

DESARROLLO FLORAL DEL CAFETO Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE CHINCHINÁ-CALDAS

Gloria Cecilia Camayo-Vélez*; Bernardo Chaves-Córdoba**; Jaime Arcila-Pulgarín***; Álvaro Jaramillo-Robledo***.

RESUMEN

CAMAYO V., G.C.; CHAVES C., B.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas. *Cenicafé* 54 (1): 54(1)35-49.2003

Con el fin de relacionar las diferentes etapas del desarrollo floral de *Coffea arabica* L. c.v. Colombia y algunas variables climáticas como el índice de humedad en el suelo (R), la temperatura mínima (Tmin) y el brillo solar (BS), en la zona cafetera central de Colombia, se determinó la frecuencia relativa del cambio semanal de un estado a otro durante el desarrollo de nudos (E) y botones florales (B) en la Estación Central de Cenicafé, Naranjal en Chinchiná, Caldas. Se utilizó la teoría de Funciones de Transferencia Simple para relacionar dos series cronológicas. El ajuste entre los valores estimados por el modelo de función de transferencia y los valores observados permitió mostrar que esta es una herramienta útil para la predicción del comportamiento de la floración en respuesta a las variables climáticas.

Palabras claves: Clima, factores ambientales, *Coffea*, fisiología, floración, zona cafetera, correlación, modelo.

ABSTRACT

In order to relate the different floral development stages of *Coffea arabica* L. c.v. Colombia and some climatic variables such as soil moisture (R), minimum temperature (Tmin) and sunshine (BS) in the Colombian central coffee zone, the relative frequency of week change from one state to another during the sprout (E) and flower buds (B) was determined in the Central Station of Cenicafé, Naranjal in Chinchiná, Caldas. The Function of Simple Transference theory was used. The adjustment among values estimated by the model of transference function and the values observed allowed to show that this is a useful tool for the prediction of flourishing behavior as a response to climatic variables.

Keywords: Climate, environmental factors, *Coffea*, physiology, flowering, coffee zones, correlation, models.

-
- * Licenciada en Biología. Fisiología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.
 - ** Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia
 - *** Investigador Principal I. Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná Caldas, Colombia
 - **** Investigador Científico II. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná - Caldas, Colombia.

La floración es el comienzo de la fase reproductiva del cafeto y de su magnitud depende en gran parte la cosecha resultante. Este proceso comprende varias etapas como la inducción, iniciación, diferenciación, crecimiento y desarrollo, latencia y antesis (5, 17, 19, 23, 24, 26, 30). Cada una de estas fases es afectada por factores exógenos y endógenos particulares que determinan diferentes patrones de crecimiento y desarrollo de los órganos florales de acuerdo a la variedad y a las condiciones ambientales predominantes.

La periodicidad del desarrollo floral en café y su relación con los factores ambientales ha sido examinada en varias regiones del mundo como en la India (19), en Kenia (30), en Brasil (4), en el Congo (24), y en Colombia (29). Se ha establecido que, en general, el fotoperíodo (16), la distribución de los períodos húmedos y secos (5, 13, 14) y la temperatura (22), son los principales factores ambientales que la afectan y como resultado las floraciones se concentran o dispersan a través del año. Por ejemplo, en Colombia y en el Este de Kenia, se registran dos períodos principales de floración que coinciden con el final de períodos secos y comienzo de los lluviosos, no obstante, ocurren floraciones esporádicas y de poca magnitud a través del año (1, 28, 30). En Brasil y Etiopía se registra una sola floración importante en el año (4, 5).

De las fases que comprenden el proceso de floración las más estudiadas han sido la inducción, la latencia y la antesis. La inducción floral depende del fotoperíodo. El cafeto es una planta de día corto, con fotoperíodo crítico de 13,5 horas (16, 25). Cannell (9, 10) sugiere que las plantas jóvenes son sensibles al fotoperíodo y las adultas son neutras o insensibles, y registra además que la longitud del día no juega un papel predominante en la regulación del ciclo estacional del crecimiento y floración sino que está más relacionada con los cambios estacionales en la temperatura, el

estado hídrico de las plantas y con el ciclo mismo de fructificación. Drinnan y Menzel (14) sugieren que el patrón de iniciación floral no es afectado por el estado hídrico de la planta y dependiendo de su severidad y del cultivar, puede tener efecto inhibitorio o no afecta la iniciación floral. Déficit hídricos mayores de 2,5 MPa inhiben la iniciación floral. También sugieren que las temperaturas altas, por encima de 28°C, inhiben la iniciación floral y que temperaturas de 23°C día /18°C noche, la promueven.

Con relación a la latencia, se ha sugerido que durante el crecimiento y desarrollo de las yemas florales se puede presentar este estado varias veces (5). Es reconocido que uno de estos estados de latencia ocurre cuando las yemas florales han alcanzado un desarrollo de 4-6 mm. Entre los factores más relevantes que la favorecen han sido señaladas la presencia de niveles altos de ABA (7), deficiencias hídricas (1, 5), y temperaturas bajas (18), entre otros.

La latencia y la antesis han sido objeto de muchas investigaciones y se reconoce que las yemas en latencia requieren de un acondicionamiento provisto por un período de estrés hídrico y que ésta se rompe al interrumpirlo mediante irrigación o lluvia (1, 14). Incremento de hormonas promotoras, especialmente AG (1, 7), y cambios en los tejidos conductores a nivel del tallito de la inflorescencia también juegan un papel (13).

Según Wormer y Gituanja (30) pueden ocurrir cambios en el patrón de floración, de tardío a temprano o viceversa, por efecto de las podas, la condición del árbol (cosecha) y los patrones de clima. En Colombia, Trojer (29), sugirió que la cantidad de horas de brillo solar tiene relación directa con la floración y que además, existe un Ecuador fenológico que delimita dos patrones de floración para el primer o segundo semestre, de acuerdo con su magnitud.

A pesar de su importancia, el proceso de floración ha sido muy poco estudiado en Colombia. Solamente se tiene un conocimiento general y cualitativo sobre las épocas de floración en las distintas regiones (1, 2, 3, 29). Se conoce muy poco acerca de las etapas involucradas en el proceso y los factores que las afectan (4, 11, 12). El conocimiento del comportamiento de la floración es importante para establecer la distribución de la cosecha, estimar las necesidades de mano de obra para la recolección, mejorar la planificación de las prácticas culturales y del manejo de plagas y enfermedades que afectan el fruto, planear el flujo de ingresos en diferentes épocas del año, e identificar la época y el origen de problemas que afectan la calidad de la cosecha. Para la investigación, esta información es útil en programas de mejoramiento, sincronización de la cosecha, y estudios sobre plagas y enfermedades del fruto. Para la modelación del crecimiento y la producción del cultivo es de gran importancia obtener buenas predicciones de los estados de desarrollo vegetativos y reproductivos en función de variables ambientales específicas.

Como resultado de esta investigación, se presentan los resultados de las evaluaciones sobre el desarrollo floral del cafeto y su modelación mediante funciones de transferencia; además, se discute la importancia de conocer la periodicidad de las diferentes etapas de la floración en condiciones de la zona cafetera central colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo de campo se realizó en la Estación Central Naranjal de Cenicafé ubicada en la vertiente occidental de la Cordillera Central, en el departamento de Caldas, municipio de Chinchiná, con latitud 04° 59' Norte, longitud 75° 39' Oeste y altitud 1.400m. Como características climáticas se presentan los

siguientes valores promedios anuales: precipitación 2.711mm, temperatura media 20,7°C, temperatura máxima 26,8°C, temperatura mínima 16,3°C, brillo solar 1.800 horas, humedad relativa 78% y evaporación 1.284 mm (15).

Material vegetal. Se utilizaron plantas de *C. arabica* L., var. Colombia de 39 meses de edad, sembradas a 1,6x1,6m. En el lote experimental se tomaron en forma aleatoria 156 árboles a los cuales se les marcó el primer par de ramas ubicado más cerca del ápice del tallo. Semanalmente y durante el período marzo 30/94 a marzo 30/95 se seleccionaron al azar 3 árboles para realizar las observaciones morfológicas. En estas plantas se determinó el primer nudo de la rama y el tallo como punto de iniciación de las evaluaciones.

Selección y evaluación de nudos. En cada una de las ramas de los 156 árboles se marcó el ápice del primer nudo como fecha de iniciación y se continuó su observación semanalmente durante el período de estudio, con el fin de determinar los cambios morfológicos en las diferentes etapas del desarrollo floral. Los nudos se evaluaron de acuerdo a la escala de calificación registrada por Moens (24) y adaptada por Camayo (11, 12) (Figura 1).

Selección y evaluación de botones florales. En cada una de las ramas se seleccionaron yemas axilares y botones florales en los diferentes estados del desarrollo para determinar los cambios morfológicos durante su diferenciación y desarrollo. Estos se evaluaron de acuerdo a la escala de calificación registrada por Wormer y Gituanja (30), adaptada por Camayo (11, 12) (Figura 2). El seguimiento se hizo tomando ramas nuevas cada vez.

Evaluaciones morfológicas en Laboratorio. Semanalmente se cortaban las dos ramas previamente marcadas, que luego eran trasladadas al laboratorio para realizar en ellas las evaluaciones morfológicas. En cada una de

las ramas recolectadas se calificó el estado del desarrollo de los nudos y de los botones florales utilizando un estereoscopio para la disección y se removió la base del pecíolo de las hojas y las estípulas. Para cada estado de desarrollo se determinó el número de botones, el tamaño, el color y la presencia de mucílago, formados en cada yema axilar. Se midió la longitud de los botones florales en milímetros, con un calibrador Mituoyo ($\pm 0,05\text{mm}$), caracterizándolos morfológicamente con base en la escala de calificación de la organografía del nudo (2, 3) y la escala de calificación de los botones florales (30) (Figuras 1 y 2).

Información climática. La información climática se obtuvo de la Estación Meteorológica ubicada en la Estación Central Naranjal (Chinchiná-Caldas), a 100m del lote experimental. Diariamente se registraron los datos y a partir de éstos se calcularon los promedios semanales

para la temperatura media (T_{med}), la temperatura mínima (T_{min}), las horas de brillo solar (BS). A partir del balance hídrico se calculó la disponibilidad de agua (R) mediante la relación Evaporación Real sobre la Evaporación Potencial ($R=ER/EP$). A partir de la temperatura media y tomando como temperatura base 10°C , se obtuvieron las unidades térmicas y el tiempo térmico (grados día) (20).

Análisis estadístico. Para analizar la información se determinaron las frecuencias relativas semanales de pasar de un estado a otro en nudos y botones florales. Estas frecuencias relativas se calcularon teniendo en cuenta el número de nudos (E1, E2, E3, E4 y E5) y de botones florales (B1, B2, B3, B4 y B5) que pasaron de un estado particular al siguiente, dividido por el total de estados.

La relación entre las variables climáticas y la frecuencia relativa se analizó utilizando la

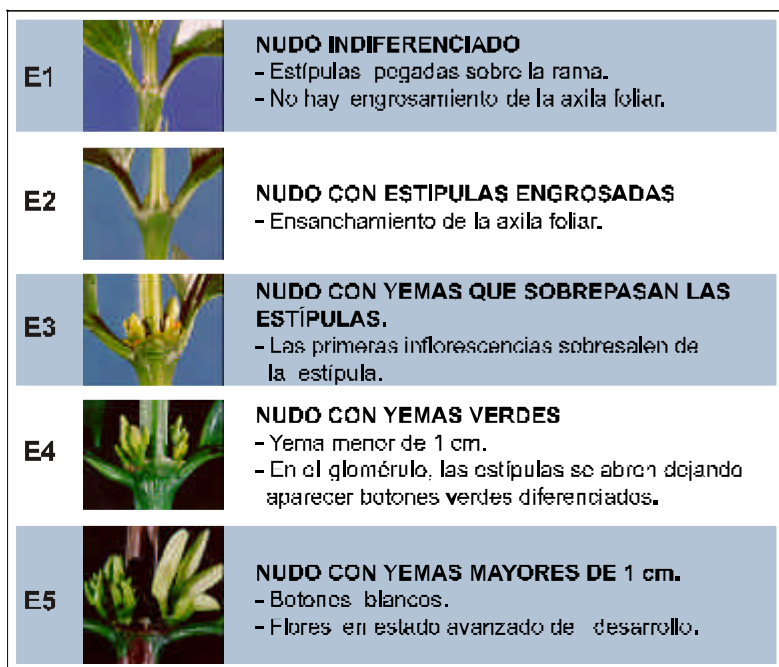


Figura 1.
Escala para la calificación de los estados de desarrollo del nudo (Adaptada de Moens 1968)

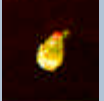

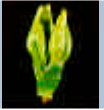

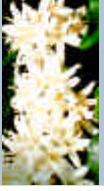
B1		Tamaño: 2 mm - Color verde cubiertas por las estípulas - Presencia de mucilago de color ámbar- - Botones florales indiferenciados
B2		Tamaño: 2.6 mm - Sobresalen por debajo de las estípulas. - Botón floral en desarrollo.
B3		Tamaño: 4.4 mm. - Color verde y botón desarrollado en estado latente.
B4		Tamaño: 6 a 10 mm. - Color blanco. Botones florales definidos próximos a abrir.
B5		Botones florales en antesis.

Figura 2.
Escala para la calificación del estado de desarrollo de los botones florales (Adaptada de Womer y Gituanja, 1970)

teoría de las funciones de transferencia simple o regresión dinámica (6), que consiste en relacionar dos series cronológicas. Los modelos de función de transferencia permiten medir la manera en que son transmitidos los efectos entre variables a través del tiempo. Un modelo de función de transferencia para la serie temporal y_t (variable respuesta) puede interpretarse como una representación matemática que descompone la historia de la serie en dos partes. La primera indica cómo una o varias variables explicativas x_t afectan a la variable y_t . La segunda contiene el efecto de todas las demás variables independientes x_t que no hacen parte del modelo. Este modelo se puede representar mediante la función:

$$y_t = y_t^* + N_t$$

donde y_t^* es la parte de y_t explicada por las variables x_t y N_t la no explicada. N_t se denomina

el proceso de inercia del modelo. En la construcción de un modelo de función de transferencia se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. La variable x_t influye sobre la variable y_{t+k} , con $k \geq 0$ pero no al contrario.
2. La relación entre la variable explicativa x_t y la variable dependiente y_t es constante en el período analizado.
3. La respuesta de y_t a las variaciones de x_t pueden aproximarse de forma lineal así:

$$y_t = v_0 x_t + v_1 x_{t-1} + v_2 x_{t-2} + \dots$$

donde los coeficientes $[v_i]$ son constantes desconocidas. La representación de los coeficientes $[v_i]$ en función del retardo i se

denomina función de respuesta a impulso o función de transferencia.

En general la función de transferencia se puede escribir:

$$Y_t = Y_t + N_t = \frac{\psi_1(B)}{\phi_1(B)} B^k X_t + \frac{\theta_1(B)}{\phi_2(B)} \Delta^d a_t$$

Donde el primer término de la ecuación es el coeficiente de la variable independiente X, el segundo representa la estructura del término de error aleatorio y B es un operador de retraso tal que $BX_t = X_{t-1}$. En este caso se tienen series de datos en períodos semanales para un total de 52 semanas.

Para ajustar las ecuaciones se tuvo en cuenta que los coeficientes fueran estadísticamente significativos y un error medio cuadrático aceptable. Para ajustar las ecuaciones se usó el procedimiento ARIMA del SAS (27).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 3a, 3b y 3c, se presenta la información sobre el comportamiento de la disponibilidad hídrica ($R=ER/EP$) y energética: brillo solar, temperatura media, temperatura mínima y tiempo térmico durante el transcurso del estudio. Las variables climáticas consideradas son aquellas más relacionadas con el proceso de floración.

Disponibilidad hídrica (R). Con relación a la disponibilidad hídrica, se observa que ésta fue suficiente ($R=1,0$) durante las semanas 1 a 8 (marzo 30-mayo 24) y las semanas 25 a 36 (septiembre 20-diciembre 13). Entre las semanas 9 a 24 (mayo 24-septiembre 13) la disponibilidad hídrica fue intermitente, presentándose alternadamente períodos con deficiencia o suficiencia de agua, representados por las variaciones de R de (0,69-1,0). Entre las semanas 37 a 49 (diciembre 13/94-marzo 7/95) hubo una

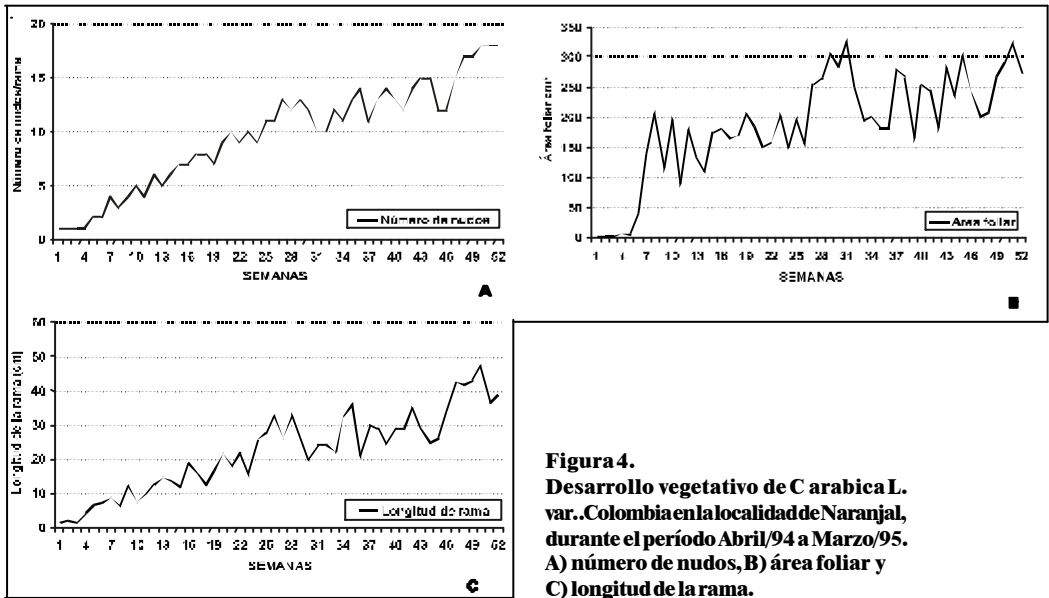
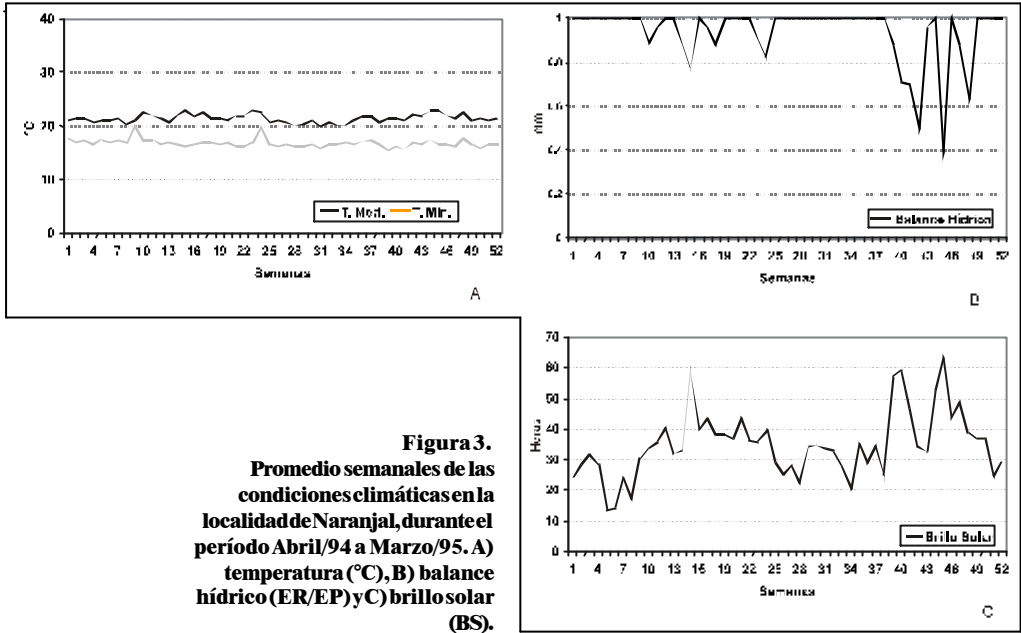
fuerte tendencia al déficit hídrico, con valores de R de (0,39-1,0).

Brillo solar. Se presentaron dos épocas de brillo solar bajo, alternando con dos épocas de brillo solar alto. El brillo solar bajo (menos de 30 horas/semana), se presentó entre las semanas 0-8 (marzo 31-mayo 22) con un promedio de 22,7 horas y entre las semanas 24-38 (septiembre 13-diciembre 20) con un promedio de 29,3. El brillo solar alto (mayor de 30 horas/semana) se presentó entre las semanas 9-24 (mayo 24-septiembre 13) con un promedio de 34,2 horas y entre semanas 39-52 (diciembre 20/94-marzo 29/95) con un promedio de 43,8 horas, siendo especialmente alto en este último período.

Unidades térmicas. Hasta la semana 28 (Octubre 12) las unidades térmicas acumuladas fueron de 2.175,3 grados día. Entre la semana 29-42 (Octubre 19-Enero 17/95) la acumulación de calor fué de 3.226 grados día y desde la semana 43 (enero 24) hasta la semana 52 (marzo 28/95) fue de 4.053 grados día.

Crecimiento Vegetativo. En las Figuras 4a, 4b y 4c, se presentan los promedios semanales por rama de las variables número de nudos, longitud y área foliar. Las ramas alcanzaron durante las 52 semanas de observación un promedio de 38,8 cm de longitud, 18 nudos y 271,8cm² de área foliar. La mayor influencia del clima estuvo relacionada con el crecimiento en longitud y área foliar. El déficit hídrico intermitente ocurrido entre mayo 31/94 y septiembre 13/94 (semanas 9 y 24) aparentemente afectó el alargamiento de las ramas durante este período pero no el desarrollo foliar.

El resurgimiento notorio del crecimiento en extensión y desarrollo foliar en el período septiembre-octubre está posiblemente asociado a una buena disponibilidad hídrica y energética durante este período. Aunque en el período



enero-febrero y marzo/95 se presentó una tendencia marcada al déficit hídrico, su efecto sobre el alargamiento de la rama y el desarrollo foliar no fue notorio, pues se observó una tendencia al incremento en estas variables durante este período.

Estos resultados indicaron por consiguiente la presencia de condiciones climáticas favorables, buena disponibilidad hídrica y energética, para un crecimiento vegetativo permanente en la región donde se realizó el estudio (18, 21).

Periodicidad del desarrollo floral en nudos.

Las evaluaciones de los cambios en el crecimiento reproductivo de las ramas, de acuerdo al estado de desarrollo de los nudos y de los botones florales evaluados con base a la escala de calificación descrita anteriormente, mostraron el siguiente comportamiento:

- **Nudo Indiferenciado (E1).** Durante las primeras siete semanas de observación se presentó el 100% de nudos indiferenciados. A partir de este momento hubo respuesta inductiva a través del año de estudio, con valores que oscilaron entre el 14% y el 76%.

- **Nudos con estípulas engrosadas (E2).** Durante las primeras 7 semanas no se observaron nudos con estípulas engrosadas. Entre las semanas 5 y 14 (mayo y julio) aumentó el número de estos nudos (15 a 30%) especialmente en la semana 10 (30%). Entre las semanas 18 y 23 se observaron pocos nudos engrosados (menos de 5%). En la semana 27 este número fue más alto (30 a 40%), disminuyó un poco entre las semanas 31 y 36 (10 a 30%), y volvió a alcanzar valores bajos (menos del 10%) entre las semanas 44 y 49.

- **Nudos con yemas que sobrepasan a las estípulas (E3).** En las primeras 9 semanas no se detectó su presencia. Entre las semanas 10 y 23 (junio-septiembre) se encontraron valores

que variaban entre 0 y 30%, los valores más altos, entre 40 y 53%, se observaron durante las semanas 24, 26, 35 y 43 (septiembre, noviembre y enero), mientras que a finales de la semana 40 (febrero) y comienzos de las semanas 44 y 49, se observaron los valores más bajos (menos del 5%).

- **Nudos con yemas y botones florales verdes (E4).** No se encontraron nudos en este estado de desarrollo durante las primeras 9 semanas. Durante la semana siguiente se observó un incremento del 24% y luego la actividad se interrumpió y fue mínima durante las semanas 11 y 19 (junio y comienzos de agosto). A partir de este momento empezó a incrementarse en forma sostenida hasta marzo. Los mayores valores (30 a 60%) se alcanzaron entre las semanas 36 y 47.

En diferentes trabajos sobre el desarrollo floral del cafeto se ha identificado un período de latencia antes de la antesis y este ha sido asociado con los estados de desarrollo E3 y E4. La presencia del estado E3 fue muy activa a partir de esta semana y durante el resto del período, mientras que el estado E4 fue más activo a partir de la semana 25 y, especialmente, a partir de la 32.

- **Nudos con yemas mayores de 1cm y botones florales blancos (preantesis, estado E5).** Se observa que la preantesis ocurrió consistentemente a partir de la semana 31 y se fue incrementando hasta alcanzar el máximo en la semana 49.

Desarrollo floral en los nudos y su relación con las condiciones climáticas. Las frecuencias relativas se calcularon teniendo en cuenta el número de nudos (E1, E2, E3, E4 y E5) que pasaron de un estado particular al siguiente, dividido por el total de estados.

Las Figuras 5a, 5b, 5c, 5d y 5e, contienen el comportamiento de las frecuencias relativas

de pasar de un estado a otro y en la Tabla 5, se presentan los modelos de función de transferencia simple ajustados. Se destacan los siguientes resultados:

La mayor inducción (E2), ocurrió hacia las semanas 25-28 (septiembre y comienzos de octubre) y 32 a 38 (noviembre); coincidió con buena disponibilidad de agua, brillo solar bajo e incremento brusco de la temperatura en las 3-4 semanas previas. Los períodos de baja inducción floral parecen coincidir con períodos de brillo solar alto y déficit hídrico durante los meses de agosto -septiembre y enero y marzo.

Existe correlación entre la frecuencia relativa de pasar del estado E1 a E2 identificada E12 y la temperatura mínima (Tmin) siete semanas antes. La frecuencia relativa E12 es mayor cuando la temperatura mínima pasa de ser baja a alta durante las semanas ocho y siete anteriores, valores que oscilaron entre 16,7°C y 17,4°C (Figura 5).

Hay una correlación significativa entre la frecuencia relativa de pasar del estado E2 al estado E3 identificada como E23, y la relación $R = ER/EP$ cinco semanas antes. Se observa que seis semanas antes del paso del estado E2 al estado E3 ocurrió un gran déficit de agua y en la siguiente semana, o sea la quinta antes, una condición de suficiencia o de equilibrio entre los componentes del índice de humedad del suelo; es decir, no hubo limitación hídrica. Este cambio de la semana sexta a la quinta de una condición de déficit hídrico a otra con suficiente disponibilidad de agua incrementa la frecuencia relativa E23 (Figura 5b).

La frecuencia relativa de pasar del estado E3 al estado E4 denominada E34, se correlacionó significativamente con la temperatura mínima ocho semanas antes. El modelo de transferencia ajustado indica que el paso del estado E3 al estado E4 se incrementa cuando diez semanas antes ha ocurrido una temperatura mínima baja

y ocho semanas antes temperatura mínima alta, valor que osciló entre 16,7°C y 17,0 (Figura 5c).

Se presentó correlación significativa entre la frecuencia relativa de pasar del estado E4 al estado E5, identificado como E45, y la disponibilidad de agua en la misma semana y con la temperatura mínima cinco semanas antes. Se ajustaron dos modelos (Tabla 4): el primero indica que la frecuencia relativa E45 se incrementa cuando la disponibilidad de agua es abundante en la misma semana, pero debe ser baja nueve semanas antes (Figura 5e). La floración principal de 1995 (enero -marzo) ocurrió después de un período seco que ocurrió a partir de la semana 39. Esto indujo la antesis en una alta proporción de nudos con botones florales en latencia que se habían acumulado hasta ese momento.

De acuerdo con el segundo modelo, la temperatura mínima alta, cinco semanas antes, incrementa la frecuencia relativa E45. La temperatura mínima diez semanas antes debe ser baja para que la E45 no disminuya (Figura 5d)

Varios autores (1, 5, 11, 12, 14, 28) registran que el tiempo de duración de la sequía es un factor determinante para que se estimule la floración de manera regular. Una vez se interrumpió la latencia de los botones florales, aparentemente por acción de la lluvia, hubo un crecimiento rápido de éstos, los cuales alcanzaron tamaños entre 6-10mm. La antesis ocurrió 8-14 días después de haberse presentado la lluvia. El período seco, además de concentrar la floración, tiende a acelerar la etapa final de la diferenciación de los botones florales. Otros autores (22), han sugerido que temperaturas bajas o caídas repentinas de temperatura pueden contribuir a la interrupción de la latencia. Browning (7, 8) y Schuch y Fuchigami (28) sugieren que el período de latencia de los botones florales así como la liberación de los mismos, involucra un mecanismo hormonal en el que

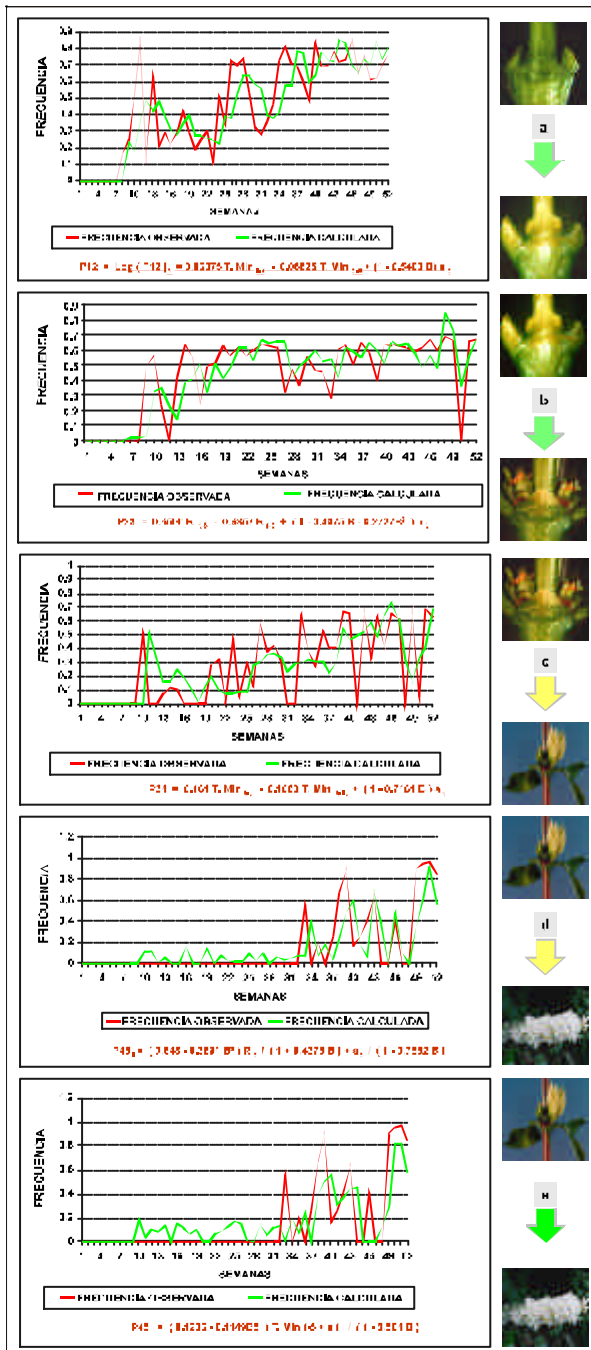


Figura 5. Cambios en la frecuencia relativa en los estados de desarrollo de los nudos y su relación con la temperatura mínima (Tmin), el brillo solar (B) y el balance hídrico (R) en Chinchiná Caldas. Periodo Marzo/94 a Marzo/95

ácido abscísico (ABA) y el ácido giberélico (GA) juegan un papel fundamental. El ABA aplicado previamente sobre los botones florales tiene la capacidad de inhibir el desarrollo asociado a un estrés hídrico. De modo contrario el poder estimulante del GA sobre los botones florales puede sustituir la acción de las deficiencias hídricas.

Periodicidad del desarrollo de los botones florales. En la Figura 6 se presenta la evolución semanal de los botones florales calificados de acuerdo con la escala de la Figura 2 (30), adaptada por Camayo (11, 12).

■ **Botones florales indiferenciados (B1).** En este estado las yemas axiales, tienen un tamaño de 2mm y no mostraron ningún signo externo de desarrollo de verticilos florales. En la Figura 6 se observa que los primeros botones florales comienzan a aparecer entre las semanas 10-12 (junio) y decrecen entre las semanas 13 y 23. Entre las semanas 24 y 49 (septiembre a febrero) se observó el mayor porcentaje de botones en este estado, lo cual indica que durante este período existieron condiciones altamente favorables como el brillo solar y el índice de humedad del suelo para la diferenciación floral en los botones florales. A partir de la semana 49 este estado tendió a disminuir. Esta etapa coincidió con un período de deficiencia hídrica.

■ **Botones florales en desarrollo (B2).** En este estado, los botones florales se encuentran en crecimiento, presentan un tamaño que oscila entre 2,6mm, tienen coloración verde y están recubiertos por una capa delgada de un mucílago de color ámbar. La presencia de este estado fue relativamente baja ya que nunca sobrepasó el 20%. Dentro de este rango de actividad su mayor presencia se detectó en las mismas épocas que para el estado B1.

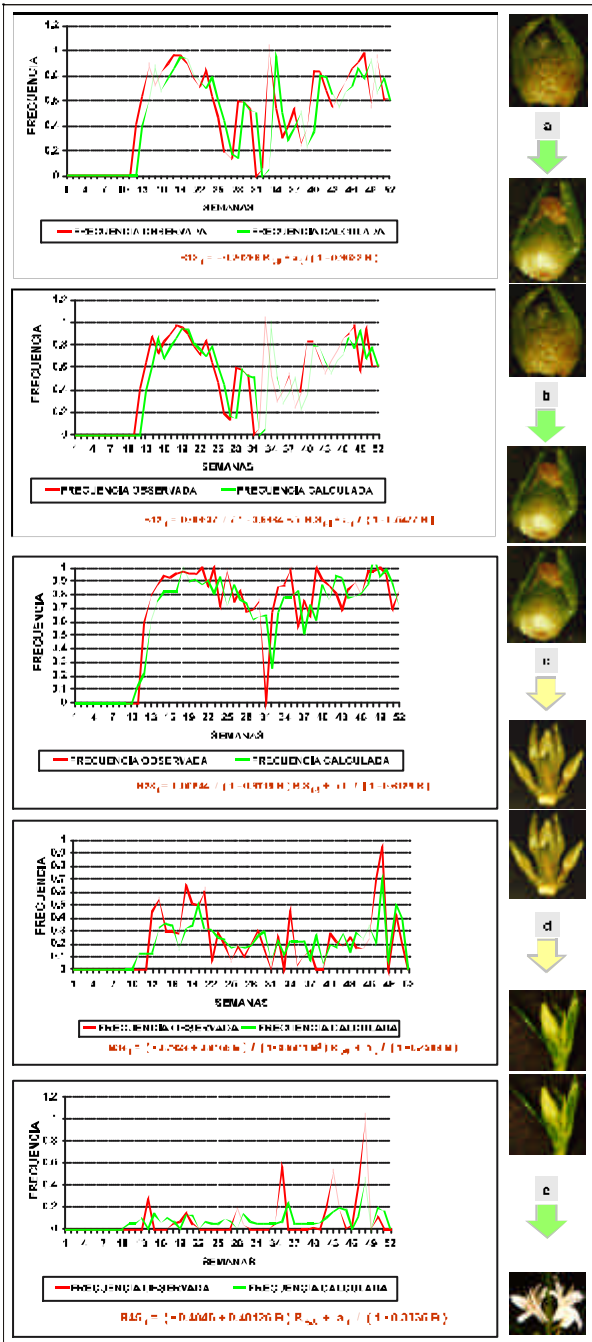


Figura 6. Cambios en la frecuencia relativa semanal de los estados de desarrollo de los botones florales y su relación con la temperatura mínima (Tmin), el brillo solar (B) y el balance hídrico (R) en Chinchiná Caldas. Periodo Marzo/94 a Marzo/95.

■ **Botones florales diferenciados (B3).**

En este estado los botones florales en etapa de latencia, tienen un promedio de tamaño de 4,4mm, y son de color verde. Este estado comienza a aparecer en la semana 11 (junio), y se manifiesta en bajo porcentaje hasta la semana 30 (octubre), a partir de este momento y hasta la semana 38 (diciembre) la actividad tiende a ser alta.

■ **Botones florales en preantesis (B4).**

Los botones florales próximos a abrirse, presentan un tamaño entre 6 a 10mm y son blancos. Tienen un comportamiento similar al del estado B3.

■ **Botones florales en antesis (B5).**

En este estado, la flor se abre completamente y se alcanza el final del proceso de floración. Durante el período comprendido entre las semanas 13 y 22 (junio y agosto) ocurrió la antesis.

Desarrollo de los botones florales y su relación con las condiciones climáticas.

Los resultados del análisis de las frecuencias relativas semanales, de pasar de un estado a otro en botones florales y su relación con las variables climáticas, se presenta en las Figuras 6a, 6b, 6c, 6d y 6e. Los resultados más sobresalientes se describen a continuación:

Para la frecuencia relativa de pasar de B1 a B2, descrita como B12, se ajustaron dos modelos. El primero muestra que el índice de disponibilidad hídrica, R, cercano a la unidad, cinco semanas antes, disminuye la frecuencia relativa B12, lo cual sugiere que debe haber un buen balance hídrico cinco semanas antes para no disminuir la B12. El segundo modelo muestra que valores altos de brillo solar,

una semana antes, incrementan la frecuencia relativa de pasar del estado B1 al estado B2.

El comportamiento de la frecuencia relativa de pasar del estado B2 al estado B3 (B23), se relacionó con el brillo solar tres semanas antes. La ecuación generada indica que la frecuencia relativa B23 se incrementa si el brillo solar tres semanas antes es alto.

Se encontró correlación significativa entre el brillo solar bajo seis semanas antes y la frecuencia relativa de pasar del estado B3 al B4, identificada como B34. La ecuación anterior muestra que la frecuencia relativa B34 se incrementa cuando hay un cambio de estrés hídrico a suficiente agua, de la semana seis a la semana siguiente.

El comportamiento de la frecuencia relativa B45 de pasar del estado B4 a B5 se correlacionó

negativamente con la disponibilidad de agua (R) tres semanas antes. La ecuación muestra cómo el cambio de baja a alta disponibilidad de agua de la semana tres a la siguiente influye positivamente sobre la frecuencia relativa B45 (Tabla 1).

Consideraciones sobre el proceso de floración del cafeto *C. arabica* L. var. Colombia en las condiciones de la zona cafetera colombiana, Chinchiná-Caldas. Para estas condiciones, la formación de yemas axilares y su diferenciación en estructuras reproductivas ocurre 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 de la disponibilidad hídrica y energética. Cuando éstas son altas, se observa la tendencia a formar yemas axilares y la diferenciación de estructuras florales. La presencia de deficiencias hídricas moderadas

Tabla 1. Modelos ajustados al estado de desarrollo de nudos (E) y botones florales (B) de *C. Arabica* var Colombia durante el período Abril/94 a Marzo/95.

ESTADO	MODELOS	ERROR ESTANDAR
E1-E2	$\log_{10}(E12)_t = 0,09875 + \text{Tan}(\alpha)_{t-7} + 0,00825 \text{Tan}(\alpha)_{t-6} + (\zeta_t + 0,3403B) \varepsilon_{1t}$	(0,0257) (0,0368) (0,1246)
E2-E3	$E33_t = 0,6506R_{12,t-3} - 0,3357R_{12,t-6} + (\zeta_t + 0,4075R + 0,27275^2) \varepsilon_{2t}$	(0,1934) (0,1926) (0,1520) (0,1516)
E3-E4	$E34_t = 0,161 \text{Tan}(\alpha)_{t-6} - 0,1605 \text{Tan}(\alpha)_{t-9} + (1 - 0,7318) a_{1t}$	(0,5159) (0,5144) (0,1130)
B4-E5	$B45_t = (0,348 - 0,388(B)^2) R_{12,t-3} / (\zeta_t + 0,4378B) + a_{1t} / (1 - 0,7362B)$	(0,1646) (0,2980) (0,2249) (0,1236)
	$E45_t = (3,1736 + 0,1149R^2) \text{Tan}(\alpha)_{t-6} + \varepsilon_{1t} / (1 - 0,564R)$	(0,0354) (0,0557) (0,1747)
B1-B2	$B12_t = -0,30286R_{12,t-3} + \varepsilon_{1t} / (1 - 0,565273)$	(0,1695) (0,0469)
	$B12_t = 0,00637 / (1 - 0,2881B) B5_{t-2} + a_{1t} / (\zeta_t + 0,5177B)$	(0,00521) (0,2172) (0,1229)
B2-B3	$B23_t = 0,00644 / (1 - 0,67398) B5_{t-2} + a_{1t} / (1 - 0,61853)$	(0,0057) (0,1755) (0,1223)
B3-B4	$B34_t = (1 - 0,7924 + 0,3163B) / (1 - 0,8911B^2) R_{12,t-3} + a_{1t} / (1 - 0,42892B)$	(0,1644) (0,1692) (0,0801) (0,1432)
B4-B5	$B45_t = 1 - 0,7416 + 0,48126B; R_{12,t-3} + a_{1t} / (1 - 0,3336B)$	(0,1138) (0,1190) (0,1712)

o brillo solar por debajo de los promedios normales tienden a inducir cambios hacia los estados intermedios del desarrollo floral y al parecer presentan una mayor relación con la diferenciación y desarrollo de los botones florales. En las condiciones del estudio, hubo déficit hídrico en los meses de junio-agosto y enero-marzo. Aunque ocurrieron eventos esporádicos de antesis durante el período de observación, esta fase fue más marcada una ó dos semanas después de la interrupción del déficit hídrico prolongado por la lluvia.

Cuando los botones completan su desarrollo (4-6mm de longitud) requieren de un efecto acondicionador que lo proporciona un período seco de una magnitud moderada y sin el cual no es posible completar su desarrollo final hasta la antesis. La ausencia de este período seco repercute en que los botones florales permanecen en latencia o no alcanzan desarrollo hasta antesis (13). El resultado de las observaciones sobre el desarrollo de los botones florales muestra que cada estado tiene un comportamiento particular y presenta períodos de actividad alta y baja. La antesis ocurre solamente a partir de

noviembre y sugiere que los botones florales que han alcanzado el estado B4 se mantienen latentes durante tiempos variables, en espera de condiciones que estimulen el paso hacia la antesis y además, es probable que haya latencia en otros estados del desarrollo floral (Figura 7).

De acuerdo con los modelos ajustados se puede sugerir que el estrés hídrico, el brillo solar y la temperatura mínima contribuyen a la maduración fisiológica de los botones florales. Algunos autores han encontrado que el déficit hídrico en los estados posteriores a la inducción floral como la latencia y preantesis podría representar un método práctico para obtener una floración sincronizada en condiciones de cultivo bajo irrigación (Figura 8).

Las diferentes etapas del desarrollo floral del nudo y de los botones florales mostraron el comportamiento de acuerdo a las condiciones de la localidad y a la época en que se desarrolló el trabajo. Por tanto, se requieren estudios de validación en otras localidades y condiciones climáticas para establecer el rango de variación.

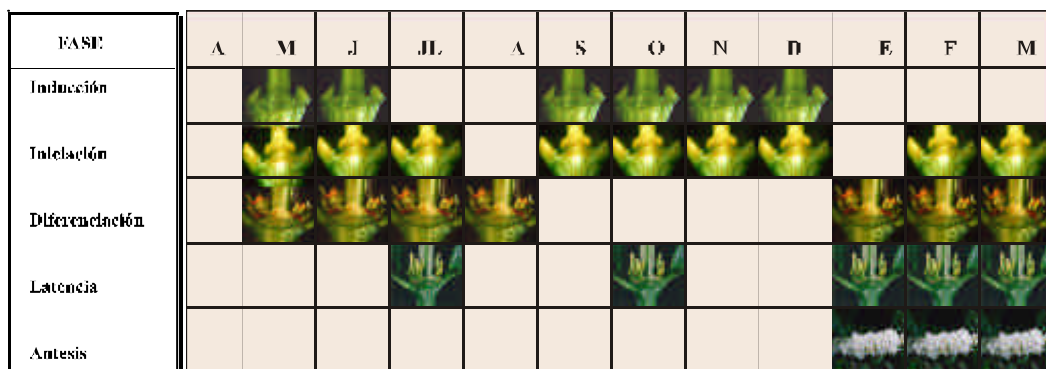


Figura 7. Épocas de mayor actividad de los diferentes estados del desarrollo floral de *C. arabica* L. var. Colombia en Chinchiná- Caldas durante el período marzo/94 a marzo/95.

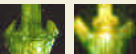
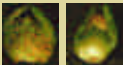
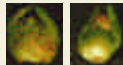

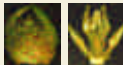
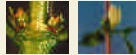
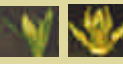
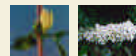
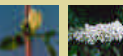
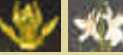
Estados Nudos (E) Botón floral (B)	Temperatura Mínima (T _{min})	R = ER / EP	Brillo Solar (BS)
E1- E2 B1- B2			
E2- E3			
E3- E4 B3- B4			
E4- E5		 	

Figura 8. Influencia de las condiciones climáticas sobre el desarrollo de los nudos y botones florales de *C. arabica* L. var. Colombia en Chinchiná- Caldas durante el período marzo/94 a marzo/95.

LITERATURA CITADA

1. ALVIM, P. de T. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto. *Café* 2 (6): 57-64. 1960.
2. ARCILA, P. J. Desarrollo reproductivo del cafeto. *In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. Tecnología del cultivo del café. Chinchiná, Cenicafé, 1987. p. 88-96.*
3. ARCILA P., J.; JARAMILLO R., Á.; BALDIÓN R., J. V.; BUSTILLO P., A.E. La floración del cafeto y su relación con el control de la broca. *Avances Técnicos Cenicafé No 193: 1-6. 1993.*
4. BARROS, S.R.; MAESTRI, M. Periodicidade de crescimento em café. *Revista Ceres* 19 (106): 424-448. 1972.
5. BARROS, S. R.; MAESTRI, M.; COONS, M.P. The physiology of flowering in coffee: A review. *Journal of Coffee Research* 8 (2-3): 29-73. 1978.
6. BOX, G.E.P.; JENKINS, G. M. Time series analysis: forecasting and control. Englewood Cliffs, N.J, Prentice-Hall, 1976. 575 p.
7. BROWNING, G. Flower bud dormancy in *Coffea arabica* L. I. Studies of gibberellin in flower buds and xylem sap and abscisic acid in flower in relation to dormancy release. *Journal of Horticultural Science* 48: 29-41. 1973.
8. BROWNING, G. Environmental control of flower bud development in *Coffea arabica* L. *In: Environmental effects on crop physiology. LANDSBERG, J.J.; CUTTING, C.V. eds. Londres, Academic Press, 1997. p. 321- 331.*
9. CANNELL, M.G.R. Factors affecting arabica coffee bean size in Kenya. *Journal of Horticultural Science* 49: 65-76. 1974.

10. CANNELL, M.G.R. Physiology of the coffee crop. *In*: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. eds. Coffee; botany, biochemistry and production of beans and beverage. London, Croom Helm, 1985. p. 108-134.
11. CAMAYO V., G.C. Estudio anatómico y fisiológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del café *C. arabica* L. var. Colombia. Popayán, Universidad del Cauca, 1995. 180 p. (Tesis: Licenciada en Biología)
12. CAMAYO V., G.C.; ARCILA, P.J. Estudio anatómico y fisiológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del café *C. arabica* L. variedad. Colombia. Cenicafé 47 (3) : 121-139. 1996.
13. CRISOSTO, C.H. ; GRANTZ, D.A.; MEINZER, F.C. Effects of water deficit on flower open in coffee (*Coffea arabica* L.). *Tree Physiology* 10: 127-139. 1992
14. DRINNAN, J.E. ; MENZEL, C.M. Synchronization of the anthesis and enhancement of vegetative growth in coffee (*Coffea arabica* L.) following water stress during floral initiation. *Journal of Horticultural Science* 69 (5): 841-849. 1994.
15. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Anuario Meteorológico. Valores climáticos promedio para Naranjal hasta 1993. Chinchiná.
16. FRANCO, C.M. Fotoperiodismo em cafeeiro *Coffea arabica* L. *Revista do Instituto do Café* 27:1586-1542. 1940.
17. FREDERICO, D.; MAESTRI, M. Ciclo de crecimiento dos botoes florais de café *C. arabica* L. *Revista Ceres* 17 (92): 172-181. 1970.
18. GÓMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad del crecimiento del café. *Cenicafé* 28 (1): 3-17. 1977.
19. GOPAL, N.H.; VASUDEVA, N. Physiological studies of flowering in arabica coffee under South Indian conditions. I. Growth of flower buds and flowering. *Turrialba* 23 (2): 146-153. 1973.
20. JARAMILLO R., Á.; GUZMÁN M., O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Cenicafé* 35 (3): 57-65. 1984.
21. JARAMILLO R., A.; VALENCIA A., G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L., en Chinchiná, Colombia. *Cenicafé* 31 (4): 127-143. 1980.
22. MES, M.G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. *Portugaliae Acta Biologica* 4 (4): 328-356. 1957
23. MOENS, P. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. *Turrialba* 18: 209-233. 1968.
24. MOENS, P. Etude écologique du developpment génératif et végétatif des bourgeons de *Coffea canephora* Pierre; l' initiation florale. Bruselas, Institut National pour l' Etude Agronomique du Congo - INEAC, 1962. 103 p. (Serie Scientifique N° 96)
25. PIRINGER, A.A.; BORTHWICK, H.A. Photoperiodic responses of coffee. *Turrialba* 5 (3): 72-77. 1955.
26. RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. *In*: Simposio sobre Fatores que Afetam a Produtividade do Cafeeiro. Pocos de Caldas, Novembro 5-9, 1984. Vicosa, Universidad Federal de Viscosa, 1984. Vol. 2. p. 1-87.
27. S.A.S INSTITUTE INC. S.A.S/ETC. User 's Guide. Version 5 edition. Cary, S.A.S Institute, 1984. 738 p.
28. SCHUCH, U.K.; FUCHIGAMI, L.H. Flowering, ethylene production and ion leakage of coffee in response to water stress and giberellic acid. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117 (1): 158-163. 1992.
29. TROJER, H. The phenological equator for coffee planting in Colombia. *In*: Agroclimatological methods proceeding of the Reading Symposium. París, UNESCO, 1968. Vol. 7. p. 107-117.
30. WORMER, T.M.; GITUANJA, J. Floral initiation and flowering of *C. arabica* L. in Kenya. *Experimental Agriculture* 6(2):157-170. 1970.