

Crecimiento y desarrollo de la planta de café

Jaime arcila Pulgarín.



Ciclo de vida y fases fenológicas del cafeto

Ciclo de vida del cafeto

Para establecer el manejo adecuado del cultivo de café se requiere un amplio conocimiento de la planta en lo que respecta a su crecimiento, desarrollo y producción, así como de los factores que los afectan. Expresado en términos más simples, el éxito del cultivo del café depende de la cantidad y la calidad de su crecimiento, de tal forma que si éstos son óptimos, los rendimientos en producción serán buenos y excepto en situaciones económicas especiales se obtendrán ganancias, contrario a lo que ocurre cuando el crecimiento del cultivo es deficiente.

Como todo organismo vivo cada especie vegetal, incluido el cafeto, tiene un ciclo de vida y un potencial productivo característicos. En el transcurso de este ciclo es posible distinguir una serie de fases de desarrollo, en las cuales, la planta o sus órganos, permanece por períodos de corta o larga duración, dependiendo de sus características genéticas y de las condiciones ambientales que ocurran en el sitio de cultivo. Esto implica además, que la condición apropiada para una fase de desarrollo por ejemplo, el crecimiento de las

hojas, puede ser desfavorable para otra fase, como la floración, y que por consiguiente los requerimientos de manejo sean diferentes en cada caso (Watts,1979).

El cafeto es un arbusto perenne cuyo ciclo de vida en condiciones comerciales alcanza hasta 20-25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo. A libre crecimiento, la planta comienza a producir frutos en ramas de un año de edad, continúa su producción durante varios años y alcanza su máxima productividad entre los 6 y 8 años de edad. La planta puede seguir su actividad por muchos años pero con niveles de productividad bajos.

Durante su ciclo de vida, la planta destina una parte de éste a la formación de estructuras no reproductivas como las raíces, las ramas, los nudos y las hojas, actividad denominada desarrollo vegetativo (Dedecca, 1957). La fase durante la cual ocurre la formación y desarrollo de estructuras de reproducción como las flores y los frutos se denomina desarrollo reproductivo. Después de varios años de actividad, la planta envejece y entra en un proceso de deterioro que se denomina fase de senescencia o envejecimiento.

Fases fenológicas del cafeto

En la Figura 2.1 se muestra la secuencia durante tres años, de las épocas en que ocurren las fases de

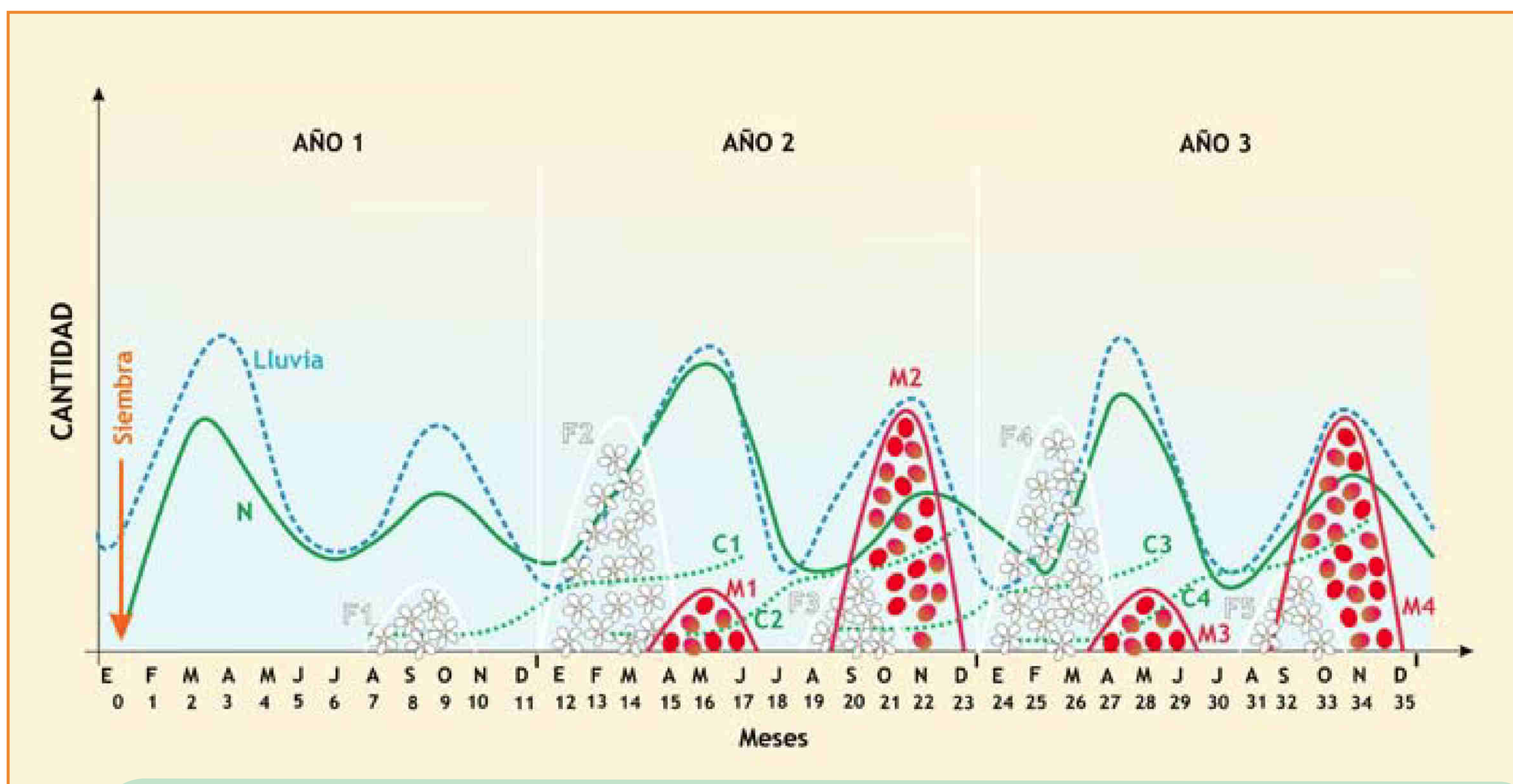


Figura 2.1. Épocas de formación de nudos y hojas (N), de floración (F1, F2, F3, F4, F5...) de crecimiento del fruto (C1, C2, C3, C4...) y de maduración de frutos (M1, M2, M3, M4...) en la planta de café y su relación con la disponibilidad hídrica, durante tres años a partir de la siembra. La formación de nudos, hojas y frutos, ocurre en períodos húmedos. El crecimiento mensual varía según la región. La floración ocurre al final de los períodos secos (Arcila *et al.*, 2001).

desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas de *Coffea arabica* L. luego de la siembra definitiva en el campo (Arcila *et al.*, 2001).

La disponibilidad de agua y energía en las regiones cafeteras y su interacción con los factores genéticos (por ejemplo variedades de café), nutricionales y hormonales, determinan que el ritmo y la cantidad de crecimiento de los diferentes órganos y tejidos de la planta de café varíen en las distintas épocas del año (Trojer, 1968; Jaramillo, 2005).

Fase de desarrollo vegetativo del cafeto. En los cultivos anuales se considera como fase vegetativa el tiempo transcurrido desde la germinación hasta la primera floración. En el caso de especies perennes y arbustivas como el cafeto, la definición de la fase vegetativa es bastante compleja, debido a que el crecimiento vegetativo, por ejemplo la formación de nudos y hojas y la generación de nuevas raíces, ocurre durante toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con el crecimiento reproductivo.

De acuerdo a la forma como se desarrolla la planta de café en Colombia, puede considerarse que el desarrollo vegetativo, es decir, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas, comprende tres etapas: germinación a transplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses). Hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta.

Fase de desarrollo reproductivo del cafeto. Comienza con la aparición de las primeras flores. El período de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan florecido. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y la maduración.

Superposición de las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo. Una vez que se ha completado el período desde la siembra hasta la primera floración, hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta.

Fase de senescencia del cafeto. Como se anotó, el cafeto es una planta perenne y se considera que alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los 6 y los 8 años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad. El ritmo de envejecimiento

depende de la región donde se establece el cultivo, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental, entre otros.

Los órganos de la planta completan su ciclo de vida en épocas y edades diferentes, por ejemplo, la hoja tiene una duración promedio de 350 días, una rama primaria dura varios años y una flor abierta dura tres días.

■ Desarrollo vegetativo del cafeto: Crecimiento y desarrollo de las raíces

La raíz y sus funciones

Las raíces desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y la producción del cafeto. La raíz es el órgano por medio del cual la planta se ancla al suelo y absorbe y transporta el agua y los minerales esenciales para su crecimiento. La raíz tiene además otras funciones menos conocidas como es la síntesis de algunas hormonas reguladoras del crecimiento como las citoquininas y el ácido giberélico, y en ocasiones, la síntesis de metabolitos secundarios. En algunas especies la raíz puede servir como órgano de almacenamiento (Raven *et al.*, 1999).

Origen de la raíz

El sistema radical de una planta angiosperma comienza su desarrollo a partir de un meristema localizado en la base del hipocótilo del embrión de la semilla, el cual da origen a la radícula o raíz embrionaria. Cuando ocurre la germinación, la primera estructura que emerge de la semilla es la radícula. A ésta, se le denomina también raíz primaria. En las plantas gimnospermas, magnólicas y eudicotiledóneas, la raíz primaria crece verticalmente hacia abajo transformándose en la raíz pivotante, sobre la cual se producen ramificaciones o raíces laterales conformando lo que se denomina sistema radical pivotante. En las plantas monocotiledóneas, la raíz primaria dura muy poco, se atrofia y es reemplazada por numerosas raíces, de igual tamaño, que se desarrollan a partir del tallo y que se conocen como raíces adventicias. El conjunto de estas raíces adventicias y sus ramificaciones laterales se denomina sistema radical fibroso.

Estructura de la raíz

Una raíz típica de una angiosperma presenta la siguiente estructura funcional (Raven *et al.*, 1999):

La caliptra o cofia. Órgano apical que cubre la punta de la raíz, protegiéndola de los posibles daños en su recorrido por el suelo. A medida que la raíz penetra las células más externas de esta cubierta se desgarran y van formando una capa mucilaginosa que facilita el paso de la raíz por los poros del suelo. Las células desprendidas son reemplazadas por nuevas células, originadas en el meristema radical. La cofia también desempeña un papel en la respuesta de la raíz a la gravedad ya que en el centro de ella se encuentra el sitio de percepción al gravitropismo (posiblemente amiloplastos).

La región meristemática o punto de crecimiento. Es la parte que se encuentra inmediatamente por encima de la caliptra. Consta de un grupo de células prismáticas y pequeñas que se dividen activamente para formar nuevas células que van a constituir los tejidos básicos de la raíz: el protodermo, precursor de la epidermis; el tejido básico, precursor de la corteza; y el procambium, precursor del xilema y el floema, el periciclo y el cambium.

La región de elongación celular o de crecimiento. Es la combinación de la zona del meristema apical en la cual ocurre la división celular y la región inmediatamente siguiente, de unos pocos milímetros de extensión, en la cual las células se alargan. Esta región es responsable del crecimiento longitudinal de la raíz.

La región de diferenciación o maduración. Es la parte que sigue a la zona de elongación, en la cual la mayor parte de las células de los tejidos primarios maduran. En esta zona también se forman las raíces absorbentes a partir de células epidermales especializadas, y por ello también se le denomina como la zona de las raíces absorbentes.

La transición de una zona a otra es gradual y no hay una clara delimitación entre ellas. Las raíces laterales tienen el mismo tipo de organización.

En *C. arabica* ocurre una organización estructural típica de las angiospermas, como la descrita anteriormente.

En las Figuras 2.2A, B, C y D se muestran los principales aspectos morfológicos y anatómicos de la raíz de una planta angiosperma.

Anatomía de la raíz

Un corte transversal por encima de la zona de elongación permite identificar tres tejidos bien diferenciados, de afuera hacia adentro: la epidermis, la corteza y el sistema vascular (Raven *et al.*, 1999).

Epidermis. Es la capa de células más externa en la raíz. No posee cutícula, cloroplastos ni estomas. Algunas de estas células forman extensiones tubulares denominadas

pelos radicales, que aumentan significativamente la superficie de absorción de agua y nutrientes minerales. La capa de suelo que se adhiere a la raíz por intermedio del mucílago y las raíces absorbentes contiene una gran cantidad de microorganismos y células desprendidas de la caliptra. Esta capa se denomina rizosfera.

Corteza. Es un tejido multicelular contiguo a la epidermis y ocupa la mayor parte del área de la raíz primaria. Se subdivide en:

- Exodermis: células gruesas, suberizadas y lignificadas.
- Corteza central: células de paredes delgadas conectadas por plasmodesmas y con numerosos espacios intercelulares.
- Endodermis: capa más interna, caracterizada por la presencia de paredes celulares suberizadas, denominadas bandas casparianas.

A través de la corteza ocurre la difusión del agua, de los minerales y del oxígeno hacia el xilema, al interior de la raíz.

El cilindro vascular o estela. Comprende todo el tejido central encerrado por la endodermis. Está constituido por el periciclo y los tejidos vasculares (xilema y floema).

El periciclo es una capa unicelular de paredes gruesas, estrechamente ligadas y sin espacios intercelulares, a partir de la cual se forman las raíces laterales.

El centro del cilindro vascular está ocupado por un núcleo del xilema, del cual se desprenden ramificaciones hacia el periciclo y entre las ramificaciones se encuentran franjas de floema. A través del xilema ocurre el transporte del agua y las sustancias disueltas hacia la parte aérea de la planta y cuando éste se encuentra completamente diferenciado le proporciona resistencia a las raíces. En el floema ocurre el transporte de sustancias orgánicas desde las hojas hasta las raíces.

No existen muchos estudios acerca de la anatomía de la raíz del cafeto. Sin embargo, las observaciones realizadas por Dedecca (1957), sugieren que es muy aproximada a la descrita anteriormente (Figura 2.2E y F).

Arquitectura del sistema radical del cafeto

Plantas jóvenes. De menos de un año de edad. No existe un estudio detallado; sin embargo, aparentemente consta de una raíz pivotante bastante ramificada que predomina sobre las raíces laterales.

Plantas adultas. Mayores de dos años. En Kenya, Nutman (1933) estudió el sistema radical de 67 árboles de

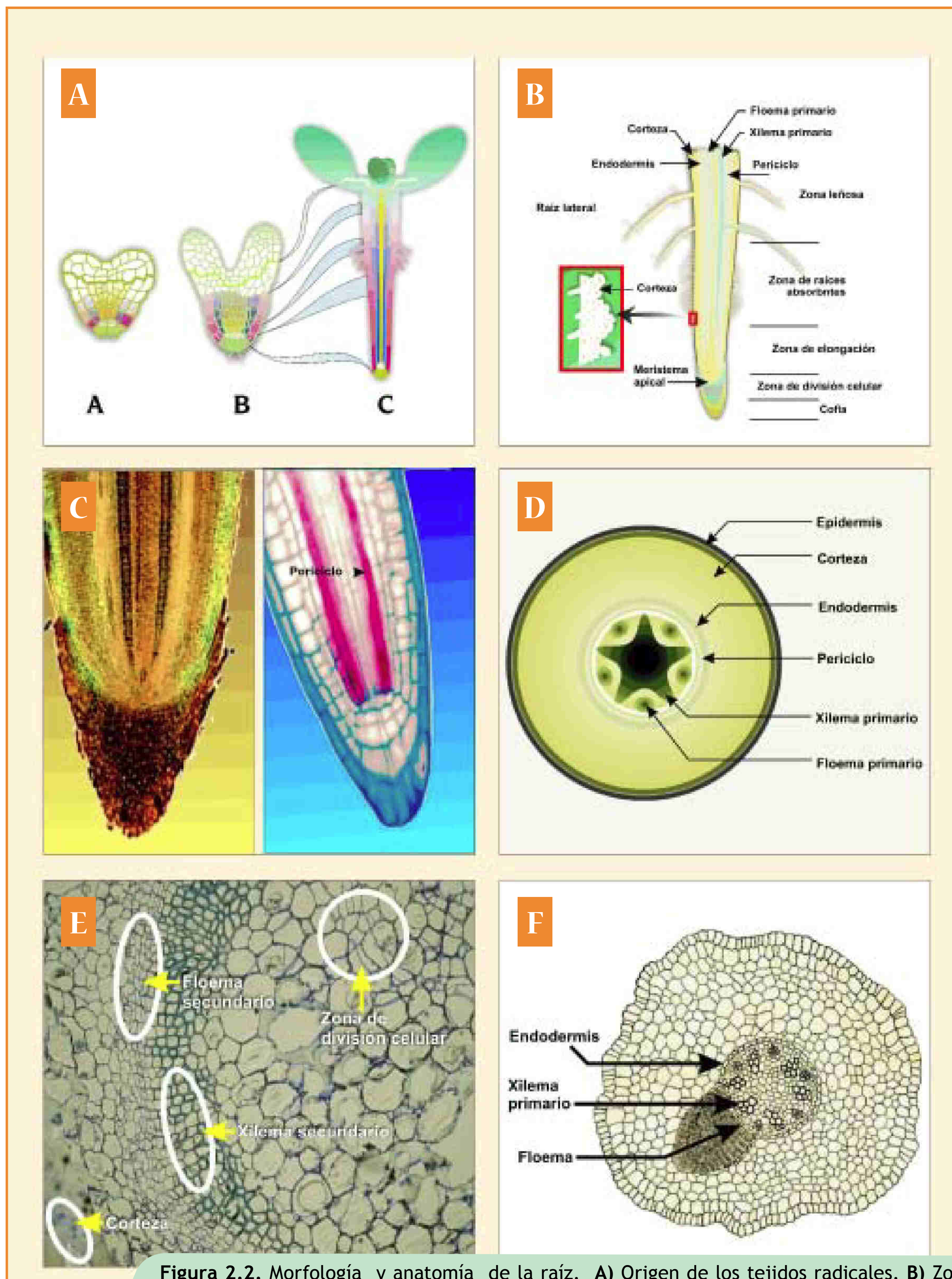


Figura 2.2. Morfología y anatomía de la raíz. **A)** Origen de los tejidos radicales. **B)** Zonas de crecimiento de la raíz. **C)** Corte longitudinal de la punta de la raíz. **D)** Tejidos de una raíz de una planta angiosperma (corte transversal). **E)** Tejidos de una raíz de café (corte transversal). **F)** Formación de la raíz secundaria en café, a partir del periciclo (Dedecca, 1957).

Coffea arabica entre 6 y 9 años de edad, en diferentes tipos de suelos, sugiere que un sistema radical típico de un caféto bien desarrollado posee las siguientes características:

Una raíz pivotante central muy fuerte, a menudo múltiple, que disminuye su diámetro abruptamente y

que rara vez se extiende como una unidad reconocible más allá de 45 cm de profundidad. Cuatro a ocho raíces axiales que penetran verticalmente hasta 2 ó 3 m de profundidad. Estas raíces se originan lateralmente o en la bifurcación de la raíz pivotante y se ramifican en todas las direcciones a diferentes profundidades.

Raíces laterales:

1. Raíces laterales superficiales que crecen horizontalmente hasta 1,5 m del tronco, generalmente se ramifican en un plano horizontal o a veces se ramifican uniformemente en el suelo en todas las direcciones. Cuando crecen hacia abajo se denominan verticales.
2. Raíces laterales sub-superficiales que no crecen paralelas a la superficie del suelo. Se desarrollan a mayor profundidad que las anteriores y se ramifican en el suelo en todos los planos.
3. Raíces portadoras de raíces absorbentes, de longitud variable, que se distribuyen uniformemente a unos 2,5 cm de distancia sobre las raíces permanentes (de más de 3 mm de espesor). Tienden a ser más cortas y numerosas en la capa más superficial del suelo.
4. Raíces absorbentes que crecen uniformemente sobre las anteriores, a todas las profundidades, y son más numerosas en la capa superficial del suelo.

Suárez de Castro (1960), estudió la distribución de raíces del cafeto en un suelo de El Salvador, y encontró que la raíz principal de plantas de un año no profundiza más de 20 cm, en plantas de dos años llega hasta los 30 cm y en cafetos de 7 años profundiza hasta 50 cm.

De igual forma, Suárez de Castro (1953), evaluó la distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco limoso en Colombia y observó que en los primeros 10 cm de profundidad se encuentra un 52,3% de las raíces absorbentes y un 47,5% de las raíces totales; mientras que en los primeros 30 cm encontró un 86,0% de las raíces absorbentes y 89,9% de las raíces totales (Figura 2.3).

Estudios con trazadores radioactivos en Kenya confirman la actividad superficial de las raíces del cafeto (Huxley *et al.*, 1974).

En la Figura 2.4 se representa el desarrollo radical en plantas café de diferentes edades.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. La mayor cantidad de raíces activas del cafeto se encuentra muy cerca de la superficie del suelo, en los primeros 10 cm de profundidad, y se extiende entre 1 y 1,5 m desde el tronco. En los primeros 30 cm de profundidad se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del cafeto. Esto significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrientes a esta profundidad del suelo, por lo que se explica además, la efectividad de la fertilización al voleo. Las raíces vivas son de color café claro en su superficie externa y blancas en su interior

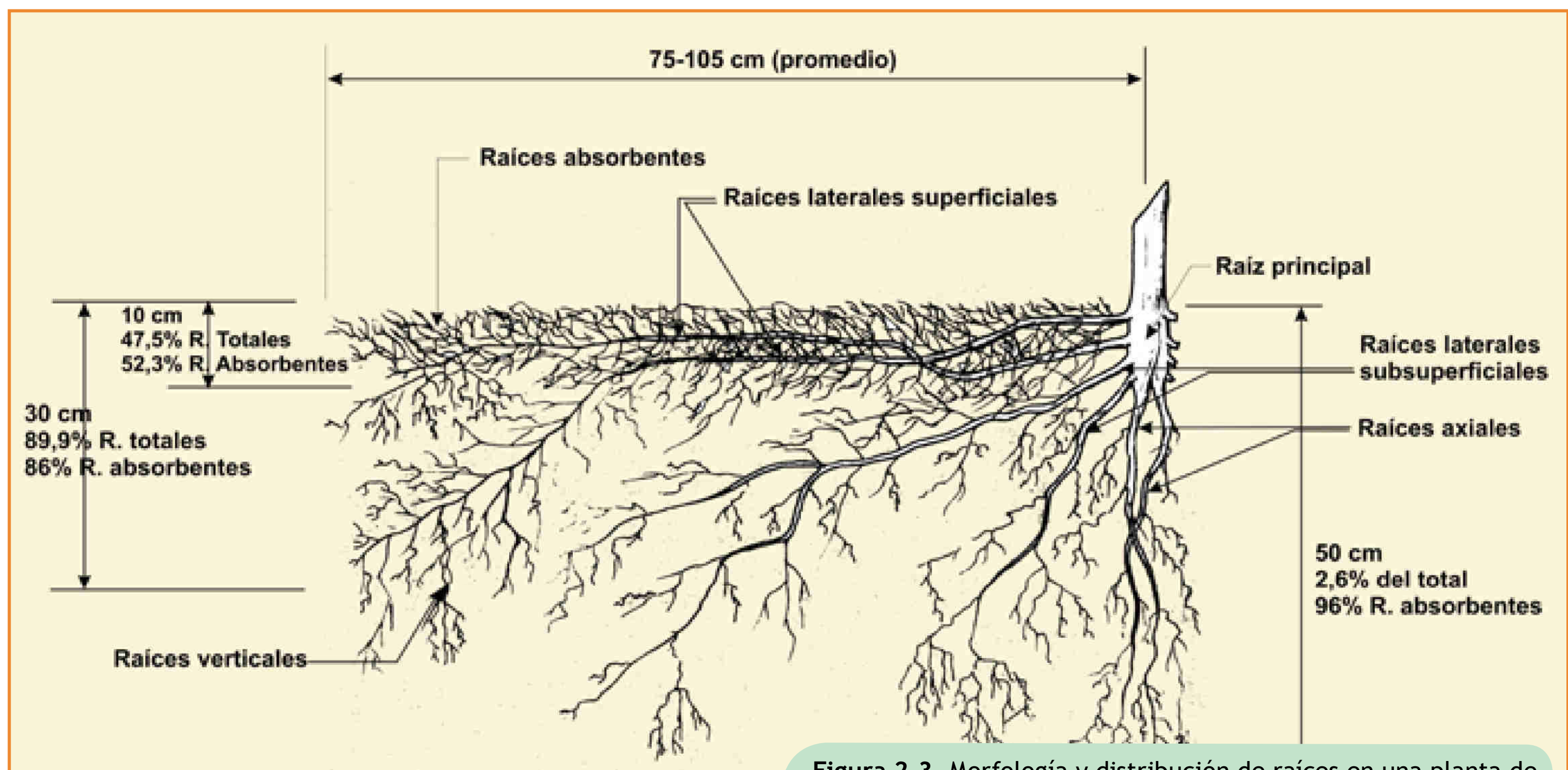


Figura 2.3. Morfología y distribución de raíces en una planta de *C. arabica* L. (Adaptado de Suárez de Castro, 1953).

Influencia del desarrollo radical sobre el crecimiento y la producción de café

Balance raíz / parte aérea (R/PA). En las plantas en crecimiento se mantiene un balance entre el área de la superficie total disponible para la elaboración de asimilados (área foliar o superficie fotosintetizadora) y

el área de la superficie disponible para la absorción de agua y minerales (área radical). En plántulas, la superficie de absorción excede ampliamente la superficie sintetizadora; sin embargo, la relación raíz/parte aérea (R/PA) disminuye gradualmente con la edad de la planta (Raven *et al.*, 1999).

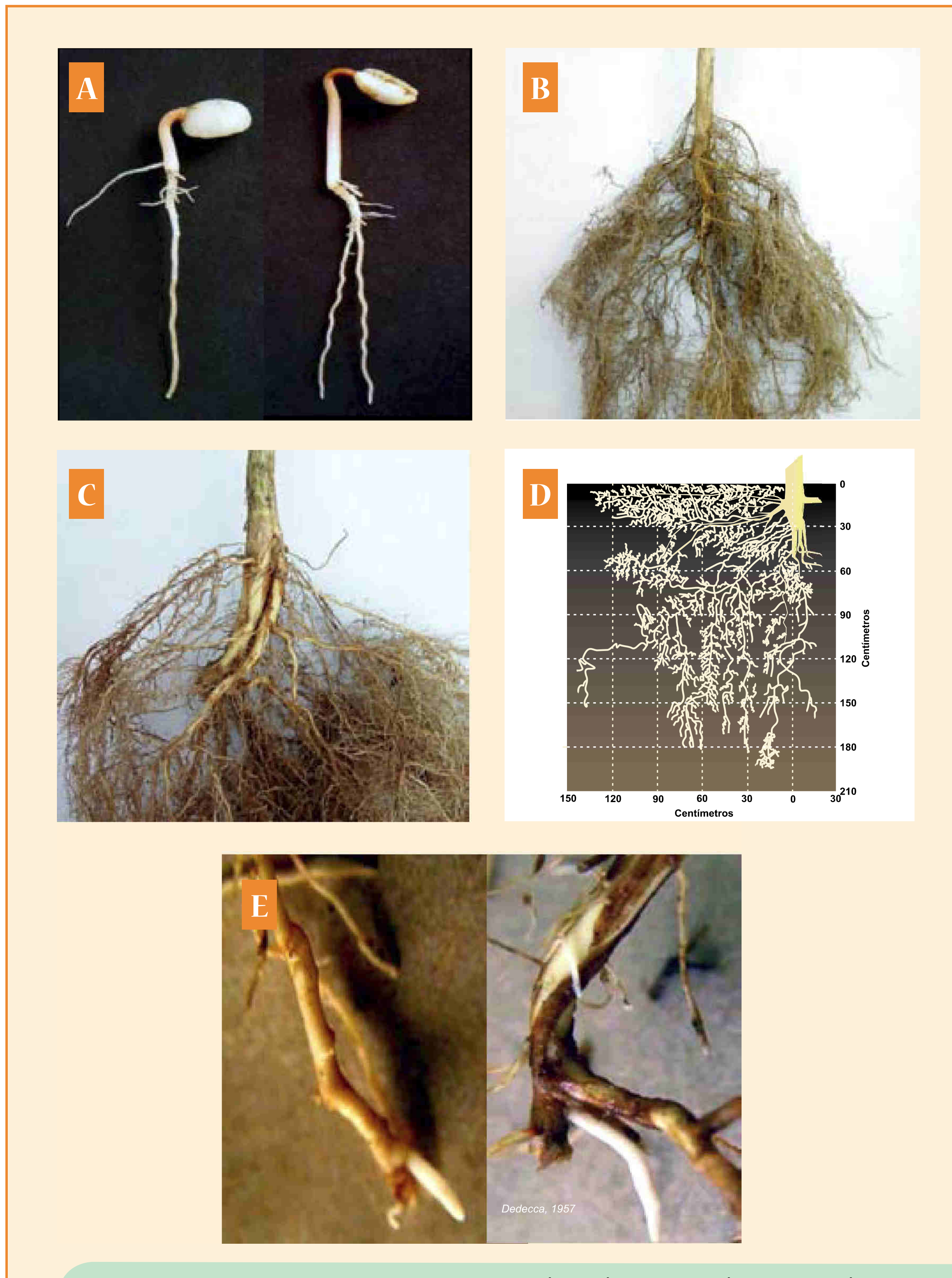


Figura 2.4. Aspectos del desarrollo radical del café. A) Fósforos con raíz normal y raíz bifurcada; B) Sistema radical normal de una planta de 12 meses; C) Sistema radical bifurcado de una planta de 12 meses; D) Raíz típica de una planta de 6 años; E) Regeneración de raíces de café.

Factores que limitan el desarrollo de las raíces del cafeto

Para la siembra en el campo los cafetos deben provenir de las mejores chapolas transplantadas en el almácigo, resultado de la selección y eliminación de aquellas débiles, deformes, amarillas y con raíces quebradas o torcidas. Las chapolas deben ser vigorosas, tener en lo posible completo el follaje y las raíces bien formadas, con la raíz pivotante recta y completamente desarrollada (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1979).

Cuando los cafetales se establecen en suelos con condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas, éstas adquieren un sistema radical limitado que se refleja en un crecimiento débil de la parte aérea, caracterizado por amarillamiento de las hojas, síntomas de deficiencias nutricionales, alta incidencia de mancha de hierro en hojas y frutos, desarrollo deficiente de los brotes, defoliación, secamiento de ramas y frutos (paloteo), baja producción, y en casos extremos, hasta la muerte (Arcila, 1992; Valencia, 1978). Si la planta se encuentra en la fase vegetativa o fase reproductiva con poca cosecha y el daño radical no es muy severo, puede aparentar un desarrollo normal; sin embargo, en el momento de presentarse una cosecha potencialmente alta, si no hay un buen sistema de raíces, la planta mostrará los síntomas descritos (Arcila, 1992).

Con base en observaciones experimentales y en estudios de caso en fincas de la zona cafetera colombiana, se han definido las principales condiciones adversas para el desarrollo radical de la planta de café durante las etapas del cultivo (Arcila, 1992), entre las que se encuentran:

Etapas de germinador. Las limitaciones del sistema radical en esta etapa están asociadas principalmente con los daños mecánicos producidos durante el beneficio de la semilla (raíz bifurcada), con la poca aireación del sustrato de germinación debido a su textura inadecuada o por el riego excesivo, siembra demasiado superficial o profunda y el uso inadecuado de agroquímicos para la desinfección del sustrato (Arcila, 1992; Velásquez *et al.*, 2003, 2004).

Etapas de almácigo. En esta etapa los factores que limitan el crecimiento de las raíces son: el tamaño inadecuado de las bolsas, la poda excesiva de la raíz pivotante en el momento del transplante, el doblamiento de la raíz en la siembra, el ataque de nematodos, la deficiencia de materia orgánica en el sustrato utilizado para llenar las bolsas y el inadecuado o deficiente manejo cultural (Salazar, 1979, 1991).

Fases vegetativa y reproductiva (campo). Durante esta fase influyen en un mal desarrollo radical las inadecuadas condiciones físicas y químicas del suelo y

el ataque de enfermedades e insectos, principalmente, como se describe a continuación:

Condiciones físicas del suelo. La textura (proporción de arenas, limos y arcillas) y la estructura (forma de agrupación de las partículas y distribución del espacio poroso), son las características físicas del suelo que determinan el desarrollo y la distribución de las raíces. Estas propiedades afectan la resistencia a la penetración y la relación entre la tasa de difusión de oxígeno y el contenido de agua (aireación). Entre las condiciones físicas del suelo limitativas para el desarrollo radical están: la alta pedregosidad, el mal drenaje, la poca aireación y la baja retención de agua. Cuando se presentan horizontes de arcilla compactos muy superficiales, la raíz no se desarrolla bien, porque al quedar muy superficial está sujeta a condiciones de exceso de agua en las épocas lluviosas o de deficiencia en las épocas secas (Drew, 1988; Kupper, 1977; Suárez, 1977).

Condiciones químicas del suelo. Químicamente un suelo es pobre si las condiciones de fertilidad son deficientes. En este caso, el desarrollo radical es afectado directa o indirectamente. En la zona cafetera colombiana predominan los suelos ácidos, que afectan la fertilidad, y que poseen características como el pH muy ácido, menor de 5,0; la alta saturación de aluminio, mayor del 60%, que causa un pobre desarrollo de la raíz por bloqueamiento de los haces vasculares; y los bajos contenidos de materia orgánica y de fósforo. En general, si el suelo es pobre en nutrientes las raíces resultan afectadas indirectamente porque la planta no produce la cantidad suficiente de asimilados que requiere el sistema radical (Aponte, 1984; Almeida, 1974).

Enfermedades. Entre las enfermedades que afectan a la raíz se encuentran aquellas causadas por hongos; se destacan la llaga negra causada por *Rosellinia bunodes* Berk. y Br., y la llaga estrellada, por *Rosellinia pepo* Berk. y Br. (Castro, 1991).

Otros microorganismos que deterioran las raíces en cafetales establecidos son los nematodos, especialmente los de la especie *Meloidogyne* sp. (Baeza, 1975).

Plagas. Existen insectos que atacan las raíces del cafeto como la palomilla (*Dismicoccus* sp.) que se alimenta de la savia radical. También se han registrado asociaciones de cóccidos y hormigas como es el caso de la hormiga de Amagá y la hormiga de la Esperanza. Son comunes en suelos pesados y húmedos o pueden encontrarse en cafetales viejos y mal fertilizados, que al colonizar la raíz, la debilitan e impiden su normal desarrollo y funcionamiento (Cárdenas *et al.*, 1973).

Poda de raíces. En Brasil, Santos (1992), estudió la morfología del sistema radical de plántulas en vivero,

de las variedades Caturra y Catuai, con intensidades de poda de 3, 5, 6, 9, 12 y 15 cm a partir del cuello de la raíz principal. Observó que a los seis meses después del trasplante se modificó la morfología del sistema radical por efecto de las podas realizadas, y encontró un incremento en el porcentaje de plántulas con más de una raíz principal (bifurcadas y trifurcadas), cuando la poda se realizó más cerca del cuello de la raíz; mientras que el porcentaje de plántulas con la raíz principal torcida disminuyó. El peso seco de las hojas, el tallo y el peso total de la planta fueron mayores cuando la poda se realizó más distante del cuello de la raíz. En general, observó un mayor porcentaje de plántulas con la raíz normal a partir de la poda realizada a los 9 cm del cuello de la raíz. No encontró diferencia significativa entre las variables estudiadas con relación a los cultivares evaluados.

En Cenicafe se evaluó la regeneración de raíces después de varias intensidades de poda en plantas que crecían en solución nutritiva y se encontró que la raíz pivotante se regenera normalmente o se bifurca (Arcila, 1992).

En otros estudios Salazar (1979), evaluó el efecto en el desarrollo de plantas de café en almácigo, provenientes de la siembra directa de la semilla en la bolsa y del trasplante de fósforos y chapolas, con y sin poda de una porción de la raíz pivotante. En este estudio no se encontraron diferencias significativas en altura y peso seco de la parte aérea y de las raíces. Además, observó que con los tratamientos de siembra de fósforos y chapolas con poda de raíz hubo una recuperación completa de la raíz.

Atrofia de raíces. En experimentos realizados en Brasil, Almeida *et al.* (1974) encontraron que los cafetos en formación presentaban síntomas acentuados de debilitamiento como: mal desarrollo, clorosis general y muerte de la planta. Los resultados mostraron que el 86% de las plantas tenía un sistema radical deficiente. Además, verificaron que los problemas tenían origen en un 80% durante la formación de la planta en el almácigo, y el 20% restante, en problemas relacionados con las características físicas del suelo. También identificaron defectos de siembra como “cola de marrano”, trastorno que ocurría cuando el operador no profundizaba en el sitio de siembra y la raíz quedaba enroscada. Por este defecto, la planta no se sujeta bien al suelo y desarrolla un sistema radical superficial, susceptible a las sequías y a los vientos. También observaron bifurcación de la raíz principal, que ocurre cuando el operador efectúa una poda de raíz muy próxima al cuello del tallo y que provoca una disminución del sistema radical así como poca profundización de la raíz. Con este tipo de podas pueden penetrar hongos y otros patógenos en el sitio de corte. Finalmente, observaron ahogamiento del tallo, ocurrido cuando el operador profundiza demasiado el

tallo, por lo que se originan plantas raquílicas y sistemas radicales deficientes.

Riego. Bull (1963), estudió los efectos de las coberturas descompuestas o mulch y del riego en el desarrollo radical de cafetos de 20 años de edad y registró que la profundidad de la raíz pivotante disminuye por efecto del riego y aumenta como consecuencia de la cobertura. El desarrollo de las raíces laterales aumentó por acción de las coberturas, pero cuando se combinaron el riego con el mantillo se obtuvieron los sistemas radicales más amplios.

Desarrollo radical y anclaje

El desarrollo del sistema radical de un árbol es un proceso muy complejo que involucra muchos factores internos y ambientales, y sus interacciones. Entre los factores internos se considera, por ejemplo, el número de primordios capaces de formar raíces estructurales. Entre los factores ambientales se encuentran el índice de humedad del suelo (capacidad de campo, exceso y déficit de agua), la disponibilidad de nutrientes y el estrés mecánico. En general, existe muy poca información cuantitativa sobre todos los aspectos del desarrollo radical de los árboles (Coutts *et al.*, 1999).

Los árboles son flexibles y se inclinan (E), cuando se someten a una fuerza ejercida por el viento o a una fuerza aplicada superficialmente. Pero esta inclinación no es solamente una curvatura del tallo sino que va

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Daños en el sistema radical que reduzcan la superficie de absorción, afectarán el crecimiento de la parte aérea debido a la falta de agua, minerales esenciales y hormonas producidas en la raíz. Así mismo, la reducción del tamaño de la parte aérea limitará el crecimiento radical, a causa de la menor disponibilidad de carbohidratos y hormonas que se producen en la parte aérea de la planta. En la naturaleza es muy común el daño y la muerte de las raíces absorbentes debido a un sinnúmero de agentes, desde temperaturas extremas y deshidratación hasta daños ocasionados por microorganismos.

Como se observa en la Figura 2.4E, a medida que la planta pierde raíces, éstas son reemplazadas por otras nuevas, razón por la cual la fluctuación de las poblaciones de las raíces en el suelo es muy dinámica. Aún si se tienen cuidados extremos en el trasplante, la relación R/PA se altera, ya que la mayoría de las raíces finas se desprenden cuando la planta se extrae del suelo. Por esta razón es muy importante, en el momento de transplantar, reducir al máximo el tiempo de exposición de las raíces al ambiente.

acompañada de una inclinación de la base del mismo, debido a que las raíces se flexionan de tal forma que su sujeción al suelo no es rígida. Se presume que la rotación ocurre en el punto en que la línea central del tallo intersecta el plano del suelo y su elasticidad se describe como la rigidez del anclaje de la raíz (K). Por consiguiente, para estimar el volcamiento debe tenerse en cuenta tanto la flexibilidad del tallo como la rigidez del anclaje de la raíz (Neild, 1999).

En árboles jóvenes, el sistema radical se caracteriza por una raíz pivotante notoria y muchas raíces laterales, mientras que en árboles adultos las raíces laterales son más largas y la raíz pivotante detiene su crecimiento o tiende a atrofiarse. Cuando esta raíz se atrofia puede formar un sistema radical superficial con una raíz pivotante muy corta (sistema radical plano). Este tipo de sistema radical ofrece condiciones de anclaje muy pobres (Stokes, 1999).

Cualquier factor que reduzca la profundidad de penetración de la raíz pivotante disminuye el volumen de raíces efectivas y aumenta la tendencia al volcamiento. De acuerdo con Nicoll (1996), en períodos de sequías estos sistemas radicales superficiales son incapaces de utilizar la humedad de las partes más profundas del suelo.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. *La formación de un buen sistema radical inicia desde el germinador, continúa en el almácigo y termina cuando se hace una siembra adecuada en un suelo que le proporcione buenas condiciones físicas y químicas para su desarrollo. Si consideramos que la planta va a permanecer en el campo unos 20 años, es primordial iniciar el cultivo con plantas que tengan un excelente desarrollo radical.*

Las variedades de café cultivadas en Colombia (Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y Variedad Castillo®) poseen el potencial para formar un sistema radical óptimo. Este desarrollo se puede afectar en condiciones del suelo desfavorables que lo limitan, lo cual se reflejará en un desarrollo deficiente de la parte aérea y baja producción.

Un desarrollo inadecuado de la raíz origina problemas de anclaje o volcamiento, y debilitamiento general de la planta con síntomas de amarillamiento de las hojas, deficiencias nutricionales, alta incidencia de mancha de hierro en hojas y frutos, defoliación, secamiento de ramas y frutos (paloteo), baja producción y de mala calidad y finalmente, muerte. Si la planta se encuentra en la fase vegetativa, por ejemplo, entre la siembra y los 18 meses, y el daño radical no es muy severo puede aparentar un desarrollo normal. Sin embargo, con la ocurrencia de cosechas abundantes si la planta no cuenta con un buen sistema de raíces, mostrará los síntomas descritos anteriormente.

Desarrollo vegetativo del cafeto: Origen y desarrollo de los órganos vegetativos aéreos (tallo, ramas y hojas)

Origen de los órganos vegetativos aéreos

El crecimiento de la parte aérea del cafeto se genera a partir de las células meristemáticas ubicadas en el ápice del tallo y de las ramas (yemas apicales) y en las axilas de las hojas (yemas laterales, yemas axilares y yemas seriadas). A partir de los meristemas de las yemas se desarrollan los primordios de nudos, hojas, brotes, ramas y flores. El ápice del tallo es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta (crecimiento ortotrópico). En el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta (crecimiento plagiotrópico) (Figura 2.5).

Yemas en el tallo. En cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos axilas foliares opuestas y en cada una de las axilas se originan de 4 a 5 yemas ordenadas en forma lineal, de mayor a menor, razón por la cual se les denomina yemas seriadas (yemas laterales o axilares). La primera, que a su vez es la de mayor edad, da origen únicamente a brotes que crecen horizontalmente (ramas primarias), se forma un solo par de ramas primarias por nudo. La siguiente yema de la serie, origina brotes verticales o “chupones”, mientras que las otras yemas permanecen latentes o eventualmente, forman flores y frutos caulinares, es decir, que crecen en el tallo (Figura 2.6).

Yemas en las ramas. En cada nudo formado en las ramas se desarrollan dos axilas foliares opuestas y en cada una de ellas se originan de 4 a 5 yemas ordenadas en forma lineal, de mayor a menor, razón por la cual se les denomina yemas seriadas (yemas laterales). Estas yemas son de edad desuniforme y dan origen principalmente a flores, en la medida que las condiciones ambientales sean propicias. De cada yema se forman entre 4 y 6 flores, y a este conjunto se le denomina inflorescencia o glomérulo. Aquellas pocas yemas que no alcanzan a diferenciarse en flores, forman ramas secundarias o terciarias, cuando se dan condiciones ambientales poco favorables para la floración.

La formación de estas ramas ocurre principalmente en plantas mayores de 15 meses, en la zona de las ramas que ya fructificó y en unos pocos nudos, sin un patrón determinado. Por estas razones se considera

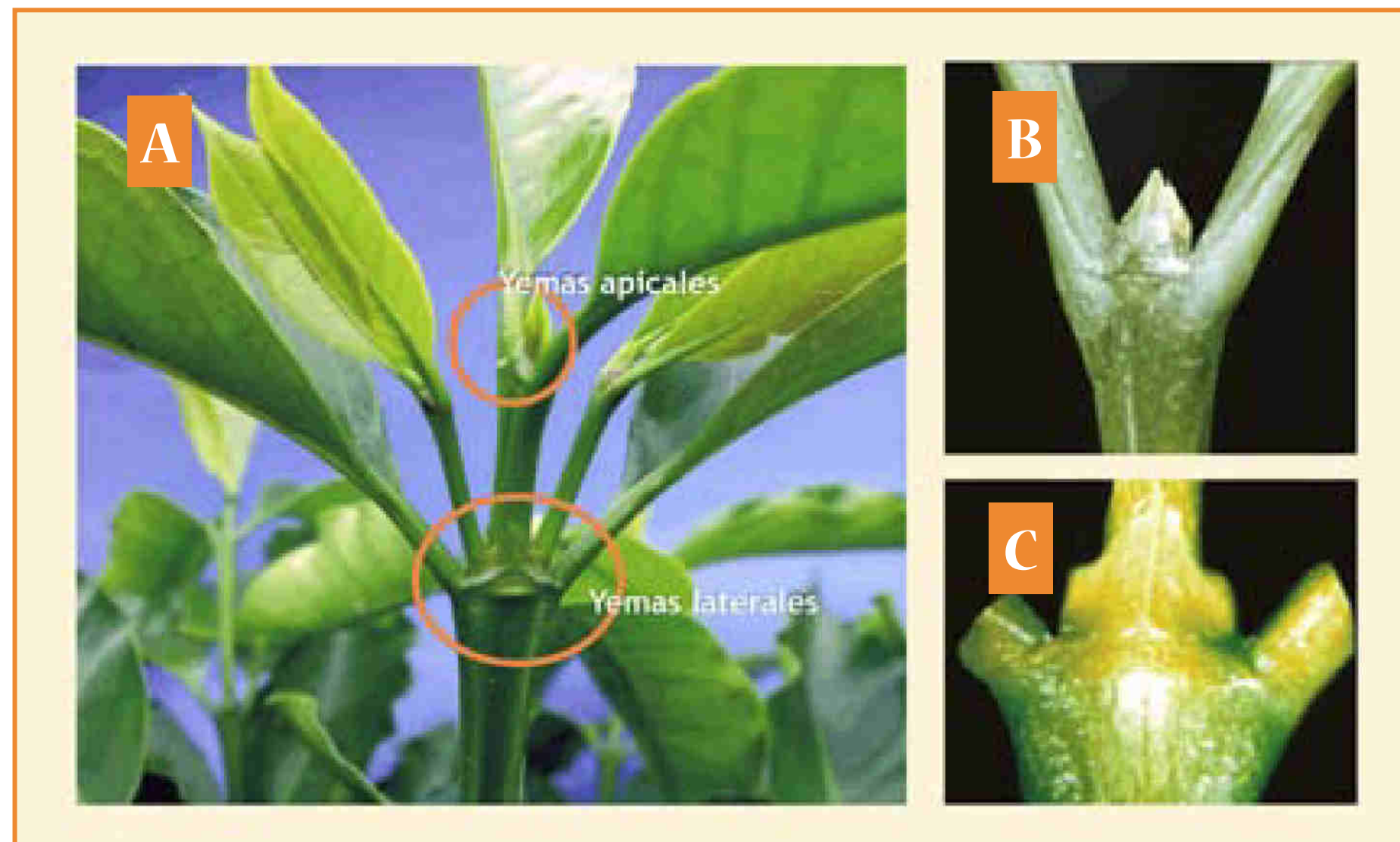


Figura 2.5. Puntos de crecimiento del café. A) Yemas apicales y laterales; B) Yemas apicales responsables del crecimiento ortotrópico de la planta; C) Yemas laterales responsables del crecimiento plagiotrópico del café.

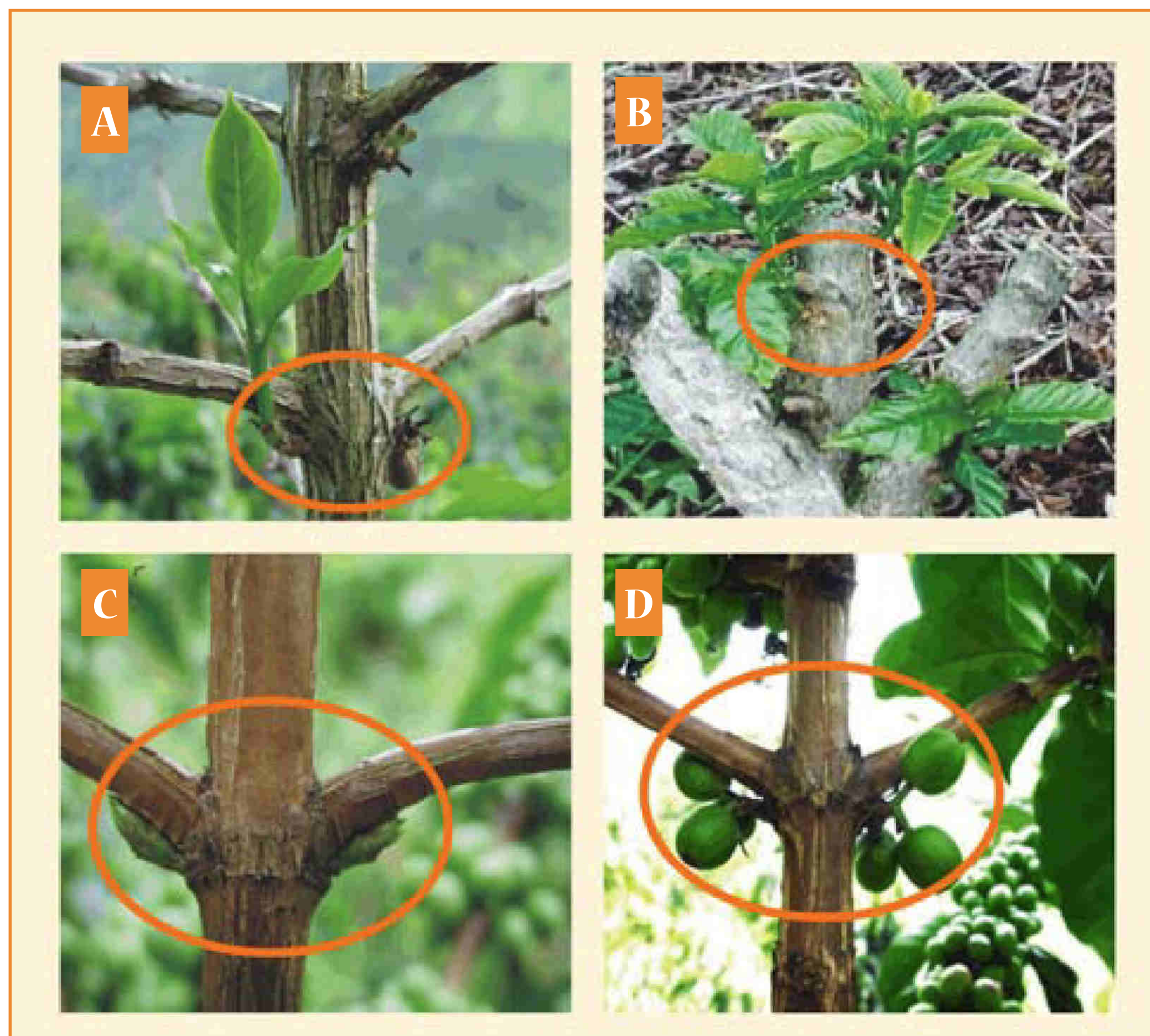


Figura 2.6. Formación de órganos a partir de las yemas laterales. A) Ramas primarias y brotes (chupones); B) Brotes de la zoca C) Flores caulinares; D) Frutos caulinares.

que la formación de ramas secundarias es también un fenómeno común, dentro de unas condiciones normales de desarrollo de la planta de café (Figura 2.7).

En la Figura 2.8 se resume la procedencia de los órganos según el tipo de yemas.

En la Figura 2.9 se describe la ubicación de las yemas que dan origen a los órganos que componen la parte aérea de la planta de café. Este conocimiento es fundamental para entender el comportamiento de la producción y el efecto de las diferentes prácticas agronómicas sobre el desarrollo de la planta.

En síntesis, el desarrollo de la parte aérea del cafeto y la producción misma, ocurren a partir de las yemas apicales y axilares del tallo y de las ramas. A partir de estas yemas se forman los nudos, las hojas, las yemas florales y las ramas. La cantidad de nudos y hojas formadas dependen en alto grado de la oferta ambiental (agua, energía y minerales) y que a su vez, son determinantes de la cantidad de la cosecha (Cannell, 1985; Moens, 1968).

Crecimiento vegetativo del cafeto en la zona cafetera colombiana

A los dos meses después de la germinación, la planta forma el primer par de hojas verdaderas y luego, en la fase de almácigo, la planta adquiere de 6 a 8 pares de hojas verdaderas o nudos. El primer par de ramas se forma entre los 7 y los 8 meses aproximadamente, y a partir del momento de la siembra en el sitio definitivo, la planta comienza la formación de las ramas que van a ser responsables de la producción (Arcila *et al.*, 2001).

En el tallo, un par de hojas o un nudo se origina en promedio cada 25 ó 30 días. En un año se forman aproximadamente de 12 a 14 pares de ramas primarias o cruces.

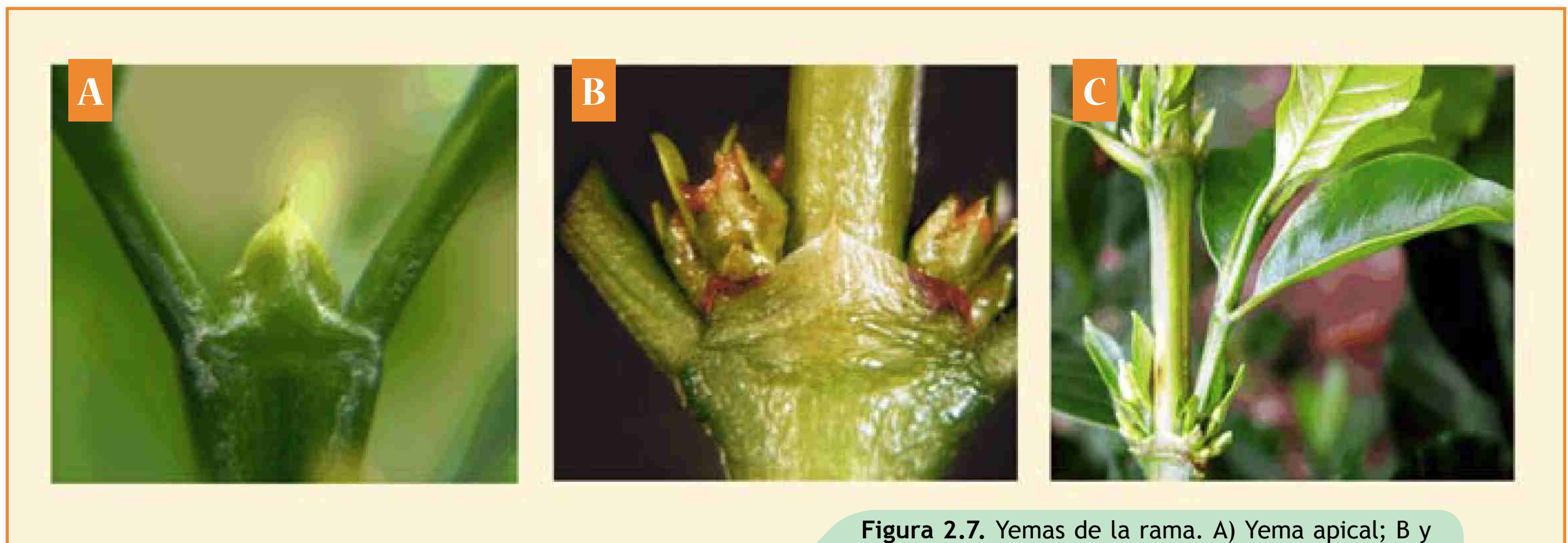


Figura 2.7. Yemas de la rama. A) Yema apical; B y C) Yemas laterales.

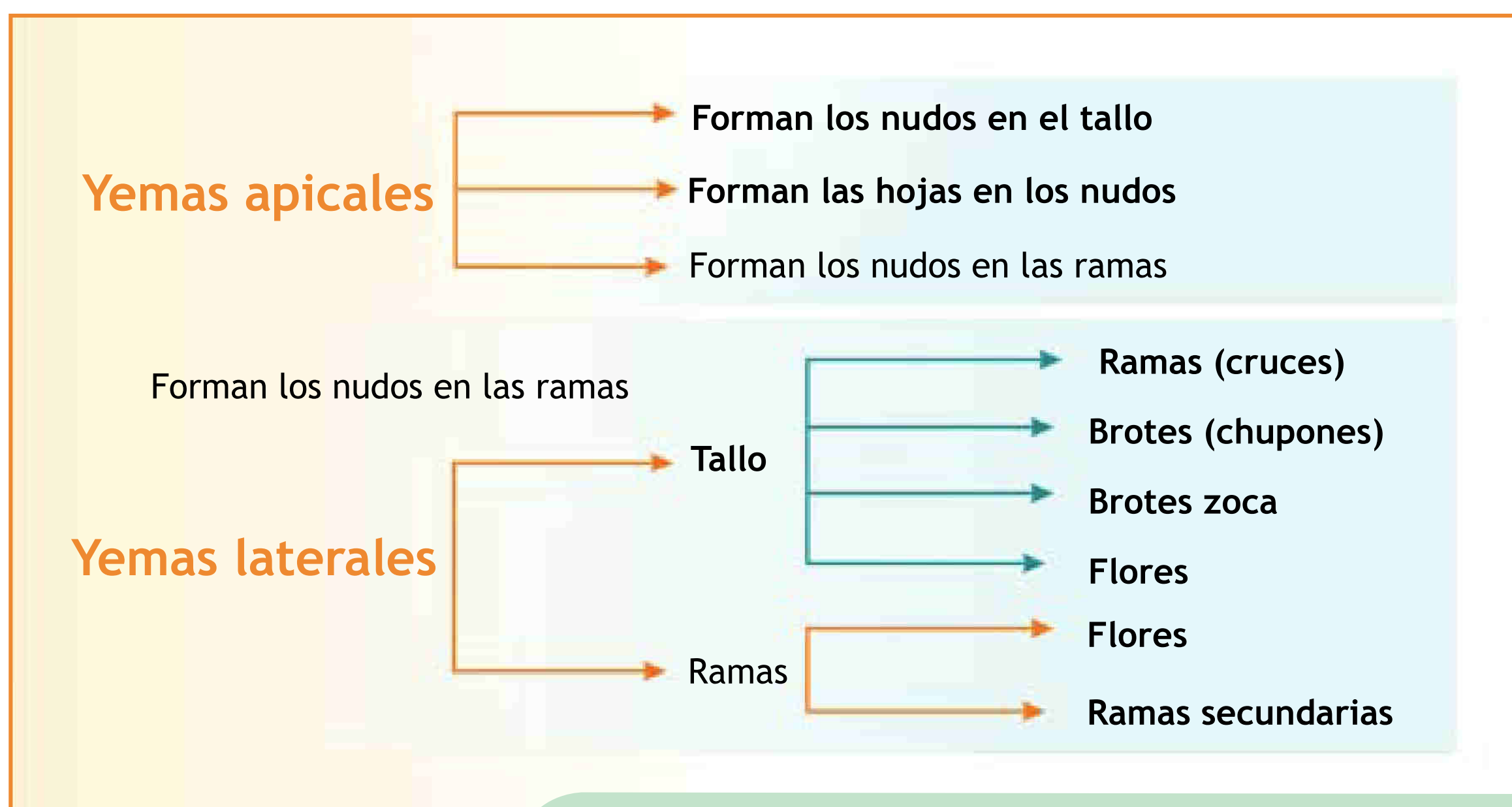


Figura 2.8. Origen de las diferentes estructuras de la planta de café.

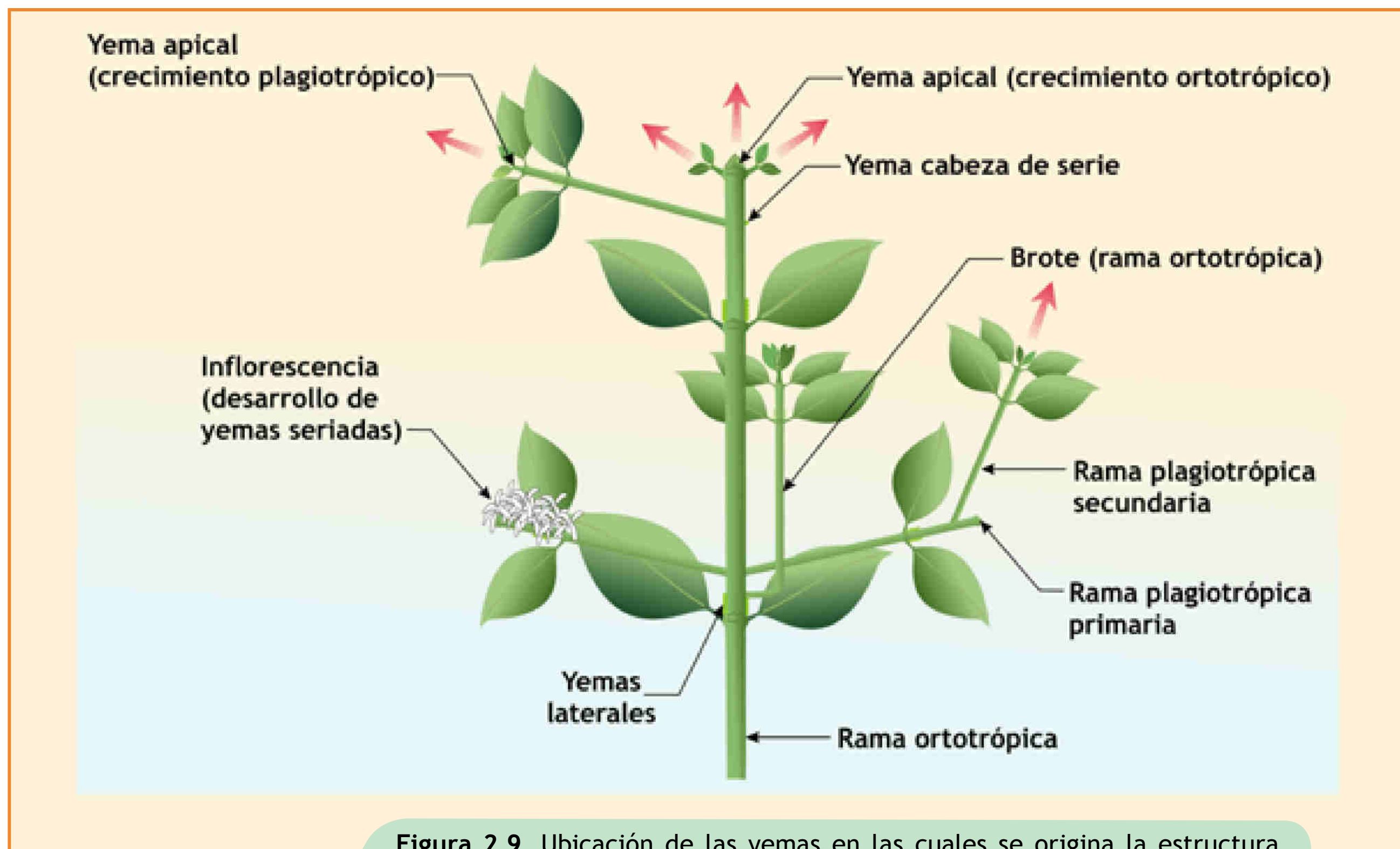


Figura 2.9. Ubicación de las yemas en las cuales se origina la estructura vegetativa y reproductiva de la planta de café (adaptado de Moens, 1968).

En las condiciones ambientales de la mayor parte de la zona cafetera colombiana, el café forma nudos y hojas durante todo el año, sin embargo, existen épocas en las cuales ocurre una mayor o menor intensidad del crecimiento, condicionado por la disponibilidad de agua, de nutrimentos y de energía. En general, el crecimiento es más activo cuando hay buen suministro de energía solar, agua y nutrimentos, encontrándose que un aumento de la radiación (plena exposición solar) induce la formación de plantas más bajas, en las cuales ha ocurrido mayor diferenciación y que son más productivas, mientras que la sombra estimula la formación de plantas más altas con menor diferenciación y menos productivas (Castillo, 1957, 1966). Como se observa en la Figura 2.10, el número de cruces desarrolladas en un período determinado es variable, según la zona del país en la cual está ubicado el cafetal (Cenicafé, 2001). Varios estudios realizados en Colombia, muestran que en la zona cafetera central ocurre un mayor crecimiento del tallo y las ramas en los meses de marzo - abril y septiembre - octubre (Figura 2.11). También es importante anotar que en aquellas regiones donde hay períodos secos acentuados, el comportamiento de los cafetos está más condicionado por las variaciones de la precipitación o de la humedad del suelo, mientras que en las regiones donde no ocurren deficiencias hídricas en el suelo, el comportamiento del café está estrechamente relacionado con la disponibilidad de la radiación solar (Jaramillo y Valencia, 1980; Gómez, 1977; Suárez de Castro, 1958; Suárez de Castro y Rodríguez, 1956).

Desarrollo vegetativo del café: Desarrollo foliar y su relación con el crecimiento y producción de la planta

Las hojas del café. Son órganos en los cuales se realizan los tres procesos fisiológicos más importantes que soportan el crecimiento y desarrollos vegetativo y reproductivo, éstos son: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración.

La fotosíntesis es el proceso fisiológico que permite la elaboración de toda la materia hidrocarbonada necesaria para la planta.

La respiración es la función fisiológica en la cual la planta utiliza parte de los hidratos de carbono fotosintetizados para obtener la energía necesaria para los procesos de crecimiento y desarrollo. La respiración ocurre en todos los tejidos de la planta pero es particularmente intensa en las hojas y los tejidos jóvenes.

La transpiración es la función mediante la cual la planta elimina por los estomas el exceso de agua absorbida por el sistema radical. Tiene un papel importante en la absorción de agua y nutrimentos, y es un mecanismo de refrigeración de la planta.

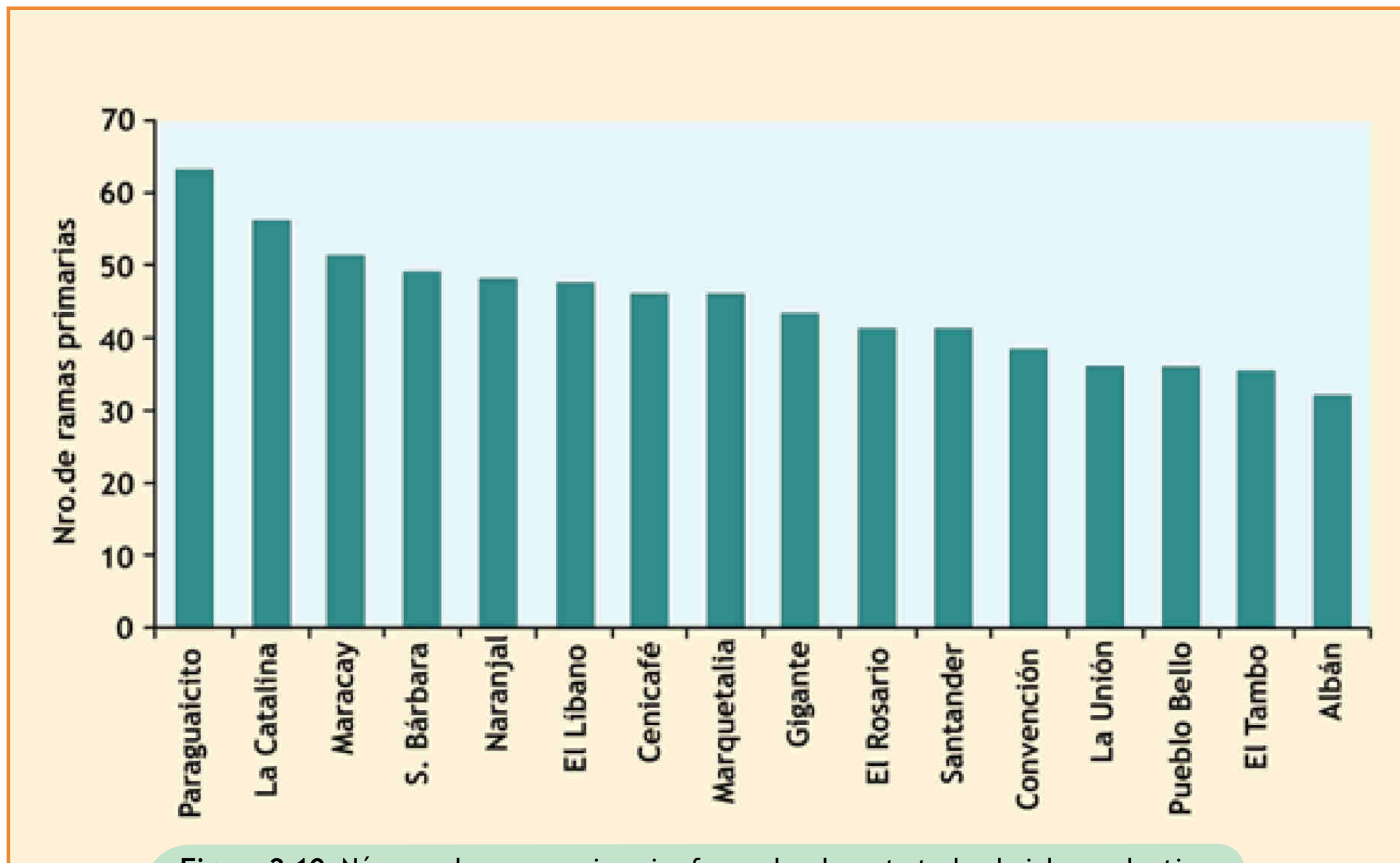


Figura 2.10. Número de ramas primarias formadas durante todo el ciclo productivo del cafeto, Variedad Castillo®, en distintas zonas de Colombia (Cenicafé, 2001).

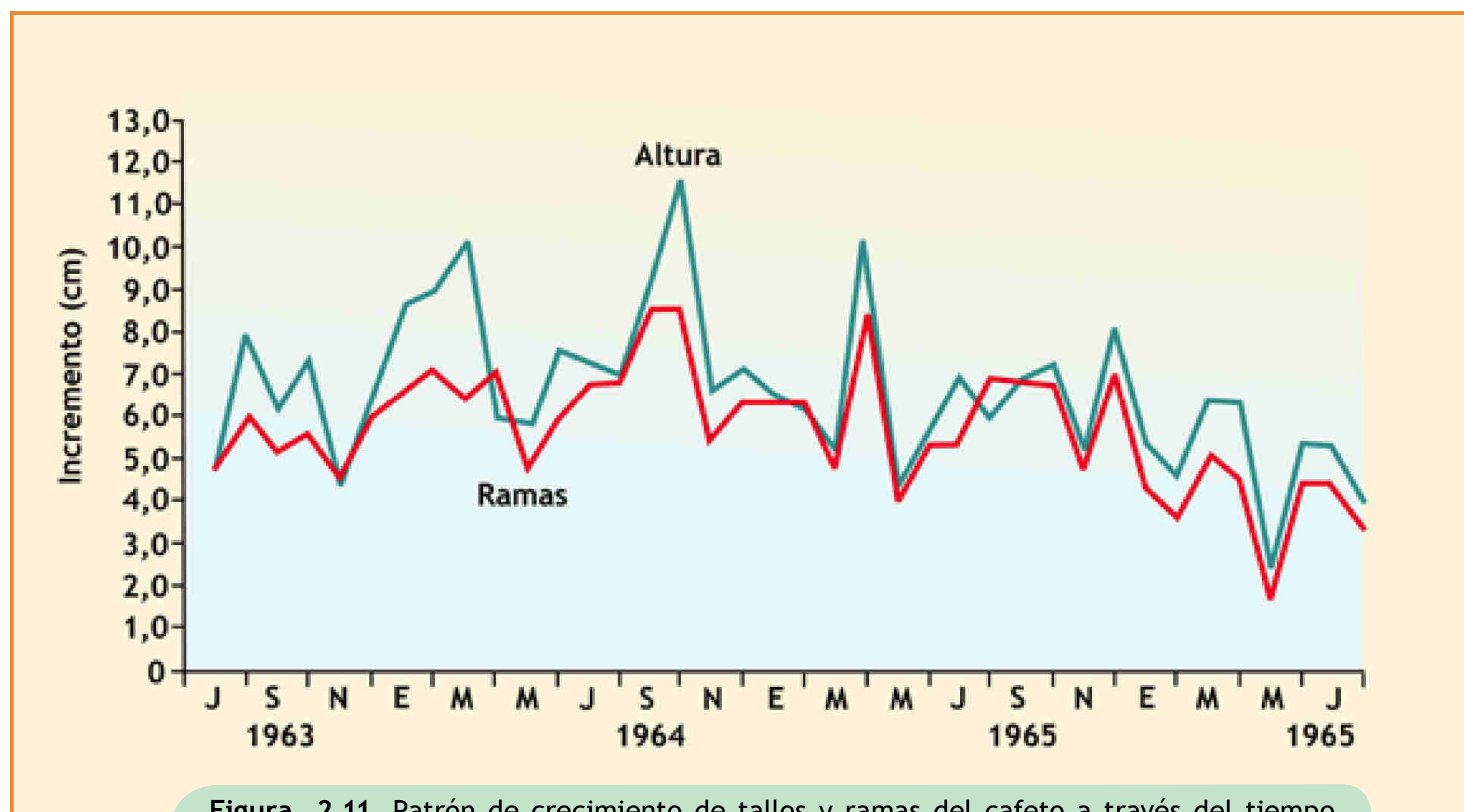


Figura 2.11. Patrón de crecimiento de tallos y ramas del cafeto a través del tiempo. Variedad Caturra (Jaramillo y Valencia, 1980).

Las hojas también cumplen otras funciones como proteger las yemas, las flores y los frutos, de las condiciones climáticas adversas como el granizo y el exceso de radiación, entre otros.

En *C. arabica* las hojas son elípticas, levemente coriáceas, con la lámina y las márgenes un poco onduladas, de un color verde claro cuando jóvenes y verde oscuro cuando completan su desarrollo.

Crecimiento de la hoja. La hoja se origina a partir de la yema apical, la cual aparece en un corte longitudinal

(Figura 2.12A) como una protuberancia formada por varias capas de células, algunas de las cuales tienen la capacidad de dividirse para producir células nuevas que van a formar otros órganos de la planta. De esta manera, el desarrollo foliar se inicia con una serie de divisiones en una de las tres capas celulares más externas cerca de la yema apical, la cual se transforma en otra protuberancia lateral o primordio foliar, que luego por divisiones continuas y crecimiento de sus células se convertirá en una hoja, con la estructura que se presenta en la Figura 2.12B.

En Cenicafé, Buitrago (1983), estudió la tasa de crecimiento de las hojas en plantas de almácigo de var. Caturra y se encontró que éstas alcanzaban el máximo desarrollo entre 20 y 25 días después de su aparición (Figura 2.13). En las plántulas el primer par de hojas verdaderas aparece a los 70 días después de la germinación. De otra parte, se ha observado que en las ramas primarias un par de hojas aparece cada 20 días, aproximadamente. El área promedio que alcanza una hoja a plena exposición solar es de 30 a 40 cm².

Épocas de formación de hojas. Durante todo el año ocurre formación de follaje, pero existen épocas en que los factores climáticos como la radiación y la disponibilidad de agua en el suelo favorecen una mayor formación de hojas. En Chinchiná (Caldas), hay tres épocas de mayor formación de hojas, entre febrero y abril, julio y agosto y de noviembre a diciembre. El de mayor abundancia es el período entre febrero y abril (Valencia, 1999).

En la Figura 2.14 se puede observar el transcurso de la formación de hojas en las ramas primarias, secundarias y terciarias en la variedad Colombia, en tres densidades de siembra. Se aprecia además que las ramas secundarias

se empiezan a formar hacia los 12 meses y las ramas terciarias hacia los 16 meses.

Cantidad de follaje. El número de hojas por árbol y el área foliar de las plantas varían según la edad y la densidad de población (Tabla 2.1). En cafetos de la var. Caturra de 5 años, el número de hojas observado fue de 3.920, 6.400 y 7.600 para las densidades de 10.000, 5.000 y 2.500 plantas por hectárea, respectivamente (Valencia, 1973).

En otro estudio con la variedad Colombia se encontró que para las mismas densidades de siembra, los máximos valores del número de hojas alcanzado por planta fueron de 12.521, 11.623 y 4.365 y el tiempo en el cual se alcanzó este máximo fue a los 56, 53 y 43 meses, respectivamente. Se observó además, una tendencia a disminuir el tamaño promedio de las hojas con la edad (Arcila y Chávez, 1995).

Factores que afectan el desarrollo foliar

Una hoja sana puede durar en promedio de 10 a 15 meses en un cafetal bajo sombra y de 9 a 14 meses en cafetales a plena exposición solar (Arcila, 1983, 1987).

Los diferentes factores que afectan el desarrollo foliar son:

Variaciones climáticas. El desarrollo foliar es altamente sensible a las deficiencias hídricas. Generalmente, después de la interrupción de períodos secos

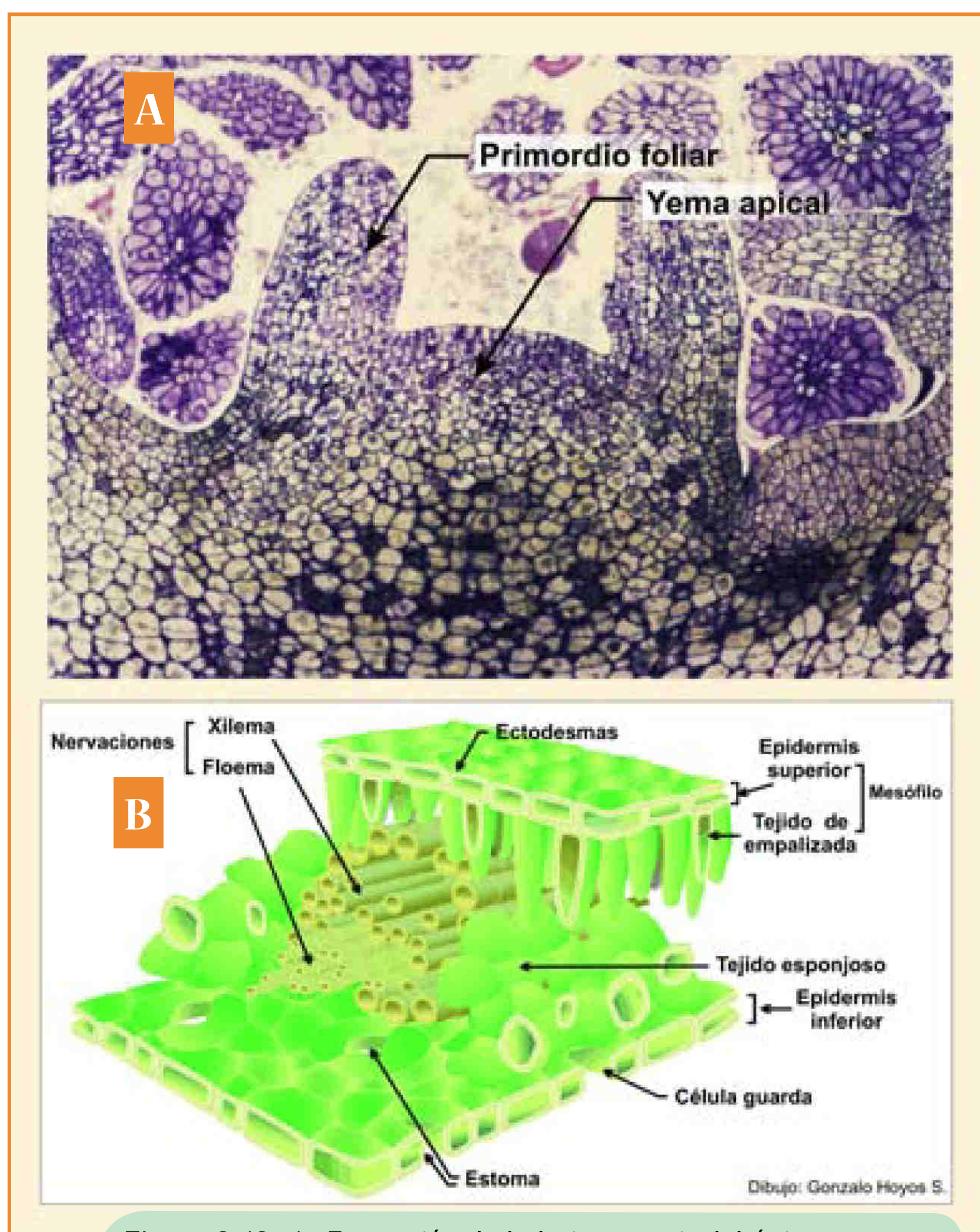


Figura 2.12. A. Formación de la hoja a partir del ápice y B. estructura de una hoja completamente desarrollada.

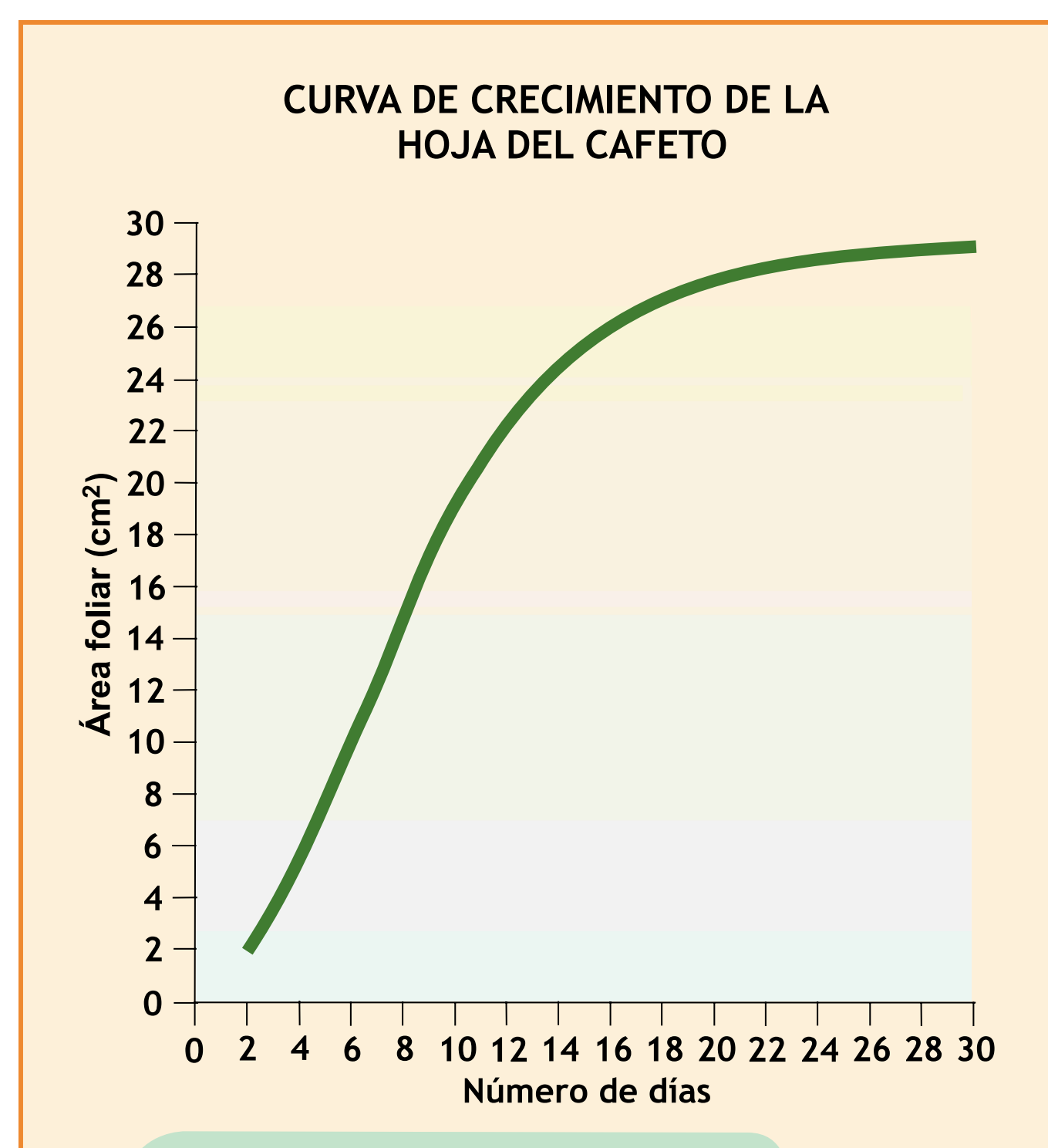


Figura 2.13. Curva de crecimiento de la hoja del cafeto (Buitrago, 1983).

prolongados, las plantas pueden presentar clorosis (envejecimiento prematuro) y pérdida del follaje.

Nutrición. Bajo condiciones de deficiencia de nitrógeno y magnesio ocurre menor producción de clorofila y puede presentarse defoliación.

Plagas y enfermedades. Enfermedades foliares como la roya del cafeto ocasionan altas pérdidas de hojas.

Podas. Esta práctica consiste principalmente, en la eliminación en diferente intensidad de órganos

vegetativos. Una poda severa puede limitar la cantidad de follaje de la planta en un momento determinado.

Fase reproductiva del cafeto

Desarrollo floral

Comienza con la aparición de las primeras flores. El período de iniciación de esta fase puede estar

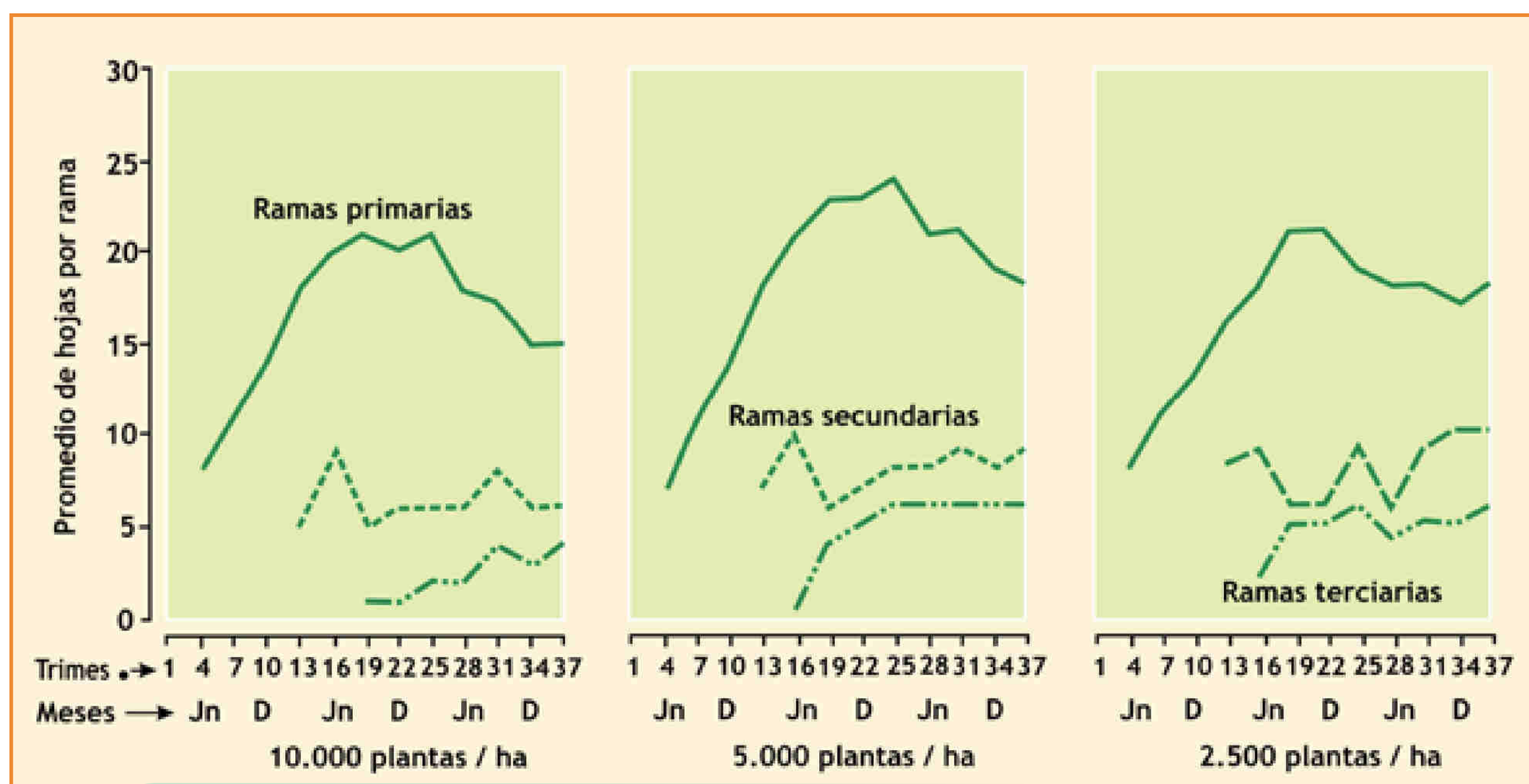


Figura 2.14. Formación de hojas en las ramas primarias, secundarias y terciarias, en diferentes densidades de siembra.

Tabla 2.1. Cantidad de hojas de la planta de café según las condiciones del cultivo (Valencia, 1973).

Densidad	Edad (años)	N° hojas/árbol
10.000	1	440
	2	1.840
	3	3.080
	4	3.800
	5	3.920
5.000	1	440
	2	1.760
	3	4.120
	4	5.800
	5	6.400
2.500	1	440
	2	1.400
	3	3.200
	4	6.000
	5	7.600
Sombra	2	942
Sol	2	1.915

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Es necesario garantizarle a la planta un follaje sano y abundante durante todo su ciclo de vida, debido a que en las hojas se lleva a cabo la fotosíntesis. Las hojas del cafeto tienen una duración promedio de 350 días. No obstante, puede ocurrir una alta defoliación la cual coincide generalmente con el final de las épocas de cosecha. También es importante considerar que la planta de café es muy susceptible a las defoliaciones, especialmente durante la época de crecimiento y llenado de los frutos, que comienza dos meses después de la floración y se extiende hasta un mes antes de la maduración de la cosecha.

En Chinchiná el follaje más importante para la cosecha del segundo semestre es el de los meses de abril a octubre y el más crítico el de los meses de mayo a julio, cuando la mayoría de los frutos están en la fase de crecimiento acelerado y de llenado. Para el sostenimiento de la cosecha del primer semestre es necesaria la presencia de suficiente follaje en los meses de diciembre a febrero.

influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica (Franco, 1940; Barros *et al.*, 1978).

Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan florecido. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y culmina con la maduración.

Desarrollo de inflorescencias y flores del café.

La floración del café es un evento asociado estrechamente con las condiciones climáticas de cada región y generalmente se registra como el momento de la antesis, cuando se abren las flores. Sin embargo, debe considerarse que la floración es un proceso de desarrollo complejo que inicia 4 a 5 meses antes de la apertura floral (Camayo y Arcila, *et al.*, 1996, Camayo *et al.*, 2003).

Las flores del café se forman en las yemas ubicadas en las axilas foliares, en los nudos de las ramas. El proceso puede mirarse desde dos aspectos: a) desarrollo de la inflorescencia en las axilas foliares (nudos en las ramas) y b) desarrollo de las flores en cada inflorescencia.

Cada nudo de una rama tiene dos axilas foliares opuestas. En cada axila se forman de 3 a 4 yemas o inflorescencias y en cada una de ellas, entre 4 y 5 flores. Es decir, en un nudo existen potencialmente entre 24 y 32 botones florales (12 a 16 botones florales por axila).

Cada yema está conformada por un pedúnculo, que contiene varios nudos en los cuales se insertan dos hojas diminutas y opuestas (brácteas) y en cuyas axilas se producen entre 3 y 5 botones florales. Este conjunto constituye la inflorescencia y se le conoce también como glomérulo (Figuras 2.15 y 2.16). La yema que produce un glomérulo se demora aproximadamente 12 semanas para dar origen a los botones florales. Durante el desarrollo de la inflorescencia y de la

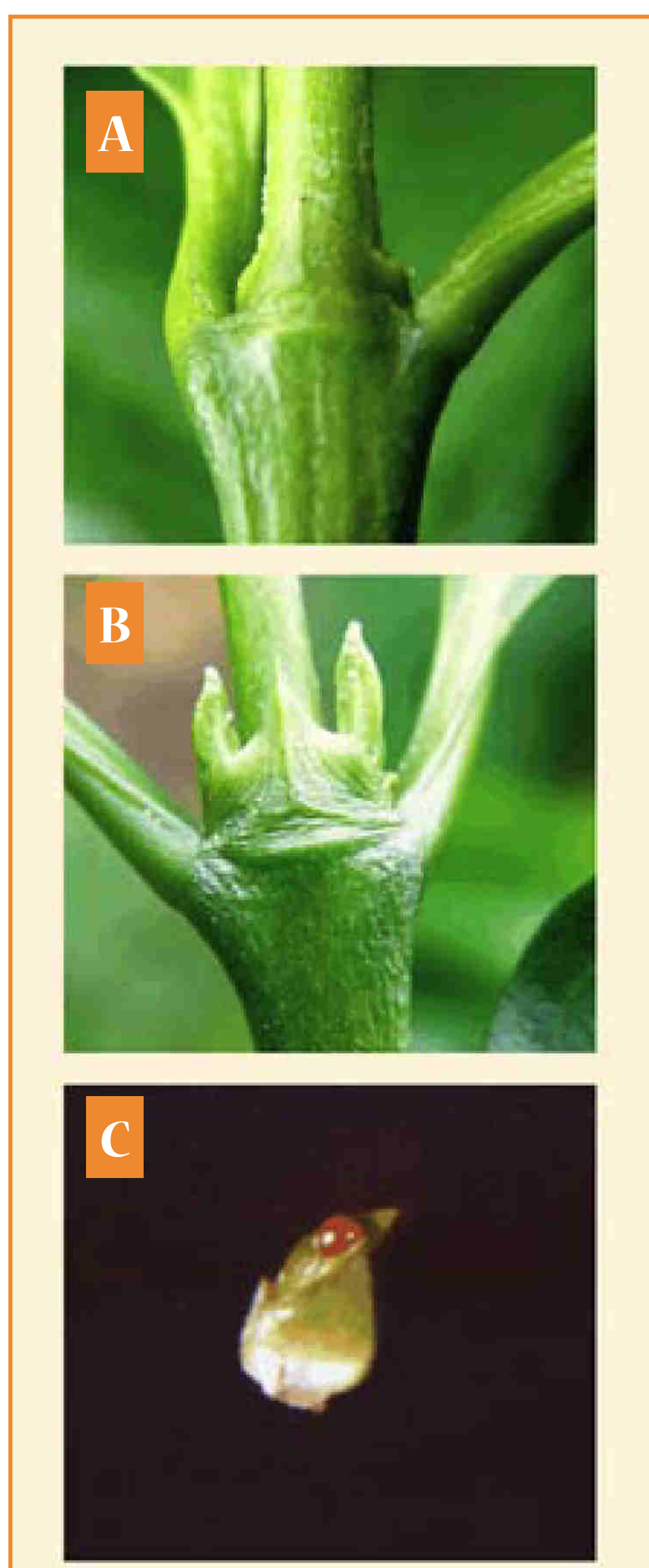


Figura 2.15. Inducción e iniciación de la inflorescencia. A) Iniciación de las inflorescencias; B) Diferenciación de las inflorescencias; C) Detalle de una inflorescencia.

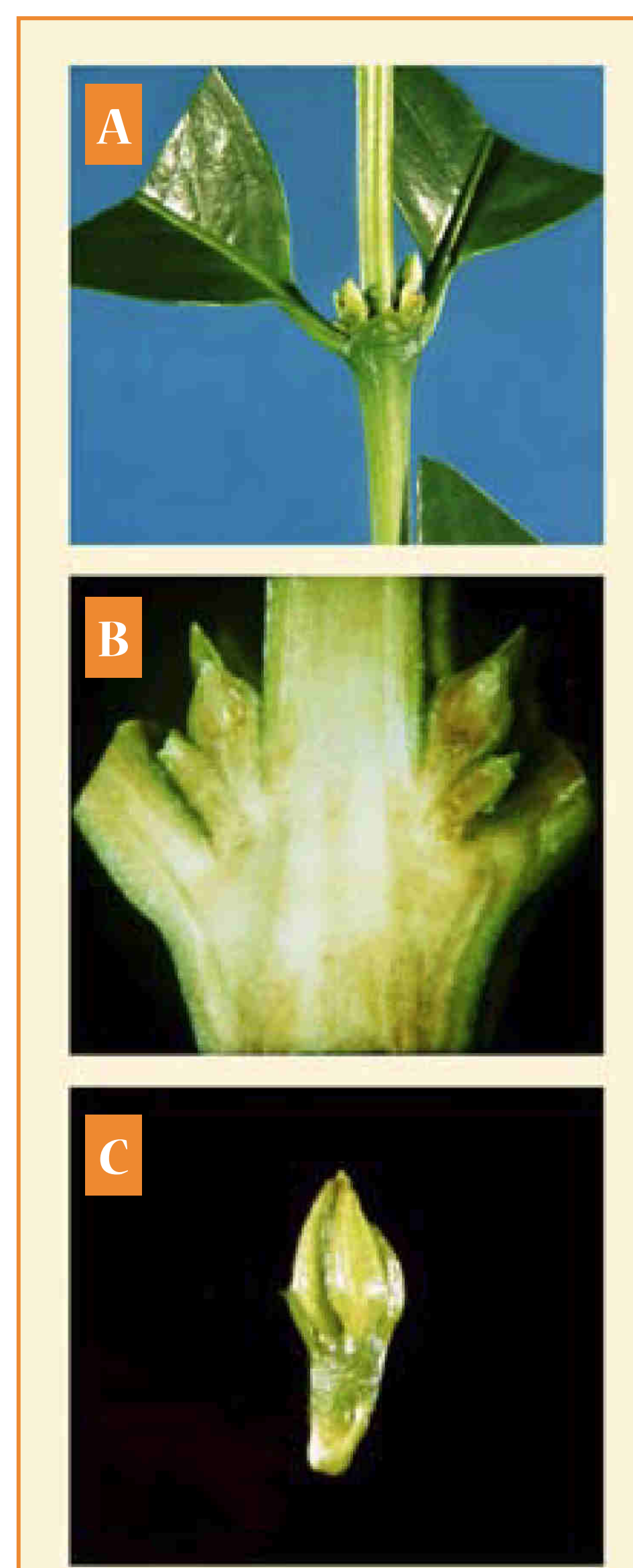


Figura 2.16. A y B) Nudo con las inflorescencias en desarrollo y C) Inflorescencia con botones florales desarrollados (Camayo *et al.*, 1996).

flor ocurren las siguientes etapas (Barros *et al.*, 1978; Camayo *et al.*, 1996; Wormer y Gituanja, 1970):

Inducción floral e iniciación de la inflorescencia (primera etapa), que ocurre a nivel molecular a una tasa muy rápida y no diferenciable externamente (Figura 2.15). Después de la inducción se inicia la inflorescencia y en este estado el nudo está rodeado por estípulas de color verde claro. El desarrollo de la inflorescencia continúa y puede durar de 30 a 35 días aproximadamente.

La segunda etapa es la de desarrollo de los botones florales en las yemas. Termina en el momento en que se observan los botones florales adheridos entre sí y todavía sin abrir emergiendo en una inflorescencia multifloral. Los

botones alcanzan el tamaño de un “comino” (Figura 2.16). Esta etapa tiene una duración en promedio, de 45 días.

En la tercera etapa, los botones florales alcanzan un tamaño de 4 a 6 mm, se separan y aun verdes, cesan su crecimiento entrando en una fase de reposo que puede durar alrededor de 30 días (Figura 2.17). Esta inactividad es una verdadera latencia, inducida por la exposición continua de la yema a estrés hídrico o a factores endógenos.

En una cuarta etapa, las lluvias repentinas, la reducción súbita de la temperatura y la variación de los contenidos de ácido giberélico pueden estimular el crecimiento del botón floral latente, que aumenta su longitud 3 ó 4 veces. Los botones inician la etapa de preantesis, la cual se detecta por la coloración blanquecina de los pétalos, todavía cerrados (Figuras 2.18 A y B). Esta etapa dura de 6 a 10 días.

La última etapa es la de antesis o florescencia (apertura de la flor) propiamente dicha (Figura 2.18 C). Una flor abierta dura en promedio 3 días. En *Coffea arabica*, la flor se autofecunda y cuando la flor abre ya la fecundación está completa en un porcentaje mayor del 90%.

En la Tabla 2.2 se muestra la época de ocurrencia de las diferentes etapas del desarrollo de las flores en las condiciones ambientales de Chinchiná (Caldas).

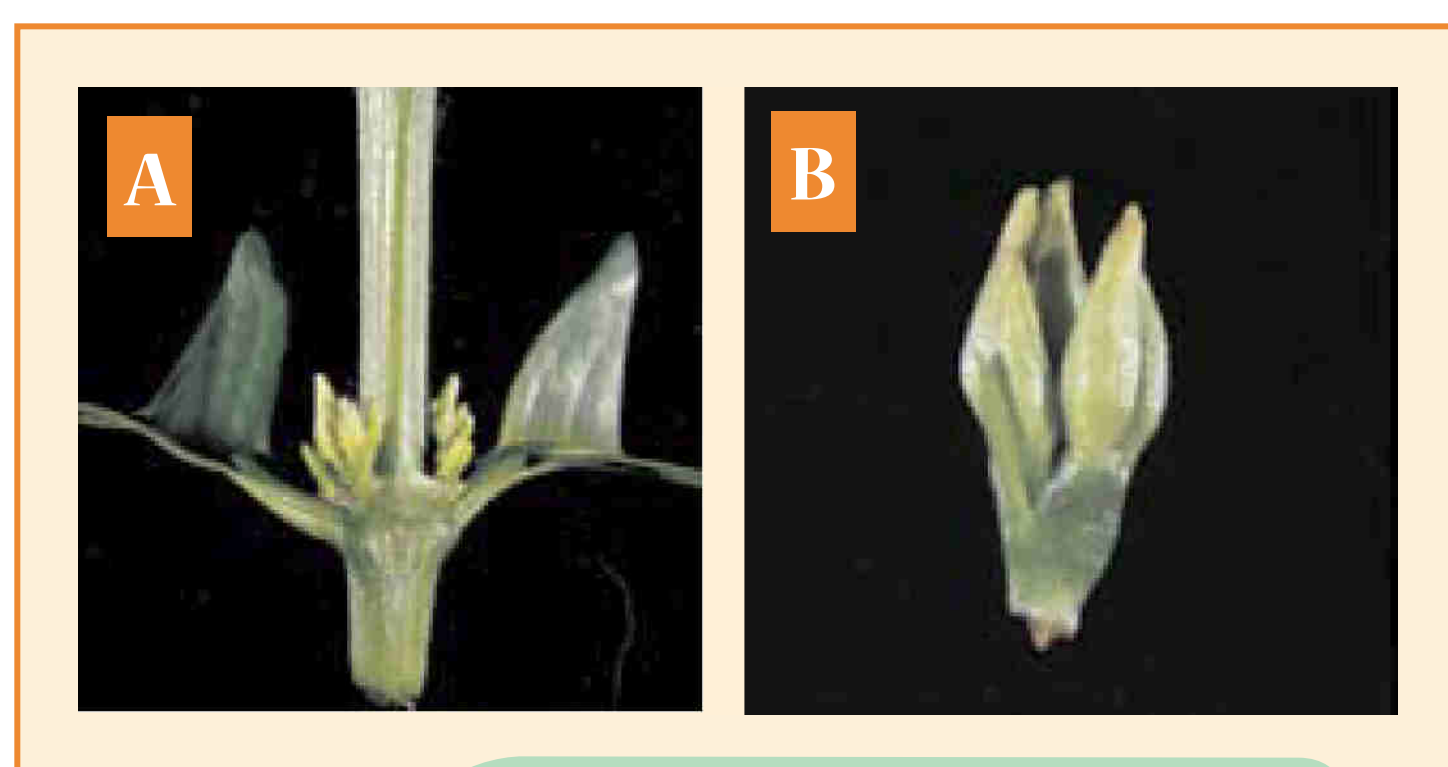


Figura 2.17. Botones florales en estado de latencia (Camayo y Arcila, 1996).

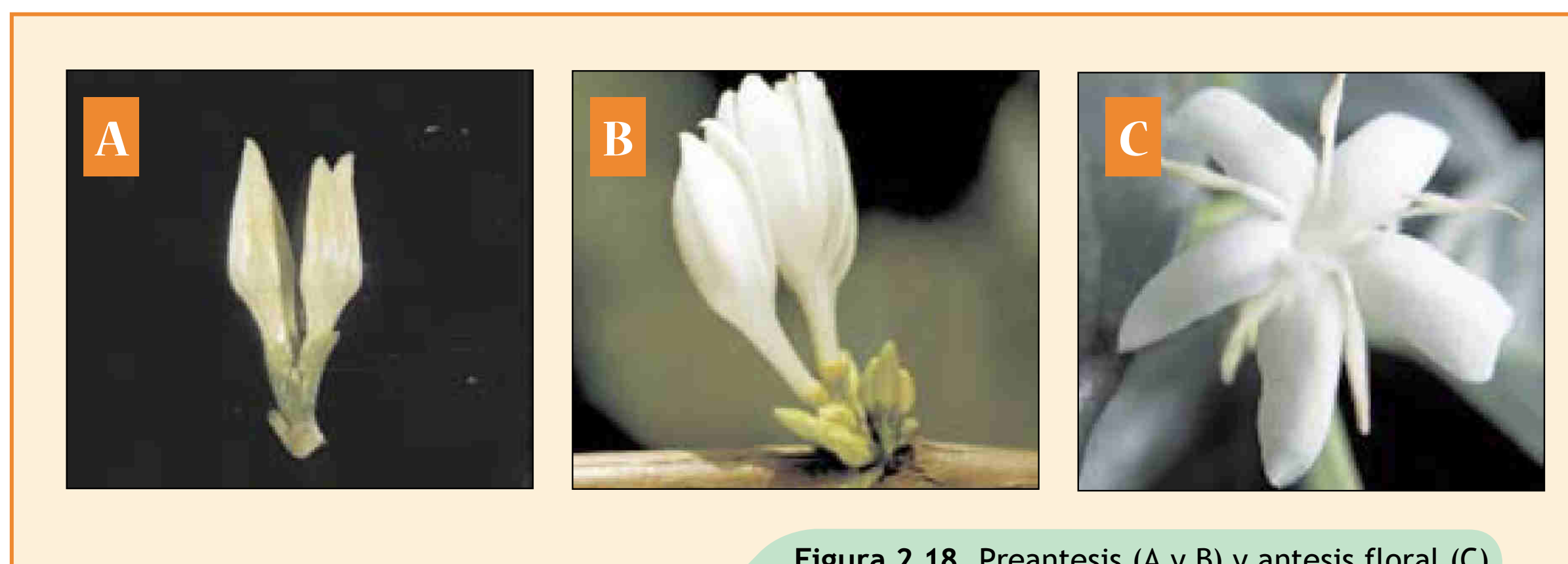


Figura 2.18. Preantesis (A y B) y antesis floral (C).

Tabla 2.2. Épocas de mayor actividad del desarrollo floral del cafeto en Chinchiná (Caldas). Abril de 1994 - marzo de 1995 (Camayo *et al.*, 1997).

ÉPOCAS DE MAYOR ACTIVIDAD EN EL DESARROLLO FLORAL EN CHINCHINÁ - CALDAS (abril /94/marzo/95)												
FASE	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	E	F	M
Inducción (B1)		X	X			X	X	X	X			
Inducción (B2)		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Diferenciación (B3)		X	X	X			X	X	X			
Desarrollo			X	X	X	X	X	X	X	X		
Latencia						X	X	X	X	X	X	
Prenatesis (B4)								X	X	X	X	X
Antesis (B5)								X	X	X	X	X

Morfología de la flor del cafeto

Una flor de café posee los cuatro tipos de estructuras que caracterizan a una flor completa y perfecta: dos estructuras estériles que son el cáliz y la corola, y dos estructuras fértiles que son los carpelos (ovario - estilo - estigma) y los estambres (Figura 2.19) (Arcila, 2004).

La flor se une a la inflorescencia mediante el pedicelo, y por encima de éste se ubica el ovario, el cual es ínfero y biloculado.

Cuando el ovario es fecundado se desarrolla como una drupa globular u oval, que normalmente contiene dos semillas.

El cáliz de la flor de café es rudimentario y tiene forma de copa, está fusionado al ovario y se desarrolla por encima de éste. El cáliz está constituido por cinco hojas diminutas denominadas sépalos.

La corola se desarrolla dentro del cáliz y aparece inicialmente como un tubo de color verdoso de 4 mm de largo, formado por la fusión de los cinco pétalos que la conforman. La apertura floral ocurre cuando el tubo de la corola se divide hacia el extremo en cinco lóbulos blancos, cada uno de aproximadamente 8 mm de longitud, para una longitud total de la flor de 18 mm.

Los estambres, en número de 5, se insertan entre los lóbulos de la corola mediante filamentos cortos. Tienen una longitud de 6 a 8 mm. Cada estambre posee una antera que contiene cuatro sacos polínicos.

Los carpelos presentan en su parte inferior el ovario, el cual encierra los óvulos. Sobre el ovario y por debajo del tubo de la corola se inserta un estilo largo (12-15 mm), el cual termina hacia el extremo en dos estigmas separados y ligeramente inclinados. En conjunto, el estilo y los estigmas tienen una longitud que los hace sobresalir ligeramente por encima del tubo de la corola abierto. El estilo está unido a un punto circular de inserción sobre el ovario, el cual se verá luego como una mancha redonda (ombligo) cuando el fruto se desarrolle.

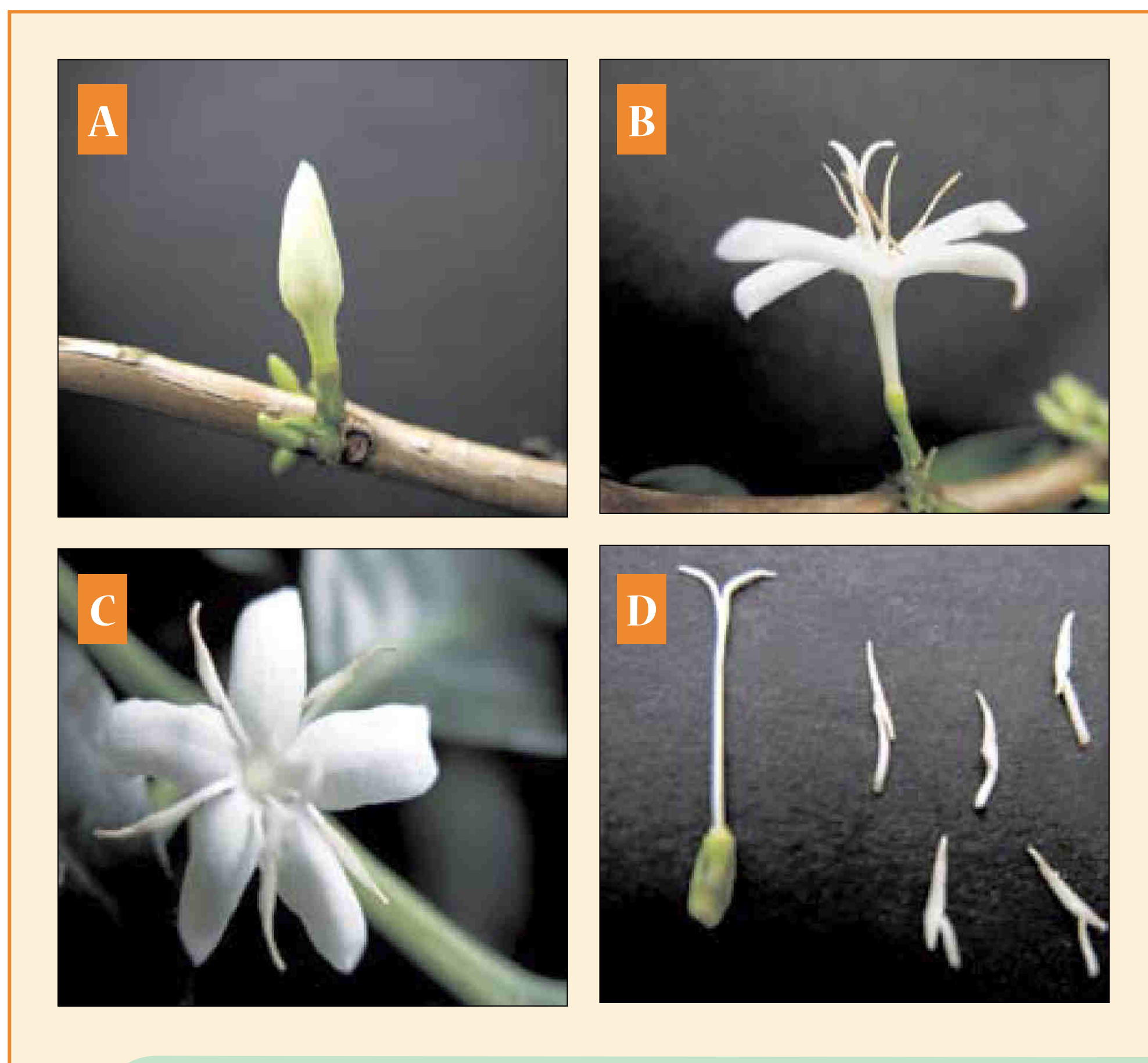


Figura 2.19. Etapas del proceso de floración del cafeto y órganos constitutivos de una flor de café. A) Flor en estado de preantesis; B y C) Flor en estado de antesis exhibiendo las estructuras reproductivas; D) Estructuras reproductivas. A la izquierda se muestra el pistilo compuesto por el ovario y el estilo que termina en un estigma bifurcado. A la derecha se observan los estambres (Arcila, 2004).

Condiciones favorables para el desarrollo de la flor

Los diferentes autores que han estudiado el proceso de la floración del cafeto sugieren que éste se encuentra constituido por las etapas de inducción, diferenciación, desarrollo, latencia y antesis (Barros *et al.*, 1978; Browning, 1977).

La inducción es favorecida por fotoperíodos cortos. Esto significa que la duración del día no sea mayor a 13,5 horas. En condiciones de la zona cafetera colombiana esta condición de fotoperíodo corto se mantiene permanentemente, debido a que la duración del día no supera las 12,5 horas en cualquier momento del año. Por tanto, se ha sugerido que factores diferentes al fotoperíodo, por ejemplo la temperatura, intervienen en la inducción (Franco, 1940; Mes, 1957; Cannell, 1972).

Los procesos de diferenciación y desarrollo son controlados por la disponibilidad hídrica y energética, las hormonas y los nutrientes (Barros *et al.*, 1978; Castillo y López, 1966).

En la latencia intervienen factores ambientales y hormonales, principalmente (Browning, 1977); mientras que la antesis está condicionada por la ocurrencia de una deficiencia hídrica previa a un período lluvioso (Crisosto *et al.*, 1992).

Para las condiciones de la zona cafetera de Chinchiná (Caldas), la formación de yemas axilares y su diferenciación en estructuras reproductivas se presenta de manera permanente. Por esta razón, a través del año es posible encontrar todas las fases del proceso de floración, aunque en una magnitud variable, dependiendo principalmente de la oferta de agua y energía. Cuando la disponibilidad hídrica y energética es alta, la planta tiende a formar yemas axilares y a diferenciar estructuras florales. Las deficiencias hídricas moderadas o brillo solar por debajo de los promedios normales parecen inducir a cambios hacia los estados intermedios del desarrollo floral, y tienen una mayor relación con la diferenciación y desarrollo de los botones florales (Camayo *et al.*, 2003).

Cuando los botones completan su desarrollo (4 - 6 mm de longitud) requieren de un efecto acondicionador que lo proporciona un período seco de una magnitud moderada, sin el cual no es posible romper la latencia y completar su desarrollo final hasta la antesis (Crisosto *et al.*, 1992; Barros *et al.*, 1978). La ausencia de este período seco repercute sobre los botones florales haciendo que estos permanezcan en latencia o no alcancen su desarrollo hasta la antesis. De acuerdo con los modelos ajustados en Cenicafé, Camayo *et*

al. (2003), se puede sugerir que el estrés hídrico, el brillo solar y la temperatura mínima contribuyen a la maduración fisiológica de los botones florales.

Número de días entre la siembra y la primera floración

Esta variable es la que nos indica cuándo comienza la fase reproductiva de la planta de café. Se mide como el momento en que por lo menos el 50% de las plantas hayan presentado alguna flor (Cenicafé, 2001).

El tiempo en que ocurre la primera floración es variable ya que depende de la fecha de siembra y las condiciones ambientales de cada localidad (Figura 2.20). En las condiciones de la zona cafetera central de Colombia, la primera floración ocurre aproximadamente a los 330 días después de la siembra definitiva en el campo. En la región oriental de Caldas (Marquetalia) los valores observados fueron de 229 días, hasta 365 días en Norte de Santander (Convención) y el tiempo más largo observado fue de 498 días en Cesar (Pueblo Bello) (Cenicafé, 2001).

Condiciones desfavorables para el desarrollo de la flor

El desarrollo normal de la flor del cafeto puede ser alterado por factores genéticos, ambientales, patológicos o nutricionales, lo cual da como resultado diferentes tipos de anomalías como: atrofas o abortos, flores estrella, flores rudimentarias y petalodia o flores que abren prematuramente. En otras ocasiones pueden presentarse secamiento de los botones florales, abscisión o caída de flores, pérdida o reducción de la capacidad de floración o inducción permanente de ésta, que conduce a la ocurrencia de floraciones continuas (Arcila, 2004).

Tipos de anomalías florales

Flores estrellas o atrofiadas. (Flores rudimentarias, flores abortadas, flores estrella, apertura floral prematura)

Este desorden afecta a todas las estructuras de la flor. Consiste en la inhibición o interrupción del crecimiento de los órganos sexuales o de toda la unidad floral, y da como resultado un desarrollo parcial o rudimentario de la flor, la cual se abre parcialmente o no crece permaneciendo diminuta. Las flores afectadas tienen alta probabilidad de abortar ya que la dehiscencia de las anteras y la fecundación pueden no ocurrir. Este problema ha sido registrado en varios países (Huxley e

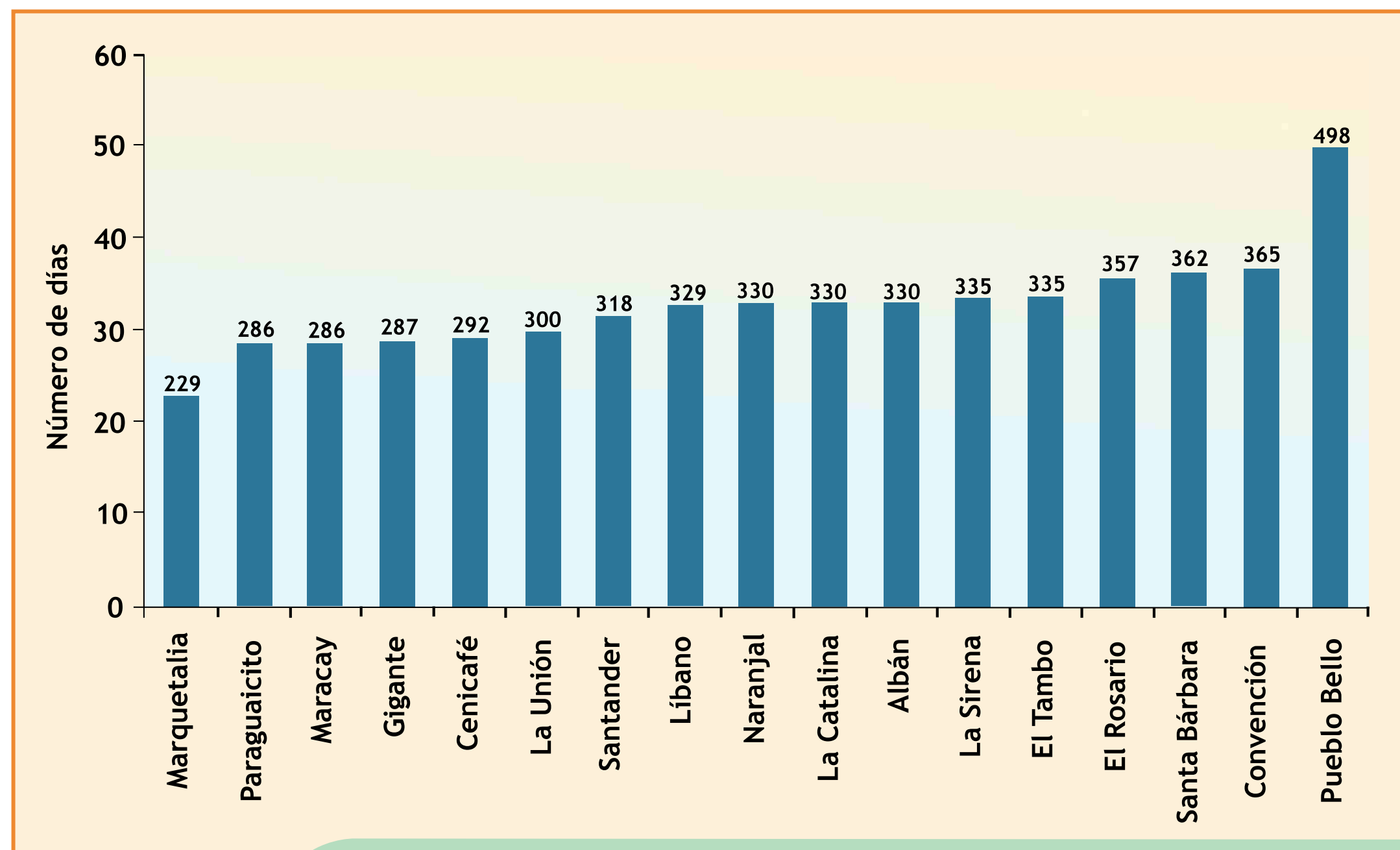


Figura 2.20. Número de días transcurridos entre la siembra y la primera floración de *Coffea arabica*, en diferentes zonas cafeteras de Colombia (Cenicafé, 2001).

Ismail, 1969; Kumar, 1982). Puede llegar a ser de alta importancia económica debido a la reducción de la producción.

Se pueden definir varios grados de atrofia floral (Arcila, 2004):

a. Flores atrofiadas: Retardo del crecimiento de la corola en comparación con las estructuras internas, las cuales quedan expuestas total o parcialmente. Los pétalos son más pequeños de lo normal, mantienen su color verde claro o cambian a blanco y la anthesis es total o parcial (Figura 2.21 A).

b. Flores estrella (flores rudimentarias): Es un caso extremo de atrofia floral en el que todas las partes de la flor son diminutas y de color verde claro, dando apariencia estrellada (Figura 2.21 B). Entre las causas de esta anomalía se destacan las siguientes:

Factores genéticos: Parece existir cierta predisposición genética, ya que generalmente ocurre algún grado de atrofia en las diferentes especies y variedades de café. La incidencia de la “flor estrella” en el germoplasma de la Colección Colombiana de Café (CCC) de Cenicafé, en Chinchiná, se ha observado en mayores proporciones en las variedades Mundo Novo y Catuai (Caturra por Mundo Novo), pero el defecto no ha llegado a tener importancia. En las otras variedades comerciales como Típica, Borbón, Caturra, Colombia y Variedad Castillo®, este defecto ocurre en proporciones no significativas (1% o menos) (Moreno *et al.*, 1999).

Factores ambientales: Entre los factores que causan estas alteraciones se encuentran: el déficit hídrico durante

la iniciación de la floración, la alta radiación solar, los aguaceros esporádicos y de baja intensidad dentro de un período seco prolongado, el exceso de lluvia durante el período de rápida expansión de las yemas, el exceso de nubosidad durante el período de floración, las temperaturas medias por encima del óptimo de café, la fluctuación entre las temperaturas máximas y mínimas y los cambios bruscos de temperatura. Bajo condiciones controladas, se ha observado que el mayor número de flores estrellas se producía cuando el régimen de temperatura era de 30°C en el día y 24°C en la noche, mientras que a 23°C en el día y 17°C en la noche la formación de flores estrellas era mínima (Mes, 1957).

En observaciones realizadas por Moreno *et al.* (1999), en dos localidades ubicadas a 1.230 y 1.400 m de altitud, en una misma vertiente caracterizada por alta precipitación en todos los meses del año y alta radiación solar, encontraron que en la menor altitud la incidencia de flor estrella fluctuó entre 12,9 y 17,8%, mientras que a 1.400 m, ésta fue de 32%.

Esta anomalía puede prevenirse al cultivar el cafeto en zonas de condiciones climáticas más favorables para su desarrollo.

Petalodia. Es una alteración del desarrollo de los estambres de la flor, los cuales se transforman en estructuras parecidas a pétalos. No ocurre dehiscencia de las anteras. En estas flores se observa un número de pétalos superior a cinco y no hay estambres. Este desorden puede ser de naturaleza genética y es de rara ocurrencia. Este problema ha sido reportado en la India y tiende a confundirse con otras atrofiaciones florales como flores estrella y flores rudimentarias. Su importancia

económica es baja ya que sólo se presenta en unos pocos individuos.

Secamiento de flores (flores semisecas). Esta anomalía se presenta en todas las floraciones en yemas con cerca de 4 mm de longitud (“cominos”). Consiste en el secamiento parcial o total de los pétalos y los estambres. El secamiento puede presentarse en una sola yema o en todo el glomérulo (Figuras 2.21 C, D y E). La corola comienza a secarse por la base, los pétalos toman un color canela y en ocasiones se separan del ovario. Lo más común es observar secamiento de toda la yema, la cual se torna negra. El ovario, aunque no se fecunda permanece generalmente verde por algún tiempo. También puede ocurrir secamiento o ennegrecimiento de todo el glomérulo. Su importancia económica puede llegar a ser alta porque involucra la pérdida total de la flor.

El disturbio es favorecido por el exceso de sombra, alta humedad y alta temperatura. Bajo estas condiciones se favorece el incremento hasta niveles patogénicos, de las poblaciones de hongos como los del género *Colletotrichum*, que normalmente son habitantes naturales de las ramas y no son fitoparásitos. Condiciones de alto brillo solar durante ciertas horas del día pueden

causar quemazones incipientes (escaldado o golpe de sol) (Figura 2.21 C), y en estas lesiones se instala el patógeno (Gil, 2001).

Abscisión de flores (caída de flores). En ocasiones ocurre la caída de flores por causas naturales. Aunque este fenómeno ha sido muy poco documentado, puede ser de gran importancia ya que los porcentajes del cuajamiento reportados en café varían entre el 20 y el 80%. Este fenómeno se debe a la separación de la corola del ovario o separación del glomérulo de la axila foliar, sin haber ocurrido secamiento. No se conocen agentes causales.

Daños por insectos. Ocasionalmente se han observado algunas hormigas atacando las estructuras florales, causando desprendimiento del estilo y de la corola (Figura 2.21F).

Deficiencia de flores (bajo número de flores). Trastorno en el cual los nudos habilitados para florecer presentan una baja cantidad de flores (Figura 2.22 A). No se trata de problemas de fertilidad. Esta anomalía está asociada principalmente con determinadas condiciones del cultivo que impiden el desarrollo de suficientes flores o la pérdida de flores ya formadas, por ejemplo, exceso



Figura 2.21. Anormalidades en el desarrollo de la flor del cafeto. A) Atrofia floral; B) Flores estrella; C) Golpe de sol en botones florales; D y E) Secamiento de botones florales; F) Desprendimiento de flores por hormigas (Arcila, 2004).

de sombra, cosecha alta en el año anterior, secamiento de yemas, abortos o cafetos muy jóvenes o muy viejos. Aunque el cafeto es una planta que tolera la sombra, bajo estas condiciones presenta una menor diferenciación de órganos reproductivos (Castillo y López, 1966). La alta intensidad del sombrío y el exceso de humedad pueden favorecer la pérdida de flores por secamiento o pudrición. Condiciones inductivas de floración permanente también pueden ocasionar baja formación de flores. Su importancia económica puede llegar a ser alta. Como medidas preventivas debe evitarse el exceso de sombra y sembrar café en zonas de mejor aptitud agrícola.

Pérdida de la capacidad de floración (aneuploidia, café macho). Este es un problema de fertilidad caracterizado por una escasa o nula formación de flores en toda la planta o por la alta formación de flores rudimentarias. La causa principal de este fenómeno es un defecto en

el número básico de cromosomas. También se le conoce con el nombre de “café macho”. Su incidencia a nivel de cultivos es muy baja.

Esta anomalía se caracteriza por que en los nudos que normalmente están habilitados para florecer no existen flores o la cantidad de éstas, es muy baja. Así mismo, en estas plantas se observa una alta proporción de flores atrofiadas o rudimentarias. Este fenómeno puede ser un reflejo de incompatibilidad entre los individuos parentales.

Como medida preventiva, pueden eliminarse estos materiales desde el almácigo. Las plantas se identifican por que tienen hojas exageradamente alargadas.

Floración continua. Es una anomalía que se caracteriza porque las plantas florecen continuamente durante el año. Está asociada principalmente a



Figura 2.22. Casos de pérdida o disminución de la capacidad de floración. A) Baja formación de flores o floración continua; B) Formación normal de ramas secundarias; C) y D) Conversión de yemas florales en yemas vegetativas (retrogresión) (Arcila, 2004).

condiciones climáticas que favorecen una permanente inducción floral como es el caso de regiones altas, con alta nubosidad o con períodos secos poco definidos.

Aunque es una condición aparentemente favorable para la planta ya que las demandas para la formación de los frutos pueden ser mejor reguladas, también puede ser desfavorable por una mayor predisposición a la pérdida de flores y aumento en el número de recolecciones. En la planta de café, la concentración de la cosecha tiende a desequilibrar la planta conduciendo a problemas como el paloteo.

En Colombia, el cafeto florece en forma concentrada entre los meses de enero a marzo y entre agosto y septiembre. Sin embargo, en algunas regiones ocurren floraciones repartidas a través del año y en poca magnitud. Esta anomalía puede presentarse de manera más acentuada en las regiones altas.

Como medidas preventivas se recomienda ubicar el cultivo en condiciones climáticas favorables, por ejemplo, en zonas donde se presenten déficit hídricos adecuados para la floración.

Retrogresión. Algunas yemas que no se alcanzan a diferenciar en flores, forman exceso de ramas secundarias o terciarias, en muchos casos presentando la forma de abanicos o rosetas (Figuras 2.22 C y D). Esto ocurre cuando se dan condiciones ambientales poco favorables para la floración, por ejemplo exceso de humedad y alta temperatura. Igualmente, condiciones nutricionales inadecuadas como la deficiencia de zinc. La formación normal de ramas secundarias y terciarias se presenta principalmente en unos pocos nudos en la zona de las ramas que ya produjeron y después de los 15 meses de edad de la planta (Figura 2.22 B).

Daños por fitotoxicidad. Es el daño causado a cualquier parte de la flor (corola, estambres, pistilo) por la acción de productos agroquímicos. Las aplicaciones de agroquímicos en café o a cultivos intercalados con café pueden tener algún efecto sobre la floración cuando coinciden con este proceso. En café se ha reportado que las formulaciones a base de aceite pueden tener efectos fitotóxicos. La naturaleza y la intensidad del daño dependen de la composición del aceite o de la naturaleza del producto utilizado.

Este daño por agroquímicos no ha sido bien documentado y se ha medido generalmente como la pérdida de frutos. En café se ha reportado pérdida de flores por aspersiones de BSO hasta del 3%. En otros estudios, no se observaron síntomas de daño en flores por aplicaciones de varios fungicidas.

Como medida de control es recomendable evitar aplicaciones de agroquímicos si hay una floración en proceso.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Cuando las flores alcanzan el estado de “comino” entran en un período de reposo que puede durar varias semanas, pero para que este período termine y se produzca la floración, además de la madurez apropiada de los cominos se requiere de un estrés, proporcionado por períodos de días secos, continuos, de mediana a larga duración y que además, este período seco sea interrumpido por lluvias o cambios bruscos de temperatura. Mientras más fuerte y prolongado sea el estrés mayor y más concentrada será la respuesta del cafeto en floración.

La falta de períodos secos definidos en las épocas habituales de floración ocasiona que los “cominos” permanezcan en reposo durante un tiempo más largo y que en consecuencia las floraciones se dispersen, que sean poco concentradas o que se presenten anomalías en el desarrollo de la flor como es el caso de las “flores estrella” o el secamiento de los “cominos”.

La flor estrella es una anomalía en el desarrollo de la flor, que se caracteriza porque ésta se abre prematuramente y todas sus partes aparecen diminutas y de color blanquecino, dando apariencia de estrella. La presencia de esta anomalía puede interpretarse como el resultado de condiciones ambientales desfavorables durante las etapas tempranas de la floración. La presencia de yemas poco desarrolladas o en épocas fuera del período normal de floración, así como la ausencia de períodos secos definidos, favorecen el fenómeno de la flor estrella. La ocurrencia de temperaturas altas, por encima de 28°C, durante los estados tempranos del desarrollo de la flor también pueden causar esta anomalía.

En el caso del secamiento de los “cominos” las condiciones microclimáticas a nivel de la planta juegan un papel importante. Por ejemplo, altas temperaturas, disponibilidad de agua y suministro de nitrógeno, inciden directamente en el desarrollo acelerado de las plantas así como en una alta densidad de follaje, proporcionando una baja luminosidad y alta humedad muy acentuadas hacia el interior de la planta. Estas condiciones pueden causar pudriciones incipientes en botones florales en desarrollo y además, propician el incremento de poblaciones de hongos, que normalmente no son patogénicos para el cafeto, los cuales invaden los botones lesionados y causan el secamiento total de la yema. El excesivo brillo solar también puede causar escaldado y secamiento de los botones florales.

Las anomalías descritas generalmente son de carácter temporal y no generalizadas, y se restringen a zonas muy específicas.

Desarrollo del fruto

Desde el momento de la floración hasta la maduración del fruto transcurren en promedio 32 semanas. El desarrollo del fruto dura de 220 a 240 días en promedio, dependiendo de la región (Figura 2.23). En la zona oriental de Caldas (Marquetalia) se observó la menor duración del período de crecimiento con 204 días; la mayor duración se encontró en Cesar (Pueblo Bello) y Nariño (La Unión), con 254 y 266 días, respectivamente (Cenicafé, 2001).

Durante su desarrollo, el fruto pasa a través de diferentes estados (Figura 2.24) (Cenicafé, 2001; Salazar *et al.*, 1994, 1993; Suárez, 1979; Huxley, 1969; León y Fournier, 1962), así:

- Etapa 1: Primeras 7 semanas después de la floración (0 - 50 días). Es una etapa de crecimiento lento, en la cual el fruto tiene el tamaño de un fósforo.
- Etapa 2: Semanas 8 a la 17 después de la floración (50 - 120 días). El fruto crece en forma acelerada y adquiere su tamaño final, y la semilla tiene consistencia gelatinosa.
- Etapa 3: Semanas 18 a la 25 después de la floración (120-180 días). La semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.
- Etapa 4: Semanas 26 a la 32 después de la floración (180 - 224 días). El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.

Etapa 5: Después de la semana 32 (más de 224 días), el fruto se sobremadura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca. En esta etapa generalmente el fruto pierde peso.

Factores que afectan el desarrollo del fruto

Diversos factores pueden influir sobre el desarrollo normal de la cosecha, desde la floración hasta la maduración de los frutos de café, y causar distintos niveles de pérdida de la producción esperada del cultivo. Razón por la cual para la estimación de la cosecha es importante considerar estas pérdidas, pues no todas las flores que se desarrollan en la planta pueden formar frutos y no todos los frutos que se forman alcanzan un desarrollo normal o son cosechados.

La broca del café, *Hypothenemus hampei*, ocasiona daños en el fruto y la caída de estos cuando son atacados

en estados tempranos de desarrollo. Cuando la broca ataca frutos de café de dos meses de edad, más del 50% caen de las ramas y muchos de ellos se tornan de un color característico al de la madurez; pero si el ataque ocurre después de los tres meses de edad la caída de frutos es menor del 23,5% (Bustillo, 2002).

El mal rosado ocasionado por el hongo *Corticium salmonicolor*. Esta enfermedad afecta tallos, ramas, hojas y frutos, en los cuales se observa necrosis o muerte de tejidos; los frutos se momifican y caen, sintomatología que genera un aspecto de paloteo en el árbol. El avance de la enfermedad puede afectar la totalidad de la producción de la rama o del árbol (Galvis, 2003).

La mancha de hierro ocasionada por *Cercospora coffeicola*, afecta hojas, ramas y frutos de todas las variedades de café cultivadas. Los frutos son más susceptibles después del cuarto mes de desarrollo, las lesiones producen necrosamiento y como consecuencia, la pulpa se adhiere al pergamino produciendo lo que comúnmente se conoce como café guayaba (Fernández *et al.*, 1982; Leguizamón, 1997).

Colletotrichum sp. ocasiona daños en flores en estado de comino y en frutos en todos sus estados. Este hongo produce secamiento y caída de los frutos, y la flor afectada permanece adherida al glomérulo hasta su necrosis total (Gil, 2003).

Déficit hídrico. El crecimiento reproductivo caracterizado por la formación de flores y frutos es afectado por la disponibilidad hídrica. Las deficiencias hídricas tienden a favorecer la floración pero pueden perjudicar el crecimiento vegetativo de la planta y el desarrollo normal del fruto, afectándolo de diferentes formas de acuerdo a la etapa de desarrollo en la cual se encuentre (Arcila y Jaramillo, 2003).

En la etapa 1 del desarrollo del fruto de café (Figura 2.24) la deficiencia hídrica puede generar el secamiento de frutos tiernos (Valencia y Arcila, 1975).

En la etapa 2 una deficiencia hídrica puede tener diferentes efectos sobre el desarrollo del fruto (Figura 2.24), los cuales se clasifican en cuatro tipos, que describen a continuación:

Grano vacío (flotantes): uno o ambos lóculos del fruto aparecen vacíos, sin ninguna formación de endospermo. Cuando se benefician estos granos producen el defecto “espuma” o “pasilla” (Figura 2.25). En las variedades cultivadas se presenta normalmente menos del 5% de este defecto.

Grano parcialmente formado: uno o ambos lóculos del fruto presentan formación parcial del endosperma, sin

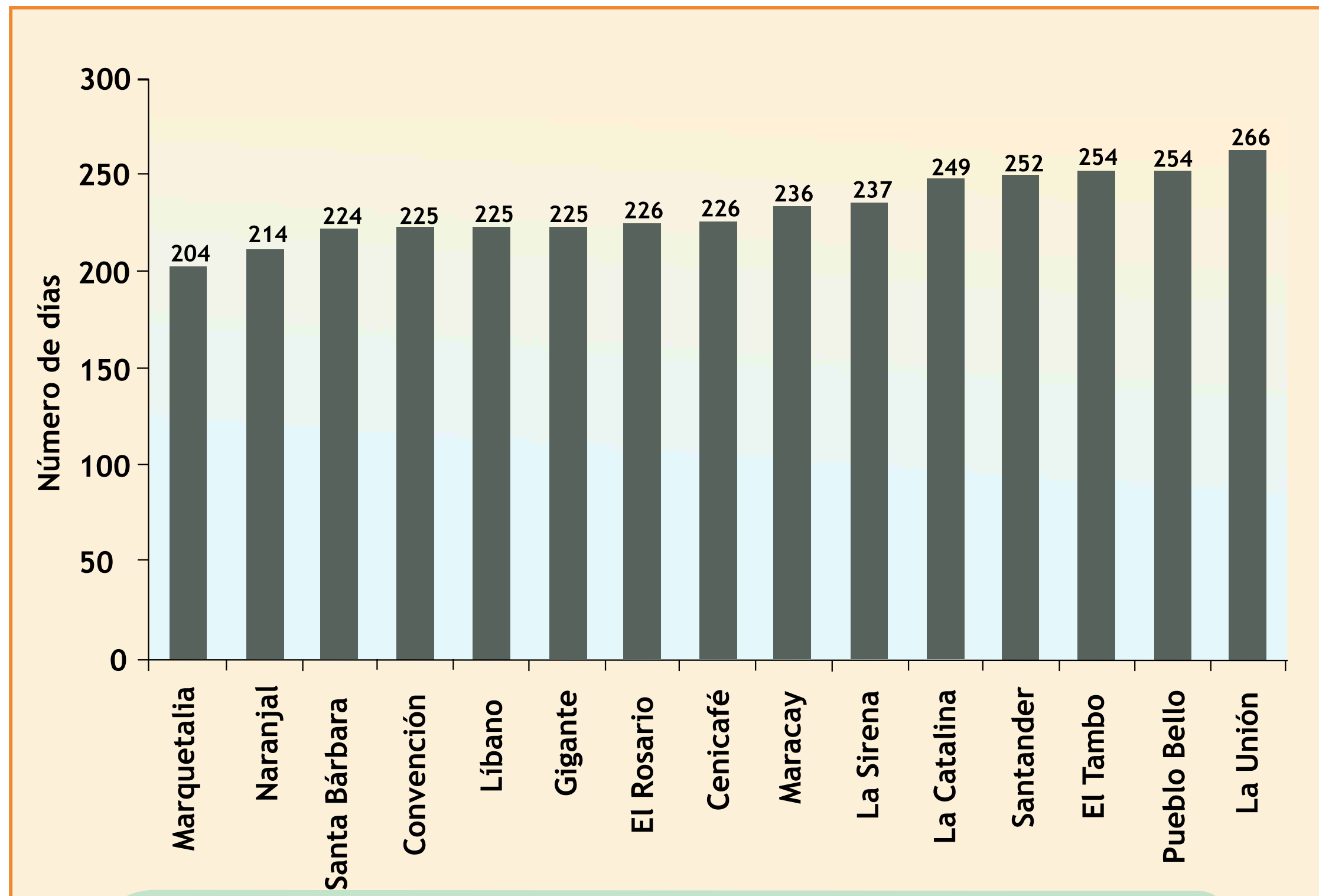


Figura 2.23. Número de días transcurridos entre la floración y la maduración del fruto de café, en diferentes zonas cafeteras de Colombia (Cenicafé, 2001).

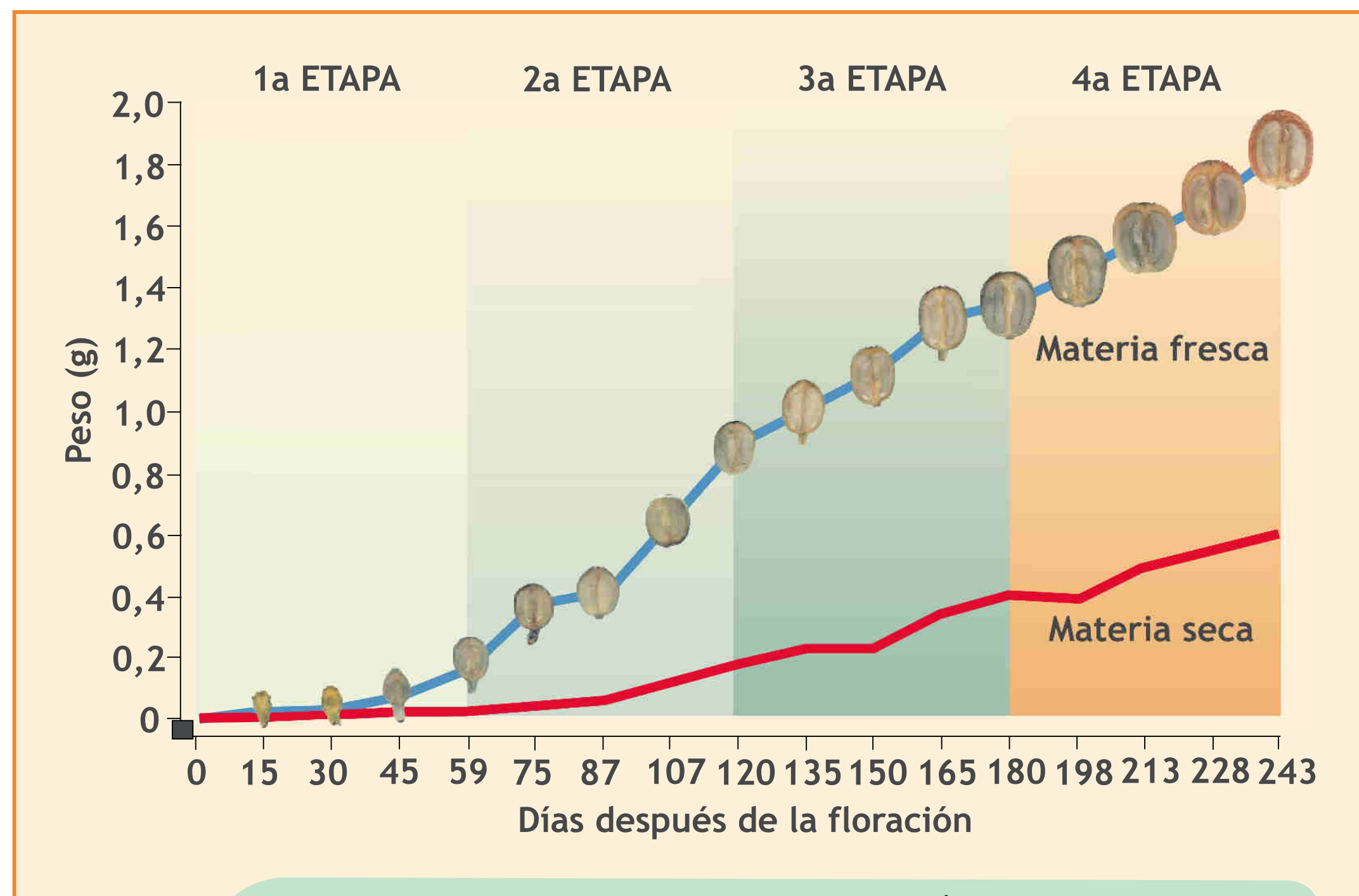


Figura 2.24. Etapas de desarrollo del fruto de café (Arcila y Jaramillo, 2003).

que se llegue al llenado completo (Figura 2.25). Estos granos alcanzan a madurar y producen el defecto “averanado”.

Grano negro: Frutos en un estado de desarrollo muy avanzado con una ligera tonalidad amarillenta y que al partirlos muestran una o ambas almendras desarrolladas y de un color café muy oscuro, casi negro. Estos granos al

beneficiarlos producen el defecto “espuma” o “pasilla” (Figura 2.25) (Valencia, 1973).

Grano pequeño: El fruto se desarrolla pero adquiere un tamaño inferior al normal. Este tipo de grano se hace más perceptible al momento de la trilla.

En la etapa 3 la deficiencia hídrica tiene efectos menos severos debido a que el fruto se encuentra

completamente desarrollado. Sólo en casos extremos se retarda la maduración y se presenta secamiento de la pulpa. Las regiones con mayor susceptibilidad al déficit hídrico son aquellas ubicadas en altitudes bajas, en suelos con poca capacidad de retención de agua o manejo deficiente del cultivo.

Normalmente, se espera una relación de café cereza a café pergamino seco de 5:1 o menor y en las compras



Figura 2.25. Fruto completamente lleno (Izquierda), fruto parcialmente lleno (Centro) y grano negro (derecha) (Arcila y Jaramillo, 2003).

se admite hasta un 5,5% de pasilla y defectos en el café pergamino.

Relación entre floración y fructificación

Una vez efectuada la fecundación, el ovario se transforma en fruto y los óvulos en semilla, este proceso se denomina cuajamiento de frutos, e indica el comienzo del crecimiento del fruto. Una estimación del cuajamiento puede ser el porcentaje de retención de frutos que se mide como la relación entre el número de frutos presentes tres meses después de la floración sobre el número de flores abiertas. En café estos valores varían de acuerdo con las condiciones climáticas presentes durante cada año y según las regiones. La literatura registra valores de retención de frutos desde un 20 a un 90%. En los años mas lluviosos se esperan menores valores de cuajamiento y retención de frutos (Arcila y Jaramillo, 2003).

Distribución de la cosecha

Desde la floración hasta la maduración de los frutos transcurren de 7 a 8 meses, pero debido a que en nuestras condiciones ambientales se favorece el desarrollo sucesivo de las flores sobre los nudos, esto trae como consecuencia que en las ramas se encuentren frutos en

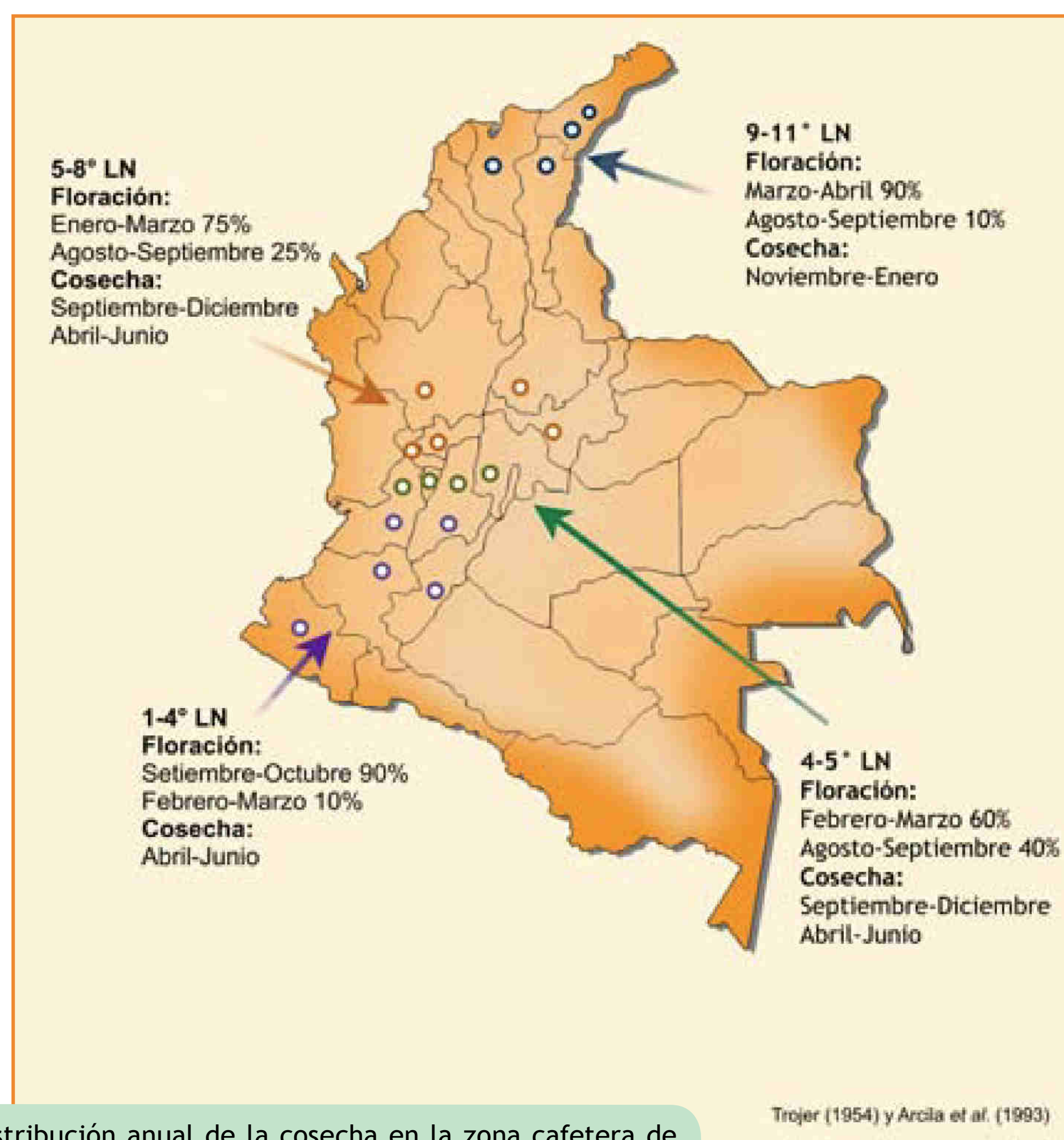
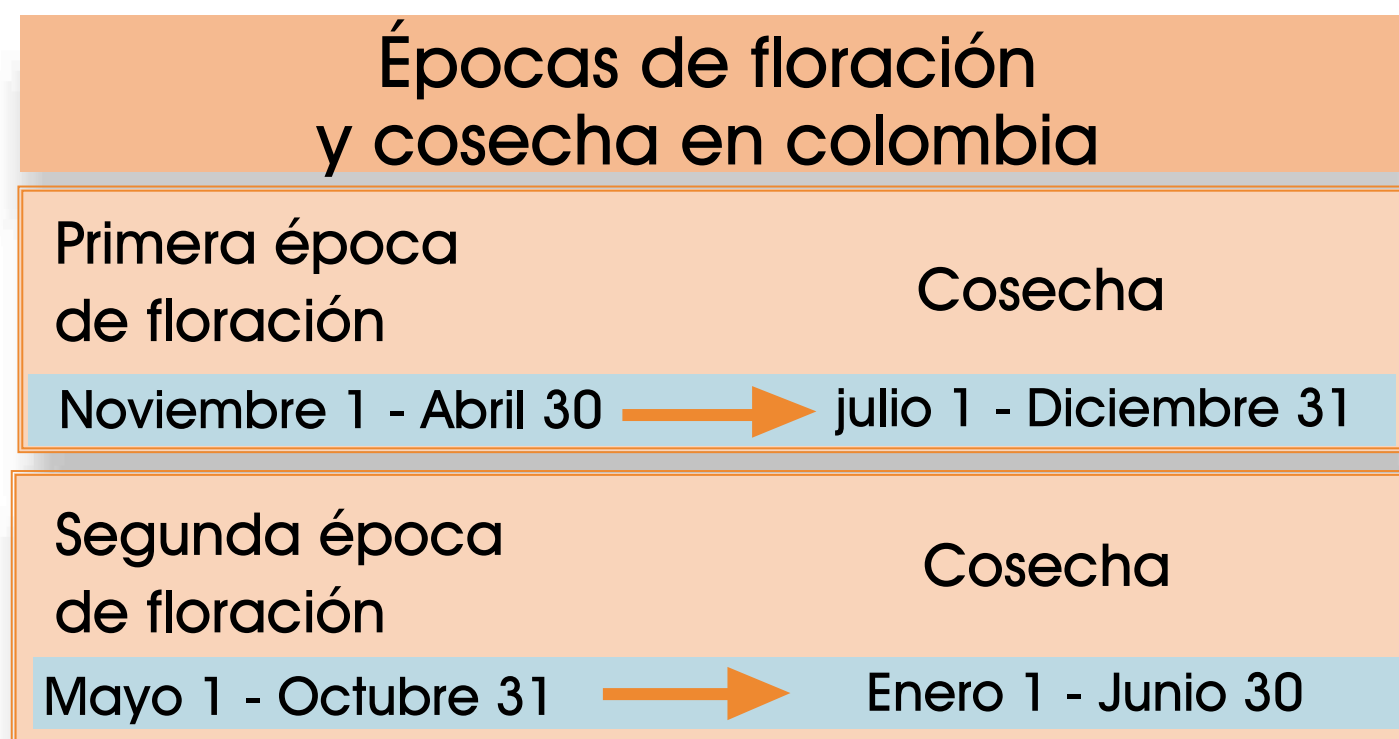


Figura 2.26. Distribución anual de la cosecha en la zona cafetera de Colombia (Cenicafé, 2001).

diferentes estados de desarrollo en forma simultánea. La distribución de la cosecha depende además de los patrones de floración de cada región (Figura 2.26).

En la Tabla 2.3 contiene la información sobre el comportamiento observado de la floración del cafeto en el Ecotopo 206A. A partir de los registros de las fechas de floración y al considerar que la maduración de los frutos ocurrirá a los 8 meses aproximadamente, se puede proyectar la distribución de la cosecha. Es factible que los agricultores lleven estos registros en sus fincas y de esta forma estimen la época probable de recolección y el volumen de café a recolectar y predeterminen el manejo de problemas como la broca y las etapas de renovación, entre otras (Arcila *et al.*, 1993).

En resumen, en Colombia pueden considerarse dos ciclos de floración y cosecha, así:



Frecuentemente se tiene la inquietud acerca de la variación de la distribución de la cosecha según la variedad de café. Este fenómeno está estrechamente ligado con las condiciones ambientales, específicamente, con la distribución de las lluvias. Como puede verse en la Figura 2.27, para un cultivo de la variedad Colombia de la misma edad, sembrado simultáneamente en 17 localidades, la variación de la distribución de la cosecha es muy amplia y el comportamiento es específico para cada localidad.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Durante el desarrollo del fruto existen diferentes factores ambientales que pueden afectarlo. Entre estos factores, la disponibilidad hídrica juega un papel primordial y su efecto varía de acuerdo con la etapa del desarrollo en que se encuentra el fruto, por tanto, si las deficiencias hídricas ocurren entre las semanas 7 y 14 después de la floración, se afectará el tamaño del fruto, y si éste ocurre entre las semanas 15 y 25, se producen granos vanos o defectuosos por insuficiente llenado de la almendra. Los excesos hídricos no tienen un efecto particular sobre el crecimiento y desarrollo de los frutos y más bien su efecto es indirecto al favorecer la presencia de enfermedades que atacan los frutos como el mal rosado o favorecer la pérdida de flores.

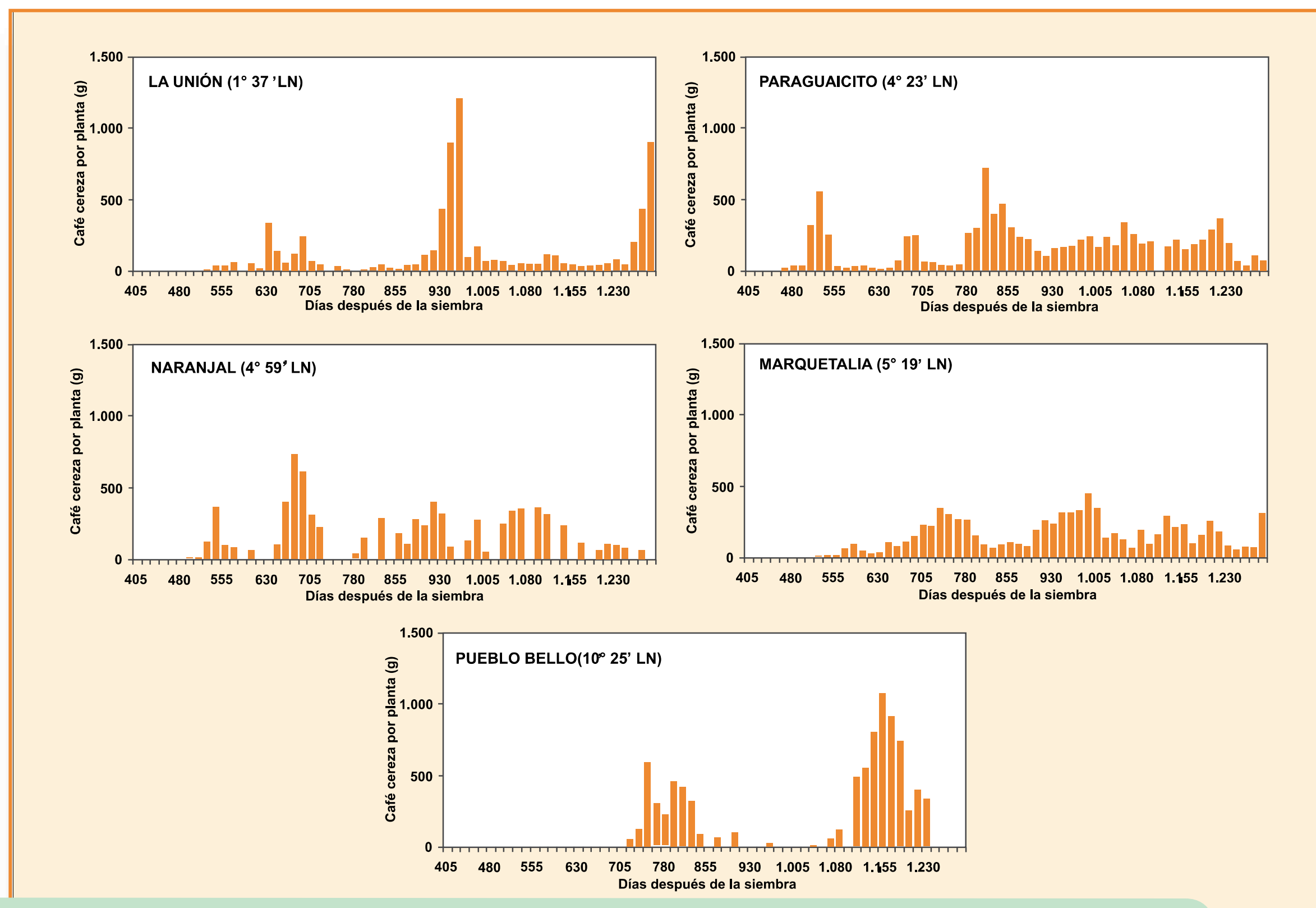


Figura 2.27. Épocas de cosecha de la variedad Colombia en la zona cafetera colombiana y su relación con la disponibilidad de agua. Los porcentajes semestrales de cosecha varían según la región (Cenicafé, 2001).

Tabla 2.3. Floración y distribución de la cosecha para el año 2005 en la región de Chinchiná y Palestina (Caldas). Programa Agronomía. Disciplina de Fitotecnia. Cenicafé.

Fecha floración	Porcentaje de floración observado	Época cosecha	Porcentaje aproximado de cosecha	Semana de cosecha
Mayo 27/04	9	Enero 27/05	9	4
Junio 07/04	9	Febrero 07/05	9	5
Junio 28/04	6	Febrero 28/05	6	8
Julio 18/04	18	Marzo 18/05	18	11
Agosto 12/04	6	Abril 12/05	6	14
Agosto 25/04	9	Abril 25/05	9	16
Septiembre 08/04	28	Mayo 08/05	28	18
Octubre 14/04	6	Junio 14/05	6	24
Octubre 30/04	9	Junio 30/05	9	26
Noviembre 11/04	3	Julio 11/05	3	27
Noviembre 30/04	3	Julio 30/05	3	30
Diciembre 07/04	3	Agosto 07/05	3	31
Diciembre 20/04	9	Agosto 20/05	9	33
Enero 5/05	3	Septiembre 5/05	3	35
Enero 17/05	16	Septiembre 17/05	16	37
Enero 27/05	6	Septiembre 27/05	6	39
Febrero 08 /05	9	Octubre 08/05	9	40
Febrero 21/05	16	Octubre 21 /05	16	42
Marzo 10/05	9	Noviembre 10/05	9	45
Marzo 29 /05	6	Noviembre 29/05	6	48
Abril 12/05	6	Diciembre 14 /05	6	50
Abril 30/05	9	Diciembre 30/05	9	52

Maduración del fruto del café (*Coffea arabica* L.)

Composición del fruto

El fruto de café es una drupa en la cual los tejidos externos en la madurez se separan, por una capa mucilaginosa, del endocarpio, delgado, duro y coriáceo, llamado pergamino (Salazar *et al.*, 1994; Huxley, 1969; León y Fournier, 1962).

La pulpa de la cereza madura esta formada por el exocarpio (epidermis), que es la capa externa del fruto y representa el 43,2% del fruto en base húmeda. El color de la epidermis varía desde verde o amarillo hasta rojo o rojo intenso y algunas veces hasta violeta o negro. El color depende de la variedad de café y del grado de madurez del fruto.

Recubierto por la epidermis se encuentra el mesocarpio, el cual está constituido por una capa gruesa de tejido esponjoso de 5 mm de espesor, rico en azúcares y mucílagos, que recubre los dos granos, los cuales se encuentran unidos por sus caras planas. El mucílago representa el 11,8% del fruto en base húmeda.

Los granos están revestidos por una doble membrana: la primera es el endocarpio, amarillo pálido y de consistencia dura y frágil, comúnmente llamado pergamino, representa del 6,1% del fruto en base húmeda; y la segunda, más fina que la anterior y adherida al grano (albumen), llamada película plateada (tegumento seminal), que representa el 0,2% del fruto en base húmeda. El endospermo, también llamado café verde, representa el 38,9 y 55,4% del fruto

en base húmeda y base seca, respectivamente (Puerta *et al.*, 1988).

Madurez fisiológica del fruto

El estado de madurez fisiológica del fruto de café puede definirse como las “alteraciones morfológicas y fisiológicas que ocurren a partir de la fecundación, seguidas por un momento en el cual las semillas están en condiciones de ser cosechadas”. En Brasil, Caixeta y Alvarenga (1981), desarrollaron estudios en los que observaron los cambios físicos y fisiológicos de la semilla cuando ésta alcanza la madurez. Durante este proceso ocurren alteraciones en el contenido de materia seca, la calidad, el tamaño, la germinación y el vigor de las semillas. De acuerdo con estos parámetros el tiempo de madurez fisiológica del café se definió en 220 días después de la fecundación. Por otro lado, observaron que a partir de este punto, ya no hay incremento de la materia seca, lo cual puede explicarse por la interrupción de la translocación de sustancias de la planta al fruto. El máximo porcentaje de germinación (97%) ocurre a los 200 días, pero la semilla de café inicia este proceso a los 160 días después de su fecundación, cuando aun está verde.

El grado de maduración del fruto es uno de los factores más influyentes en la calidad de la cosecha así como en los factores de rendimiento en el beneficio y en la calidad de la taza.

Tradicionalmente, en muchos países el fruto del café se cosecha cuando éste muestra un color que puede ser rojo o amarillo que indica su madurez, según el cultivar (Alizaga *et al.*, 1995; Herrera *et al.*, 1993), pero la coloración roja o verde del exocarpo del café no es

siempre un signo de maduración o de inmadurez del fruto. A lo anterior se suman una serie de factores externos, los cuales influyen marcadamente en el metabolismo y el desarrollo de los cafetales y los frutos, como son: el ritmo de crecimiento de la planta de café en función de las condiciones específicas de clima, nutrición, edad y manejo de la plantación; características que guardan estrecha relación entre el crecimiento vegetativo y el crecimiento de los frutos.

En las condiciones climáticas de la zona cafetera colombiana el café tiene una alta desuniformidad de la maduración, y es así como en una misma rama se observan frutos en diferentes estados de desarrollo y en varios grados de madurez, razón por la cual es necesario realizar entre 10 y 15 recolecciones por año.

La cosecha de los frutos de café se hace habitualmente con el criterio empírico del color de la cereza, la cual al madurar muestra una mezcla de tonalidades verdes, amarillas y rojas, según el cultivar o variedad, y como resultado se obtiene un producto cosechado que incluye frutos verdes, pintones, maduros, sobremaduros y secos (Roa *et al.*, 1999). Cada uno de estos tipos de frutos posee unas características físicas y químicas específicas, que determinan la cantidad y calidad del producto obtenido durante los procesos de beneficio, trilla, almacenamiento y preparación de la bebida.

Al cosechar cerezas de café en un estado de madurez temprano (tonalidades verdes y amarillas), éstas pueden carecer de condiciones apropiadas para el consumo y

además, realizar una cosecha prematura implicará pérdidas en peso y en rendimiento, debido a que los frutos son de menor tamaño que los maduros (Freire y Miguel, 1985). De otra parte, los frutos recolectados tardíamente pueden estar sobremaduros o secos, y presentan un comportamiento elástico de la pulpa que perjudica las condiciones para un óptimo beneficio, al igual que disminuyen sus cualidades organolépticas, con una mayor predisposición a sabores de tipo fermento, a las alteraciones fisiológicas y al ataque de insectos o de patógenos (Salazar *et al.*, 1994).

En general, se ha demostrado que los frutos que tienen una coloración verde de la pulpa, demeritan la calidad del café en todos los procesos postcosecha hasta la bebida, produciendo bajos rendimientos, sabores y aromas rancios y características muy amargas. De otra parte, la recolección de frutos secos proporciona una bebida dura, debido a que son frutos senescentes y con alto porcentaje de daños por insectos, mientras que los frutos denominados maduros, aquellos que exteriormente presentan una coloración rojiza uniforme, proporcionan la mejor calidad de bebida (Puerta, 1988, 2000).

Para establecer un criterio objetivo de maduración, es necesario describir las características químicas y físicas, que indiquen en forma directa los cambios entre los diferentes estados de maduración del fruto, así mismo estas características deben relacionarse con el comportamiento en las diferentes etapas del proceso de beneficio, secado, trilla y calidad de la taza. Con base en esta información será posible definir estándares

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Una forma más práctica de mirar la distribución de la floración y la cosecha sería considerar que las floraciones entre el 1° de mayo y el 31 de octubre corresponden a la cosecha del primer semestre (enero 1° - junio 30) y las floraciones entre el 1° de noviembre y el 30 de abril corresponden a la cosecha del segundo semestre del año (julio 1° - diciembre 31) (Figura 2.28). Esta consideración se basa en un tiempo entre floración y maduración de 32 semanas (224 días).

En la región sur del país (1 a 3° Latitud Norte) un 90% de la cosecha se recolecta entre abril y junio. En la región central menos húmeda (3 a 4° Latitud Norte), la maduración ocurre en un 40% entre abril - junio y en un 60% entre septiembre y diciembre; en la región central más húmeda (4 a 7° Latitud Norte) entre un 75 - 85% de la cosecha madura en septiembre - diciembre y un 15 - 25% entre abril y junio. En la zona Norte de Colombia (9 a 11° Latitud Norte), la cosecha madura en un 90% en el período de noviembre a enero. En las zonas altas, por encima de 1.700 m, la tendencia es a distribuir la cosecha en ambos semestres. Estos patrones de cosecha pueden ser alterados además por los fenómenos climáticos asociados a los eventos cálidos y fríos del Pacífico.

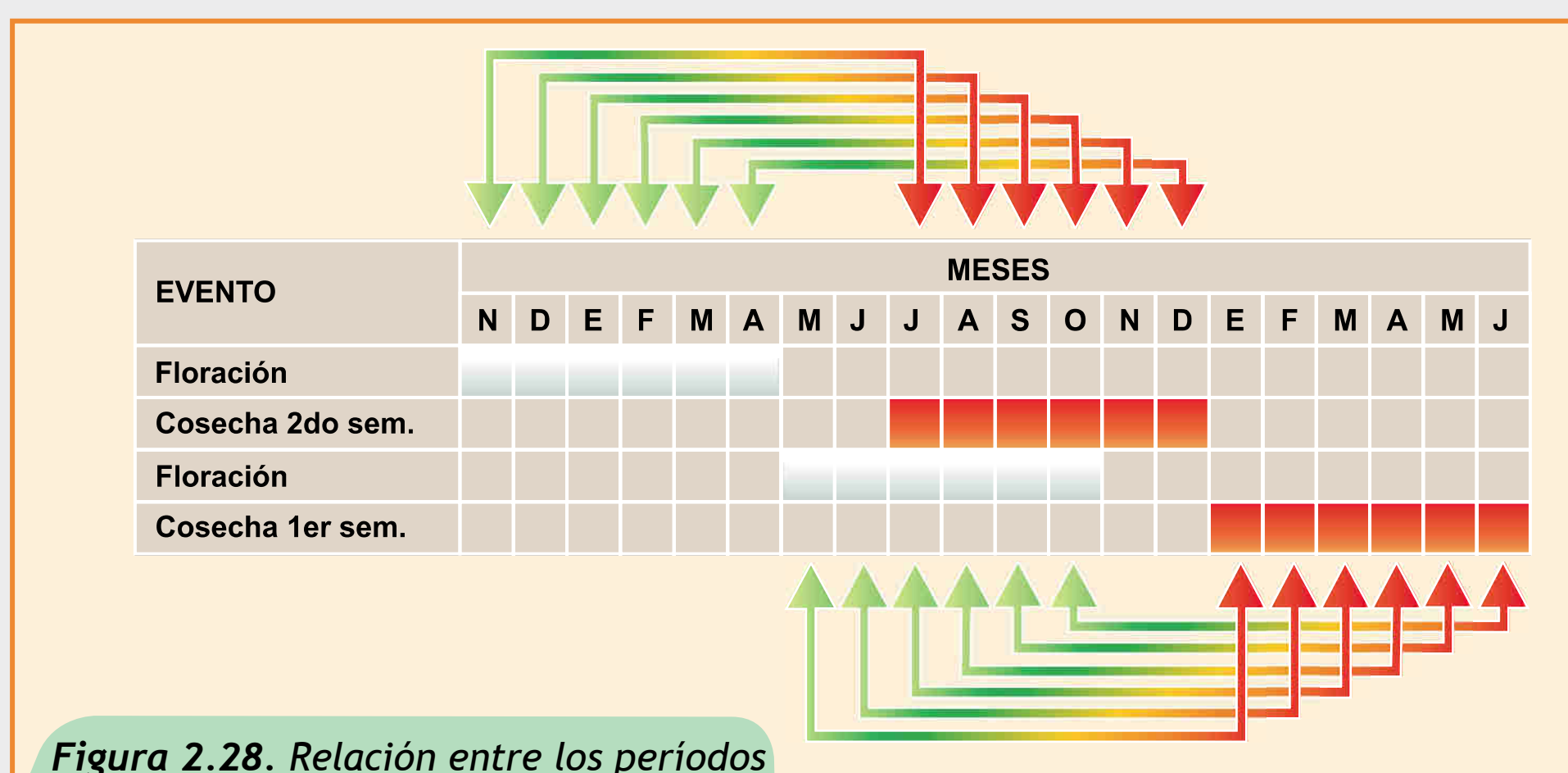


Figura 2.28. Relación entre los períodos de floración y cosecha en Colombia

de recolección para el agricultor y todas las personas relacionadas con los procesos de cosecha y postcosecha del café.

Determinación de los estados de maduración del fruto

En Cenicafé, Marín *et al.* (2003), realizaron una investigación que tuvo como objetivo caracterizar el proceso de maduración del fruto del café, en términos de color, aspectos físicos y químicos, rendimiento y calidad, teniendo en cuenta los días transcurridos desde la floración (ddf). Los estados considerados fueron el verde inmaduro (182 ddf), hasta el rojo maduro (217 ddf) y el estado seco (231 ddf). Los resultados de este estudio muestran lo siguiente:

Características físicas y químicas. Las variables físicas que mejor determinan el proceso de maduración del café a través del tiempo son: la fuerza de remoción, la firmeza polar y la firmeza ecuatorial (Figura 2.29). Estas variables disminuyen a medida que el fruto madura, presentando el cambio más notable entre los 217 y los 224 días después de la floración. Las diferencias entre el estado pintón y los estados maduro y sobremaduro estuvieron alrededor de 2,90 y 6,93 Newton (N) para la fuerza de remoción, entre 11,46 y 14,85 N para la firmeza polar, y entre 10,95 y 16,39 N para la firmeza ecuatorial. La variable química que mejor describe la maduración del café son los sólidos solubles, expresados en grados brix (°brix), los cuales se incrementan a través del tiempo, encontrando el máximo valor en los frutos sobremaduros (23,83 °brix).

Características del café beneficiado según estados de maduración del fruto. El café beneficiado entre los 182 y los 203 días después de la floración (ddf), presenta los mayores porcentajes de características no deseables en la masa de café húmedo (frutos sin despulpar, almendra pelada, defectos y pulpa). Cuando los frutos se encuentran alrededor de los 210 y 224 días después de la floración (ddf), muestran las mejores condiciones para el beneficio, con un mayor contenido de café pergamino y menor proporción de defectos, esto se debe a la presencia de mucílago, el cual actúa como lubricante, disminuyendo la fuerza requerida para el despulpado así como los daños en la almendra.

Características del café pergamino seco. Una característica importante en la calificación del café pergamino es el factor de conversión de café cereza a café pergamino seco (c.c./c.p.s.). Entre los estados de maduración observados, solo los frutos maduros y sobremaduros presentaron buenas conversiones, entre 5,04 y 5,25:1 (kilogramos de café cereza necesarios para obtener un kilogramo de café pergamino seco).

En general, a medida que transcurre el proceso de maduración, el café pergamino muestra un mayor porcentaje de granos con pergamino y menor porcentaje de almendras peladas, defectos e impurezas. Estas características se encuentran entre los estados pintón y sobremaduro con porcentajes de café pergamino entre 76,99 y 94,59%.

En general, la caracterización del pergamino obtenido de frutos con diferente desarrollo es una herramienta útil para detectar el origen de los defectos que se observan

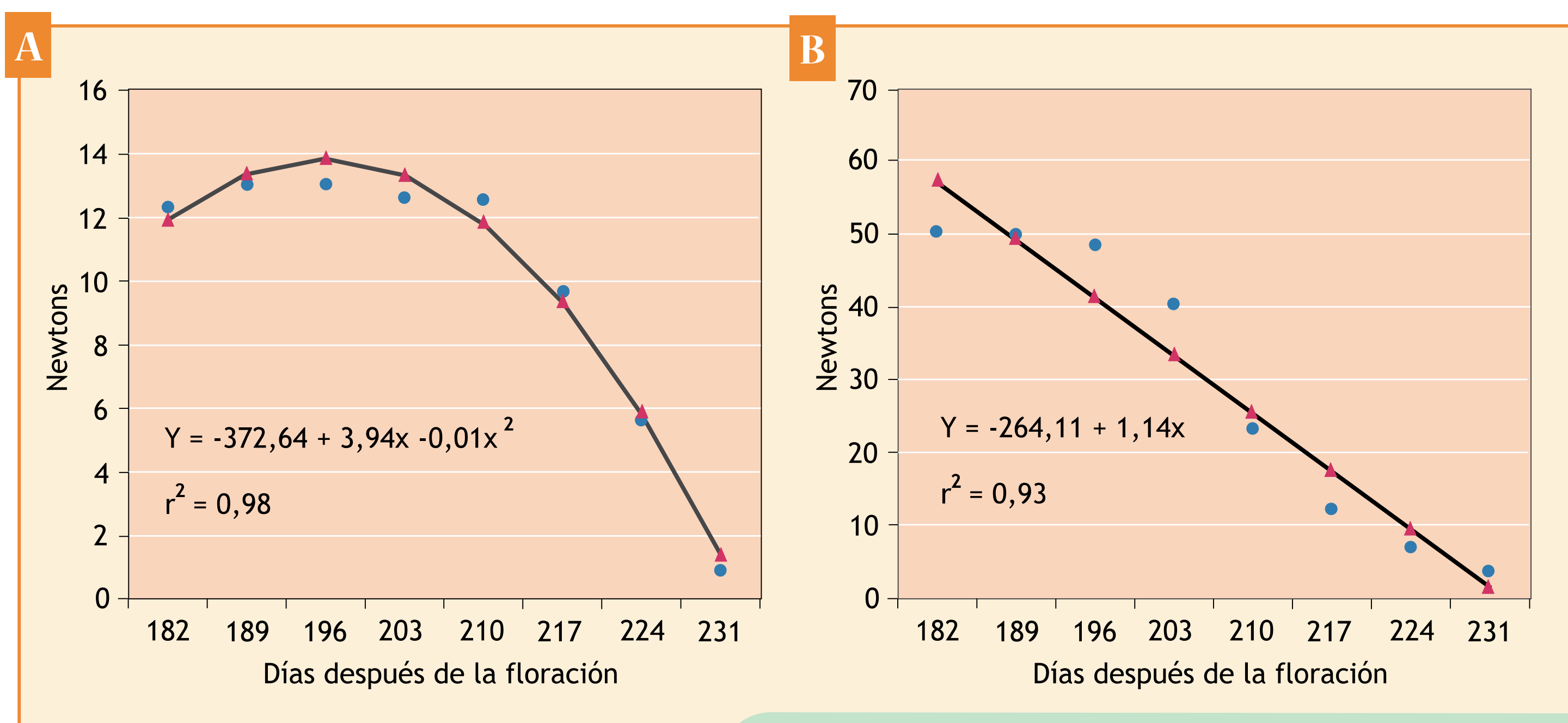


Figura 2.29. Comportamiento de la fuerza de tracción (A) y la firmeza ecuatorial (B), de acuerdo con los días transcurridos después de la floración (Marín *et al.*, 2003).

en la etapa de comercialización y actuar correctivamente para disminuirlos, y de esta forma contribuir al mejoramiento de los ingresos del caficultor.

Características de la almendra. La sanidad, el tamaño, el peso y la apariencia, son características básicas en la clasificación de la almendra para determinar su disposición final en el mercado. El rendimiento en trilla es de importancia, debido a que con este criterio se determina el rendimiento real del café, basados en la calidad del grano mediante la relación de la pérdida de peso de 250 gramos de café pergamino seco durante el proceso de trilla. El rango permitido de rendimiento en trilla debe ser menor o igual a 100 kg de café pergamino seco, para obtener un saco de 70 kg de café almendra o excelso, con una merma de impurezas y cisco de 18,2 kg y 4 kg de subproductos y pasilla (Federación Nacional de Cafeteros, 2000). Este valor de trilla y porcentaje de merma, se obtuvo en los frutos pintones (210 ddf) y maduros (217 ddf), con rendimientos de 100,25 y 92,5 kg de café pergamino seco.

En este estudio se observó un alto porcentaje de daño de almendra por broca, lo que afecta la determinación del rendimiento, pero cuando a este valor se le aísla el defecto de broca y se ajusta el factor de trilla, los rendimientos pueden llegar a 93,11 kg para pintón, 90,14 kg para maduro y 89,99 kg para sobremaduro. En general, el defecto por ataque de insectos es una variable que se puede manejar en el campo, y de esta manera mejorar el rendimiento en trilla.

Los frutos verdes (verde 1, verde 2, verde 3, verde amarillo) y secos, presentaron los mayores valores de rendimiento en trilla, desde 120,17 hasta 178,83 kg, lo que hace evidente que no son estados económicamente viables, debido a que se necesitan entre 27,37 y 86,03 kg más de café pergamino seco para obtener un saco de almendra. De igual forma, se hace necesario realizar una selección minuciosa de las almendras, por el alto porcentaje de defectos presentado en cada uno de estos estados.

Calidad de la bebida. Según la escala de calificación propuesta por Puerta (2000), la interpretación de la calidad sensorial, muestra tazas con defectos marcados en los estados verde 1, verde 2, verde 3, verde amarillo y seco. La bebida obtenida de los frutos entre los 182 y los 203 días después de la floración, presentó como defecto común el reposo, debido a la alta proporción de almendras con daños físicos ocasionados en el beneficio.

La taza proveniente de frutos secos, presenta defectos marcados de metal y reposo, originados tanto en el beneficio, debido a que estos frutos sufren un proceso de

trilla, como al alto porcentaje de almendras perforadas por insectos, lo cual demerita la calidad de la bebida. Solamente las tazas obtenidas con café en los estados de pintón, maduro y sobremaduro, presentaron buena calidad de la bebida.

Escala de maduración (Marín *et al.*, 2003). En la caracterización de la maduración del fruto del café se determinaron 8 estados de maduración (Tabla 2.4), encontrando 4 tipos de cerezas con tonalidades verdes, las cuales se diferencian por poseer un pobre beneficio, bajos rendimientos (conversión cc/cps y trilla) y baja calidad de la bebida. Estos frutos se observan entre los 182 y 203 días después de la floración (ddf).

A partir de los 210 ddf aproximadamente, se encuentran frutos en estado pintón. Estas cerezas poseen aceptables condiciones de beneficio y características de café pergamino y de trilla. La calidad de café obtenida de este tipo de frutos es de buena calidad.

Entre los 217 y 224 ddf, se encuentran los frutos maduros y sobremaduros, los cuales muestran condiciones óptimas de beneficio, café pergamino y trilla para cerezas maduras; mientras que el rendimiento en trilla en los frutos sobremaduros se ve afectado por la alta incidencia de broca. Estos dos estados presentan buena calidad de la bebida.





Los frutos secos se observan a los 231 ddf. Durante el beneficio de estos frutos se encuentran defectos como almendra pelada y abrasiones en los granos, y los rendimientos son bajos, debido a la presencia de defectos. La calidad de la bebida de estos frutos es deficiente.

En las Tablas 2.4 y 2.5, se presenta la caracterización de color, química, física, de rendimientos y calidad de la bebida, del fruto del café en diferentes estados de maduración a través del tiempo.

Acclerantes de la maduración en café

El Ethephon (ácido 2-cloroetil fosfónico) ha sido utilizado en varios países para acelerar la maduración de los frutos de café. En investigaciones realizadas en Cenicafe (Arcila, 1975; Upegui y Valencia, 1972), se ha encontrado que aunque es posible anticipar la maduración de los frutos hasta 4 semanas, con aplicaciones de este producto, también se afecta la calidad física del grano (defecto inmaduro) y la calidad de la bebida debido a la disminución de la acidez. Este resultado se explica por la desuniformidad en el desarrollo de los frutos, en las condiciones de la zona cafetera colombiana.

Tabla 2.4. Caracterización de los estados de maduración del fruto de café (*Coffea arabica*) desde los 182 hasta los 231 días después de la floración (Marín *et al.*, 2003).

Estado	Edad y color del fruto	Variables físicas promedio para el fruto			Variables de peso y humedad promedio para el fruto			Variables químicas (Promedio)		
		Variable	Valor	Desviación	Variable	Valor	Desviación	Variable	Valor	Desviación
 VERDE 1	182 días después de la floración (ddf). Color verde oscuro. Pantone (Process Color Guide)* C(35) M(0) Y(100) K(40)	Diámetro característico(cm)	11,54	+/-0,14	Peso fresco (g)	1,33	+/-0,03	Acidez titulable	9,4	+/-0,70
		Fuerza de tracción (N)	12,31	+/-0,54	Peso seco (g)	0,45	+/-0,03	Sólidos solubles totales	2,69	+/-0,27
		Firmeza ecuatorial (N)	50,33	+/-0,79	Relación peso fresco/seco	2,98	+/-0,16	pH	5,17	+/-0,06
		Firmeza polar (N)	49,48	+/-0,74	Humedad (%)	66,43	+/-4,72	Clorofilas totales (µg/g)	16,02	+/-1,52
 VERDE 2	189 ddf. Color verde oscuro. Tamaño mayor al estado verde 1 Pantone C(35) M(0) Y(100) K(20)	Diámetro característico(cm)	13,21	+/-0,11	Peso fresco (g)	1,33	+/-0,07	Acidez titulable	6,0	+/-0,30
		Fuerza de tracción (N)	13,07	+/-0,43	Peso seco (g)	0,45	+/-0,03	Sólidos solubles totales	3,22	+/-0,20
		Firmeza ecuatorial (N)	49,89	+/-2,64	Relación peso fresco/seco	2,98	+/-0,20	pH	5,18	+/-0,02
		Firmeza polar (N)	48,18	+/-0,52	Humedad (%)	66,36	+/-2,31	Clorofilas totales (µg/g)	12,99	+/-0,85
 VERDE 3	196 ddf. Coloración verde oscura brillante. Pantone C(40) M(20) Y(100) K(15)	Diámetro característico(cm)	13,92	+/-0,14	Peso fresco (g)	1,74	+/-0,07	Acidez titulable	5,7	+/-0,27
		Fuerza de tracción (N)	13,08	+/-0,42	Peso seco (g)	0,53	+/-0,04	Sólidos solubles totales	7,12	+/-0,59
		Firmeza ecuatorial (N)	48,56	+/-0,65	Relación peso fresco/seco	3,24	+/-0,11	pH	5,22	+/-0,01
		Firmeza polar (N)	48,16	+/-0,51	Humedad (%)	69,40	+/-1,01	Clorofilas totales (µg/g)	16,74	+/-1,27
 VERDE AMARILLO	203 ddf. Cerezas con color amarillento. Pantone C(20) M(0) Y(100) K(40)	Diámetro característico(cm)	13,85	+/-0,14	Peso fresco (g)	1,62	+/-0,09	Acidez titulable	5,1	+/-0,42
		Fuerza de tracción (N)	12,62	+/-0,49	Peso seco (g)	0,50	+/-0,03	Sólidos solubles totales	8,63	+/-0,42
		Firmeza ecuatorial (N)	40,36	+/-1,17	Relación peso fresco/seco	3,26	+/-0,04	pH	5,20	+/-0,05
		Firmeza polar (N)	41,13	+/-1,23	Humedad (%)	69,35	+/-0,40	Clorofilas totales (µg/g)	7,96	+/-0,85

Continúa...

...Continuación













Estado	Edad y color del fruto	Variables físicas promedio para el fruto			Variables de peso y humedad promedio para el fruto			Variables químicas (Promedio)		
 PINTÓN	210 ddf. Coloreado predominante. Pantone C(20) M(0) Y(100) K(40) C(10) M(75) Y(80) K(0)	Diámetro característico(cm)	13,38	+/-0,14	Peso fresco (g)	1,75	+/-0,07	Acidez titulable	6,7	+/-0,87
		Fuerza de tracción (N)	12,56	+/-0,40	Peso seco (g)	0,52	+/-0,12	Sólidos solubles totales	12,03	+/-0,27
		Firmeza ecuatorial (N)	23,32	+/-0,45	Relación peso fresco/seco	3,47	+/-0,69	pH	5,04	+/-0,11
		Firmeza polar (N)	23,63	+/-0,69	Humedad (%)	70,59	+/-3,74	Carotenoides (µg/g)	3,91	+/-0,07
 MADURO	217 ddf. Rojo brillante a rojo opaco. Pantone C(0) M(100) Y(90) K(10) C(10) M(80) Y(70) K(15)	Diámetro característico(cm)	14,22	+/-0,11	Peso fresco (g)	1,99	+/-0,06	Acidez titulable	11,4	+/-0,60
		Fuerza de tracción (N)	9,66	+/-0,26	Peso seco (g)	0,60	+/-0,02	Sólidos solubles totales	17,53	+/-2,34
		Firmeza ecuatorial (N)	12,37	+/-0,45	Relación peso fresco/seco	3,30	+/-0,08	pH	4,95	+/-0,07
		Firmeza polar (N)	12,17	+/-0,45	Humedad (%)	69,70	+/-0,76	Carotenoides (µg/g)	2,22	+/-1,11
 SOBREMADURO	224 ddf. Morado brillante a morado oscuro opaco. Pantone C(10) M(100) Y(50) K(30) C(0) M(35) Y(0) K(100)	Diámetro característico(cm)	14,09	+/-0,14	Peso fresco (g)	1,88	+/-0,06	Acidez titulable	21,5	+/-1,14
		Fuerza de tracción (N)	5,63	+/-0,30	Peso seco (g)	0,63	+/-0,03	Sólidos solubles totales	23,83	+/-0,92
		Firmeza ecuatorial (N)	6,93	+/-0,35	Relación peso fresco/seco	3,00	+/-0,14	pH	4,76	+/-0,08
		Firmeza polar (N)	8,78	+/-0,42	Humedad (%)	66,59	+/-1,53	Carotenoides (µg/g)	3,12	+/-0,16
 SECO	231 ddf. Color café oscuro, cereza arrugada a seca. Pantone C(0) M(0) Y(35) K(100) C(0) M(0) Y(25) K(80)	Diámetro característico(cm)	10,57	+/-0,11	Peso fresco (g)	0,66	+/-0,13	Acidez titulable	38,9	+/-4,13
		Fuerza de tracción (N)	0,89	+/-0,13	Peso seco (g)	0,45	+/-0,05	Sólidos solubles totales	20,05	+/-2,94
		Firmeza ecuatorial (N)	3,49	+/-0,58	Relación peso fresco/seco	1,45	+/-0,14	pH	4,56	+/-0,08
		Firmeza polar (N)	5,05	+/-0,77	Humedad (%)	29,90	+/-6,61	Carotenoides (µg/g)		
							Antocianinas (µg/g)	1,52	+/-0,04-	
							Antocianinas (µg/g)	8,26	+/-0,77	
							Antocianinas (µg/g)	47,15	+/-16,53	

Tabla 2.5. Escala de maduración del café variedad Colombia, para el beneficio, rendimiento y calidad de la bebida.

Estado	Características del beneficio (promedio)			Características del café pergamino (promedio).			Características de la almendra (promedio)		Granulometría (promedio)		Calidad de bebida* (promedio)		
 VERDE 1	Pergamino	17,78%	+/-1,44	Relación cc/cps	43%		Rendimiento en trilla	173,4	Malla 12	1,01%	Intensidad del aroma	3,92	+/-0,65
	Almendra pelada	0,80 %	+/-21,53	Pergamino seco	40,00%	+/-12,29	Merma	9,33%	Malla 14	4,52%	Aroma de la bebida	4,17	+/-0,56
	Defectos	17,30%	+/-15,35	Almendra pelada	31,97%	+/-3,98	Almendra sana	45,32%	Malla 15	8,46%	Acidez	2,92	+/-0,25
	Broca	0,77%	+/-3,3	Defectos	17,27%	+/-9,49	Almendra con defectos	55,03%	Malla 16	21,96%	Amargo	2,92	+/-0,25
 VERDE 2	Pergamino	30,56%	+/-6,62	Relación cc/cps	11,47		Rendimiento en trilla	175,8	Malla 12	1,59%	Intensidad del aroma	3,00	+/-0
	Almendra pelada	44,91%	+/-8,98	Pergamino seco	41,90%	+/-10,27	Merma	9,98%	Malla 14	6,45%	Aroma de la bebida	3,00	+/-0
	Defectos	12,33%	+/-6,13	Almendra pelada	29,23%	+/-8,57	Almendra sana	44,95%	Malla 15	15,39%	Acidez	2,50	+/-0,63
	Broca	1,26%	+/-1,43	Defectos	17,40%	+/-2,82	Almendra con defectos	55,05%	Malla 16	35,87%	Amargo	2,33	+/-0,63
	Pulpa	3,51%	+/-1,77	Broca	0,70%	+/-0,89	Almendra sobre Malla 14	98,41%	Malla 17	40,96%	Cuerpo	2,33	+/-0,63
	Café sin despulpar	7,98%	+/-3,90	Guayaba	7,20%	+/-3,86	Almendra sobre Malla 12	1,59%			Impresión global	2,33	+/-0,63
 VERDE 3	Pergamino	17,60%	+/-13,81	Relación cc/cps	25,34		Rendimiento en trilla	178,7	Malla 12	0,91%	Intensidad del aroma	3,00	+/-0,63
	Almendra pelada	41,82%	+/-25,49	Pergamino seco	22,53%	+/-11,98	Merma	6,13%	Malla 14	3,93%	Aroma de la bebida	3,00	+/-0,42
	Defectos	28,49%	+/-9,53	Almendra pelada	49,17%	+/-13,48	Almendra sana	42,33%	Malla 15	10,93%	Acidez	3,00	+/-0,55
	Broca	0,91%	+/-1,2	Defectos	20,33%	+/-6,34	Almendra con defectos	57,67%	Malla 16	20,91%	Amargo	3,00	+/-0,55
	Pulpa	5,34 %	+/-5,95	Broca	0,43%	+/-1,28	Almendra sobre Malla 14	99,09%	Malla 17	63,33%	Cuerpo	3,00	+/-0,55
	Café sin despulpar	5,86%	+/-0,93	Guayaba	4,60%	+/-1,74	Almendra sobre Malla 12	0,91%			Impresión global	3,00	+/-0,55
	Impurezas			Impurezas	3,07%	+/-1,50							
 VERDE AMARILLO	Pergamino	43,51%	+/-11,88	Relación cc/cps	9,87		Rendimiento en trilla	120,1	Malla 12	0,26%	Intensidad del aroma	3,00	+/-0,83
	Almendra pelada	27,66%	+/-3,95	Pergamino seco	48,86%	+/-12,31	Merma	8,94%	Malla 14	1,86%	Aroma de la bebida	3,00	+/-0,51
	Defectos	16,03%	+/-7,34	Almendra pelada	27,85%	+/-9,98	Almendra sana	64,48%	Malla 15	7,77%	Acidez	2,92	+/-0,61
	Broca	1,93%	+/-1,19	Defectos	15,68%	+/-4,20	Almendra con defectos	35,52%	Malla 16	25,93%	Amargo	2,92	+/-0,55
	Pulpa	4,92%	+/-4,89	Broca	0,48%	+/-0,45	Almendra sobre Malla 14	99,74%	Malla 17	64,18%	Cuerpo	2,92	+/-0,59
	Café sin despulpar	6,11%	+/-1,92	Guayaba	4,49%	+/-1,67	Almendra sobre Malla 12	0,26%			Impresión global	2,92	+/-0,59
	Impurezas			Impurezas	2,73%	+/-1,33							
 PINTÓN	Pergamino	74,55%	+/-8,65	Relación cc/cps	6,27		Rendimiento en trilla	100,2	Malla 12	0,50%	Intensidad del aroma	6,58	+/-0,99
	Almendra pelada	7,62%	+/-4,22	Pergamino seco	76,99%	+/-6,90	Merma	16,28%	Malla 14	2,54%	Aroma de la bebida	6,50	+/-1,06
	Defectos	6,83%	+/-5,60	Almendra pelada	8,47%	+/-4,40	Almendra sana	83,78%	Malla 15	8,00%	Acidez	7,00	+/-0,54
	Broca	7,12%	+/-8,97	Defectos	8,95%	+/-1,84	Almendra con defectos	16,22%	Malla 16	19,43%	Amargo	7,00	+/-0,69
	Pulpa	2,58 %	+/-2,84	Broca	1,91%	+/-1,68	Almendra sobre Malla 14	99,50%	Malla 17	69,53%	Cuerpo	7,00	+/-0,87
	Café sin despulpar	1,42%	+/-2,06	Guayaba	2,14%	+/-1,38	Almendra sobre Malla 12	0,87%			Impresión global	7,00	+/-0,87
			Impurezas	1,65%	+/-0,41								

Continúa...

...Continuación

Estado	Características del beneficio (promedio)			Características del Café pergamino (promedio)			Características de la almendra		Granulometría (promedio)		Calidad de bebida* (promedio)			
 MADURO	Pergamino	90,94%	+/-5,08	Relación cc/cps	5,04		Rendimiento en trilla	92,4	Malla 12	0,68%	Intensidad del aroma	6,92	+/-0,42	
	Almendra pelada	0,22%	+/-0,36	Pergamino seco	94,59%	+/-0,53	Merma	18,05%	Malla 14	3,16%	Aroma de la bebida	6,83	+/-0,18	
	Defectos	1,15%	+/-0,56	Almendra pelada	1,21%	+/-0,54	Almendra sana	93,06%	Malla 15	13,72%	Acidez	7,25	+/-0,33	
	Broca	7,67%	+/-4,19	Defectos	1,16%	+/-0,43	Almendra con defectos	6,94%	Malla 16	27,10%	Amargo	7,42	+/-0	
	Pulpa	0,27%	+/-0,39	Broca	2,82%	+/-1,08	Almendra sobre Malla 14	99,31%	Malla 17	55,35%	Cuerpo	7,17	+/-0	
	Café sin despulpar	0,00%	+/-0-	Guayaba	0,28%	+/-0,17	Almendra sobre Malla 12	0,69%				Impresión global	7,17	+/-0
 SOBREMADURO	Pergamino	84,35%	+/-5,39	Impurezas	0,30%	+/-0,03	Rendimiento en trilla	101,4	Malla 12	---	Intensidad del aroma	6,75	+/-0,32	
	Almendra pelada	0,73%	+/-0,36	Relación cc/cps	5,25		Merma	18,22%	Malla 14	0,76%	Aroma de la bebida	7,00	+/-0,32	
	Defectos	0,75%	+/-0,40	Pergamino seco	88,64%	+/-3,57	Almendra sana	85,47%	Malla 15	3,41%	Acidez	7,00	+/-0,33	
	Broca	13,81%	+/-5,32	Almendra pelada	1,25%	+/-0,51	Almendra con defectos	14,53%	Malla 16	13,79%	Amargo	7,00	+/-0,18	
	Pulpa	0,65%	+/-0,39	Defectos	1,86%	+/-0,80	Almendra sobre Malla 14	99,07%	Malla 17	82,04%	Cuerpo	6,92	+/-0,25	
	Café sin despulpar	0,08%	+/-0,21	Broca	6,38%	+/-2,61	Almendra sobre Malla 12	0,93%				Impresión global	6,92	+/-0,25
 SECO	Pergamino	6,27%	+/-2,98	Impurezas	0,61%	+/-0,25	Rendimiento en trilla	158,7	Malla 12	0,33%	Intensidad del aroma	5,83	+/-1,09	
	Almendra pelada	56,06%	+/-8,53	Relación cc/cps	68,41		Merma	2,22%	Malla 14	2,63%	Aroma de la bebida	5,33	+/-0,56	
	Defectos	3,91%	+/-0,49	Pergamino seco	4,76%	+/-3,11	Almendra sana	45,27%	Malla 15	6,37%	Acidez	2,92	+/-0,19	
	Broca	30,80%	+/-9,38	Almendra pelada	47,30%	+/-10,14	Almendra con defectos	54,73%	Malla 16	25,97%	Amargo	2,83	+/-0,19	
	Pulpa	2,12%	+/-0,69	Defectos	9,45%	+/-2,14	Almendra sobre Malla 14	99,67%	Malla 17	64,70%	Cuerpo	2,83	+/-0,19	
	Café sin despulpar	1,44%	+/-2,07	Broca	35,97%	+/-13,27	Almendra sobre Malla 12	0,33%				Impresión global	2,83	+/-0,19
				Guayaba	1,84%	+/-1,50								
			Impurezas	0,79%	+/-0,24									

Fase de senescencia del cafeto

Como se anotó, el cafeto es una planta perenne y se considera que a plena exposición solar alcanza su crecimiento y productividad máxima entre los 6 y 8 años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora

paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad.

El ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, la luminosidad, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de plagas y enfermedades, o del estrés ambiental, entre otros.

CONSIDERACIONES PRÁCTICAS. Cuando los brotes han completado su máximo desarrollo, la planta tiene un aspecto vigoroso con una tonalidad verde oscuro intenso y las hojas tienen en promedio un área de 30 cm². Mientras que cuando las hojas envejecen las tonalidades cambian de verde intenso a amarillo con manchas rojas y se caen especialmente en la época de cosecha. Un estrés hídrico prolongado acelera el envejecimiento de las hojas y como respuesta de la planta al final de éste, se observa un amarillamiento acelerado y la pérdida de gran cantidad de hojas; no obstante, la planta se recupera rápidamente al rehidratarse.

A medida que la planta envejece, el follaje se torna de un color verde pálido y ocurre una defoliación en las ramas de la parte baja de la planta. Después de tres o cuatro cosechas la zona de producción del árbol se mueve hacia la parte media y superior en el tallo principal y hacia la parte exterior de las ramas; así mismo, las hojas son de menor tamaño que el normal y se observa una fuerte defoliación en la parte inferior y al interior de la planta. También, se produce la muerte de algunas ramas en la base de la planta. Este proceso es más acentuado en cafetos descopados.

Cuando la zona de producción se limita a unas pocas ramas en la parte apical del tallo y a unos pocos nudos hacia el ápice de las ramas, y se observa una defoliación severa, es indicio de que el cafeto ha alcanzado un alto grado de senescencia y baja productividad, por lo cual es necesario renovar la plantación.

El envejecimiento de la planta puede acelerarse cuando se presentan situaciones especiales de desequilibrio entre el desarrollo de la parte aérea y la zona radical, o cuando la cosecha es alta y la planta no tiene suficientes nutrimentos orgánicos y minerales para sustentarla. Un excesivo desarrollo foliar debido al exceso de fertilizante nitrogenado, a la eliminación inoportuna de los brotes ortotrópicos (chupones) o a densidades de siembra por encima de las recomendadas, causan insuficiente penetración de luz al interior de la planta y reducen su período de vida útil.

Un caso especial de envejecimiento prematuro del cafeto es el denominado “paloteo” y ocurre cuando la planta se siembra en sitios con limitaciones de suelo o clima, por ejemplo en suelos pesados que limitan el desarrollo radical o como es el caso de las zonas propensas a sequías prolongadas, o zonas muy calientes y excesivamente húmedas. El paloteo también puede presentarse debido a la mala nutrición del cafeto, al control tardío de arvenses o al ataque grave de enfermedades que causan defoliación severa.

Escala para la descripción de las fases fenológicas durante el crecimiento y desarrollo de la planta de café (*Coffea sp.*)

El conocimiento de la fenología de los cultivos es importante para la planeación de las épocas oportunas para la realización de ciertas prácticas culturales como la aplicación de fertilizantes y, el control de plagas, enfermedades y arvenses, entre otras.

Existen varias descripciones de las etapas de crecimiento del árbol de café (Arcila *et al.*, 1993; Arcila,

1990; Camargo, 1985; Cannell, 1985; Fournier y Herrera, 1983; De Reffye *et al.*, 1989; Snoeck, 1991; Trojer, 1968; Zimbabwe Coffee Growers Association, 1987), pero como es el caso para la mayoría de las plantas cultivadas, no existe un criterio unificado para describir su fenología. La mayoría de estas descripciones se refieren a un estado particular del crecimiento y no se ha realizado ningún esfuerzo para establecer una descripción uniforme del crecimiento del cafeto, para su uso generalizado.

Desde la propuesta de Zadocks *et al.* (1974) de un código decimal para la descripción de las etapas de crecimiento de cereales, ha habido un interés creciente por extender estos principios generales para la descripción a otros cultivos incluyendo: monocotiledóneas, dicotiledóneas, gramíneas y especies perennes), (Bleiholder *et al.*, 1991; Lancashire *et al.*, 1991).

Con base en la descripción de Zadocks, en los últimos años, Bleiholder *et al.* (1991), Lancashire *et al.* (1991) y Hack *et al.* (1992), propusieron un código decimal uniforme para la descripción de los estados de desarrollo de los cultivos, conocido como la “escala BBCH”. Una escala más avanzada, la “escala BBCH ampliada” fue propuesta por Hack *et al.* (1992) y Hess *et al.* (1997). De acuerdo con esta escala universal, con base en criterios fenológicos y mediante un conjunto de códigos numéricos consistentes, es posible establecer una única codificación uniforme para describir los estados de crecimiento del mayor número de especies de plantas.

En la “escala BBCH ampliada”, de Arcila *et al.* (2006), se identifican los estados principales del crecimiento y desarrollo del café y sus correspondientes estados secundarios, mediante un código decimal compuesto por dos dígitos, de 0 a 9. Los estados principales se identifican mediante el primer dígito y los secundarios mediante el segundo.

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de la “escala BBCH ampliada” y su código decimal para la descripción de las etapas del crecimiento y desarrollo de la planta de café.

Estados principales del crecimiento

La escala BBCH ampliada (Bleiholder *et al.*, 1991; Lancashire *et al.*, 1991) incluye 10 estados principales, los cuales se codifican de 0 a 9 y se inician con la germinación de la semilla o el desarrollo de brotes en las estacas o los tocones de las zocas (Estado 0). El crecimiento vegetativo se caracteriza por tres macroestados correspondientes al desarrollo foliar en el almácigo y en las ramas de plantas en el campo (Estado 1), la formación de ramas (Estado 2), y su elongación (Estado 3). El desarrollo de órganos vegetativos cosechables (Estado 4 de la escala general) no se consideró por no ser característico del desarrollo de la planta de café. El crecimiento reproductivo representado por el desarrollo de la inflorescencia y de la flor se considera en el Estado 5 y la floración en el Estado 6. El desarrollo del fruto (Estado 7) y su maduración (Estado 8), completan el ciclo reproductivo. Los procesos de senescencia o envejecimiento de la planta se incluyen en el Estado 9 y completan la escala.

Estados secundarios del crecimiento

Las etapas secundarias de crecimiento se enumeran también de 0 a 9 y corresponden a valores ordinales o porcentajes de desarrollo. Por ejemplo, para el desarrollo de la hoja (Estado 1), al 5° par de hojas verdaderas se le asigna un valor de 5 y su código de identificación en la escala será de 15; para la elongación de la rama (Estado 3), cuando ésta presenta 20 nudos se le asigna

un valor de 2 y su código de identificación en la escala será 32; de esta misma manera, cuando un 10% de las flores están abiertas, se le asigna un valor de 1 dentro del Estado principal 6 (floración) y se definirá como 61 en la escala.

Para la maduración de los frutos, el cambio de color fue el criterio considerado y así, el estado 88 corresponde a los frutos completamente rojos o amarillos y listos para ser recolectados. El código de estado 89 significa que los frutos están sobremaduros o en proceso de deterioro.

“Escala BBCH ampliada” para la descripción de las fases fenológicas de la planta de café *Coffea* sp. (Arcila *et al.*, 2001)

Estado principal de crecimiento 0 :

Germinación, propagación vegetativa

00 Semilla seca (11 - 12% de humedad), de color amarillento si el pergamino está presente o verde - azulado si se ha removido el pergamino y la película plateada (trillado). Estaca (ortotrópica, mononodal, 60 mm de largo, dos hojas recortadas a la mitad). Tallos de la zoca con dos nudos abultados y aún sin brote visible.

01 Se inicia la imbibición de la semilla, la almendra aparece hinchada, color blanquecino, la radícula no es visible. Estaca plantada en el medio de enraizamiento. No hay brotes ni formación de callos.

03 Se completa la imbibición de la semilla, la almendra aparece blanca y con un ligero abultamiento en el extremo donde se ubica el embrión. Comienza la formación de callo en las estacas. Yemas redondas de color verde, visibles en los tallos de las zocas.

05 La radícula brota de la semilla y aparece curvada. Brotes visibles en las estacas. Comienza la formación de brotes en los tallos de las zocas.

06 Elongación de la radícula, formación de raicillas y raíces laterales en la semilla y las estacas.

07 El hipocótilo sobresale del suelo y se observan los cotiledones todavía encerrados en el pergamino. Las estacas han formado brotes y tienen raíces ramificadas.

09 *Emergencia:* Las semillas han surgido desde el suelo y se ven los hipocótilos con los cotiledones emergiendo a través del pergamino. Las estacas muestran raíces de 6 a 7 cm de largo y brotes con 1 ó 2 nudos. Los tocones tienen retoños con los primeros pares de hojas.

Estado principal de crecimiento 1:

Desarrollo de la hoja, en el tallo de la planta de almácigo o en las ramas del árbol

10 Cotiledones completamente abiertos. Primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice del tallo o el primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice de la rama.

11 Primer par de hojas abierto pero aún no alcanzan su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas.

12 2 pares de hojas abiertas pero sin alcanzar su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas.

13 3 pares de hojas abiertas pero sin alcanzar su tamaño final. El tercer par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro.

14 4 pares de hojas abiertas. El cuarto par de hojas a partir del ápice es de color verde oscuro y ha alcanzado su tamaño final.

Los estados continúan hasta ...

19 9 ó más pares de hojas abiertas visibles.

En este caso se diferencié entre el desarrollo de la hoja en las plantas de almácigo y el desarrollo de la hoja en las ramas del árbol, por esta razón, en las plantas jóvenes se cuenta cada par de hojas mientras que para el árbol se considera el conjunto de hojas nuevas.

Estado principal de crecimiento 2:

Formación de ramas (plantas en el campo)

20 Primer par de ramas primarias visibles.

21 0 pares de ramas primarias visibles.

22 20 pares de ramas primarias visibles.

23 30 pares de ramas primarias visibles.

Los estados continúan hasta ...

29 90 ó más pares de ramas primarias visibles.

Estado principal de crecimiento 3:

Elongación de las ramas

31 10 nudos presentes en la (s) rama(s).

32 20 nudos presentes en la(s) rama(s).
Los estados continúan hasta ...

39 90 ó más nudos presentes en la(s) rama(s).

Estado principal de crecimiento 5 :

Desarrollo de la inflorescencia

51 Las yemas de las inflorescencias se observan como hinchamientos en las axilas foliares.

53 Las yemas de las inflorescencias se hacen visibles por encima de las estípulas y están cubiertas por un mucílago de color castaño; no se observan botones florales.

57 Flores visibles, con sus corolas pegadas entre sí, emergen en inflorescencias multiflorales (3 a 4 flores por inflorescencia).

58 Flores visibles, separadas entre sí, todavía cerradas; pétalos 4 a 6 mm de longitud y de color verde (estado de latencia).

59 Flores con pétalos alargados (6 a 10 mm de longitud), todavía cerrados y blancos.

En este caso se manejan dos aspectos: 1) Desarrollo de la inflorescencia en las axilas foliares (nudos en las ramas), y 2) Desarrollo de la flor en cada inflorescencia.

Estado principal de crecimiento 6:

Floración

60 Primeras flores abiertas.

61 10% de las flores están abiertas.

63 30% de las flores están abiertas.

65 50% de las flores están abiertas.

67 70% de las flores están abiertas.

69 90% de las flores están abiertas.

Estado principal de crecimiento 7:

Desarrollo del fruto y de la semilla

70 Frutos visibles como pequeñas cerezas amarillentas.

71 Cuajamiento del fruto: Iniciación del crecimiento de la cereza. Los frutos han alcanzado el 10% de su tamaño final (cabeza de alfiler).

73 Frutos de color verde claro y su contenido es líquido y cristalino. Los frutos han alcanzado el 30% de su tamaño final (fase de crecimiento rápido).

75 Frutos de color verde claro y su contenido es líquido y cristalino. Los frutos han alcanzado el 50% de su tamaño final.

77 Frutos de color verde oscuro y su contenido es sólido y blanco. Los frutos han alcanzado el 70% de su tamaño final.

79 Frutos de color verde oliva y su contenido es sólido y blanco. Los frutos han alcanzado el 90% de su tamaño final (madurez fisiológica).

Estado principal de crecimiento 8 :

Maduración del fruto y de la semilla

81 Se inicia el cambio de color del fruto de verde oliva a rojo o amarillo.

85 Incremento en la intensidad del color rojo o amarillo del fruto (específico de la variedad); fruto todavía no apto para recolectar.

88 Fruto está completamente maduro y listo para cosecha.

89 Sobremaduro; comienzan a ennegrecerse o secarse los frutos. Estos permanecen en el árbol y se inicia la abscisión.

Estado principal de crecimiento 9:

Senescencia

90 Los brotes han alcanzado su desarrollo completo; la planta tiene un color verde intenso; las hojas son del tamaño normal para el cultivar y la cosecha se ubica en la parte baja de la planta.

93 Las hojas más viejas cambian de color verde oscuro a un color amarillo con manchas rojas y hay defoliación principalmente en la época de cosecha.

94 El follaje se torna a un color verde oliva. Se observa defoliación en la parte basal del tallo y de las ramas inferiores.

97 La zona de producción se ha trasladado hacia la parte más superior del tallo y hacia los extremos apicales de las ramas. Las hojas son de menor tamaño que para el normal del cultivar; se observa defoliación fuerte en la parte basal y al interior de la planta, algunas ramas de la base de la planta aparecen muertas.

98 La zona de producción se limita a unas pocas ramas de la parte superior de la planta y a algunos nudos de la parte apical de éstas. La planta está altamente defoliada. Se ha alcanzado un alto grado de envejecimiento. El 90% o más de la cosecha se ha completado.

99 Tratamientos de postcosecha o almacenamiento.