




## CAPÍTULO II

# Modelo fenológico



**L**a fenología se define como el estudio de los eventos biológicos de las plantas que se presentan de manera periódica (por ejemplo: inducción floral, flujos de crecimiento vegetativo, floración, crecimiento del fruto, cuajado, abscisión, etc.), relacionados con el clima y, especialmente, con los cambios estacionales a los que se encuentran sometidas las plantas. En el subtrópico, por ejemplo, los cambios ambientales propios de cada estación (primavera, verano, otoño e invierno) determinan la transición en los ciclos de crecimiento vegetativo (formación de hojas) a reproductivo (formación de flores). En el trópico se sugiere que los periodos de floración están asociados con épocas secas, seguidas por periodos de lluvia (Southwick & Davenport, 1986; Wilkie et al., 2008; Wolstenholme & Whiley, 1990).

La descripción fenológica se puede convertir en una herramienta importante para desarrollar e implementar, de manera más ordenada, prácticas de manejo agronómico, así como para caracterizar el comportamiento de una especie en diferentes condiciones ambientales o diferentes condiciones experimentales. Para el aguacate, se han propuesto distintas escalas fenológicas que, si bien coinciden en la descripción de algunos estados tipo, presentan variaciones en la descripción detallada de estados intermedios y en la cobertura de las fases fenológicas asociadas al crecimiento vegetativo y reproductivo, desde yema en latencia, hasta la fase de maduración del fruto (Alcaraz et al., 2013; Aubert, 1972; Cabezas et al., 2003; Ish-Am & Eisikowitch, 1991; Salazar-García et al., 1998).

# Escala fenológica con subfases del proceso dicogámico de la flor, propuesta por Cabezas et al. (2003)

La aplicación de una u otra escala dentro de esquemas de investigación dependerá del nivel de precisión que le aporte cada una, en función del objetivo con el que cada autor defina su alcance. Si lo que se busca es enfocar estudios de biología floral tendientes a caracterizar aspectos como el momento de antesis, la longevidad floral, la disposición espacial de estambres y el estigma, posiblemente se encuentre un mayor soporte en la escala de Cabezas et al. (2003), ya que esta considera con mayor precisión las fases femenina y masculina de la flor, desde su apertura individual hasta que vuelve a cerrar (figura 6).

**Figura 6.** Fases femenina y masculina de la flor de aguacate con definición de subfases.

**Estado A**  
Yema en latencia



**Estado B**  
Yema hinchada



**Estado C**

Aparece la  
inflorescencia



**Estado D<sub>1</sub>**

Botones  
florales: eje  
secundario  
visible



**Estado D<sub>2</sub>**

Botones  
florales: eje  
terciario visible



**Estado E**

Botón amarillo



**Subestado F1f**

Flor abriendo  
en fase  
femenina



**Subestado F2f**

Flor abierta en  
fase femenina



**Subestado F3f**

Flor cerrando  
en fase  
femenina



**Subestado F1c**

Flor cerrada



**Subestado F1m**

Flor abriendo  
en fase  
masculina



**Subestado F2m**

Flor abierta en  
fase masculina,  
con anteras no  
dehiscidas



**Subestado F3m**

Flor abierta en  
fase masculina,  
con primera  
dehiscencia



**Subestado F4m**

Flor abierta  
en fase  
masculina, con  
dehiscencia  
completa



**Subestado F5m**

Flor cerrando  
en fase  
masculina

**Subestado F2c**

Flor cerrada de  
forma definitiva



**Fuente:** Elaboración propia con base en Cabezas et al. (2003).

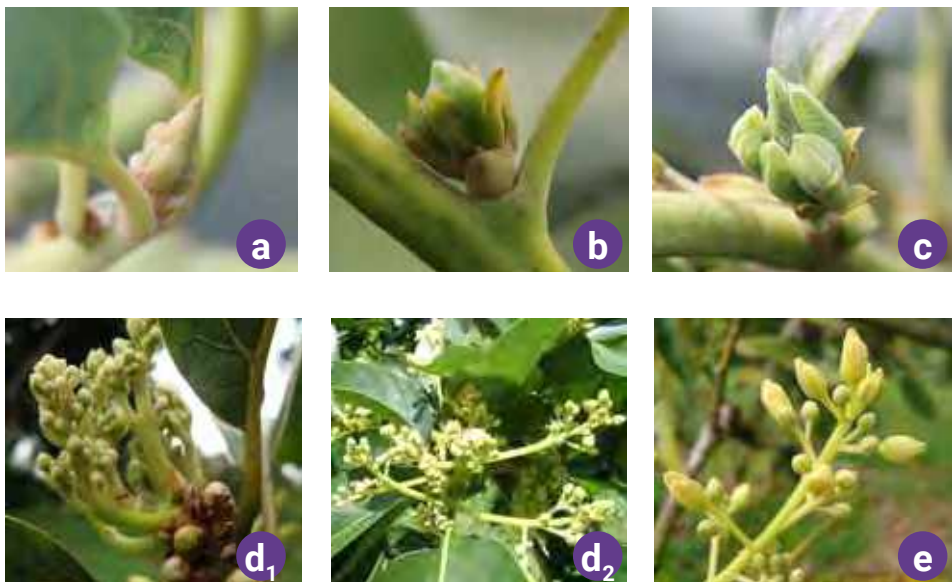
**Fotos:** Alexander Rebolledo Roa

Además de los diez subestados morfológicos de la floración, que resumen el proceso dicógamo de la flor, esta escala describe la secuencia progresiva desde la yema latente hasta la definición del fruto tierno, resumido en diez estados tipo.

En estudios previos desarrollados por Romero Sánchez (2012) se caracterizaron los estados fenológicos de aguacate de la variedad Lorena en las condiciones del departamento de Tolima. La variedad Lorena pertenece a la raza antillana y se desarrolla en zonas de bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano. Su rango de adaptación está entre 0 y 1.500 m s. n. m., a temperaturas entre 18°C y 26°C, con alta humedad relativa. Presenta un tiempo aproximado de floración a cosecha de 5 a 8 meses, y el peso del fruto está entre 250 g y 1.000 g (Bernal & Díaz, 2008; Scora et al., 2002).

En estas condiciones de desarrollo, se confirma la homologación de estados descritos en la variedad Lorena con los reportados para aguacate Hass por Cabezas et al. (2003). El estado A corresponde a yemas en latencia cerradas, de forma aguda, que pueden ser terminales o axilares (figura 7a). El estado B corresponde a yema hinchada y redondeada, con brácteas visibles que protegen la inflorescencia (figura 7b). En el estado C, los botones florales comienzan a ser visibles entre las brácteas de la inflorescencia (figura 7c). Los estados D<sub>1</sub> y D<sub>2</sub> describen la elongación de los ejes secundarios y terciarios, respectivamente (figuras 7d<sub>1</sub> y 7d<sub>2</sub>), primero con botones florales diferenciados pero agrupados, y posteriormente separados con racimos diferenciados en la panícula. En el estado E, previo a la apertura floral, los ejes de la inflorescencia se encuentran totalmente expandidos, y las flores, diferenciadas con tépalos visibles (figura 7e).

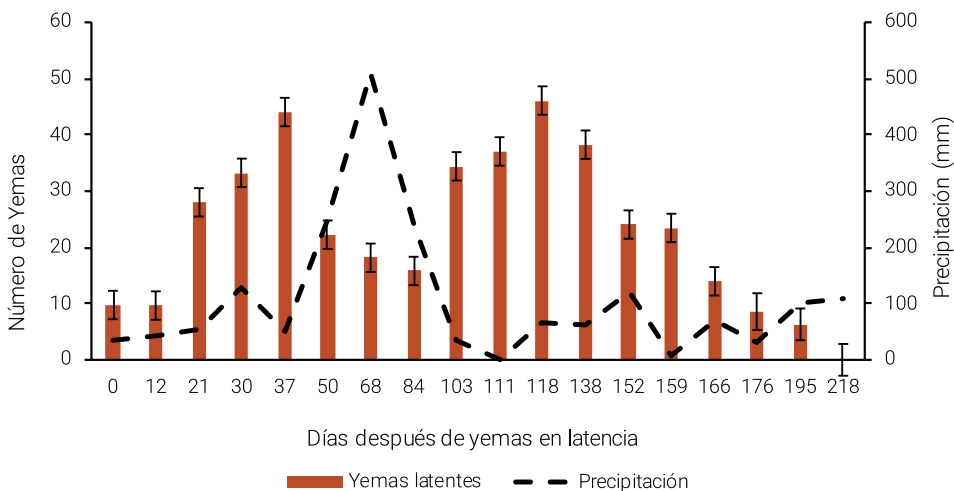
**Figura 7.** Estados fenológicos del desarrollo reproductivo de la variedad Lorena bajo las condiciones de San Sebastián de Mariquita (Tolima). a. Yema en latencia; b. Yema hinchada; c. Aparece la inflorescencia; d<sub>1</sub>. Botones florales con eje secundario visible; d<sub>2</sub>. Botones florales con eje terciario visible; e. Botón amarillo.

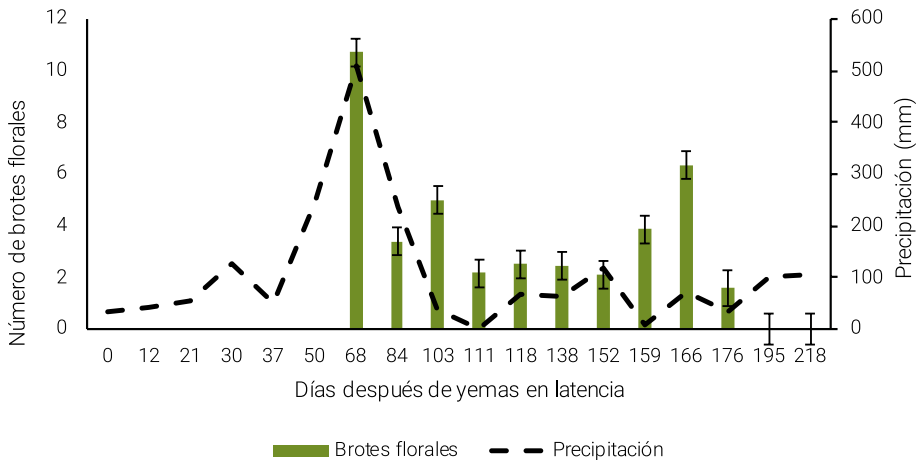


Fotos: Ronal Arturo Burbano

En estas condiciones de estudio, se logró establecer una posible relación entre el patrón de distribución de lluvias y los eventos que marcan la transición entre la yema en latencia (estado A) y su diferenciación en yema floral. La aparición de las yemas en latencia (estado A) aumentó hasta los 37 días después del inicio de brotación (DDIB), cuando se presentó el primer pico de máxima aparición, con 43 yemas en latencia/rama, periodo que coincidió con una baja precipitación, de 9 mm/día. La emisión de yemas en latencia disminuyó drásticamente hasta los 84 DDIB, cuando la precipitación diaria aumentó a 31,8 mm/día, alcanzando un máximo de 509,3 mm entre los puntos de muestreo (figura 8a). Posterior a este evento, a partir de los 68 DDIB se presentó la diferenciación de las flores en las panículas y la elongación de los ejes secundarios y terciarios (estado D) (figura 8b). Con el desarrollo de la inflorescencia, se presentó un incremento en el nivel de precipitación, lo que coincide con los resultados reportados por Whiley (1990), quien indica que los requerimientos de agua aumentan sustancialmente durante la floración debido a la formación de nuevas estructuras y a un incremento en el área susceptible de perder agua.

**Figura 8.** Estados fenológicos tipo del desarrollo floral de la variedad Lorena, en función de la precipitación, en las condiciones de San Sebastián de Mariquita (Tolima). a. Yemas latentes; b. Brotes florales.





**Fuente:** Elaboración propia con base en Cabezas et al. (2003).

## Escala fenológica del desarrollo floral propuesta por Salazar-García et al. (1998)

La escala propuesta por Salazar-García et al. (1998) (figura 9) plantea la descripción macroscópica y microscópica de once estados, desde yema en latencia, hasta la apertura floral (antesis). Esta escala relaciona el aspecto externo de las yemas con el grado de desarrollo del meristemo floral. Estos autores aportan la descripción de los cambios anatómicos que marcan la transición de la yema en latencia hasta el crecimiento reproductivo, y caracterizan al estado 4 como el que determina irreversiblemente la floración. En condiciones tropicales, donde existen pocos antecedentes sobre los factores ambientales asociados con los procesos de inducción floral, esta escala representa una herramienta importante para profundizar en el conocimiento del desarrollo fenológico del aguacate en las distintas zonas productoras del territorio colombiano.

**Figura 9.** Características macroscópicas del desarrollo de la inflorescencia.

**Estado 1**

Yema cubierta por las hojas no expandidas del brote



**Estado 2**

Yema cubierta por dos hojas expandidas y maduras



**Estado 3**

Senescencia parcial de las escamas de la yema



**Estado 4**

Brácteas de la inflorescencia expandidas hacia todos los extremos del brote



### **Estado 5**

Incremento en las dimensiones del brote. Escamas separadas



### **Estado 6**

Las brácteas encierran la inflorescencia



### **Estado 7**

Apertura de las brácteas de la inflorescencia; la inflorescencia comienza a emerger



### **Estado 8**

Elongación de ejes secundarios (estado de coliflor). Los ejes terciarios aún están cubiertos por brácteas. Se presentan pequeñas flores cerradas



**Estado 9**

Elongación del eje terciario. Brote vegetativo visible en el ápice de la inflorescencia

**Estado 10**

Flores completamente diferenciadas, pero cerradas

**Estado 11**

Flores en antesis. Brotación de yemas vegetativas en el ápice de inflorescencias indeterminadas. Inicio del flujo vegetativo de primavera



**Fuente:** Elaboración propia con base en Salazar-García et al. (1998).

**Fotos:** Alexander Rebolledo Roa

Con base en esta escala, se caracterizaron los estados fenológicos tipo de aguacate Hass en dos zonas productoras de Colombia: Rio-negro (Antioquia) y Morales (Cauca). Además, se relacionan los estados principales que determinan la transición de yema vegetativa a brote reproductivo, con el fin de establecer una posible asociación

entre los periodos secos y los de máxima precipitación. Del mismo modo, se relaciona el estado 8, o estado de coliflor, referenciado por diversos autores (Lovatt, 2010; Salazar-García et al., 1998) como el de mayor sensibilidad a la aplicación exógena de reguladores de crecimiento o fertilización foliar, ya que los ejes secundarios y terciarios aún se encuentran en proceso de crecimiento, y estos últimos con presencia de pequeñas flores cerradas, una en posición terminal y dos laterales.

De acuerdo con Salazar-García et al. (1998), la transición de la fase vegetativa a la reproductiva en muchas especies está asociada con los procesos de división celular presentes en la región aplanada del meristemo apical, que puede dar origen a la formación de hojas o flores. Si prevalecen condiciones ambientales que promueven el crecimiento vegetativo, el meristemo del eje primario conduce a la formación del nuevo primordio foliar. Sin embargo, en condiciones óptimas para la floración (estrés hídrico o bajas temperaturas), a partir de los meristemos laterales se estimula la actividad de división celular para originar las estructuras características de la inflorescencia. De acuerdo con estos autores, cualquier estrategia enfocada en manipular la iniciación de la inflorescencia debe realizarse antes del estado 4, cuando se presenta la transición del crecimiento vegetativo al reproductivo.

## Estados fenológicos tipo en Rionegro (Antioquia)

En las condiciones de Rionegro, se caracterizaron los estados fenológicos del desarrollo floral en 144 yemas distribuidas en 36 árboles de aguacate Hass, y se monitorearon los registros climáticos (temperatura, precipitación, humedad relativa y brillo solar), con una estación climática portátil WatchDog instalada en la localidad del estudio, a una altura de 2.172 m s. n. m. Además, con base en los registros de la serie climática de la estación principal del Ideam del Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA,



ubicada en las coordenadas 6° 08' de latitud norte y 75° 25' de longitud oeste, se realizó la caracterización climática de la zona de estudio. En ella, se presenta una precipitación media multianual de 1.990 mm/año; la precipitación más baja se obtuvo en el mes de enero, con un valor promedio multianual de 60 mm. Los registros indican que la precipitación presenta un comportamiento bimodal, con dos temporadas de lluvia y de sequía distribuidas de la siguiente forma:

- Periodos de lluvias moderadas: junio, julio y agosto
- Periodos de lluvias intensas: abril y mayo; septiembre, octubre y noviembre
- Periodos moderadamente secos: marzo y diciembre
- Periodos secos: enero y febrero

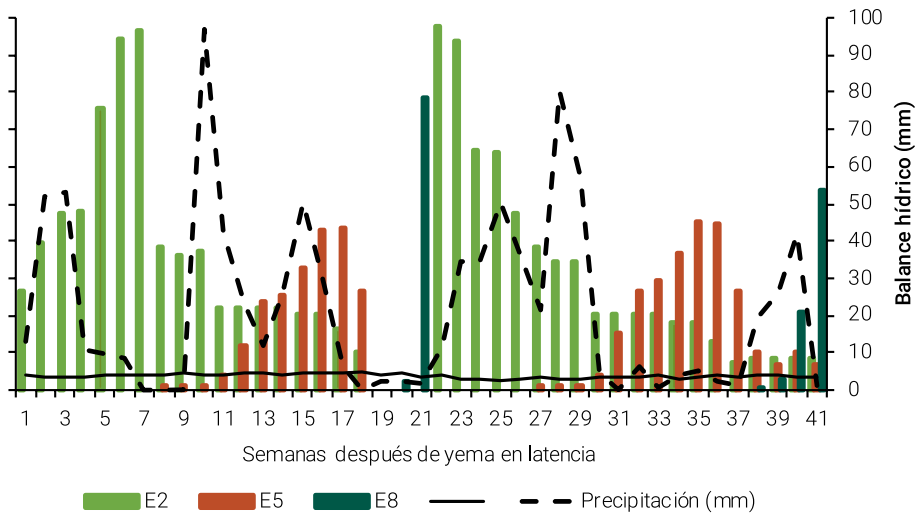
En relación con la temperatura, esta permanece casi constante, con una media de 17,1 °C, una máxima de 22 °C y una mínima de 12 °C. La humedad relativa tiene un comportamiento similar a la precipitación, siendo mayor en los meses de lluvia y disminuyendo en los meses secos, con un promedio anual del 76,9%. El brillo solar presenta un comportamiento inverso a la precipitación y la humedad relativa, pues disminuye en los meses de mayor precipitación y aumenta en los meses de sequía, con un promedio anual de 5 horas/día.

Aunque la zona se caracteriza por un balance hídrico anual positivo, con una precipitación promedio anual de 1.990 mm y una evaporación anual de 1.210 mm, el patrón de distribución de lluvias presenta meses con déficit hídrico: diciembre, enero y febrero.

En estas condiciones, se registraron dos flujos de crecimiento enfocados en la formación de brotes reproductivos. El estado 2, con yemas que aún se encuentran en latencia, presentó una mayor frecuencia entre las semanas 5 y 7, y la segunda lo presentó en las semanas

22 y 23 (figura 10). El primer periodo de mayor frecuencia de la yema en latencia coincide con un periodo de baja precipitación y un balance hídrico negativo, requerido como factor de estrés para estimular la transición de la yema en latencia a yema reproductiva. Pero este comportamiento no es consistente con lo observado en el segundo periodo de mayor frecuencia o estado predominante (yema en latencia), ya que se presenta un balance hídrico positivo, contrario al factor de estrés requerido como inductor de la floración.

**Figura 10.** Estados fenológicos tipo del desarrollo floral de aguacate en la localidad de Rionegro (Antioquia).



**Fuente:** Elaboración propia con base en Salazar-García et al. (1998).

El estado 5, que representa la formación de brotes reproductivos, se presentó entre las semanas 15-17 y 35-37, después de la yema en reposo (figura 10). El primer periodo de mayor frecuencia de este estado coincide con un periodo de precipitación que alcanza los 50 mm. Para el segundo periodo, se registra baja precipitación, con un balance hídrico negativo, que no exhibe relación con los cambios asociados a esta fase fenológica. Las máximas frecuencias para el estado 8 se presentan en las semanas 21 y 41 (figura 10).

## Estados fenológicos tipo en Morales (Cauca)

Además de Rionegro, también se caracterizaron estados fenológicos y se tomaron registros climáticos en la localidad de Morales, a una altura de 1.600 m. s. n. m., ubicada en un piso térmico altitudinal de altiplanicie templado muy húmedo, de acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2009). Los registros para el análisis climático de la zona fueron tomados de la serie climática de la estación principal La Trinidad, perteneciente al Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) y ubicada en el municipio de Piendamó, a 1.671 m. s. n. m., geográficamente localizada en las coordenadas 2° 45' de latitud norte y 76° 35' de longitud oeste (Cenicafé, 2015).

La precipitación media multianual es de 1.800 mm/año; el mes con la precipitación más baja es septiembre, con un valor promedio multianual de 74,5 mm. El patrón de distribución de las lluvias denota un régimen bimodal, con dos temporadas de lluvia y de sequía, que se describen a continuación:

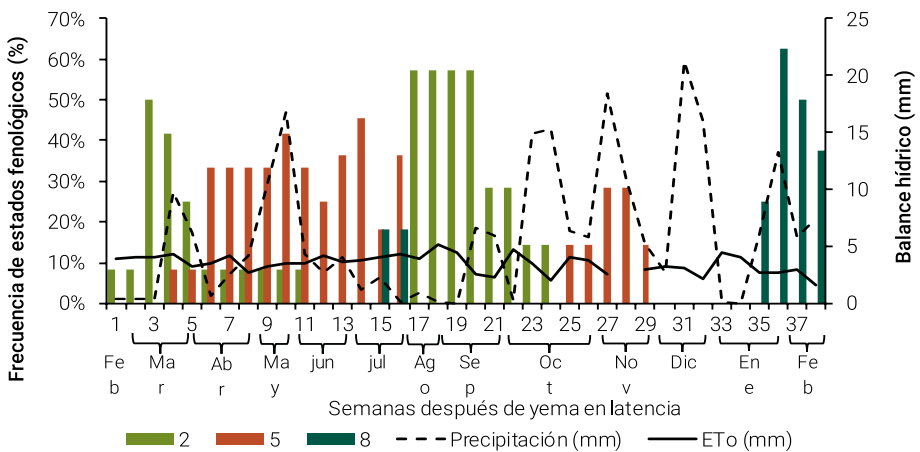
- Periodos de lluvias moderadas: febrero, marzo y segunda mitad de septiembre
- Periodos de lluvias intensas: abril, mayo, octubre y noviembre
- Periodos moderadamente secos: junio, diciembre y enero
- Periodos secos: julio, agosto y primera mitad de septiembre

La temperatura presenta un comportamiento constante casi lineal, con una media de 19 °C, una máxima de 24,3 °C y una mínima de 15 °C. La humedad relativa oscila entre el 74 % y el 84 %, con una tendencia similar a la precipitación, siendo mayor en los meses de lluvia (abril, mayo, octubre y noviembre) y disminuyendo en los meses secos (julio, agosto y primera mitad de septiembre). El brillo solar se encuentra ente 3,1 h y 5,1 h, con un promedio anual de 4,1 horas/día, y presenta un comportamiento inverso a la precipitación

y la humedad relativa, disminuyendo en los meses de mayor precipitación y aumentando en los meses de sequía. En esta localidad también se presenta un balance hídrico anual positivo, siendo la precipitación promedio anual de 1.800 mm y la evaporación anual de 1.150 mm. Las lluvias no se distribuyen uniformemente a lo largo del año, con meses en los que es necesario aplicar riego, por presentar un balance hídrico negativo (junio, julio, agosto y septiembre).

En esta localidad también se registraron dos flujos de crecimiento reproductivo, en los que el estado 2 presenta una posible asociación con periodos de baja precipitación y un balance hídrico negativo. Los periodos de déficit hídrico se presentaron entre las semanas 1-3 y 14-24, y coinciden con los mayores porcentajes de frecuencia del estado 2 o de yema en latencia (figura 11). Cuando se presenta un aumento en las precipitaciones, con aproximadamente 20 mm, las yemas ya se encuentran diferenciadas al estado 5, caracterizado por un incremento en las dimensiones del brote y con una mayor frecuencia entre las semanas 10-14 y 32-33. El estado 8 se presenta en las semanas 15-16 y 35-38 (figura 11).

**Figura 11.** Estados fenológicos tipo del desarrollo floral de aguacate en la localidad de Morales (Cauca).



**Fuente:** Elaboración propia con base en Salazar-García et al. (1998).

## Escala fenológica del desarrollo reproductivo propuesta por Alcaraz et al. (2013)

Alcaraz et al. (2013) proponen, para la variedad Hass, una escala fenológica basada en la codificación Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH), que considera siete de los diez estados de crecimiento principales, iniciando con la yema vegetativa en latencia (estado 010) y finalizando cuando el fruto alcanza su tamaño final y está listo para la cosecha comercial (estado 719). El fruto de aguacate no madura hasta después de ser cosechado, razón por la cual el estado 8 de maduración del fruto no se incluye en esta escala. La escala propuesta por estos investigadores considera la descripción del crecimiento vegetativo y del crecimiento reproductivo, en donde se incluye, además de los estados fenológicos del desarrollo floral, la descripción de los estados de desarrollo del fruto desde postantesis hasta cosecha (figura 12).

En las condiciones del sur de España (Málaga), en las que fue descrita esta escala, se presentan dos flujos de crecimiento vegetativo: el primero, en la estación primaveral, y el segundo, en verano. Las yemas florales se desarrollan en otoño, y la floración tiene lugar en primavera. La duración del periodo de floración depende del cultivar y también de las condiciones ambientales, principalmente la temperatura (Sedgley & Annells, 1981). La transición de la yema en latencia a crecimiento reproductivo se presenta durante el otoño y el invierno (octubre/febrero), y la brotación y emergencia de la inflorescencia ocurre en primavera (marzo/abril). Las yemas que se diferencian en crecimiento reproductivo se observan esféricas durante su desarrollo, mientras que las yemas vegetativas se mantienen elongadas. En las inflorescencias indeterminadas, el desarrollo del brote terminal vegetativo se presenta durante las últimas etapas del desarrollo de la inflorescencia (517-519) (Alcaraz et al., 2013).

**Figura 12.** Descripción de los estados fenológicos para aguacate Hass según la codificación bbch.

**Estado 010.  
Yema vegetativa  
latente**

Las yemas vegetativas están cerradas y cubiertas por escamas de color verde-marrón



**Estado 019.  
Finaliza el  
rompimiento de la  
yema**

Ápices de la hoja aproximadamente 3 mm por encima de las escamas del brote



**Estado 110.  
Primeras hojas que  
se separan**

Hojas desplegadas con los ápices foliares 10 mm por encima de las escamas



**Estado 115.  
Hojas expandidas**

La primera hoja del flujo vegetativo alcanza el 50 % de su tamaño final. Peciolos de las hojas extendidos



**Estado 119/315.  
50 % de la longitud  
final del brote**

Todas las hojas  
expandidas



**Estado 510.  
Yemas reproductivas  
latentes**

Yemas cubiertas  
con escamas de  
color verde-pardo  
sin signos de  
crecimiento



**Estado 511.  
El brote reproductivo  
comienza a  
hincharse**

Las escamas  
de color marrón  
comienzan a  
separarse y la yema  
se ve visiblemente  
hinchada



**Estado 512.  
Finalización del  
hinchamiento del  
brote**

Las escamas del  
brote se encuentran  
completamente  
separadas. Sección  
interna del brote de  
color verde claro  
visible entre las  
escamas



**Estado 513.  
Rompimiento del  
brote reproductivo**

La inflorescencia se hace visible entre el eje de las escamas del brote



**Estado 514.  
Inflorescencia  
compuesta y  
separada**

La inflorescencia individual se encuentra separada y comienza la elongación de los ejes



**Estado 515.  
50 % de la  
longitud final de la  
inflorescencia**

Ejes secundarios elongados y ejes terciarios aún cubiertos por brácteas, flores pequeñas y cerradas



**Estado 517/110.  
70 % de la longitud  
final  
de la inflorescencia**

Ejes terciarios elongados, flores individuales separadas y hojas visibles en periodo de expansión sobre inflorescencias indeterminadas



**Estado 518/113.**  
**Inflorescencia**  
80 % de la  
longitud final de la  
inflorescencia



**Estado 610.**  
**Primeras flores  
abiertas**  
Estado femenino



**Estado 610.**  
**Primeras flores  
abiertas**  
Estado masculino



**Estado 617.**  
**Flores abiertas**  
70 % de las flores  
abiertas



**Estado 711.  
Crecimiento inicial  
del ovario**

Crecimiento posterior  
a la fertilización y  
cuajado del fruto



**Estado 712.  
Primer periodo de  
máxima abscisión de  
frutos**

Ovarios verdes y  
rodeados por sépalos  
secos y frutos con  
diámetro entre 5 y  
10 mm



**Estado 715.  
50 % del tamaño  
final del fruto**

Segundo periodo de  
máxima abscisión de  
frutos



**Estado 719.  
90 % o más del  
tamaño final del  
fruto**

Frutos listos para  
cosecha comercial

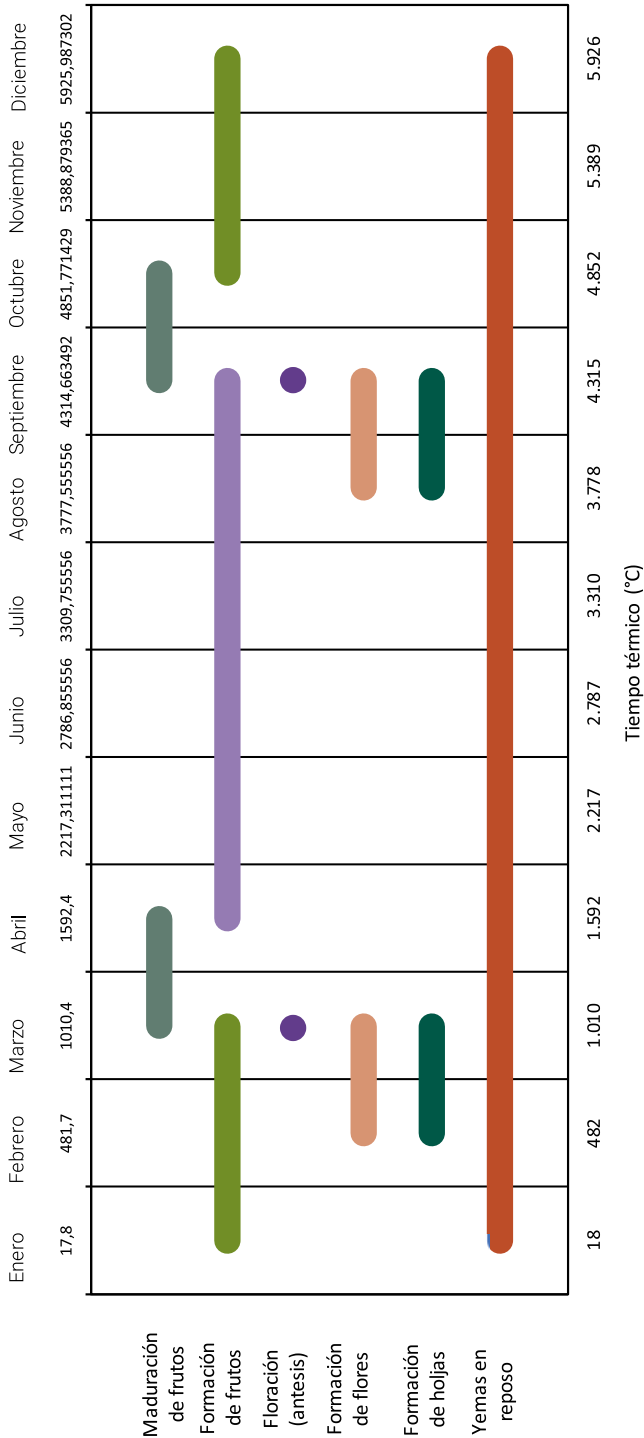


**Fotos:** Alexander Rebolledo Roa

**Fuente:** Elaboración propia con base en Alcaraz et al. (2013).

En los municipios de Morales y El Tambo (Cauca), se llevó a cabo el seguimiento de los estados fenológicos desde yema en latencia hasta cosecha, tomando como referencia la escala propuesta por Alcaraz et al. (2013). Se registraron dos periodos de floración, caracterizados como principal e intermedio. En todas las localidades se registra la presencia de yemas en latencia a lo largo del año, formación de brotes vegetativos y florales en los meses de enero-marzo y julio-septiembre, y el periodo de antesis en los meses de marzo, para la floración principal, y septiembre, para la intermedia. En todas las fincas se registran dos periodos de formación de fruto: la primera, entre los meses de abril y septiembre, que corresponde a la floración principal, y la segunda, entre octubre y marzo del siguiente año, que corresponde a la floración intermedia. El periodo de maduración del fruto se presentó entre septiembre y octubre en la floración principal, y entre marzo y abril en la floración intermedia (figura 13).

**Figura 13.** Calendario fenológico y tiempo térmico en las condiciones del Cauca.



**Fuente:** Elaboración propia con base en Alcaraz et al. (2013).