAL

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

PROPAGACIÓN EN VIVERO

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

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

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

PROPAGACIÓN CON PORTAINJERTOS SEXUALES

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

PORTAINJERTOS SEXUALES

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

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

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

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

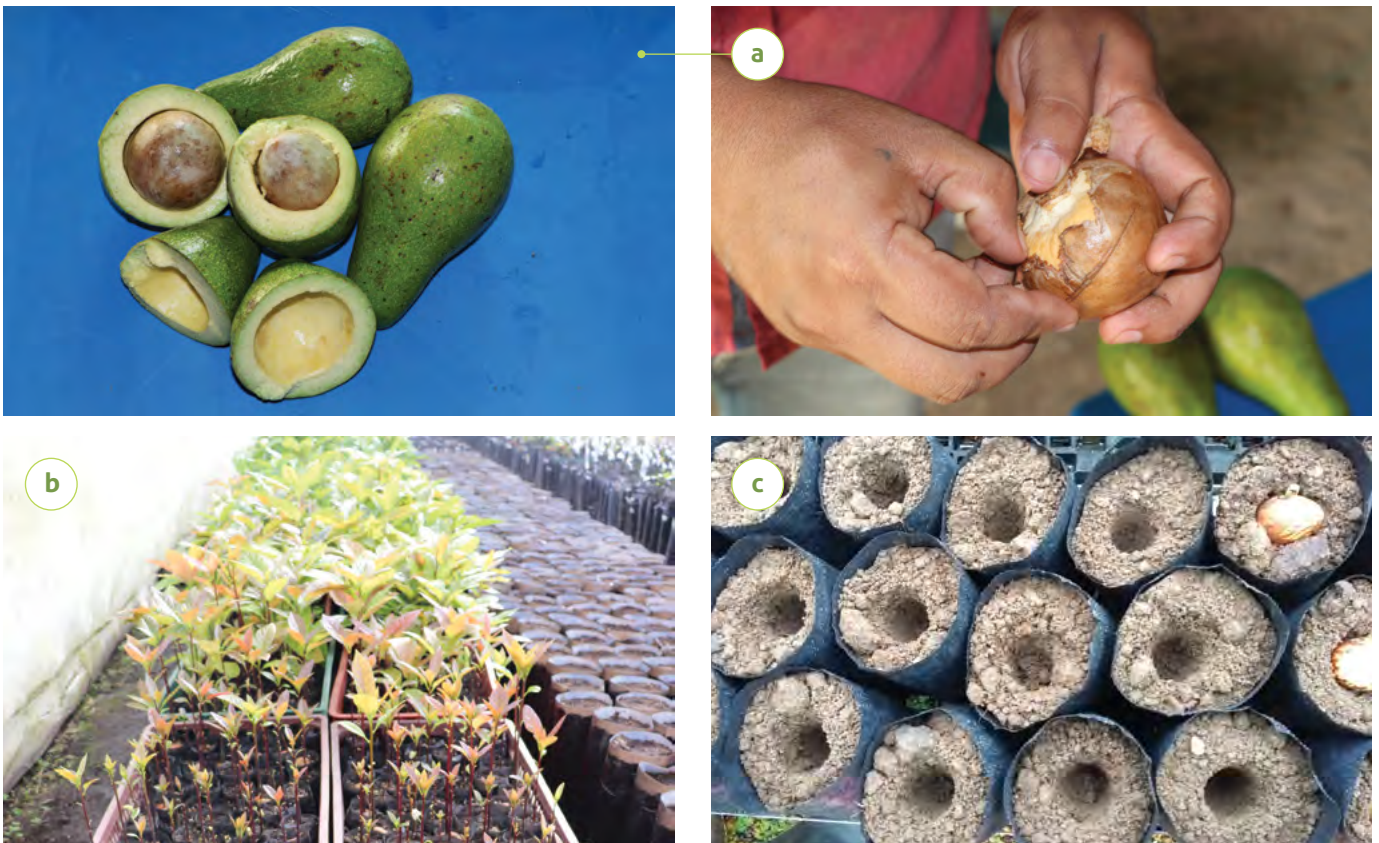
Los frutos se deben cosechar directamente del árbol cuando estén maduros (Ernst et al., 2013). En vivero, una vez extraída la semilla de los frutos, debe plantarse de forma inmediata en germinadores, pues, al ser una semilla recalcitrante, se puede producir una alta mortalidad si se permite

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

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

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

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



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

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

YEMAS CULTIVAR COMERCIAL

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

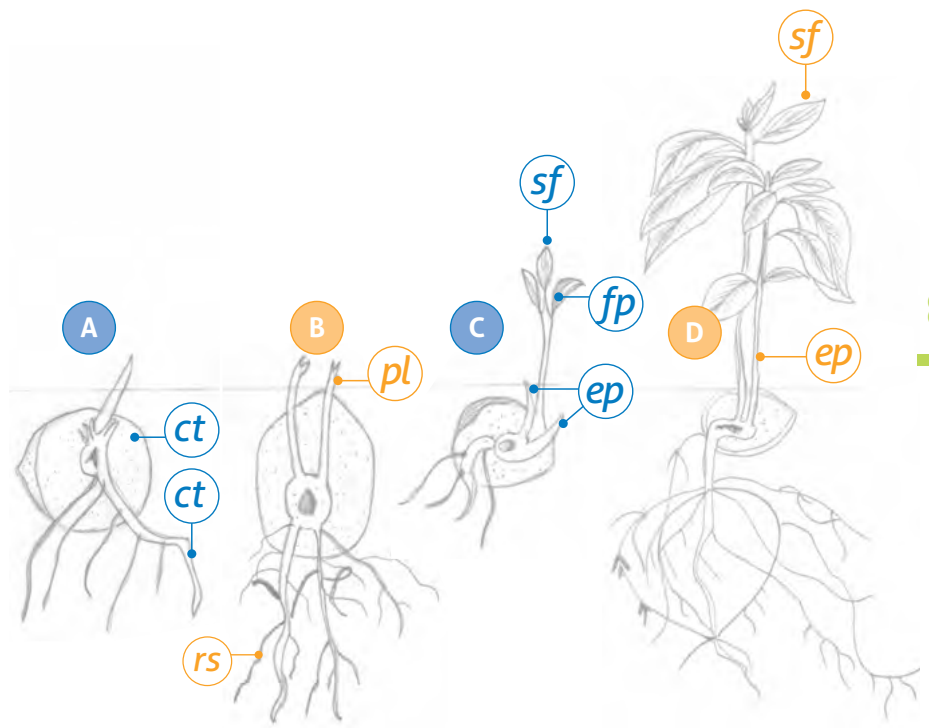


Figura 5. Desórdenes fisiológicos en patrones a partir de semilla de materiales criollos de aguacate. **a.** Tallos múltiples; **b.** Raíces múltiples.

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

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

Fotos: Oscar de Jesús Córdoba Gaona

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

INJERTACIÓN

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

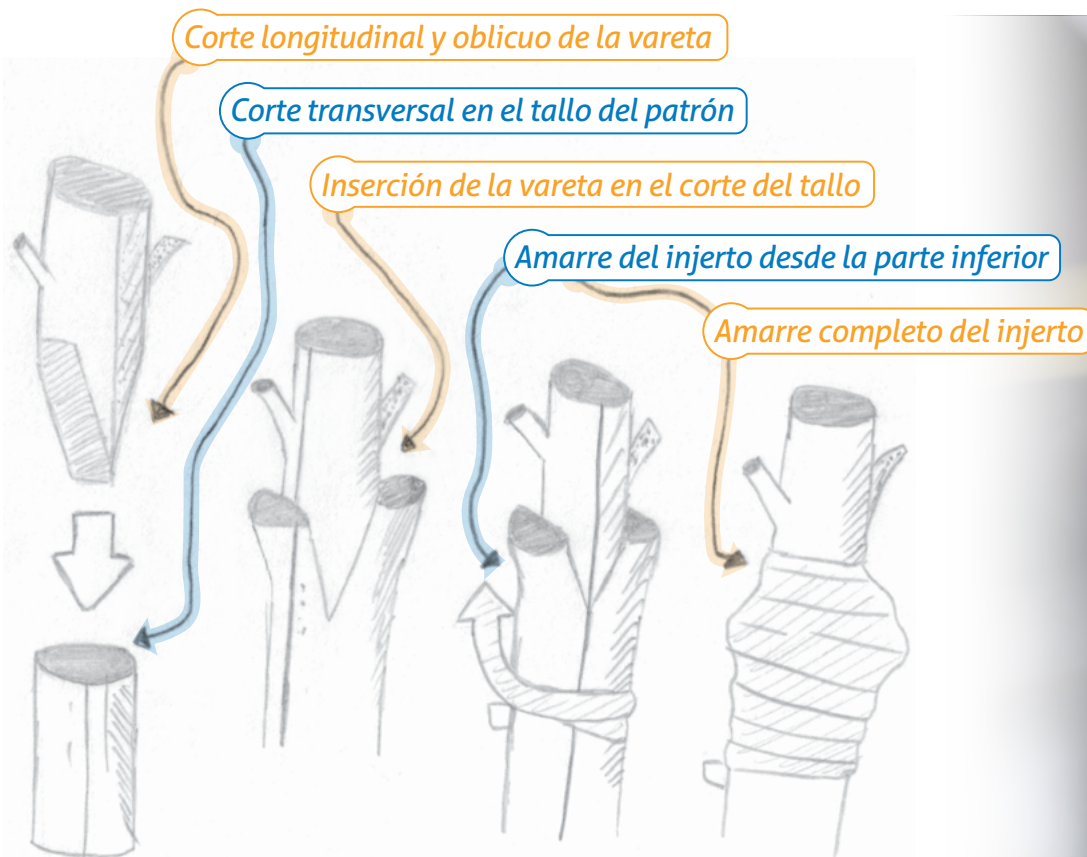
Injerto de púa terminal o hendidura simple: Es el método de propagación más utilizado en los viveros de aguacate en la actualidad. El método es rápido y la tasa de éxito es alta, ya que ambos lados del vástago suelen coincidir con el cambium de portainjertos de diámetro similar (Whitsell et al., 1989;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

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

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

Fuente: Ernst et al. (2013)

Foto: Oscar de Jesús Córdoba Gaona



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

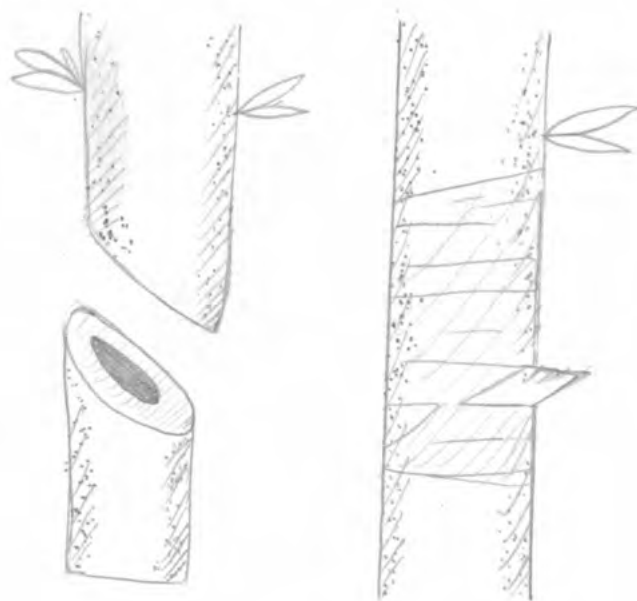
INJERTO LATERAL

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

PROPAGACIÓN CON PORTAINJERTOS CLONALES

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

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



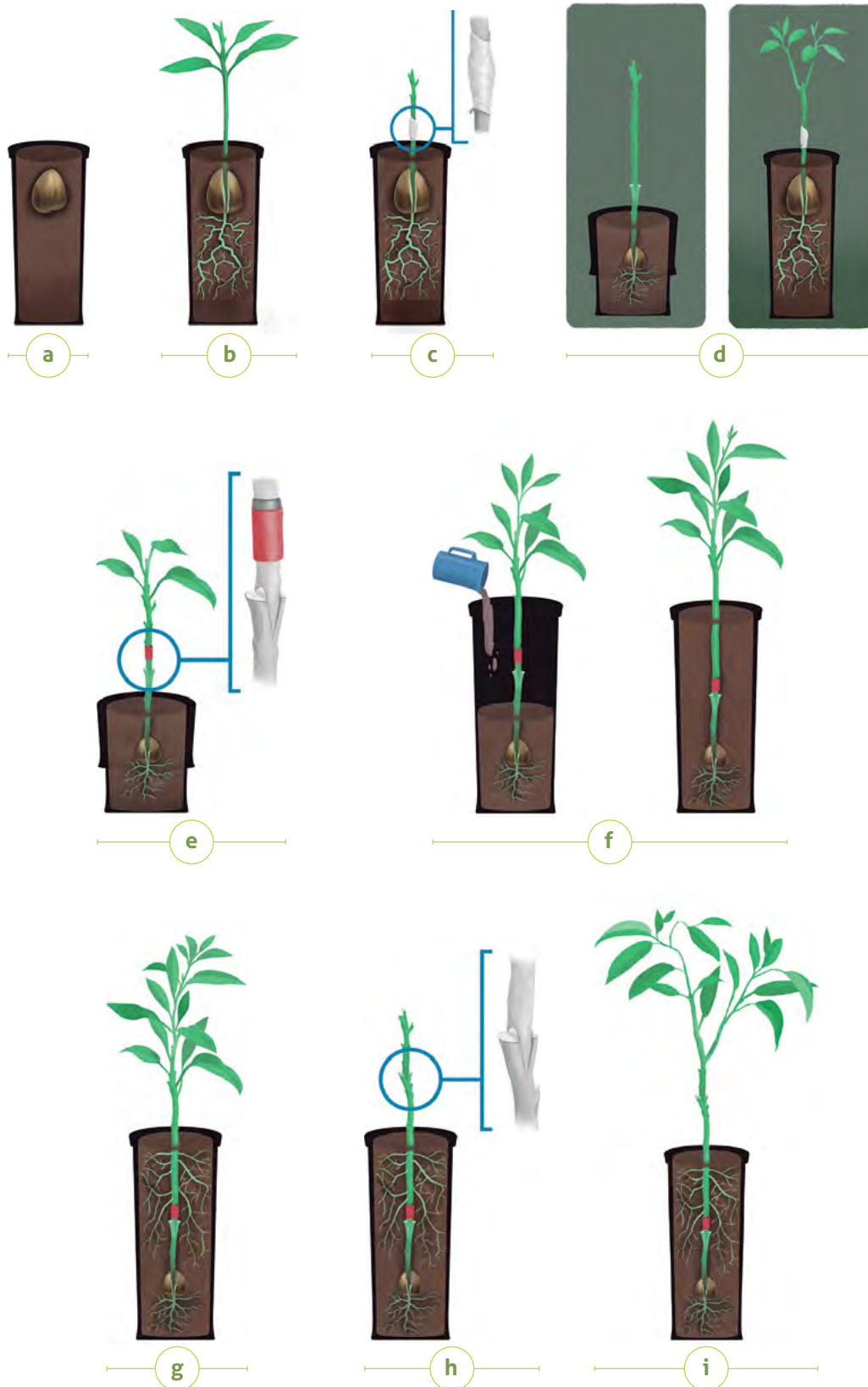


Figura 8. Método de Brokaw para producción de portainjertos clonales de aguacate. **a.** Siembra de la semilla 'nodriza'; **b.** Planta lista para recibir el injerto; **c.** Injerto del cultivar portainjerto seleccionado; **d.** Brote etiolado en cámara oscura; **e.** Anillado del brote etiolado; **f.** Recubrimiento de la base del brote etiolado; **g.** Emergencia de las raíces adventicias del brote etiolado; **h.** Injerto del cv. Hass; **i.** Plántula del cv. Hass en bolsa, lista para trasplante en campo.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MÉTODO DE ALLESBESTE

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

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

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

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

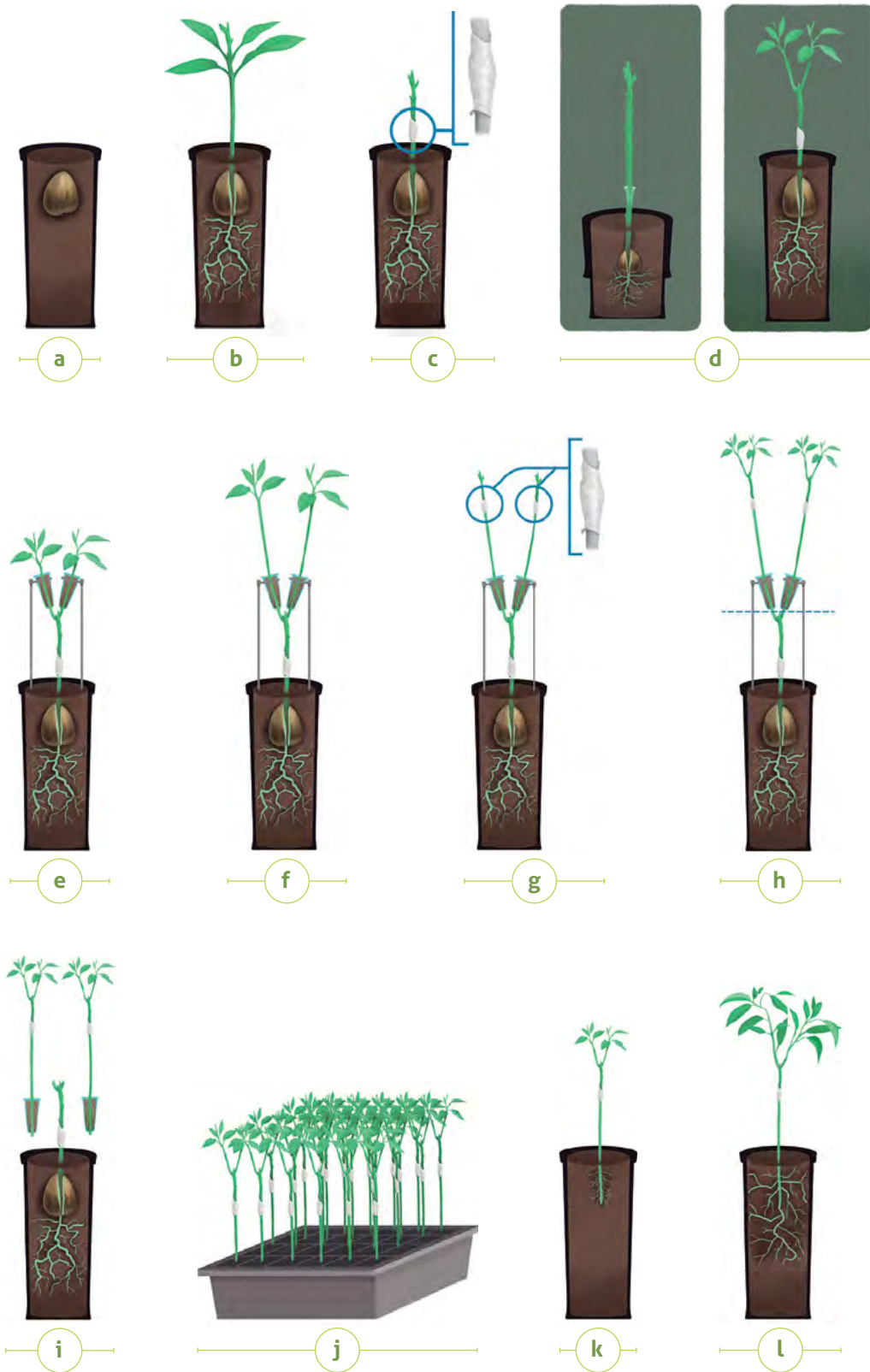


Figura 9. Técnica Alleesbeste adaptada de Brokaw (Ernst, 1999; Ernst et al., 2013) para la microclonación de portainjertos de aguacate.

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

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