

Capítulo II

Ecofisiología del aguacate cv. Hass en el trópico andino colombiano

Cipriano Arturo Díaz Díez
Jorge Alonso Bernal Estrada
Álvaro Tamayo Vélez

Introducción

La productividad de una planta está determinada por el genotipo (variedad y fenología), el medioambiente y el manejo que se le proporcione en búsqueda de una mayor cantidad de fruta de alta calidad. En cuanto al medioambiente, este es producto de la interacción entre el clima, el suelo y el manejo del cultivo. El clima, por su parte, se compone de fenómenos abióticos como la radiación, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la evaporación y el viento. El suelo presenta características como la textura, el pH, la salinidad, los contenidos de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la humedad y la fertilidad. Finalmente, el manejo presenta distintos componentes, entre los cuales se destacan la densidad de siembra, la fertilización, el riego, el manejo integrado de plagas y enfermedades, las podas, la cosecha y la poscosecha; todos ellos juegan un rol importante en la productividad.

El clima hace referencia a las condiciones atmosféricas predominantes por un tiempo determinado en un territorio, para cuya identificación se han venido utilizado las variables meteorológicas. La forma como se distribuyen en espacio y tiempo estas variables permite establecer esquemas de comportamiento del clima en una región (Pabón, Eslava, & Gómez, 2001). En la Región Andina, el régimen de temperatura del aire se caracteriza por la presencia de los llamados *pisos térmicos*, que consisten en la disminución de la temperatura media del aire a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar. El gradiente vertical de la temperatura (disminución de esta por cada 1.000 m de altitud) oscila entre 4,62 °C en la Costa Pacífica y 6,13 °C en la Región Andina, con un promedio para toda Colombia de 5,53 °C (Eslava, 1992).

Las regiones tropicales, en términos generales, se caracterizan por poseer condiciones particulares que se enmarcan en una gran diversidad de climas y suelos. Estos cambios en la región tropical andina colombiana se deben a la fisiografía y, más especialmente, a la altitud, lo que genera una enorme biodiversidad (Jaramillo-Robledo, 2005). En ese orden de ideas, el aguacate (cuyos orígenes varietales le permiten establecerse en todos los ambientes climáticos del país) es actualmente considerado como uno de los renglones frutícolas con mayores proyecciones en el mercado nacional e internacional.

Colombia dispone de áreas con buenas condiciones agroecológicas para la siembra de aguacate cv. Hass, así como de empresarios con iniciativa y dinámica, cercanía de mercados especializados y la infraestructura necesaria para la exportación del producto; sin embargo, no todas las áreas con aparentes condiciones similares son aptas para su siembra. Esta tiene sus propias exigencias y rangos de tolerancia para los diferentes factores ambientales, lo que genera la necesidad de estudios que orienten sus áreas de distribución a aquellas zonas que presenten ventajas comparativas y competitivas. El país cuenta con una importante organización de la cadena productiva de aguacate nacional que ha demostrado gran dinamismo y está procurando asegurar, entre otras acciones, el posicionamiento de este producto en mercados internacionales. También se ha avanzado en la identificación de las principales limitantes que este sistema de producción tiene en Colombia, con el fin de construir una agenda de investigación y desarrollo tecnológico que responda a las necesidades reales de la especie (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2012).

Desde 2007, Antioquia ha venido incrementando su participación en la producción nacional. En 2006, participó solo con el 6,23 % del total del país, mientras que para 2015 había incrementado su participación con el 13,16 %, un reflejo del acelerado impulso que viene presentando esta actividad en el departamento. En 2018, Antioquia

contó con 13.734 hectáreas sembradas con aguacate Hass, de las cuales 6.867 hectáreas cosechadas produjeron unas 103.000 toneladas ese año, lo cual lo ubicó como el segundo productor del país (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia [Sadra], 2019).

Las principales subregiones donde se produce aguacate Hass en Antioquia son el suroeste, el oriente y el altiplano norte (figura 2.1). Estas zonas presentan suelos denominados andisoles (de origen volcánico): con una alta capacidad de fijación de fosfatos, considerados de baja fertilidad (porque presentan contenidos bajos en nutrientes y, en general, con desbalances nutricionales), con pH entre fuertemente ácido y moderado (4,6-5,5) y con altos contenidos de aluminio (Tamayo & Osorio, 2014). Estos suelos presentan altos contenidos de materia orgánica en la parte superior, además de una buena retención de humedad y, por ende, un buen desarrollo del sistema radical por su porosidad con texturas francas. Los horizontes más profundos de estos suelos tienen limitaciones físicas, por lo cual no permiten un buen desarrollo de las raíces a profundidades mayores de 50 cm. Este fenómeno es común en los suelos planos aluviales (Muñoz, 1998).



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

Fuente: Elaboración propia

La ventaja de la producción del aguacate cv. Hass en Antioquia radica en un conjunto de factores que incluyen los suelos, el clima, el buen comportamiento fisiológico de los árboles y una época de floración que coincide con un momento adecuado del mercado. Esto último significa que una franja de su cosecha principal, en la mayoría de regiones de Antioquia, se presenta en los meses en que escasea la oferta de este producto en otros países exportadores. La idea es ampliar la producción de aguacate cv. Hass en Antioquia, dada la importancia del cultivo en el mercado globalizado, las condiciones climáticas que posee el departamento y los contenidos internos de la fruta, que aporta elementos para combatir el colesterol, conservar la visión y ayudar al cuidado del corazón (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2012).

En trabajos realizados por Bernal (2016) y Díaz y Bernal (2017) se evaluó el comportamiento ecofisiológico, agronómico, de rendimiento y de calidad del aguacate cv. Hass en diferentes ambientes del departamento de Antioquia, para determinar sus zonas óptimas de cultivo. En dichos trabajos se seleccionaron lotes de aguacate cv. Hass de al menos cinco años, ubicados en distintos ambientes de tres subregiones (suroeste, oriente y norte) del departamento de Antioquia. A continuación, se describen los principales resultados de estos estudios, los cuales comprendieron temas como la determinación de la altura de los árboles; el diámetro de las copas; los flujos de crecimiento vegetativo, reproductivo (floración) y productivo (fructificación); el crecimiento de frutos y de raíces; el rendimiento y la calidad de la fruta; la caracterización cuantitativa y cualitativa de los árboles de aguacate cv. Hass; la caída de hojas, flores y frutos; y la remoción de nutrientes.

Altura de los árboles

De acuerdo con Bernal (2016), en un estudio realizado en siete localidades del departamento de Antioquia sobre aguacate cv. Hass, durante 2011 y 2012, la altura de los árboles (figura 2.2) aumentó en los años evaluados en todas las localidades (figura 2.3). Además, se observó que a medida que aumenta la altitud sobre el nivel del mar, los árboles presentan menor altura por efecto del ambiente. Las localidades consideradas en ese estudio fueron las siguientes: Támesis, Venecia (finca Piedras Blancas [PB] y finca Santa Cruz [SC]), Jericó, Marinilla, Rionegro y Entreríos.



Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.2. Diagrama de la toma de información sobre la altura y el diámetro cruzado de la copa (norte-sur [NS] y este-oeste [EO]) de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

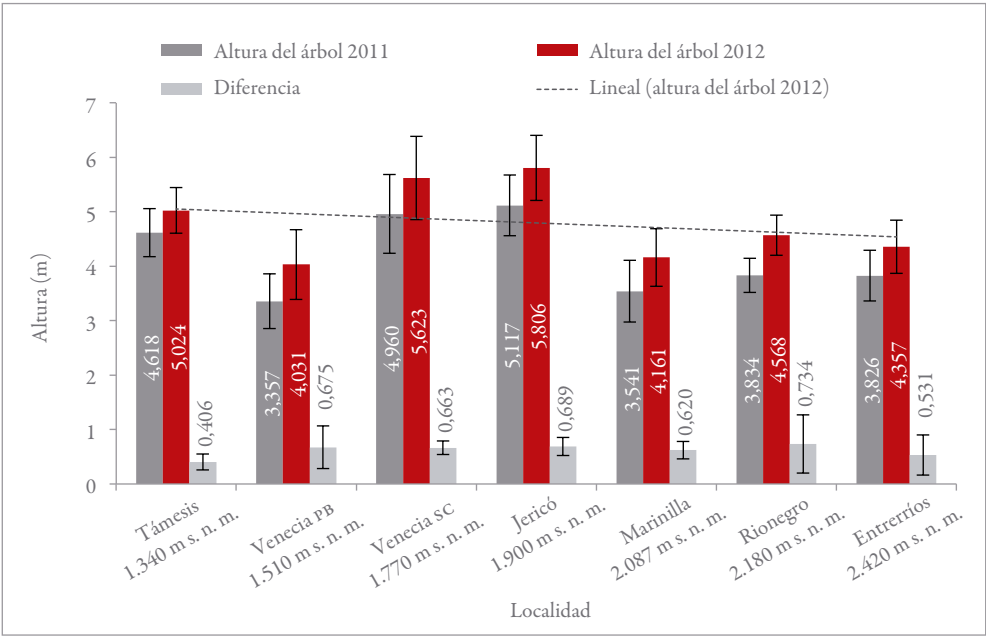


Figura 2.3. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Fuente: Elaboración propia

Similares resultados obtuvieron Díaz y Bernal (2017), en los cuales la altura (m) de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho ambientes en Antioquia disminuyó a medida que los ambientes eran más fríos, lo que muestra el efecto climático sobre el crecimiento de los árboles. Los árboles con mayor altura estaban ubicados en la zona del suroeste, mientras que los ubicados en la zona del altiplano norte de Antioquia presentaron una menor altura (figura 2.4).

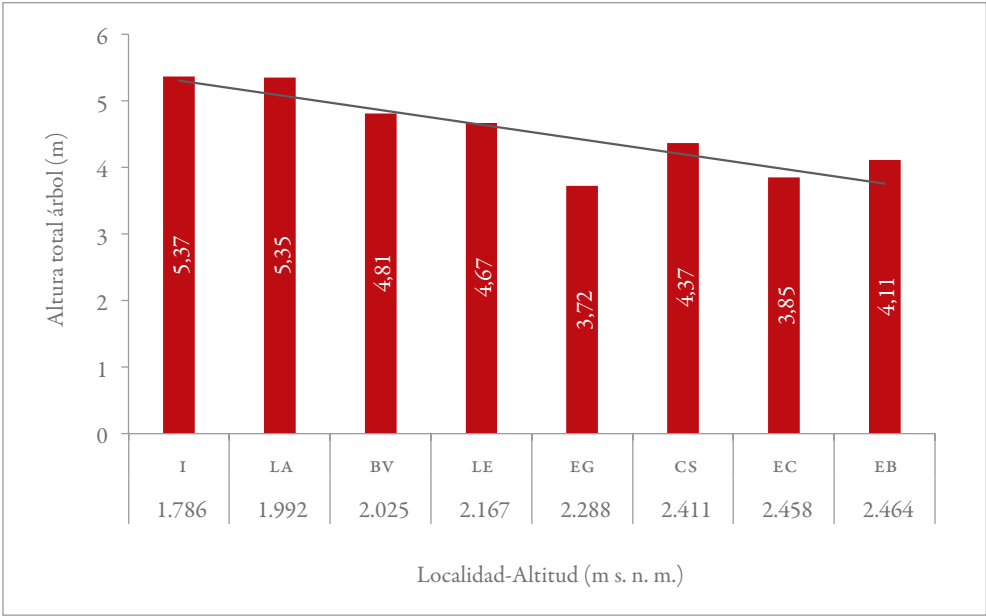


Figura 2.4. Altura de los árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho huertos del departamento de Antioquia (2016).

Fuente: Elaboración propia

Diámetro de la copa

En la figura 2.5, de acuerdo con los estudios realizados por Bernal (2016), se observa que los árboles de Venecia SC alcanzaron los mayores diámetros de copa en los dos años de medición, seguidos por los de Támesis, Rionegro, Jericó, Entrerríos, Marinilla y Venecia PB. La diferencia entre los árboles de mayor diámetro de copa (Venecia SC) con los más bajos (Venecia PB) en 2011 fue de 2,23 m (desviación estándar de 0,80 m) y en 2012 fue de 2,52 m (desviación estándar de 0,876 m), lo cual muestra una cierta similitud en el desarrollo de los árboles. La localidad con mayor tasa de aumento en el crecimiento de copa fue Entrerríos, seguida de Támesis, Marinilla,

Rionegro, Jericó, Venecia SC y Venecia PB (desviación estándar de 0,17 m). En el año de observación, los árboles crecieron en altura y diámetro del dosel (figura 2.5), sin embargo, no se tiene evidencia de que el incremento registrado en los parámetros mencionados sea atribuible al ambiente; se requerirían más años de evaluación para determinar este efecto.

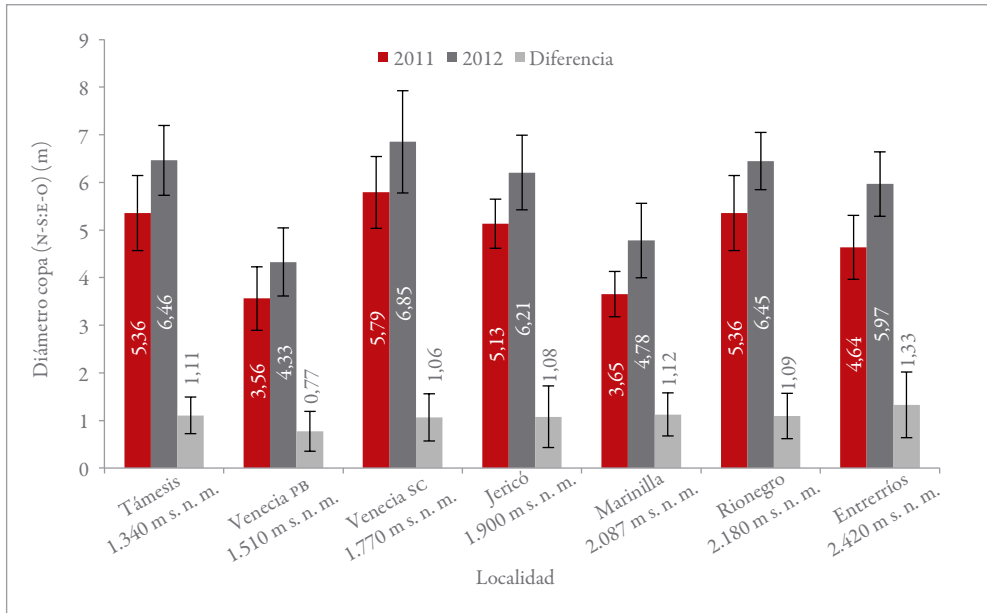


Figura 2.5. Diámetro promedio de las copas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia (2011-2012).

Fuente: Elaboración propia

De otra parte, Díaz y Bernal (2017) encontraron que en la mayoría de los árboles se presentan escasas diferencias entre el crecimiento de las copas en ambas orientaciones, norte-sur (NS) y este-oeste (EO), a excepción de La Escondida (LE) (Rionegro), donde el diámetro NS superó al diámetro EO, y de El Guarango (EG) (El Retiro), donde esta tendencia fue contraria y mostró crecimientos desiguales en sus copas (figura 2.6). La localidad con mayor tasa de crecimiento de la copa fue EG (El Retiro), seguido de Imperio (I) (Amagá), Cantabria la Sierra (CS) (San Pedro), Buena Vista (BV) (Jardín), El Banco (EB) (San Pedro), Los Abuelos (LA) (El Peñol), La Escondida (LE) (Rionegro) y El Cebadero (EC) (El Retiro). En general, no se observó que el ambiente tuviera un efecto marcado sobre el crecimiento de las copas; sin embargo, al observar el volumen del dosel de los árboles, se registró la tendencia a la disminución a medida que los ambientes eran más fríos, lo que podría atribuirse a un efecto ambiental.

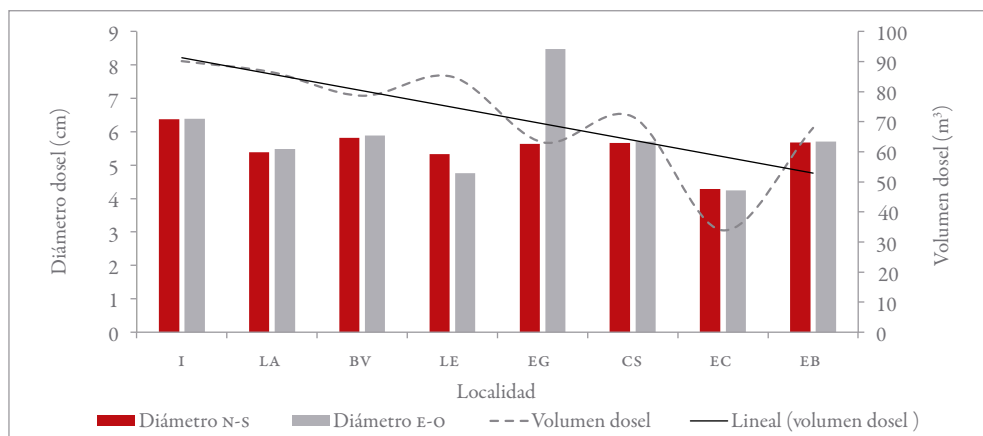


Figura 2.6. Diámetro promedio de las copas en árboles de aguacate cv. Hass plantados en siete localidades del departamento de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia

Flujos de crecimiento

De acuerdo con un diagrama fenológico ajustado por Alcaraz, Thorp y Hormaza (2013) (figura 2.7), Díaz y Bernal (2017) tomaron la información correspondiente a 120 ramas terminales de 30 árboles plantados en ocho ambientes del departamento de Antioquia. En las figuras 2.8 a 2.15 se muestra el comportamiento de los árboles de aguacate cv. Hass en los distintos ambientes evaluados y se detallan los eventos fenológicos encontrados, tales como flujos de crecimiento vegetal, floración y fructificación, así como las épocas de crecimiento de los frutos y de la cosecha; lo anterior fue contrastado con la precipitación ocurrida durante el periodo de evaluación.

En el estudio realizado, el aguacate cv. Hass presentó diferencias en número e intensidad en los flujos vegetativos dependiendo de la localidad. En todos los huertos se observaron al menos dos flujos vegetativos al año, los cuales coinciden con lo reportado por Davenport (1986), quien menciona que en el aguacate ocurren generalmente dos o tres flujos al año y pueden o no incluir la totalidad del árbol. En algunos casos, estos flujos estuvieron acompañados por crecimientos vegetativos de menor intensidad que pudieron obedecer a las prácticas de manejo agronómico realizadas en cada huerto. Esta situación es similar a la reportada por Scora, Wolstenholme y Lavi (2002) y por Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán y Cossio-Vargas (2011a), quienes mencionan que, en la mayoría de los frutales de hoja persistente, como el aguacate, el crecimiento de los brotes vegetativos está sincronizado en flujos que varían en vigor, duración y magnitud (figuras 2.8 a 2.15).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.7. Diagrama fenológico utilizado para medir los flujos de crecimiento vegetativo, de floración y de fructificación en árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia ajustada de la escala fenológica de Alcaraz et al. (2013)

Se pudo establecer que las precipitaciones influyeron en los periodos de crecimiento del árbol, ya que en la época de menor precipitación (enero-marzo) en todas las localidades, los flujos de crecimiento vegetativo disminuyeron. De acuerdo con Avilán, Soto, Pérez, Rodríguez y Ruiz (2007), la ocurrencia de los flujos vegetativos está asociada a los meses de mayor precipitación; además, dado que en esas fechas se presenta la mayor floración, existe una competencia por fotoasimilados, que son distribuidos por el árbol, lo cual potencializa el cuajamiento en detrimento del crecimiento vegetativo. Se produjeron, también, flujos simultáneos de crecimiento vegetativo, reproductivo y productivo, los cuales corroboran lo planteado por Salazar-García, Cossio-Vargas, Lovatt, González-Durán y Pérez-Barraza (2006), Salazar-García, Cossio-Vargas, González-Durán y Lovatt (2007) y Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán y Medina-Torres (2011b), quienes mencionan que el número de flujos vegetativos depende de las condiciones ambientales, que la magnitud de cada flujo es variable y que usualmente uno de ellos es el principal responsable de la producción del flujo de crecimiento reproductivo.

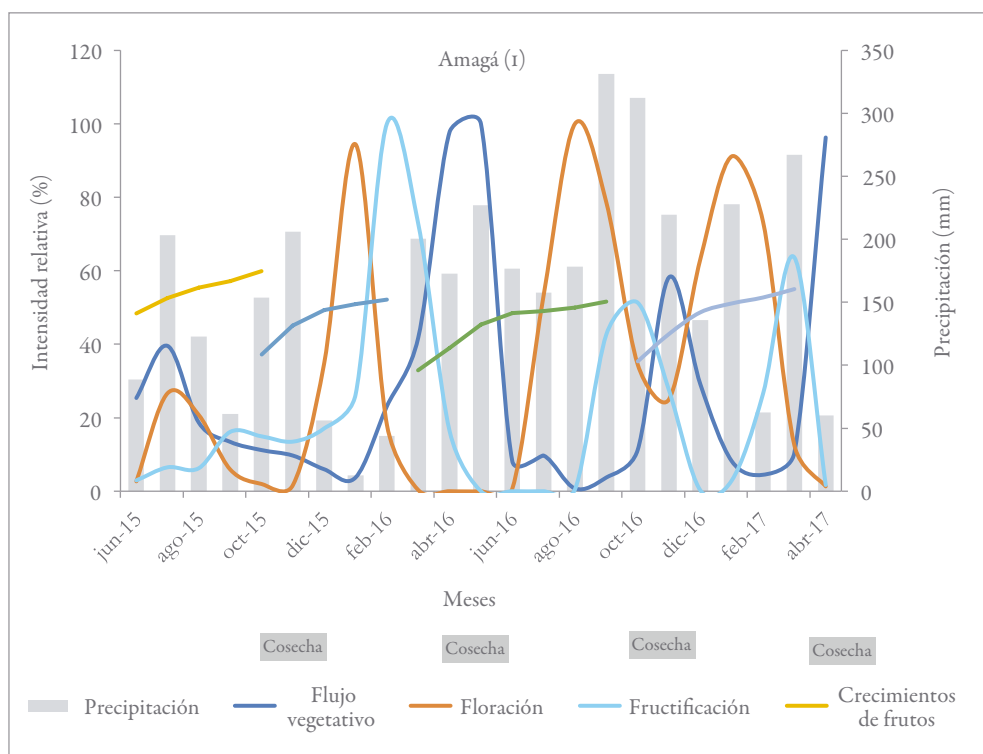


Figura 2.8. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Amagá (I), Antioquia (1.786 m s. n. m.), entre 2015 y 2017.

Fuente: Elaboración propia

Como en la mayoría de los frutales de hoja persistente, el crecimiento de los brotes vegetativos del aguacate está sincronizado con flujos que varían en vigor, duración y magnitud (Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán, & Cossio-Vargas, 2011a; Scora et al., 2002). Dichos flujos ocurren generalmente dos o tres veces al año y pueden o no incluir la totalidad del árbol (Davenport, 1986). El número de flujos vegetativos depende de las condiciones ambientales y la magnitud de cada flujo es variable: usualmente uno de ellos es el principal responsable de la producción del flujo de crecimiento reproductivo (Rocha-Arroyo et al., 2011b; Salazar-García et al., 2006, 2007). La ocurrencia de los flujos vegetativos está relacionada con los meses de mayor precipitación (Avilán et al., 2007).

En el subtrópico húmedo de veranos lluviosos, los árboles se caracterizan por presentar un flujo primaveral de crecimiento de brotes que comienza con la floración y tiene su nivel más alto a principios del verano. Luego, la proporción de brotes terminales y subterminales en crecimiento activo se reduce al mínimo, para después continuar con un segundo flujo de crecimiento de brotes (Rocha-Arroyo et al., 2011b; Scora et al., 2002). Estos resultados, en los que se pueden diferenciar dos flujos fuertes y dos flujos suaves, concuerdan con lo reportado por Arpaia (1998), Whiley, Saranah, Cull, y Pegg (1988) y Sánchez-Pérez et al. (2001), quienes mencionan que en el aguacate se observan al menos dos flujos de crecimiento al año: uno en primavera y otro en verano u otoño.

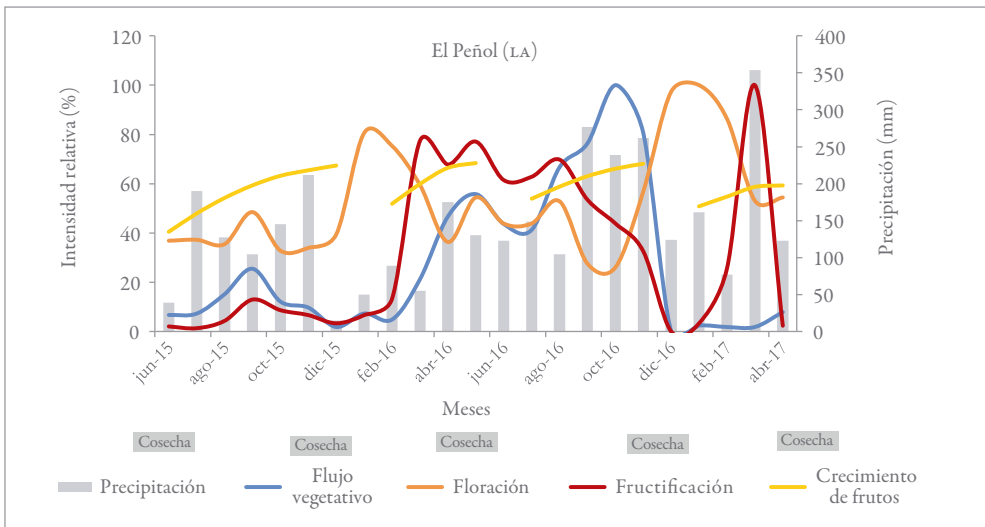


Figura 2.9. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Peñol (LA), Antioquia (1.992 m s. n. m.) (2015-2017).

Fuente: Elaboración propia

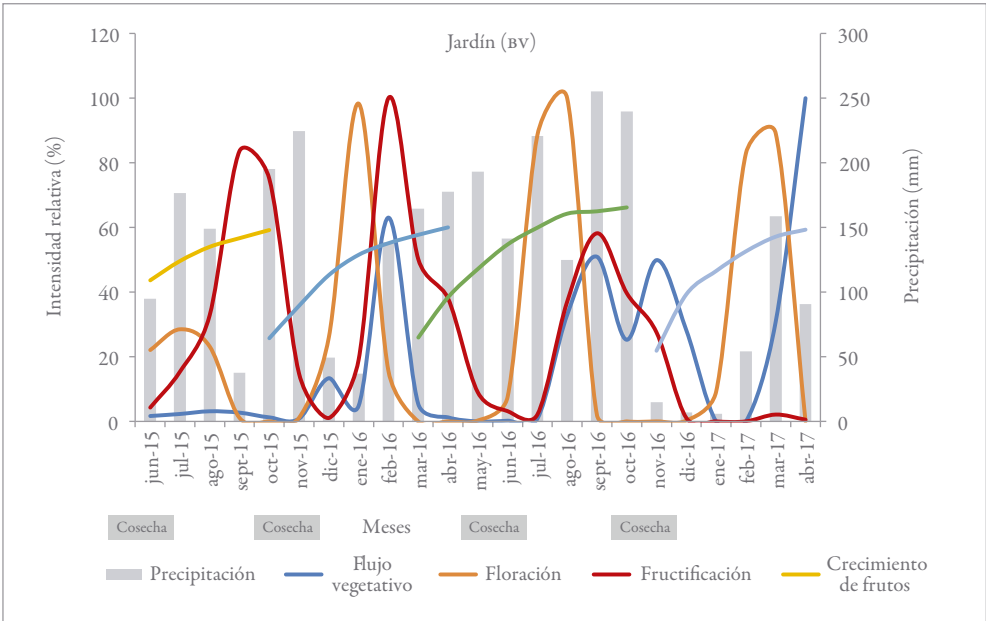


Figura 2.10. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Jardín (bv), Antioquia (2.025 m s. n. m.) (2015-2017).

Fuente: Elaboración propia

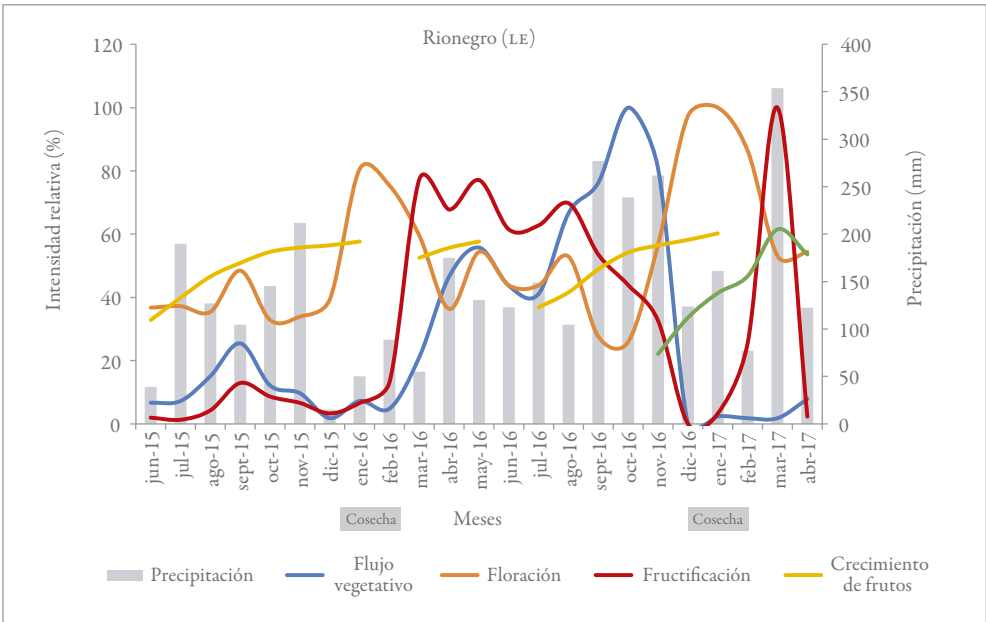


Figura 2.11. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de Rionegro (LE), Antioquia (2.167 m s. n. m.) (2015-2017).

Fuente: Elaboración propia

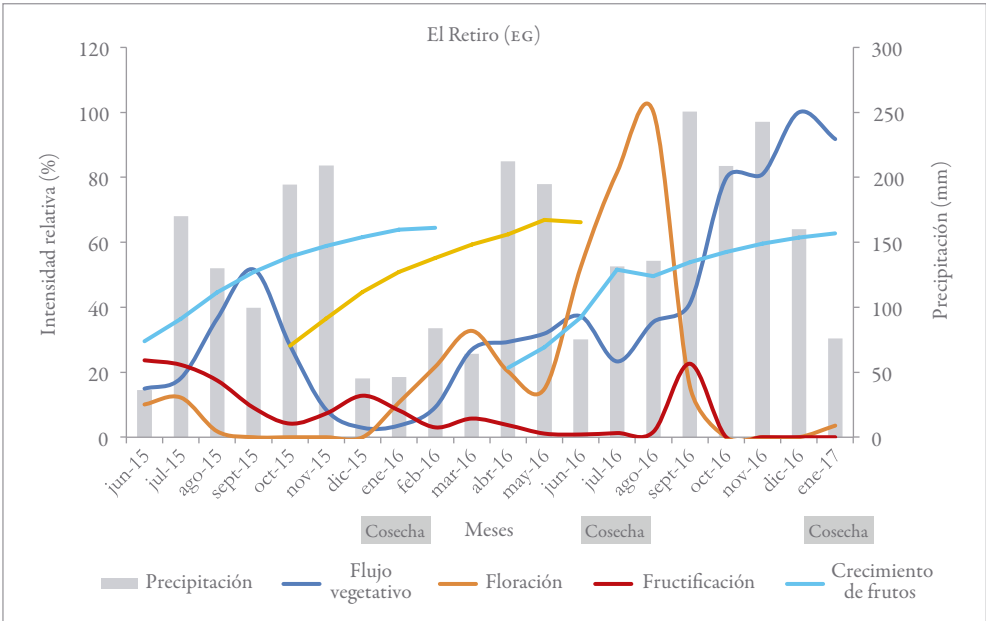


Figura 2.12. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Retiro (EG), Antioquia (2.288 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

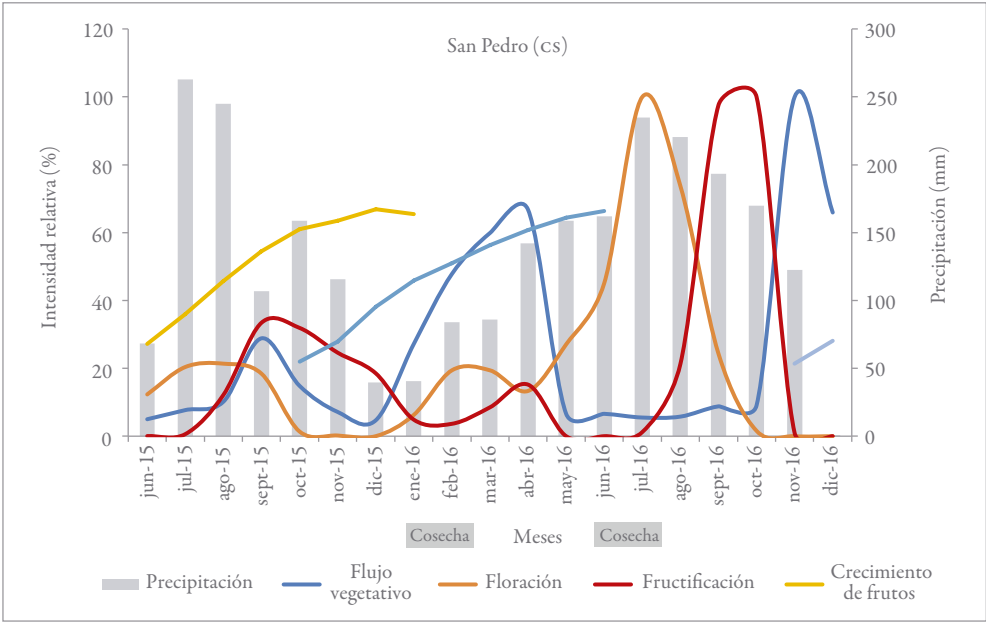


Figura 2.13. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de San Pedro (cs), Antioquia (2.411 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

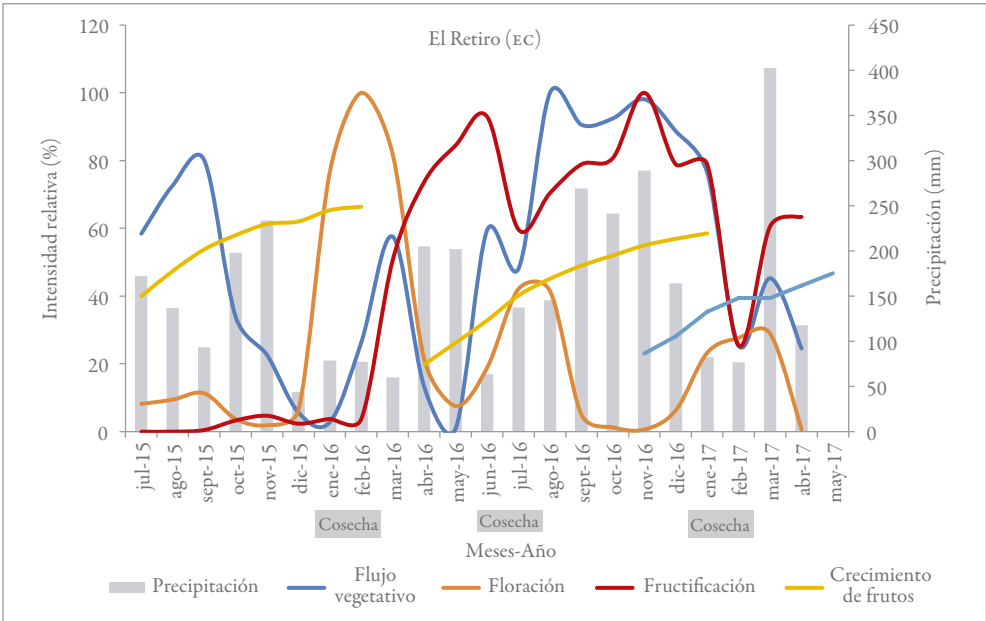


Figura 2.14. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de El Retiro (EC), Antioquia (2.464 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

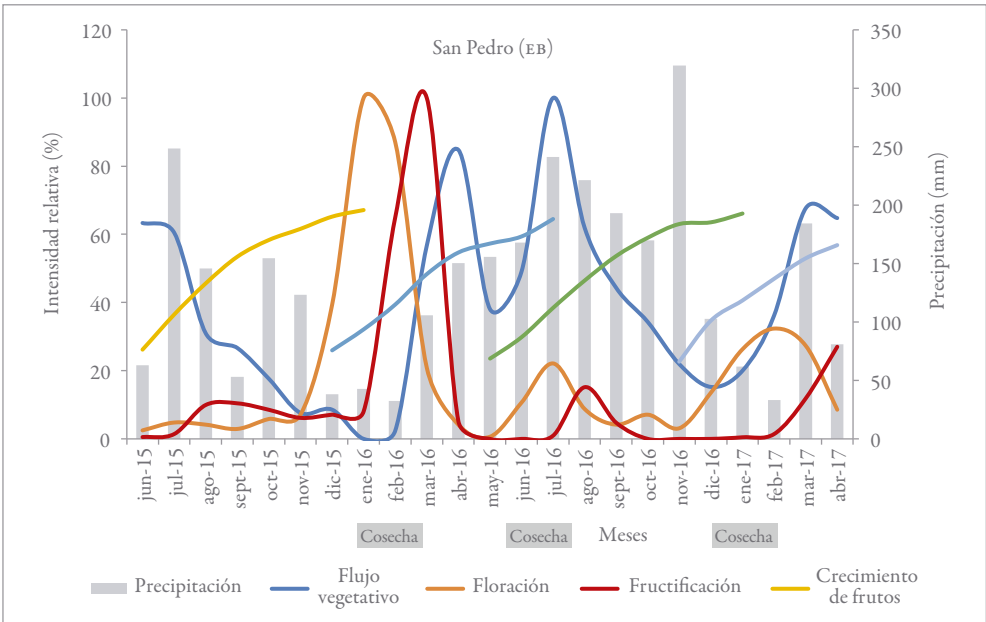


Figura 2.15. Fenología del aguacate cv. Hass en las condiciones ambientales de San Pedro (EB), Antioquia (2.458 m s. n. m.) (2015-2017).
Fuente: Elaboración propia

Flujos reproductivos (floración)

De acuerdo con la investigación de Díaz y Bernal (2017), los flujos florales en ocho localidades del departamento de Antioquia tuvieron una duración e intensidad diferentes, lo cual implica floraciones sucesivas (figura 2.16). Este comportamiento fenológico origina la presencia simultánea de fruto de diferentes edades en el árbol, que es cosechado durante la mayor parte del año en los distintos climas de la región. En todos los huertos, la floración de mayor intensidad se observa en el primer trimestre del año. Se observó además que el árbol presenta distintos flujos vegetativos durante el año, los cuales pueden coincidir con las épocas de floración; esto da cuenta de la presencia de las inflorescencias indeterminadas (flores y brotes vegetativos en forma simultánea) en esta especie frutal.

En el presente estudio se observó que existe una influencia climática sobre el comportamiento fenológico del aguacate cv. Hass. Las ocho localidades presentaron dos flujos florales por año de distinta intensidad, pero en todos los casos se manifestaron entre enero y abril y entre julio y septiembre, en las épocas de menor precipitación, lo cual evidenció un comportamiento cíclico en este estado fenológico (figura 2.17). Tal comportamiento se vio reflejado en dos cosechas en todas las localidades, correspondientes a una cosecha principal y una traviesa. Las localidades de Rionegro (LE) y El Peñol (LA) presentaron —además del comportamiento descrito— pequeñas floraciones durante todo el periodo de evaluación, que pudieron reflejarse en la caída continua de flores, mas no en una mayor disponibilidad de fruta.



Foto: Jorge Alonso Bernal Estrada

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

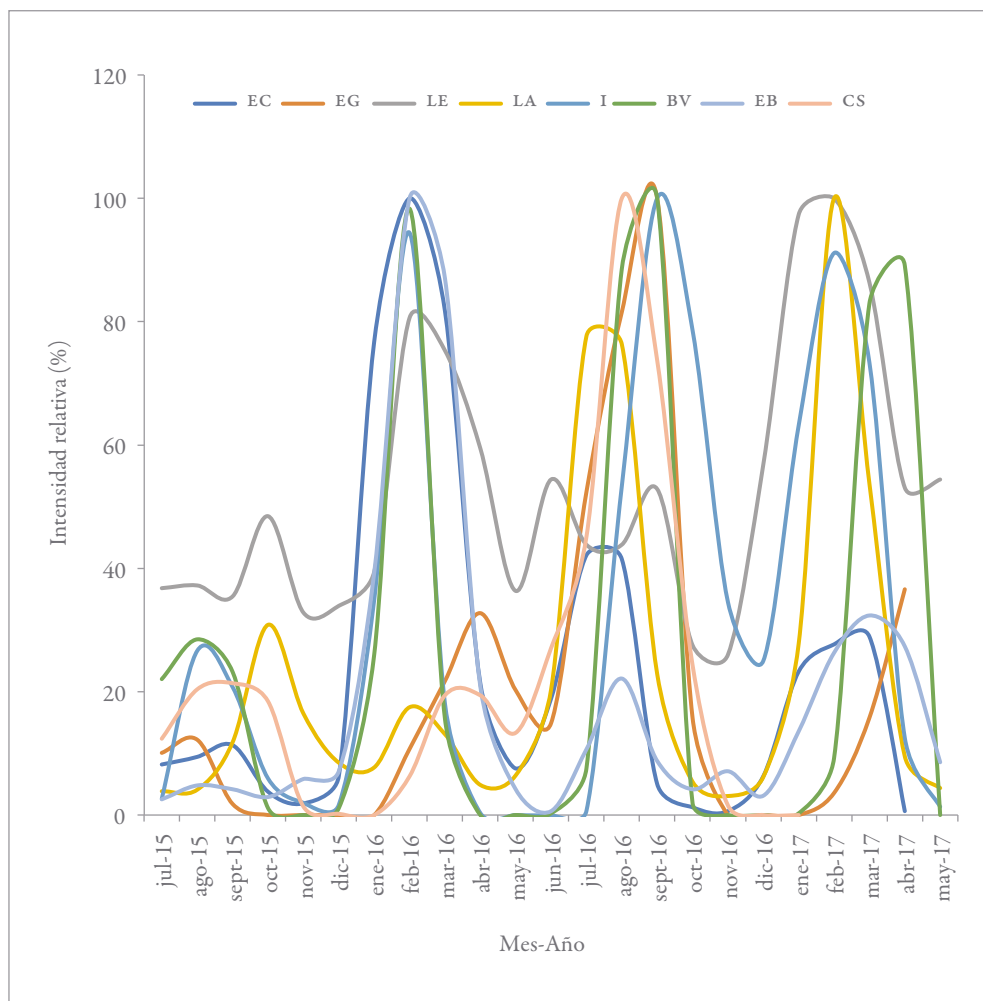


Figura 2.17. Desarrollo floral en árboles de aguacate cv. Hass plantados en ocho localidades del departamento de Antioquia (2015-2017).

Fuente: Elaboración propia

En países productores de aguacate cv. Hass —como Australia, Chile, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Perú, Sudáfrica y México—, este producto suele presentar un flujo de floración al año (Dixon, Cotterell, Hofstee, & Elmsly, 2008; Liu, Hofshi, & Arpaia, 1999; Mena-Volker, 2004; Salazar-García et al., 2007; Thorp, Aspinall, & Sedgley, 1993). En el presente estudio, sin embargo, se observó una situación diferente: se evidenciaron dos flujos florales. Una situación única en el mundo, se presenta en Michoacán (México), donde se registran cuatro flujos florales de diferente intensidad, evento que merece ser estudiado para entender mejor la floración del cv. Hass (Salazar-García et al., 2006).

Crecimiento de las raíces

En el aguacate, generalmente, el crecimiento de las raíces alterna con el crecimiento de la parte aérea (Arpaia, 1998; Ploetz, Ramos, & Parrado, 1992); sin embargo, dado que en la zona de estudio y en general en la región andina de Antioquia existen condiciones favorables para el crecimiento vegetativo (precipitaciones prácticamente todo el año), se presentaron inhibiciones de un crecimiento sobre el otro y viceversa. En las figuras 2.18 a 2.25 se registra la dinámica e intensidad de los flujos de crecimiento de raíces y su relación con la precipitación, registrada en las ocho localidades. En casi todas las localidades, a excepción de San Pedro (cs), el mayor crecimiento de raíces se presentó en forma alternada con los crecimientos vegetativos; en la mayoría de los casos, este hecho coincidió con la máxima fructificación —Amagá (i), El Peñol (LA), Rionegro (LE) y El Retiro (EG)— y con el inicio de la época de lluvias del primer semestre de 2017.

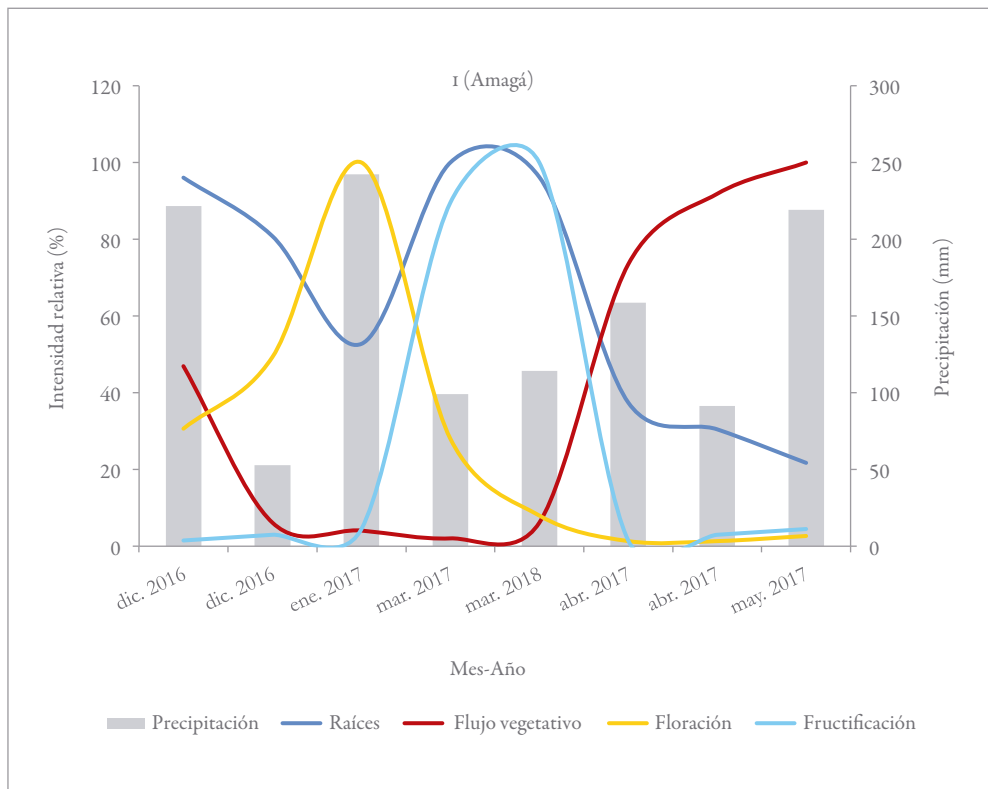


Figura 2.18. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Amagá (i), Antioquia (1.786 m s. n. m.) (2016-2017).

Fuente: Elaboración propia

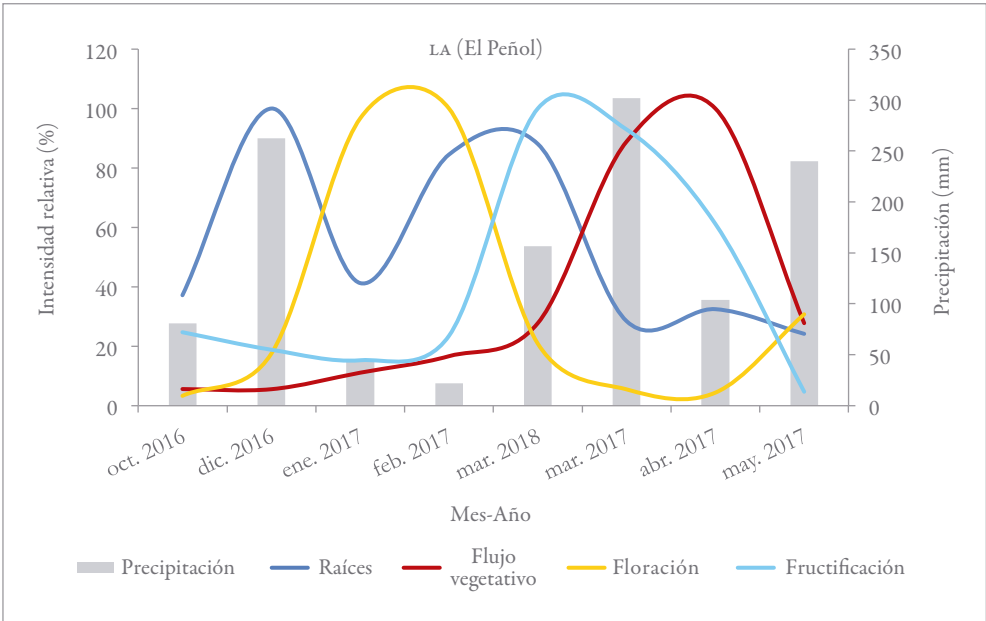


Figura 2.19. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Peñol (LA), Antioquia (1.992 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

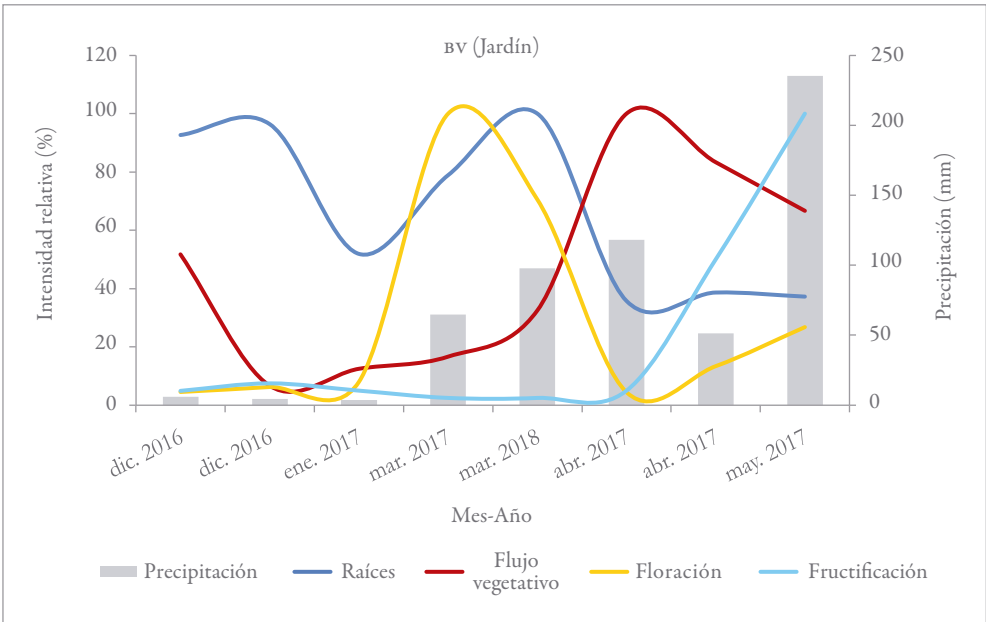


Figura 2.20. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Jardín (BV), Antioquia (2.025 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

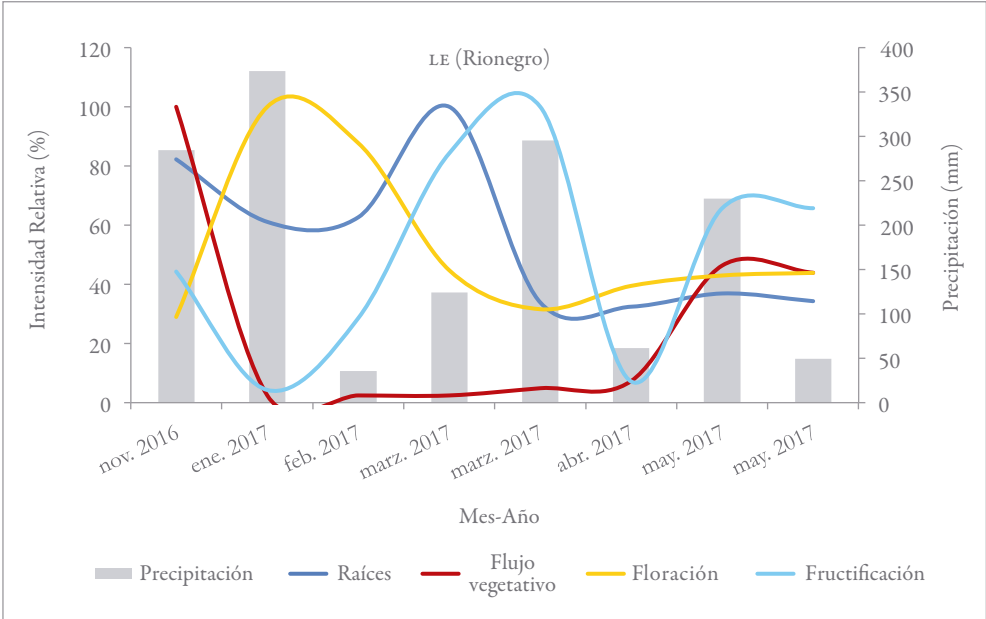


Figura 2.21. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de Rionegro (LE), Antioquia (2.167 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

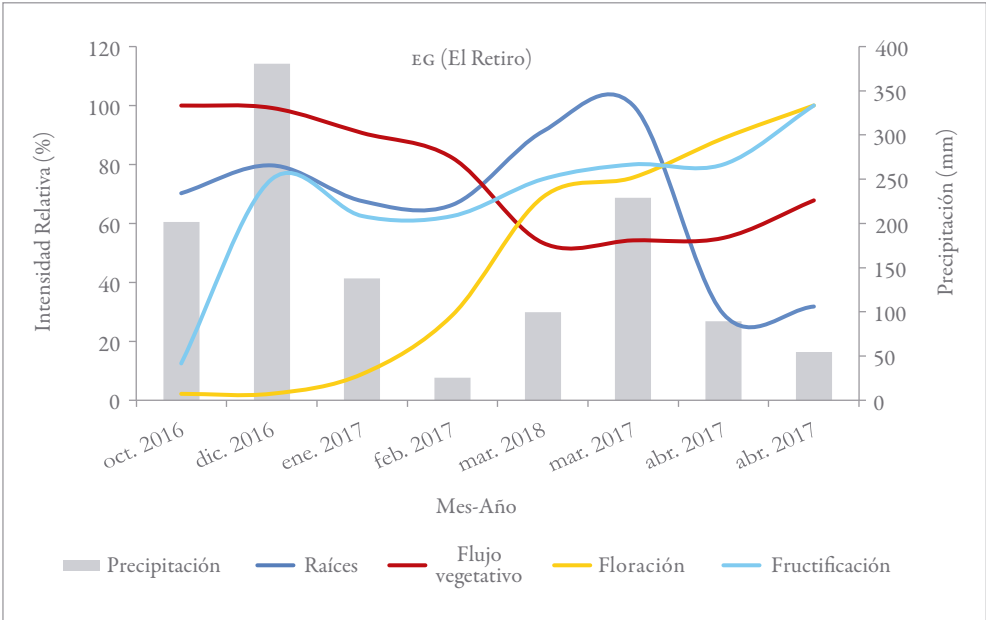


Figura 2.22. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Retiro (EG), Antioquia (2.288 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

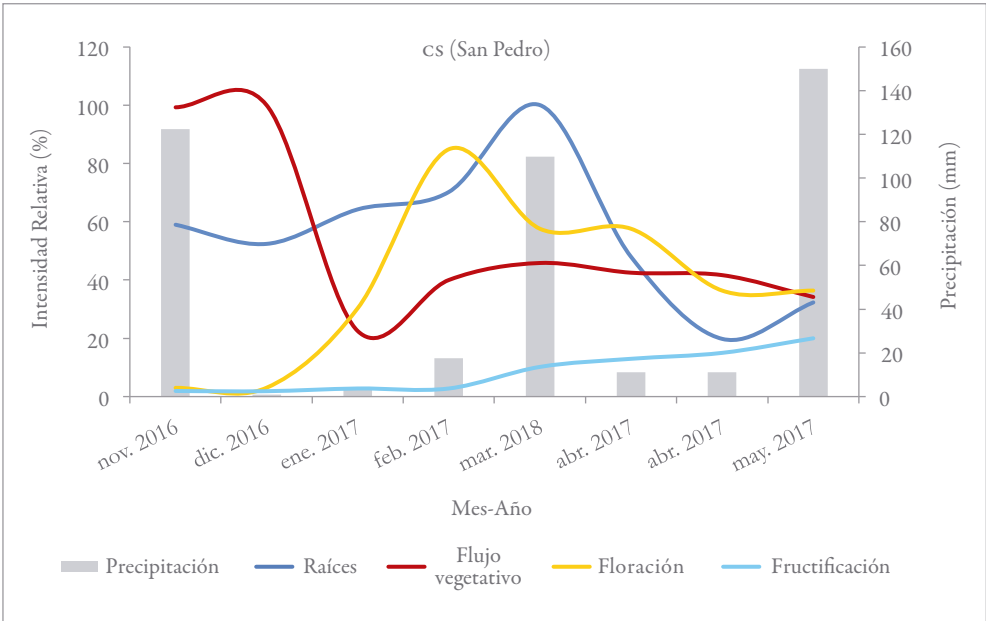


Figura 2.23. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de San Pedro (cs), Antioquia (2.411 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

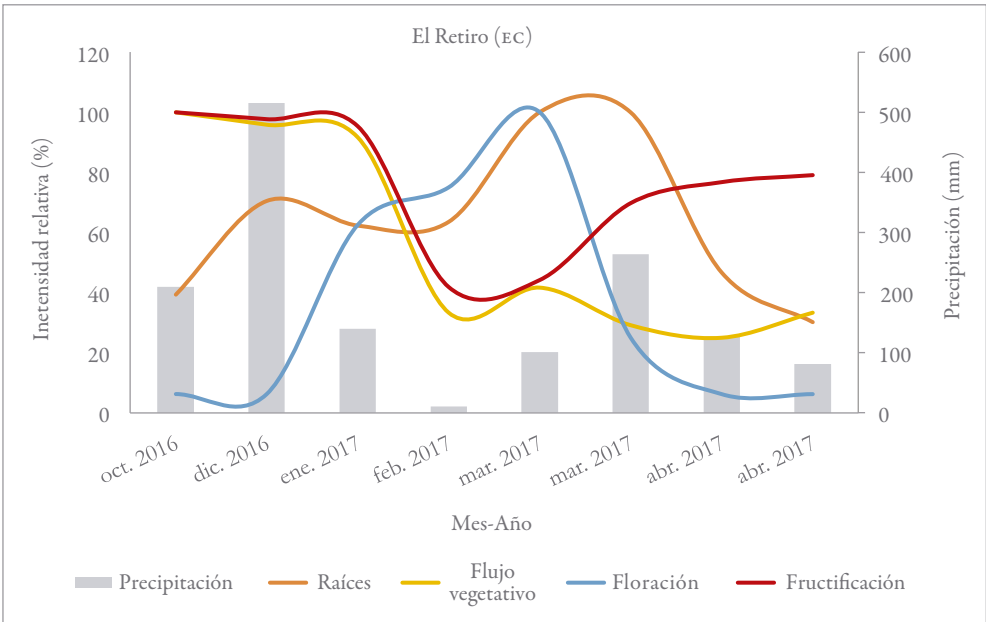


Figura 2.24. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de El Retiro (EC), Antioquia (2.458 m s. n. m.) (2016-2017).
Fuente: Elaboración propia

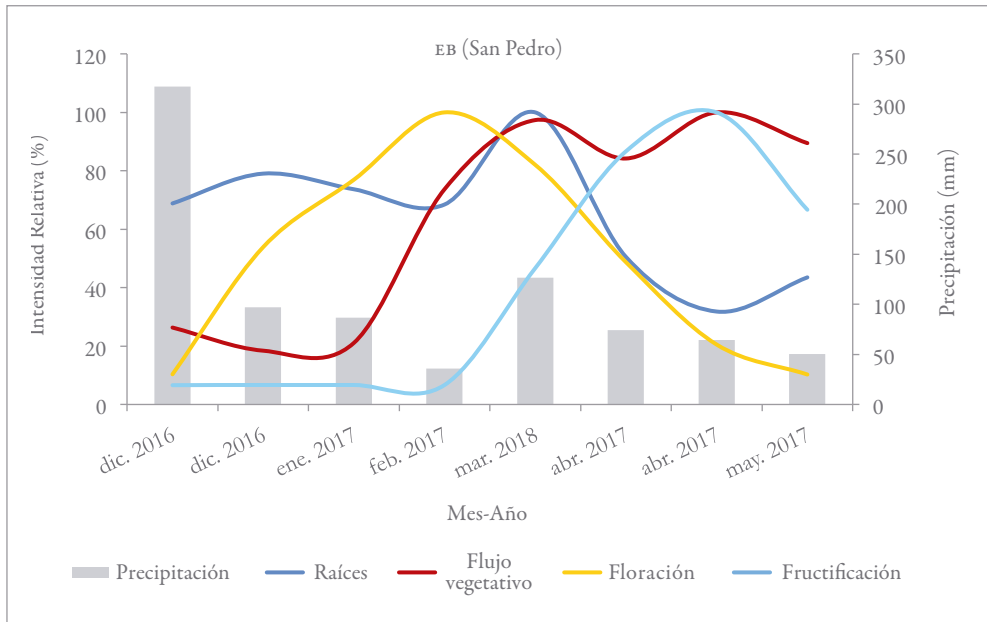


Figura 2.25. Crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass con las condiciones ambientales de San Pedro (EB), Antioquia (2.464 m s. n. m.) (2016-2017).

Fuente: Elaboración propia

Cuando se analizó la tendencia de crecimiento de las raíces en todas las localidades (figura 2.26), se observó que se presentaron dos flujos marcados durante el tiempo de análisis (seis meses). El primero, de menor intensidad (87 %), coincidió con la época de lluvias del segundo semestre de 2016 y se presentó después de un flujo de crecimiento vegetativo con poca fructificación. El segundo, de mayor intensidad (100 %), se presentó al inicio de las lluvias de 2017 y coincidió con la mayor fructificación y con una escasa aparición de flujo vegetativo, 30 días después de la antesis; a partir de esa fecha, se presentó una gran abscisión de fruta, debido a la competencia por fotoasimilados en favor de las raíces, situación normal en esta especie que trata de equilibrar las reservas.

El crecimiento vegetativo se observó 60 días después del máximo crecimiento de raíces, lo cual quiere decir que el árbol primero distribuye su alimento hacia la formación de las raíces, para luego apoyar la formación del nuevo follaje, que demanda gran cantidad de savia elaborada por el sistema radical. En términos generales, se pudo establecer que los flujos de crecimiento de raíces se alternan con los de crecimiento vegetativo, lo que implica un equilibrio en la dinámica interna de la fisiología del árbol. Este comportamiento es acorde con lo reportado por Tapia

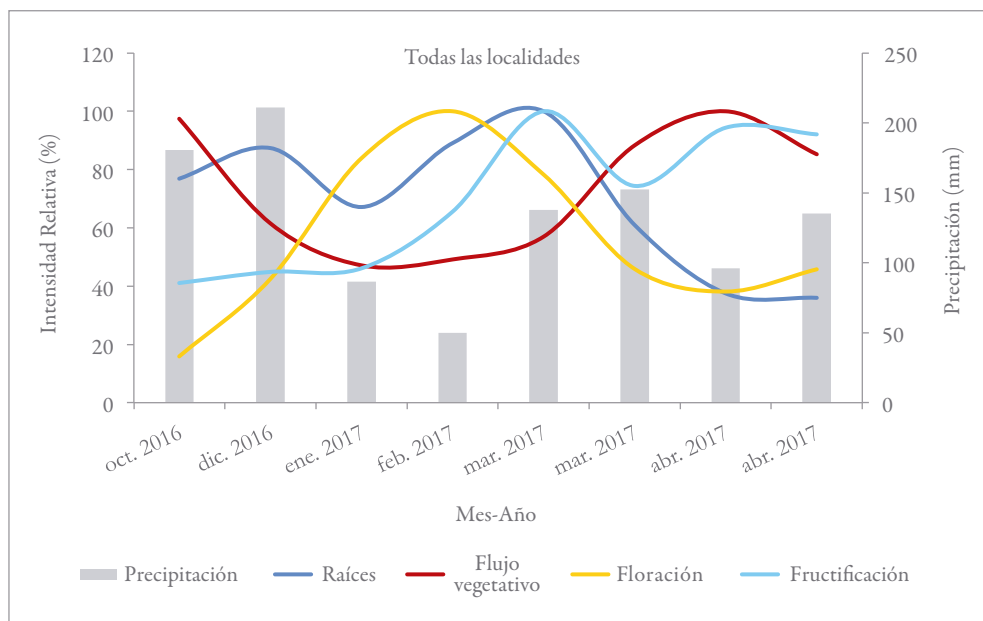


Figura 2.26. Tendencia del crecimiento de las raíces del aguacate cv. Hass en ocho localidades del departamento de Antioquia (2016-2017).

Fuente: Elaboración propia

y Gardiazábal (1993) y Calabrese (1992), quienes mencionan que el aguacate, a lo largo del año, puede tener uno o más ciclos vegetativos seguidos por un periodo de crecimiento radical. Las raíces comienzan su crecimiento cuando el primer crecimiento vegetativo comienza a declinar. Posteriormente, comienza un segundo periodo de crecimiento vegetativo, de forma que se reestablece el equilibrio entre una fase de crecimiento radical y otra de crecimiento vegetativo.

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

La descomposición de la hojarasca está determinada por un grupo de procesos físicos y químicos, por medio de los cuales esta se reduce a sus constituyentes químicos básicos (Aerts, 1997). Estos procesos regulan la cantidad y el contenido bioquímico de la materia orgánica producida en los ecosistemas (Aber & Melillo, 1991) y son responsables de la formación de sustancias húmicas que contribuyen a la calidad y fertilidad del suelo (Berg & McClaugherty, 2008; Tamayo & Osorio, 2014).

Por otra parte, la hojarasca, en su proceso de descomposición y aún con algún contenido de nutrientes, aporta minerales de nuevo a la planta desde el suelo para contribuir con todos los procesos metabólicos de esta. Además, mejora las condiciones físicas del suelo del árbol, ya que funciona como controlador de arvenses, mantiene la humedad del suelo en épocas secas, regula la temperatura de este en épocas extremas y lo protege de la erosión, tal como está demostrado en diversos estudios (Barlow, Gardner, Ferreira, & Peres, 2007; Schessl, Silva, & Gottsberger, 2008).

Con este aporte continuo de la hojarasca, se garantiza la renovación y mantenimiento de los ecosistemas de forma natural (Wang, Wang, & Huang, 2008). La acumulación de residuos vegetales en la superficie del suelo tiene efectos positivos sobre la productividad de estos y ha motivado el estudio de tales aportes y de sus procesos de descomposición, tanto en sistemas naturales como en aquellos de producción agrícola o forestal (Domisch et al., 2008; Palma, Prause, Fontanive, & Jiménez, 1998; Prause, 1997; Prause, Lifschitz, Dalurzo, & Agudo, 2002).

Cada año, una buena parte de los nutrientes que son absorbidos por las plantas se devuelven al suelo por medio de la descomposición de las hojas, los restos de la poda, la abscisión de órganos, etc. Por ello, es primordial conocer y maximizar los beneficios de la descomposición de estos residuos, así como las tasas de ciclado de sus nutrientes. Los nutrientes confinados en la hojarasca foliar constituyen una fuente importante de recursos, por lo que la cuantificación de su producción y naturaleza son cruciales para comprender el ciclo de los nutrientes.

Caída de hojas

AGROSAVIA realizó un estudio para caracterizar descriptivamente la producción de hojarasca, de flores y de frutos pequeños caídos en huertos de aguacate de ocho localidades, en tres zonas productoras del departamento: oriente, suroeste y norte antioqueño.

La producción de hojarasca se evaluó en 18 árboles por localidad. Para tal fin, se instalaron trampas de hojarasca de plástico polisombra de máxima retención de luz, en el área que proyecta la copa del árbol en el suelo (5 × 4 m) (figura 2.27). Durante 22 meses se recolectó semanalmente la hojarasca caída, toda la cual se reunió y se secó en horno a 65 °C, hasta obtener un peso constante, para luego determinar su masa seca por mes.



Fotos: Álvaro Tamayo Vélez

Figura 2.27. Trampas de recolección de hojarasca.

La contribución de la hojarasca suele variar de acuerdo con el ecosistema considerado. De hecho, la caída de hojas y flores fue diferencial en todas las localidades: fue mayor en el suroeste, en los municipios de Jardín (19,94 kg/planta) y Amagá (15,24 kg/planta); seguida por San Pedro (15,60 kg/planta), en el norte; mientras que los menores aportes se presentaron en el oriente antioqueño con El Peñol, El Retiro y Rionegro (14,54, 14,13 y 11,92 kg/planta, respectivamente) (tabla 2.1).

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

Localidad	Hojas planta ⁻¹ (g)	Flores planta ⁻¹ (N.º)
El Retiro 1	14.125 bc	128.912 d
El Retiro 2	10.576 c	75.850 g
Rionegro	11.916 bc	73.447 h
El Peñol	14.546 bc	198.733 e
Amagá	15.242 b	85.963 f
Jardín	19.935 a	754.974 a
San Pedro	14.181 bc	210.950 c
San Pedro	15.596 bc	272.360 b
<i>p</i>	< 0,0006	< 0,0001

* Los promedios con la misma letra no difieren estadísticamente (Duncan al 5 %).
Fuente: Elaboración propia

La caída de flores también fue más alta en la localidad de Jardín (754.974 flores por planta), a la que le siguen, en su orden, las localidades de San Pedro y El Retiro (272.360 y 128.912, respectivamente).

Los mayores aportes de hojarasca en todas las localidades se presentaron durante las épocas más secas (figura 2.28). Este comportamiento puede estar relacionado con los flujos de biomasa o con los cambios en los estados fisiológicos encontrados recientemente por Bernal (2016). La hoja, antes de cumplir su ciclo y caer, “devuelve” su contenido nutricional al árbol, que es utilizado en su mayor parte para el llenado de la fruta. Además, el árbol se renueva con un flujo vegetativo que viene acompañado de la floración (inflorescencias indeterminadas).

Las hojas que caen son las hojas más viejas, que están a la sombra de otras ramas y que, antes de caer, traspasan buena parte de sus nutrientes móviles (N, P, K, Mg) a hojas nuevas, flores o frutos en formación. En este proceso de senescencia, las hojas se vuelven cloróticas. Vale la pena resaltar que el Ca, como elemento poco móvil, tiende a permanecer en las hojas que caen, de forma que su aporte potencial tiende a ser mayor en el suelo.

Tamayo (2016), en trabajos realizados sobre la descomposición de la hojarasca, mostró que el patrón general de liberación de nutrientes es el siguiente: $K > Ca > Mg > N > P$. Se ha reportado ampliamente que la rápida liberación de K se debe a su carácter móvil, pues este elemento no está ocluido en las estructuras orgánicas de los tejidos foliares, sino en forma libre, por lo cual es fácilmente lavado o removido (Parker, 1983; Tukey, 1970). De hecho, el orden en que se aportaron los nutrientes en kg/ha/año en este proceso se dio, en promedio, de la siguiente manera: $Ca (74) > N (62) > S (27) > K (18) > Mg (16) > P (6)$.

Los aportes anuales de P en la hojarasca fueron, de hecho, muy bajos en los tres sitios. Las diferencias en las cantidades de nutrientes liberados se explican mejor por los aportes de la hojarasca (en kg/ha/año, con las siguientes cifras: Jericó 6.931, Támesis 4.785 y Entreríos 3.600) que por su concentración en las hojas: N (1,2-1,3 %), P (0,10-0,12 %), K (0,28-0,35 %), Ca (1,3-1,6 %) y Mg (0,29-0,31 %).

En cuanto a los micronutrientes, las concentraciones en $\mu\text{g/g}$ fueron muy variables entre los lugares estudiados, ya que las diferencias fluctuaron entre dos y cinco veces de un sitio a otro, así: Fe (73-176), Mn (20-97), Cu (10-26), Zn (22-58) y B (21-44).

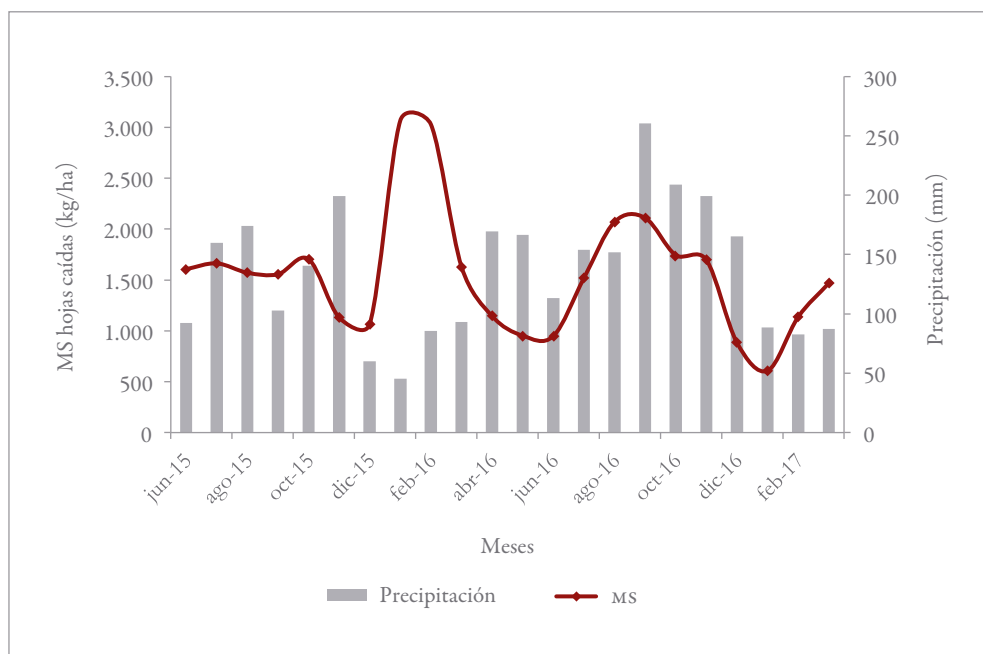


Figura 2.28. Relación entre la caída de las hojas y la precipitación.

Fuente: Elaboración propia

Dado que estos son elementos de baja movilidad en la planta, se espera que el aporte de la hojarasca sea relativamente alto y pueda mejorar la disponibilidad de estos en el suelo alrededor de los árboles. Desafortunadamente, no hay mucha información que permita comparar los aportes potenciales de la hojarasca, ya que la mayoría de los estudios se concentran en algunos elementos mayores (N, P y K). Es claro que el aporte más alto de micronutrientes en kg/ha/año se da en Mn y el más bajo tiende a ser en B, así: Mn (1,7) > Fe (0,58) > Cu (0,38) Zn > (0,16) > B (0,12).

Caída de flores

En trabajos realizados sobre aguacate cv. Lorena, se encontró una relación entre el periodo seco y los estadios del desarrollo floral (Romero, 2011). El comportamiento encontrado para el trópico colombiano coincide con los reportes hechos por Wolstenholme y Whiley (1999), quienes identifican el estrés hídrico como el factor inductor de la floración en el trópico. Lo anterior puede estar relacionado con una respuesta del árbol a la falta de agua, ya que, al eliminar algunas hojas, se reduce la pérdida del líquido por transpiración (Schaffer & Whiley, 2007).

Se ha demostrado que puede presentarse un aumento en la abscisión de flores y frutos como resultado de numerosos factores: temperaturas extremas, deficiencias nutricionales y causas genéticas, entre otros. Aun en condiciones óptimas, la abscisión de flores y frutos del aguacate es excesiva (Romero, 2011).

En aguacate cv. Hass, se ha encontrado que un árbol puede llegar a producir hasta dos millones de flores, más de mil veces la cantidad de frutos que puede soportar, pero se ha estimado que únicamente llegan a cuajado entre el 0,001 % y 0,1 % (Can-Alonzo et al., 2005; Cossio-Vargas, Salazar-García, González-Durán, & Medina-Torres, 2007a; Dixon & Sher, 2002; Scora, Wolstenholme, & Lavi, 2007; Whiley et al., 1988).

En general, los cultivares de aguacate son notorios por el hecho de producir miles de inflorescencias, cada una con más de 100 flores, de forma que el número total de flores por árbol llega al millón de flores (Sedgley & Alexander, 1983), un número típico para un árbol adulto; sin embargo, solo uno o dos frutos por cada inflorescencia alcanzan la madurez. En efecto, los trabajos realizados por AGROSAVIA muestran una cantidad importante de caída de flores con alguna variabilidad entre localidades (figura 2.29): la mayor producción y caída de flores se presentó en las localidades del suroeste antioqueño, seguida por la región del norte (tabla 2.1).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

Figura 2.29. Inflorescencias del aguacate cv. Hass.

Caída de frutos

El cuajado y el desarrollo del fruto dependen del suministro de carbohidratos y elementos minerales, así como del contenido hormonal endógeno. Estos componentes proceden de la movilización de las reservas acumuladas en la planta, de la síntesis de carbohidratos, de la absorción de elementos minerales y de la síntesis y transporte de hormonas (Romero, 2011).

Como se comentó en el apartado anterior, los árboles de aguacate producen entre uno y dos millones de flores por árbol, pero solo uno o dos frutos de cada inflorescencia alcanzan la madurez, de forma que la producción de frutos llega a representar solo del 0,002 % al 0,02 % respecto del total de flores producidas inicialmente. En el presente trabajo se encontró que, en las diferentes localidades de Antioquia, el 57 % de los frutos que se caen tiene diámetros menores de 0,5 cm y el 24 % tiene diámetros entre 0,5 y 1 cm, es decir, aproximadamente el 80 % de los frutos caídos presenta diámetros menores a 1 cm. Ya cuando el fruto empieza a desarrollarse, el porcentaje de caídas disminuye considerablemente (figura 2.30).



Fotos: Jorge Alonso Bernal Estrada

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

El bajo porcentaje de cuajado de frutos de aguacate se explica por la competencia entre flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo (Scholefield, Sedgley, & Alexander, 1985; Sedgley, 1987; Zilkah, Klein, Feigenbaum, & Wepaum, 1987), el alto gasto energético para la producción del fruto (Wolstenholme, 1986), la participación de nutrientes como el boro y el nitrógeno (Jaganath & Lovatt, 1995) y el balance endógeno de hormonas, como las gibelinas, involucradas en los procesos de floración (Paz-Vega, 1997; Rossouw & Robbertse, 2001; Salazar-García & Lovatt, 2002).

Las mayores caídas de fruto se presentaron en las localidades del suroeste, seguidas por las del norte. Es de anotar que estas dos zonas fueron las más productivas tanto en floración como en caída y rendimiento de frutos.

Esta primera caída de fruto coincide con lo reportado por Wolstenholme y Whiley (1998), Rosales, Parodi y Carlini (2003) y Cossio-Vargas, Salazar-García, González-Durán y Medina-Torres (2007b), quienes aseguran que en el aguacate se presenta una caída importante del fruto debido a la competencia entre el crecimiento vegetativo, radical y el desarrollo del fruto, lo cual afecta directamente la productividad.

Whiley et al. (1988) y Wolstenholme, Whiley y Saranah (1990) indican que la planta de aguacate ajusta su capacidad de nutrir los frutos modificando su número mediante la caída masiva de aquellos recién cuajados, durante las primeras tres a cuatro semanas y nuevamente cuando el fruto ya ha alcanzado entre un 10 % y un 40 % de su tamaño.

También se cree que cuando la floración es muy abundante y hay un cuaje de frutos adecuado (10 %), se produce una abscisión masiva de frutos jóvenes. El número de frutos jóvenes caídos por árbol se ha estimado en 100.000 para el cv. Hass. La mayor parte de la abscisión ocurre durante el primer mes; la abscisión continúa con una tasa menor y finaliza cuando los frutos están a punto de madurar (Lahav & Zamet, 1999).

La caída del fruto cuando este ha alcanzado $\frac{2}{3}$ o más del tamaño se puede ver acentuada por la aplicación única o excesiva de fertilizantes nitrogenados. El exceso de nitrógeno estimula un flujo vegetativo vigoroso, que aumenta este problema (Salazar-García, 2002).

Trabajos realizados por Cutting y Bower (1990) refuerzan la hipótesis de que podría existir una competencia de los frutos con el crecimiento vegetativo, el cual se desarrolla en el momento en que las flores de las inflorescencias indeterminadas están amarrando el fruto, puesto que ellos lograron incrementar el amarre inicial del fruto

de las inflorescencias indeterminadas mediante la remoción del brote vegetativo, lo cual puede ser explicado por la competencia por carbohidratos, agua o reguladores de crecimiento, entre otros (Salazar-García, 2007; Téliz, 2000).

Una idea sobre el potencial de la producción de frutos del aguacate se puede obtener al comparar el costo energético de la fructificación con la capacidad fotosintética del árbol (Wolstenholme, 1986). El fruto del aguacate es rico en grasas (aceites) mono- y poliinsaturadas. Así, el aguacate tiene un “costo energético” más alto que el de los frutos acumuladores de azúcar con peso similar, como manzanas o cítricos (Téliz & Mora, 2007). A consecuencia de ello, se da una producción más baja por hectárea (Wolstenholme, 1986, 1987).

Si el promedio de producción potencial de un huerto de manzano de alta densidad y manejo intensivo sobre portainjertos enanos es de 100 t/ha, el de un huerto de aguacate con características similares sería de 32,5 t/ha (Téliz, 2000). Una de las posibles causas de los bajos rendimientos del aguacate en Colombia y en varias áreas productoras del mundo es que la mayoría de la producción está basada en cultivares comunes, los cuales tienen un bajo nivel de domesticación (Téliz & Mora, 2007; Wolstenholme & Whiley, 1992).

Remoción de nutrientes en aguacate

Por muchos años la rentabilidad de la producción de aguacate se midió en términos de producción total de fruta por árbol o por hectárea. Sin embargo, este parámetro ha perdido importancia debido a la globalización del mercado. Hoy día, factores como la fecha de cosecha, el tamaño y la calidad de la fruta (tanto externa como interna) son considerados como principales en el mercadeo exitoso del aguacate. Para determinar el adecuado manejo de una nutrición que sostenga una producción de fruta del tamaño y calidad requeridos, es necesario tener información sobre la remoción de nutrientes del cultivo de aguacate en cada región (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001).

Tradicionalmente, los huertos de aguacate han utilizado poco fertilizante, de acuerdo con la idea preconcebida de que el árbol está adaptado a suelos de media a baja fertilidad. Debido al alto contenido de aceite de la fruta (hasta 20 %), la producción de rendimientos altos de aguacate requiere de un adecuado suplemento de nutrientes, especialmente potasio (K). En México, los dueños de huertos viejos argumentan que

hace 30 o 40 años era común obtener 20 t/ha de fruta sin fertilización; sin embargo, hoy esto es imposible debido a que la fertilidad nativa del suelo ha declinado significativamente (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001; Téliz & Mora, 2007).

Según Salazar-García (2002), los rendimientos promedio de aguacate en los huertos mexicanos variaron de 4 a 10 t/ha/año. En la mayoría de los huertos, las dosis de fertilización utilizadas varían de 0 a 100 kg de nitrógeno (N) y de 0 a 115 kg/ha de P_2O_5 y K_2O . La evidencia acumulada indica que los huertos manejados científicamente pueden producir con mayor facilidad rendimientos mayores a 25 t/ha/año, lo cual minimiza al mismo tiempo el problema de rendimientos bajos al año siguiente de una buena cosecha. A pesar de las mejoras en el manejo, no existe información local sobre la exportación de nutrientes de los huertos de aguacate (Salazar-García, 2002).

El peso fresco de la fruta es un parámetro común para estimar el rendimiento y la rentabilidad de un huerto de aguacate; sin embargo, esto no significa que la fruta más grande o una abundante cosecha de frutas grandes extraigan más nutrientes del suelo. La información sobre las diferencias en peso fresco de la fruta entre cultivares de aguacate se presenta en la figura 2.31, de acuerdo con un trabajo realizado por Salazar-García et al. (2006). La fruta de la variedad Hass (239 g/fruta) puede ser considerada pequeña comparada con Booth-8, Hall y Choquette. El contenido de materia seca presentó un comportamiento diferente respecto del peso en fresco (figuras 2.31 y 2.32).

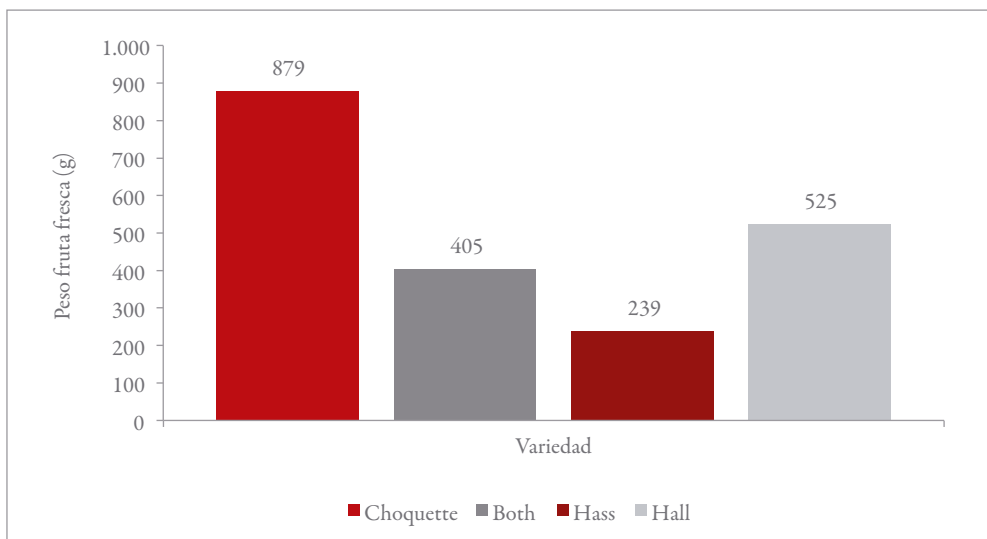


Figura 2.31. Promedio de peso fresco de cuatro cultivares de aguacate.

Fuente: Salazar-García et al. (2006)

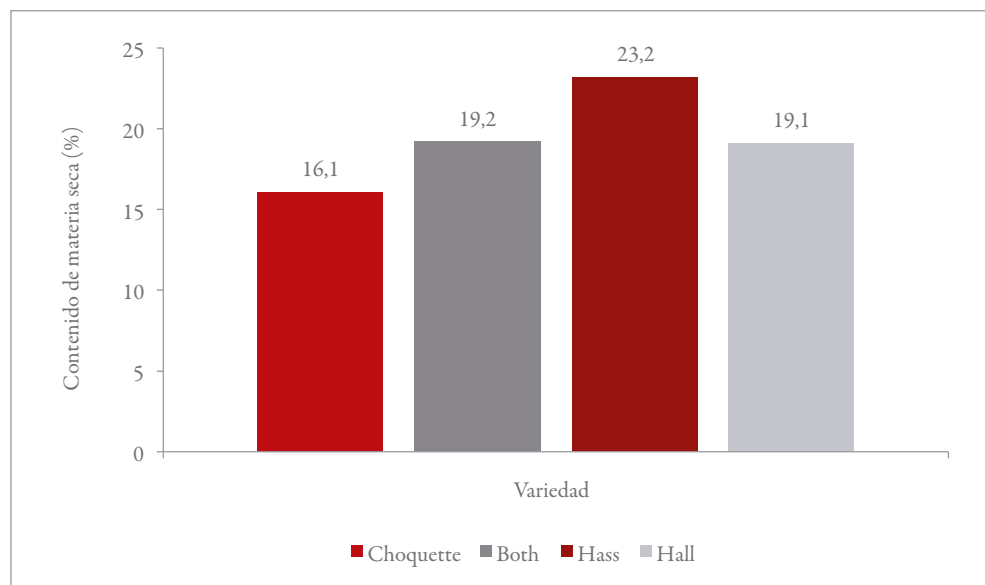


Figura 2.32. Promedio del contenido de materia seca en cuatro cultivares de aguacate.

Fuente: Salazar-García et al. (2006)

En comparación con otros cultivares, la fruta de cv. Hass tuvo el mayor contenido de materia seca (23,2%). El estudio de Salazar-García et al. (2006) demostró que el tamaño de la fruta no está directamente relacionado con la remoción total de nutrientes. La remoción de nutrientes fue mucho mayor en la fruta pequeña de mayor contenido de materia seca, como la variedad Hass.

La materia seca está compuesta de carbono (C) y otros nutrientes acumulados durante el crecimiento y desarrollo de la fruta. Se usan también nutrientes en la síntesis de proteínas y aceite, ambos en altas cantidades en la fruta del cv. Hass (Wolstenholme, 1987). Por esta razón, se espera que la fruta con mayor contenido de materia seca y aceite requiera más nutrientes.

A pesar de que se han reportado muchos casos de rendimientos más altos en México, los cálculos de costo energético han establecido que el potencial de rendimiento del aguacate Hass es de 32,5 t/ha (Wolstenholme, 1986; Wolstenholme & Whiley, 1998). Es importante mencionar que los rendimientos de huertos de Choquette (con 100 árboles/ha) pueden ser mayores a 60 t/ha. Por esta razón, la remoción de nutrientes podría ser más alta si se calcula con estos rendimientos. Sin embargo, no se han hecho estudios para determinar el contenido de nutrientes para rendimientos máximos en este cultivar.

La extracción de nutrientes en la fruta fresca del aguacate en orden descendente sería la siguiente: $K > N > P > Ca > Mg > S$. Algunos autores han demostrado que es razonable esperar diferencias significativas en la remoción de nutrientes entre los diferentes cultivares de aguacate. En un estudio realizado por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2001), en México, la cantidad de N, P y K removidos por el cultivar Hass fue la más alta (figura 2.33).

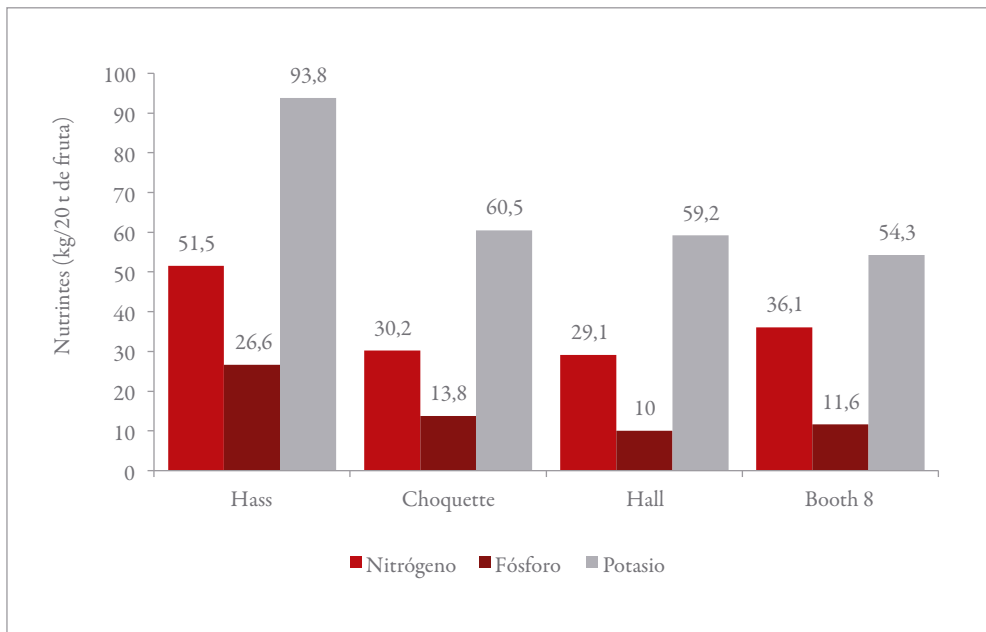


Figura 2.33. Remoción de nitrógeno, fósforo y potasio en 20 toneladas de fruta en cuatro variedades de aguacate.

Fuente: Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2001)

De acuerdo con Tamayo, Bernal y Díaz (2018), una producción de 20 t/ha de aguacate cv. Hass removió 52, 21 y 94 kg de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente. La remoción de K por la fruta del cultivar Hass fue un 70, 77 y 39% más alta que la de los cultivares Choquette, Hall y Booth-8, respectivamente.

La exportación de magnesio (Mg), azufre (S), zinc (Zn), boro (B) y molibdeno (Mo) por la fruta fue mayor en el cultivar Hass. La extracción de nutrientes del campo en la fruta cosechada puede ser un buen parámetro para determinar las dosis de nutrientes a aplicar (tabla 2.2) (Lazcano-Ferrat & Espinoza, 1998).

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

Nutriente	g/t de fruta fresca
Nitrógeno	3,152
Fósforo	0,736
Potasio	3,560
Calcio	0,547
Magnesio	0,474
Azufre	0,183
Boro	3,7
Cobre	3,0
Hierro	7,4
Manganeso	2,0
Molibdeno	0,02
Zinc	4,5

Fuente: Adaptada de Lazcano-Ferrat y Espinoza (1998)

La remoción de nutrientes de los cultivares Choquette, Booth-8 y Hall fueron similares, sin embargo, el cultivar Hall tuvo una menor remoción de varios nutrientes en comparación con Choquette o Booth-8 (tabla 2.3). Los resultados del estudio de Lazcano-Ferrat y Espinoza (1998) demuestran que es razonable esperar diferencias significativas en remoción de nutrientes entre los diferentes cultivares de aguacate. Los productores deben poner atención al potencial de rendimiento de cada cultivar y a la remoción total de nutrientes, y deben asegurar que se suplemente suficiente N y K para lograr el crecimiento y calidad deseados. Se debe monitorear que el contenido de nutrientes en el suelo sea suficiente y, si es necesario, se deben hacer aplicaciones de fertilizantes en el suelo o vía foliar (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001).

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

Nutriente	Remoción de nutrientes							
	g/100 kg de fruta fresca				g/20 t de fruta fresca			
	Hass	Choquette	Hall	Booth-8	Hass	Choquette	Hall	Booth-8
N	257,0	151,0	145,0	185,0	51,5	30,1	29,1	36,9
P ₂ O ₅	103,0	69,2	49,9	58,2	20,6	13,0	10,0	11,6
K ₂ O	469,0	302,0	296,0	271,0	93,8	60,5	59,2	54,3
Ca	8,4	8,7	6,5	10,4	1,7	1,7	1,3	2,1
Mg	29,5	16,3	16,5	22,3	5,9	3,3	3,3	4,5
S	34,5	19,2	18,4	22,6	6,9	3,8	3,7	4,5
Cl	12,0	7,3	0,2	7,4	2,4	1,5	0,04	1,5
Fe	0,6	1,0	0,4	0,7	0,12	0,2	0,08	0,14
Cu	0,2	0,1	0,2	0,2	0,04	0,02	0,04	0,04
Mn	0,1	0,1	0,01	0,07	0,02	0,02	0,002	0,014
Zn	0,4	0,3	0,3	0,2	0,08	0,06	0,06	0,04
B	0,4	0,2	0,2	0,3	0,08	0,04	0,04	0,06
Mo	0,02	0,01	0,01	0,01	0,004	0,002	0,002	0,002
Na	1,0	0,6	0,8	1,0	0,2	0,12	0,16	0,2
Al	0,3	0,3	0,2	0,4	0,06	0,06	0,04	0,08

Fuente: Adaptada de Salazar-García et al. (2006)

Los programas de fertilización balanceada específicos para cada cultivar son esenciales para mejorar el rendimiento y la calidad de la fruta. Un programa de fertilización adecuado del aguacate debe incluir el análisis del contenido de nutrientes de la fruta, el análisis de suelo y el análisis foliar para estimar de la mejor manera los requerimientos de fertilización del huerto.

La cosecha de la fruta tiene mayor impacto sobre la pérdida de nutrientes del huerto que la abscisión natural de las hojas, flores y frutos. La cantidad de nutrientes que se pierden con la remoción del fruto puede ser fácilmente estimada, ya que la materia seca se ve menos afectada en cuanto a la concentración de estos que cualquier otra parte de la planta (Lahav, Whiley, & Turner, 2013).

Para tener un manejo apropiado de la fertilización y la producción y mantener unos niveles adecuados tanto en el tamaño como en la calidad de los frutos, es importante conocer la cantidad de los nutrientes extraídos desde el suelo por una cosecha (Tapias, Marroquín, Cortés, Anguiano, & Castellanos, 2007). Los requerimientos nutricionales del aguacate fluctúan de acuerdo con los contenidos de aceite en los frutos de cada variedad, los cuales pueden estar entre el 3 % y el 20 %. En la actualidad, la productividad de cultivos comerciales tiene en cuenta estos valores, y entre más cantidad de aceite tenga el fruto mayor será su extracción de nutrientes (Salazar-García, 2002, 2007).

Luego de que los nutrientes del suelo son absorbidos por las raíces, estos son transformados en compuestos orgánicos e inorgánicos que son transportados a los diferentes órganos de la planta. En cada cosecha, se retira de forma permanente una gran cantidad de nutrientes, mientras otra porción importante es removida de forma temporal por las flores, hojas, frutos pequeños abortados y raíces, que pueden ser ciclados en el cultivo (Tamayo, 2016).

Cuando el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, puede ser cosechado y retirado del árbol. En ese momento, se lleva con él cantidades significativas de los nutrientes que deben ser reintegrados al suelo mediante la fertilización química y orgánica o biológica, pues, de no ser así, podría ir disminuyéndose la fertilidad natural del suelo (Lahav & Zamet, 1999). Por lo anterior, es muy importante regresar al suelo al menos los nutrientes que han sido removidos por el fruto, para lo cual es necesario conocer la cantidad que ha sido extraída a través de la cosecha y que es retirada definitivamente del suelo (Salazar-García & Lazcano-Ferrat, 2001).

Se ha encontrado que la calidad poscosecha del fruto del aguacate está influenciada por la concentración de los nutrientes al momento de la cosecha (Arpaia, 1994); es así como se ha reportado en el aguacate cv. Hass que incrementos en la concentración de N en la hoja aumentan el contenido de N en la pulpa (Arpaia et al., 1996). De igual forma, trabajos realizados por Hofman, Marques, Searle, Stubbings y Moody (2005) con aplicaciones de Ca al suelo evidenciaron el incremento del Ca en la pulpa y el retraso en la maduración de los frutos en la poscosecha de aguacate cv. Reed.

Trabajos realizados por Tamayo, Bernal y Díaz (2018), con el fin de conocer la composición nutrimental de los diferentes tejidos del fruto (epidermis, pulpa, testa y semilla) y la cantidad de nutrientes removidos por la cosecha de aguacate cv. Hass en distintas localidades del departamento de Antioquia, encontraron que los tejidos del fruto mostraron diferencias en la cantidad de nutrientes removidos (tabla 2.4). Los elementos mayormente removidos en todos los tejidos fueron K, N y S. La pulpa mostró la mayor remoción de todos los elementos nutritivos analizados, tanto mayores como menores. La remoción por la epidermis y la semilla fue intermedia, aunque fue mayor la de la semilla. La remoción total de macronutrientes por el aguacate cv. Hass en kg/t fue mayor para K (4), N (3,3) y P (0,48). Los elementos menores que fueron mayormente removidos fueron Fe y B (0,45 y 0,2 g/t, respectivamente) (figura 2.34).

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

Tejido	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	kg/t						g/t				
Epidermis	0,280 c	0,032 c	0,310 c	0,025 b	0,039 b	0,043 c	34,8 b	2,5 c	6,1 b	11,77 b	20,7 b
Pulpa	1,296 a	0,266 a	1,758 a	0,090 a	0,174 a	0,222 a	126,7 a	9,4 a	23,6 a	32,71 a	50,7 a
Semilla	0,465 b	0,083 b	0,611 b	0,027 b	0,037 b	0,099 b	88,7 a	3,8 b	1,7 b	9,56 c	18,7 b
Testa	0,025 d	0,002 d	0,031 d	0,004 b	0,006 b	0,004 d	3,67 b	0,3 d	6,09 b	1,3 c	2,22 c
P	<0,00001	<0,0015	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,0001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001

Nota: Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes, según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$).
Fuente: Elaboración propia

La extracción de elementos como el N y el K por las cosechas agota la reserva natural del suelo, por lo que la práctica de fertilización debe efectuarse no solo con miras a nutrir el árbol, sino a mantener los niveles de fertilidad de la zona radical, necesaria para el equilibrio y la sostenibilidad del suelo como recurso.

Las diferencias en la cantidad de nutrientes removidos por los tejidos se deben a la proporción de cada estructura en el fruto. La pulpa presentó la mayor cantidad de nutrientes removidos, mientras que la epidermis presentó valores intermedios. La mayor remoción de la pulpa se debió a que el mayor porcentaje de la biomasa del fruto correspondió a este tejido. La testa fue el tejido con menor cantidad de nutrientes removidos, lo cual coincidió con los reportes de Mellado-Vásquez, Salazar-García, Álvarez-Bravo, Ibarra-Estrada y González-Valdivia (2015) en frutos de aguacate cv. Méndez en el sur de Jalisco (México).

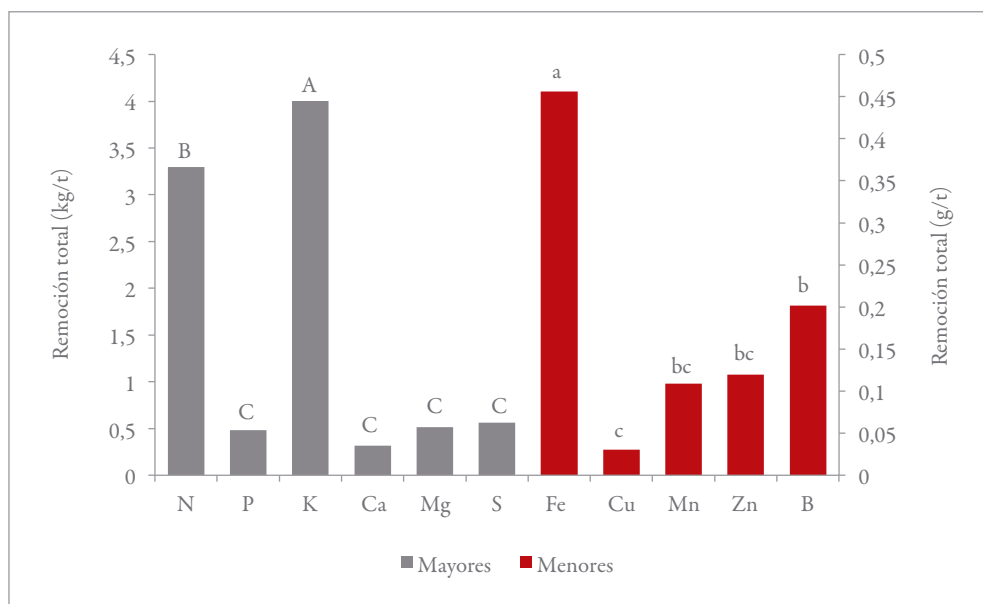


Figura 2.34. Remoción total en kg/t por el fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia. Medias con diferente letra mayúscula (macronutrientes) o minúscula (micronutrientes) en kg/t y g/t son estadísticamente diferentes según prueba de Duncan ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

El tejido con mayor concentración de nutrientes fue la testa. El nutriente que presentó mayor concentración en los cuatro tejidos fue el K, seguido por el N. La mayor cantidad de nutrientes removidos se encontró en la pulpa, seguida por la semilla, la epidermis y la testa. El orden de remoción total de nutrientes por tonelada de fruta fresca fue $K > N > S > Mg > P > Ca > Fe > B > Zn > Mn > Cu$.

Características de los frutos

El peso del fruto presenta pequeñas variaciones en las diferentes localidades del departamento de Antioquia. Los cultivos establecidos en las mayores altitudes presentan mayores pesos en gramos por fruto: El Retiro (2.466 m s. n. m.) y San Pedro (2.436 m s. n. m.) presentan los mayores gramajes comparados con El Peñol (2.028 m s. n. m.) y Rionegro (2.171 m s. n. m.) (figura 2.35).

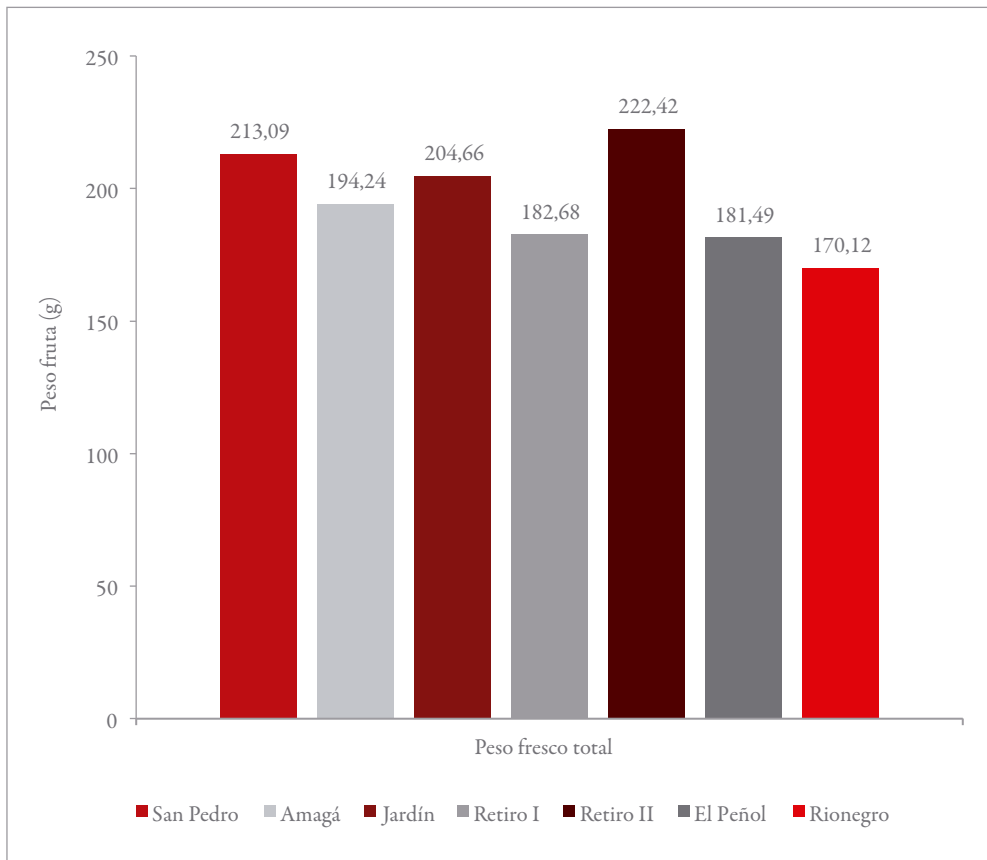


Figura 2.35. Comparación del peso fresco total del fruto en varias localidades de Antioquia.

Fuente: Elaboración propia

Las distintas partes del fruto contribuyeron de forma diferente al peso seco total del fruto. La pulpa y la semilla fueron los componentes del fruto que mayor influencia tuvieron sobre el peso seco. La cáscara fue variable en las diferentes localidades y la testa fue muy similar en todos los sitios evaluados (figura 2.36).

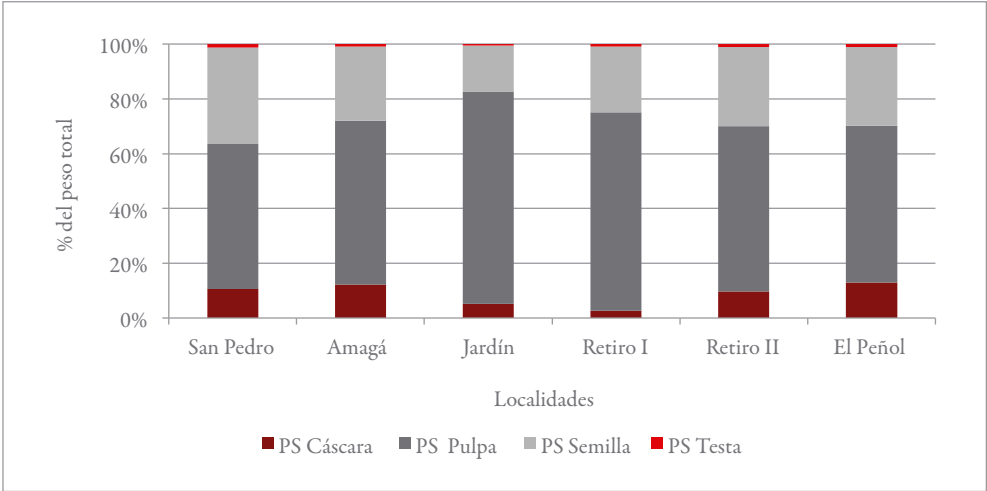


Figura 2.36. Contribución de las diferentes partes del fruto cv. Hass a su peso seco total en las diferentes localidades de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.37 se presenta una guía respecto a la cantidad de nutrientes (N, P y K) extraídos o removidos por diferentes volúmenes de cosecha de aguacate cv. Hass en Antioquia. A raíz de esta extracción, es necesario reintegrar dichos nutrientes —ya sea en forma orgánica o en forma de abonos o fertilizantes— para mantener la fertilidad del suelo en el cultivo.

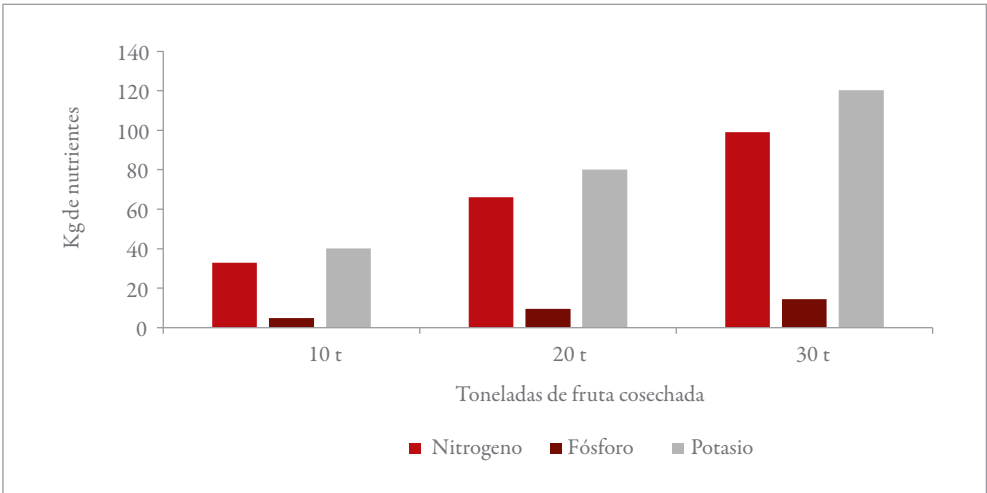


Figura 2.37. Cantidad de nutrientes removidos por los tejidos del fruto fresco de aguacate cv. Hass en Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

Referencias

- Aber, J. D., & Melillo, J. M. (1991). *Terrestrial ecosystems* (2.^a ed). San Diego, EE. UU.: Academic Press.
- Aerts, R. (1997). Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: A triangular relationship. *Oikos*, 79(3), 439-449.
- Alcaraz, M. L., Thorp, T. G., & Hormaza, J. I. (2013). Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulture*, 164(2013), 434-439.
- Arpaia, M. L. (1994). Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. *HortScience*, 29, 982-985.
- Arpaia, M. L. (1998). Enhancement of avocado productivity. I. Plant improvement - Selection and evaluation of improved varieties and rootstocks. *California Avocado Grower*, 2, 1-2.
- Arpaia, M. L., Meyer, J. L., Witney, G. W., Bender, G. S., Stottlemeyer, D. S., & Robinson, P. R. (1996). The cashin creek nitrogen fertilizer trial –What did we learn? *California Avocado Society 1996 Yearbook*, 80, 85-98.
- Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2007). Fenología de cultivares e híbridos de aguacate de la raza mexicana en la región centro-norte costera de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 57(2), 89-98.
- Barlow, J., Gardner, T. A., Ferreira, L. V., & Peres, C. A. (2007). Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 247(1-3), 91-97.
- Berg, B., & McClaugherty, C. (2008). Plant litter. Decomposition, humus formation, carbon sequestration (2^a ed.). Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- Bernal, J. A. (2016). *Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia* (tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Calabrese, F. (1992). *El aguacate*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

- Can-Alonzo, C., Quezada-Euán, J. J. G., Xiu-Ancona, P., Moo-Valle, H., Valdovinos-Núñez, G. R., & Medina-Peralta, S. (2005). Pollination of 'criollo' avocados (*Persea americana*) and the behaviour of associated bees in subtropical Mexico. *Journal of Apicultural Research*, 44(1), 3-8.
- Cossio-Vargas, L. E., Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Medina-Torres, R. (noviembre, 2007a). *Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido*. Documento presentado en el VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile.
- Cossio-Vargas, L. E., Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Medina-Torres, R. (noviembre, 2007b). *Modelos de predicción de la determinación irreversible a la floración en los aguacates 'Choquette' y 'Booth-8'*. Documento presentado en el VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile.
- Cutting, J. G. M., & Bower, J. P. (1990). Spring vegetative flush removal: The effect on yield size, fruit mineral composition and quality. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 13, 33-34.
- Davenport, T. L. (1986). Avocado flowering. *Horticultural Reviews*, 8, 257-289. doi: 10.1002/9781118060810.ch7.
- Díaz, C. A., & Bernal, J. A. (2017). Desarrollo tecnológico productivo y comercial del aguacate en el departamento de Antioquia. Informe final. Medellín, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Dixon, J., & Sher, D. (2002). Pollination of avocados. *NZ Avocado Growers Association Annual Research Report*, 2, 1-2.
- Dixon, J., Cotterell, C., Hofstee, B., & Elmsly, T. A. (2008). 'Hass' avocado tree phenology 2004-2009 in the Western Bay of Plenty. *New Zealand Avocado Growers' Association Annual Research Report*, 8, 35-58.
- Domisch, T., Ohashi, M., Finér, L., Risch, A. C., Sundström, L., Kilpeläinen, J., & Niemelä, P. (2008). Decomposition of organic matter and nutrient mineralization in wood ant (*Formica rufa* group) mounds in boreal coniferous forests of different age. *Biology and Fertility Soils*, 44, 539-545.
- Eslava, J. (1992). Perfil altitudinal de la temperatura del aire en Colombia. *Geofísica Colombiana*, 1, 37-52.
- Hofman, P., Marques, R., Searle, C., Stubbings, B., & Moody, P. (septiembre, 2005). *Improving avocado fruit quality through tree nutrition - Present knowledge*. Documento presentado en la New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference '05, Tauranga, New Zealand.
- Jaganath, I., & Lovatt, C. (1995). *Efficacy studies on prebloom canopy applications of boron and/or urea to 'Hass' avocados in California*. Documento presentado en el III World Avocado Congress, Riverside, EE. UU.

- Jaramillo-Robledo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Lahav, E., Whiley, A. W., & Turner, D. W. (2013). Irrigation and mineral nutrition. En A. W. Whiley, B. Schaffer, & B. N. Wolstenholme (Eds.), *The avocado: Botany, production and uses* (2.^a ed., pp. 301-340). Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Lahav, E., & Zamet, D. (1999). Flowers, fruitlets and fruit drop in avocado trees. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 95-100.
- Lazcano-Ferrat, I., & Espinoza, J. (1998). Manejo de la nutrición del aguacate. *Informaciones Agronómicas*, 31, 3-6.
- Liu, X., Hofshi, R., & Arpaia, M. L. (1999). 'Hass' avocado leaf growth, abscission, carbon production and fruit set. En M. L. Arpaia and R. Hofshi (Eds.), *Proceedings of avocado Brainstorming. Session 3. Canopy management* (pp. 52-55). Riverside, California: University of California.
- Mellado-Vázquez, A., Salazar-García, S., Álvarez-Bravo, A., Ibarra-Estrada, M. E., & González-Valdivia, J. (septiembre, 2015). *Remoción de nutrimentos por el fruto de aguacate "Méndez" en el sur de Jalisco, México*. Documento presentado en el VIII Congreso Mundial de la Palta, Lima, Perú.
- Mena-Volker, F. (septiembre, 2004). *Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo*. Documento presentado en el 2.º Seminario Internacional de Paltos. Quillota, Chile. Documento recuperado de <https://goo.gl/8uoEiJ>.
- Muñoz, R. (1998). Fertilización de la papa en Antioquia. En R. Guerrero (Ed.), *Fertilización de cultivos en clima frío* (pp. 28-46). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.
- Palma, R. M., Prause, J., Fontanive, A. V., & Jiménez, M. P. (1998). Litterfall and litter decomposition in a forest of the Parque Chaqueño Argentino. *Forest Ecology and Management*, 106, 205-210.
- Pabón, J., Eslava, J., & Gómez, R. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*, (4), 47-59.
- Parker, G. G. (1983). Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, 13, 57-133.
- Paz-Vega, S. (1997). Alternate bearing in the avocado (*Persea americana* Mill.). *California Avocado Society 1997 Yearbook*, 81, 117-148.
- Ploetz, R. C., Ramos, J. L., & Parrado, J. L. (1992). Shoot and root growth phenology of grafted avocado. En C. J. Lovatt (Ed.) *Proceedings II World Avocado Congress* (pp. 215-220). Riverside, EE. UU.: University of California.

- Prause, J. (1997). Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en un monte nativo del Parque Chaqueño Húmedo (tesis de maestría). Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Prause, J., Lifschitz, A. P., Dalurzo, H. C., & Agudo, D. E. (2002). Leaf litterfall and decomposition in a forest of the Chaco argentino. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(19-20), 3653-3661.
- Rocha-Arroyo, J. L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A. E., González-Durán, I. J. L., & Cossio-Vargas, L. E. (2011a). Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 303-316.
- Rocha-Arroyo, J. L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A. E., González-Durán, J. L., & Medina-Torres, R. (septiembre, 2011b). *Crecimientos vegetativo y reproductivo del aguacate 'Hass' en diversos climas de Michoacán, México*. Documento presentado en el VII World Avocado Congress. Cairns, Australia.
- Romero, M. A. (2011). *Comportamiento fisiológico del aguacate (Persea americana Mill.) variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rosales, J. J., Parodi, G., & Carlini, B. (octubre, 2003). *Evaluación del ciclo fenológico del palto (Persea americana Mill) cv. Hass para la zona de la irrigación Santa Rosa, Perú*. Documento presentado en el V World Avocado Congress, Málaga-Granada, España.
- Rossouw, T., & Robbertse, P. (2001). Effect of gibberellic acid treatments on flower development of avocado. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, 24(4), 1-2.
- Salazar-García, S. (2002). *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*. Querétaro, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), Instituto de la Potasa y el Fósforo (Inpofos).
- Salazar-García, S. (2007). Floración y fructificación. En D. Téliz y A. Mora (Eds.), *El aguacate y su manejo integrado* (2.^a ed., pp. 64-86). México D. F., México: Mundi-Prensa.
- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., González-Durán, I. J. L., & Lovatt, C. J. (2007). Desarrollo floral del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruta y edad de los brotes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 87-92.
- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., Lovatt, C. J., González-Durán, J. I., & Pérez-Barraza, M. H. (2006). Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of 'Hass' avocado. *HortScience*, 41(7), 1541-1546.
- Salazar-García, S., & Lazcano-Ferrat, I. (2001). Identifying fruit mineral removal differences in four avocado cultivars. *Better Crops International*, 15(1), 28-31.

- Salazar-García, S., & Lovatt, C. (2002). Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Inflorescence and flower development. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 8(1), 71-75.
- Sánchez-Pérez, J., Alcántar, J. J., Coria, V. M., Anguiano, J., Vidales, I., Tapia, L. M.,... Vidales, J. A. (2001). *Tecnología para producir aguacate en México*. Uruapan, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap).
- Schaffer, B., & Whiley, A. W. (2007). Fisiología ambiental. En A. W. Whiley, B. Schaffer, y B. N. Wolstenholme (Eds.), *El palto. Botánica, producción y usos* (pp. 133-154). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Schessl, M., Silva, W. L., & Gottsberger, G. (2008). Effects of fragmentation on forest structure and litter dynamics in Atlantic rainforest in Pernambuco, Brazil. *Flora*, 203(3), 215-228.
- Scholefield, P. B., Sedgley, M., & Alexander, D. McE. (1985). Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. *Scientia Horticulturae*, 25(2), 99-110.
- Scora, R. W., Wolstenholme, B. N., & Lavi, U. (2002). Taxonomy and botany. En A. W. Whiley, B. Schaffer, y B. N. Wolstenholme (Eds.), *The avocado: Botany, production and uses* (2.^a ed., pp. 31-50). Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Scora, R. W., Wolstenholme, B. N., & Lavi, U. (2007). Taxonomía y botánica. En A. W. Whiley, B. Schaffer, y B. N. Wolstenholme (Eds.), *El palto. Botánica, producción y usos* (pp. 25-46). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia (SADRA). (2019). *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario en el Departamento de Antioquia 2018*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Sedgley, M. (1987). Flowering, pollination and fruit-set of avocado. *South African Growers' Association Yearbook*, 10, 42-43.
- Sedgley, M., & Alexander, D. McE. (1983). Avocado breeding research in Australia. *California Avocado Society Yearbook*, 67, 129-140.
- Tamayo, A., Bernal, J., & Díaz, C. (2018). Composición y remoción de nutrientes por la cosecha de aguacate cv. Hass en Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 71(2), 8511-8516. 10.15446/rfna.v71n2.71929
- Tamayo, A. J. (2016). *Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de aguacate cv. Hass en función de la inoculación con un hongo saprofito en tres pisos térmicos* (tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

- Tamayo, A., & Osorio, W. (2014). Nutrición y fertilización. En Bernal, J., Díaz, C., Osorio, C., Tamayo, A., Osorio, W., Córdoba, O... Londoño, M., *Manual técnico: actualización tecnológica y buena prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 182-212). Medellín, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Tapia, P. A., & Gardiazábal, F. (1993). *Aproximación al ciclo fenológico del palto (Persea americana Mill.) cultivar Hass, para la zona de Quillota, V región* (tesis de grado). Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Recuperado de <https://goo.gl/182GbJ>.
- Tapias, V. L. M., Marroquín, P. F. J., Cortés, T. I., Anguiano, C. J., & Castellanos, R. Z. J. (2007). Nutrición del aguacate. En D. Téliz, & A. Mora (Coord.), *El aguacate y su manejo integrado* (2.ª ed., pp. 87-107). México D. F., México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Téliz, D. (2000). *El aguacate y su manejo integrado*. México D. F., México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Téliz, D., & Mora, A. (2007). *El aguacate y su manejo integrado* (2.ª ed.). México D. F., México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Thorp, T. G., Aspinall, D., & Sedgley, M. (1993). Influence of shoot age on floral development and early fruit set in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass'. *Journal of Horticultural Science*, 68(5), 645-651.
- Tukey, H. B. Jr. (1970). The leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 21, 305-324.
- Wang, Q., Wang, S., & Huang, Y. (2008). Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 1210-1218.
- Whiley, A. W., Saranah, J. B., Cull, B. W., & Pegg, K. G. (1988). Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Queensland Agricultural Journal*, 114(1), 29-36.
- Wolstenholme, B. N. (1986). Energy costs of fruiting as a yield-limiting factor, with special reference to avocado. *Acta Horticulturae*, 175, 121-126.
- Wolstenholme, B. N. (1987). Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 10, 58-61.
- Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (abril, 1992). *Requirements for improved fruiting efficiency in the avocado tree*. Documento presentado en el Second World Avocado Congress, Orange, California.

- Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (octubre, 1998). Strategies for maximizing avocado productivity: An overview. Documento presentado en el III World Avocado Congress, Tel Aviv, Israel.
- Wolstenholme, B. N., Whiley, A. W., & Saranah, J. B. (1990). Manipulating vegetative: reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with paclobutrazol foliar sprays. *Scientia Horticulturae*, 41(4), 317-327.
- Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (1999). Ecophysiology of the avocado (*Persea americana* Mill.) tree as a basis for pre-harvest management. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 77-88.
- Zilkah, S., Klein, I., Feigenbaum, S., & Wepaum, S. A. (1987). Traslocation of foliar-applied urea 15N to reproductive and vegetative sinks of avocado and its effects on fruit set. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112, 1061-1065.

