

# Capítulo IV



# Fisiología de la floración y producción

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

## INTRODUCCIÓN

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

## FISIOLOGÍA DE LA FLORACIÓN

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

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

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



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

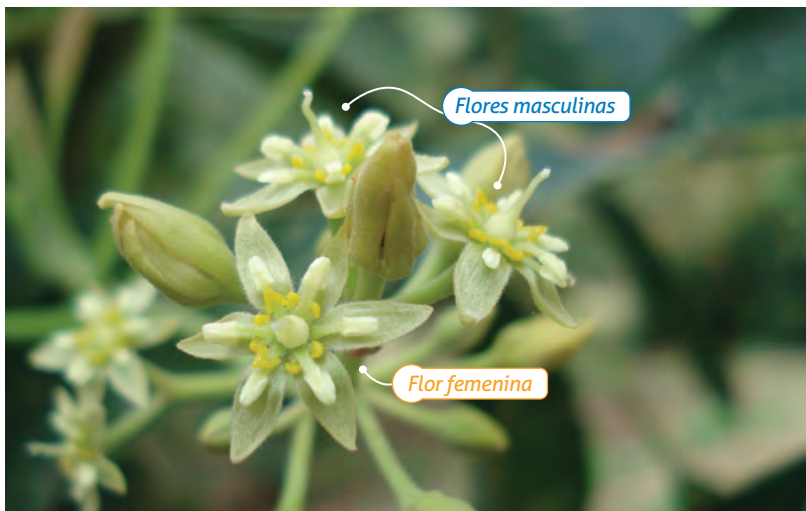
A partir de esta alternancia reproductiva, en 1923, Stout clasificó los árboles de aguacate de acuerdo con su floración en dos clases: los tipos A y los tipos B (Davenport, 1986). En los tipos A, a los cuales pertenece

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

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

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

Foto: Oscar de Jesús Córdoba Gaona



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

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

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

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

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

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

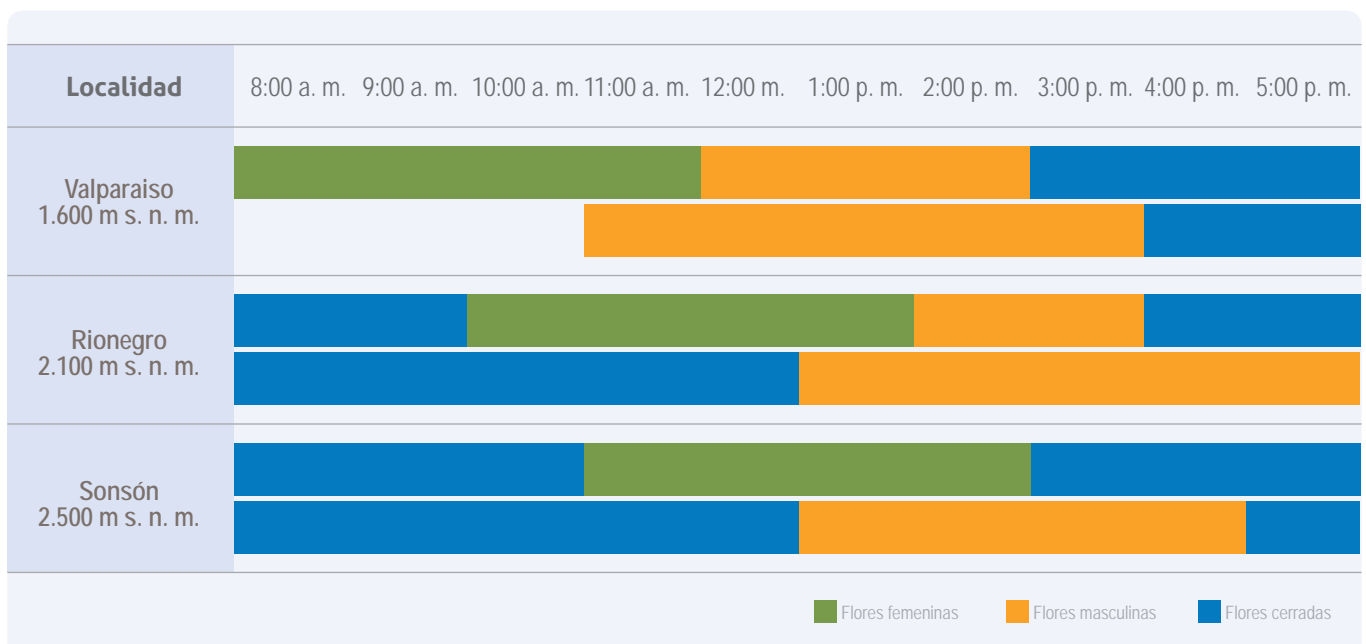
De acuerdo con Davenport (1986), la naturaleza sincrónicamente dicógama en las flores de aguacate es extremadamente sensible a las condiciones ambientales. En condiciones climáticas óptimas, la apertura floral diaria es uniforme y notablemente predecible. No obstante, la floración del aguacate es bastante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

del aguacate cv. Hass, aparte de observaciones casuales.

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

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

*Fuente:* Elaboración propia




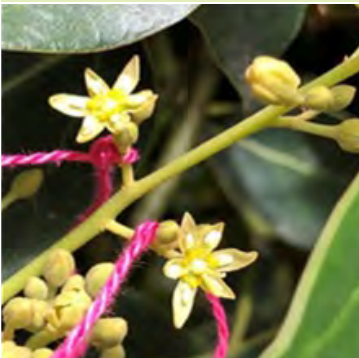







**Figura 26.** Registro de la floración de aguacate cv. Hass en cultivos comerciales en tres localidades en el departamento de Antioquia.

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

Comportamientos similares han sido reportados por Carabalí-Muñoz et al. (2016) para cultivos comerciales de aguacate cv. Hass en los departamentos de Antioquia, Cauca y Tolima. Estos autores encontraron que las flores en la fase femenina se abrieron en el periodo comprendido entre las 8:00 a. m.

y las 3:00 p. m., y en estado masculino entre las 12:00 m. y las 4:00 p. m., con un traslape de tres horas, tanto en la fase masculina como en la femenina, con lo cual se demuestra que la sincronización en la floración de aguacate en condiciones de trópico alto tampoco exhibe un comportamiento tan sincronizado.

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

## FISIOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN

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

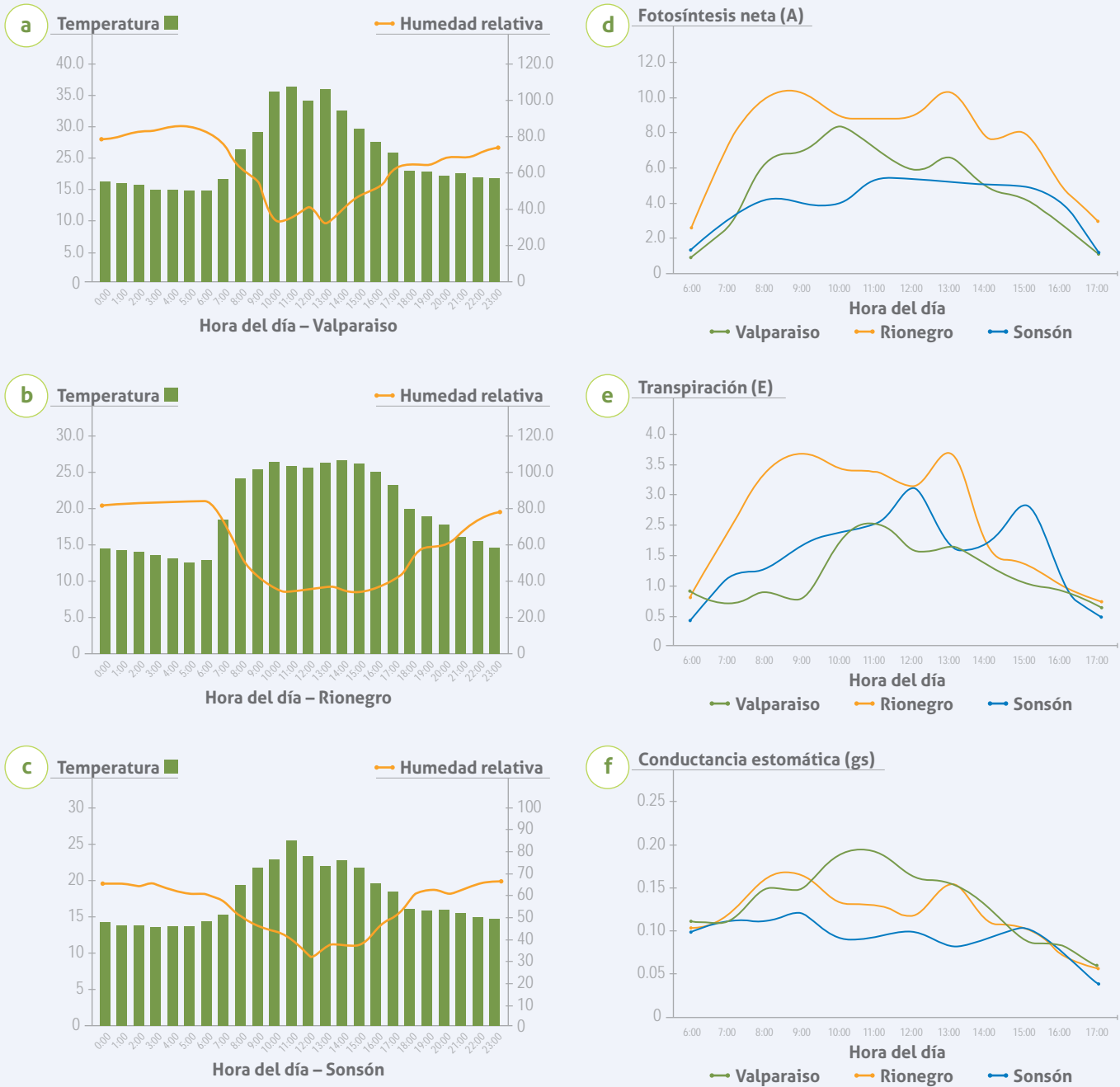
Observaciones realizadas por los autores permitieron determinar el comportamiento fisiológico de árboles de aguacate cv. Hass en tres localidades del departamento de Antioquia, a través de tres pisos altitudinales: Valparaíso (1.500 m s. n. m.), Rionegro (2.100 m s. n. m.) y Sonsón (2.500 m s. n. m).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

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

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

## FISIOLOGÍA DEL FRUTO

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



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

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

*Fuente: Elaboración propia*

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

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

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

## CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS

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

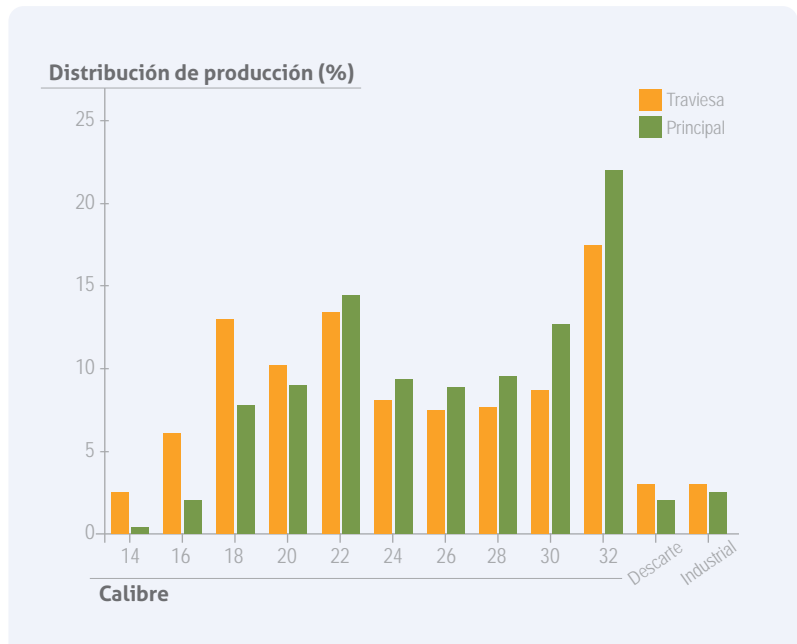
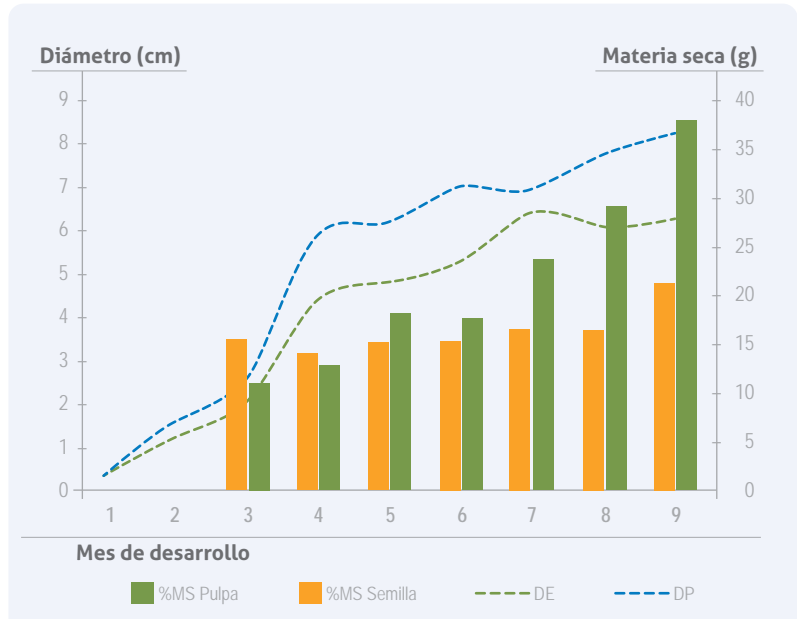
**Tabla 7. Calidad del fruto de aguacate cv. Hass caracterizado según su peso y calibre para exportación**

Países	Calibre	Peso (g)	
		Mín.	Máx.
Europa y Canadá	Descarte	0	80
	Industrial	80,1	94
	32	94,1	135
	30	135,1	149
	28	149,1	160
	26	160,1	170
	24	170,1	181
	22	181,1	200
	20	200,1	217
	18	217,1	249
	16	249,1	284
	14	284,1	600
Estados Unidos	32	331	mas
	36	301	330
	40	266	300
	60	206	265
	48	171	205
	70	151	170
	84	120	150
Japón, China y Korea	20	266	310
	24	206	265
	30	171	205
	35	150	170

**Fuente:** Elaborado a partir de Cano-Gallego et al. (2023a)

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

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



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

*Fuente: Elaboración propia*

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

*Fuente: Elaboración propia*