Aspectos Fisiológicos de la Producción de Café
(*Coffea arabica* L.)

Jaime Arcila P.*

Pág.

CAPITULO 1. Fisiología; conceptos Básicos 60

CAPITULO 2. La semilla del cafeto y proceso germinativo 61

CAPITULO 3. Factores que afectan el desarrollo de la planta de café en almácigo 67

CAPITULO 4. Desarrollo vegetativo del cafeto y factores que lo afectan 73

CAPITULO 5. Desarrollo reproductivo del cafeto 88

CAPITULO 6. El proceso productivo de la planta de café 97

CAPITULO 7. Integración de funciones en la planta 109

* Jefe Sección Fitofisiología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas. Colombia.

CAPITULO 1

FISIOLOGIA: CONCEPTOS BASICOS

La producción de un cultivo es controlada por la interacción entre el potencial genético de la planta y el ambiente en que éstas crecen. Variaciones en el genotipo y el ambiente, incluyendo las prácticas culturales, actuan a través de los procesos fisiológicos para controlar el crecimiento. Entonces, los procesos fisiológicos de la planta constituyen la maquinaria por medio de la cual tanto el potencial genético como el ambiente, interactúan para producir la cantidad y calidad de crecimiento que nosotros denominamos producción. (Figura 1.1).

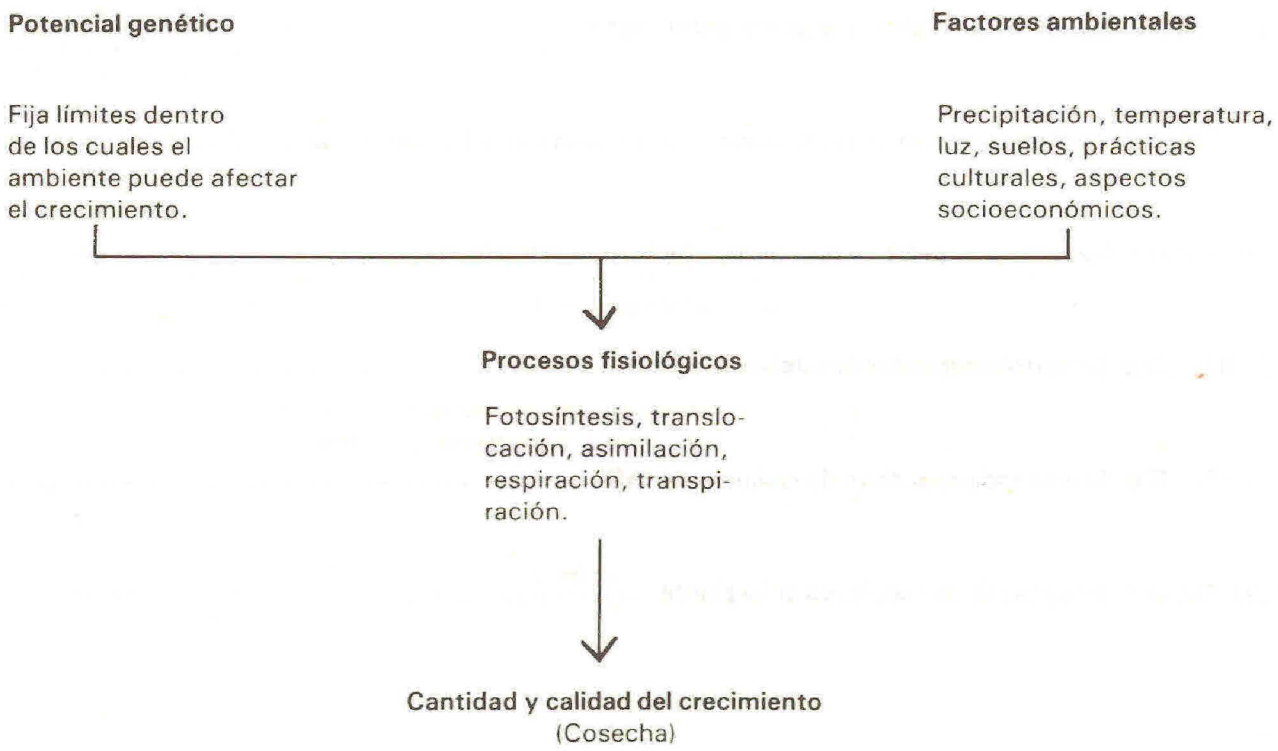


Figura 1.1- El papel de la Fisiología Vegetal en la producción de cosechas. Fuente: Kramer, P.J. y Kozlowski, T.T. Physiology of Woody Plants. Academic Press, N. Y. 811 p. 1979.

Se discuten a continuación aspectos relativos a los procesos fisiológicos en las diferentes etapas del ciclo de vida del cafeto.

CAPITULO 2

La Semilla del Cafeto y Proceso Germinativo

2.1 – LA SEMILLA

La semilla de café es una nuez, oblonga, plano convexa, de tamaño variable (10-18 mm de largo y 6.5 - 9.5 mm de ancho) y constituida en su mayor parte por un endosperma córneo en uno de cuyos extremos y muy superficialmente se encuentra un embrión de 3.5 a 4.5 mm de largo, de radícula cónica y cotiledones cordiformes. Este endosperma está recubierto por una capa muy fina de células esclerenquimatosas (la película plateada) de cerca de 70 micrómetros de espesor y dispuestas en su mayoría en forma paralela a la superficie de la semilla. La semilla está además encerrada en forma suelta dentro de una envoltura cartilaginosa de color blanco-amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor y que corresponde al endocarpio (pergamino) del fruto (6).

La composición química de la semilla de café muestra que es muy rica en carbohidratos (60%), contenidos intermedios a bajos de lípidos (13%) y proteina (13%) y contenidos de cafeina entre 1-2%. Estas reservas están almacenadas en el endosperma y durante la germinación son hidrolizadas y movilizadas hasta el embrión para ayudar a su crecimiento.

2.2 – GERMINACION DE LA SEMILLA

2.2.1- Características generales

La madurez fisiológica de la semilla de café se alcanza alrededor de 220 días después de la antesis (8). Aunque la semilla carece de un período de latencia ya que las semillas húmedas (40-45% humedad) o secas (11-13% de humedad) alcanzan un porcentaje de germinación alrededor del 90%, posee características morfológicas especiales que afectan la germinación como son: la presencia del endocarpio (pergamino) y la ubicación casi superficial del embrión dentro de la semilla.

Una semilla con el endocarpio presente germina entre los 50 y 70 días y la remoción del mismo acelera la germinación en 20 días aproximadamente (Figura 2.1) (9, 16, 17, 19).

La ubicación superficial del embrión lo predispone a daños mecánicos o por condiciones ambientales adversas (ejemplo: frío y calor excesivos) y a su expulsión de la semilla por efecto del agua cuando la semilla está deteriorada (13).

Otra característica de la semilla de café es la pérdida rápida de su viabilidad cuando se almacena con un contenido alto (35-40%) o bajo (12-15%) de humedad en una atmósfera no controlada, ya que después de cinco meses en estas condiciones, el poder germinativo es menor del 60% (Tabla 2.1) (16).

2.2.2- Condiciones ambientales

La información acerca de la influencia de factores ambientales como luz (intensidad y calidad), temperaturas cardinales (máxima, media y mínima) y humedad en la germinación del café es limitada.

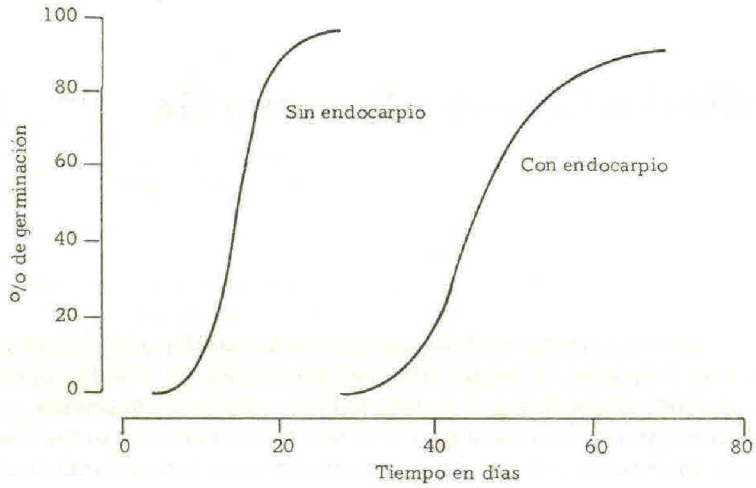


Figura 2.1- Efecto del endocarpio (pergamino) en la germinación de las semillas de Coffea arabica L. (18, 19).

Tabla 2.1- Porcentaje de germinación y días promedios de germinación de semillas de café en las variedades Borbón y Típica, según la edad de almacenamiento en condiciones no controladas. CENICAFE, Colombia.

Edad de la semilla (en semanas)	Porcentajes (Promedios de germinación)	Días promedios de germinación
Borbón		
0	94.00	49
4	94.00	37
8	94.75	32
12	91.75	35
16	82.75	34
20	80.75	40
24	67.75	48
28	37.50	36
32	40.00	38
Típica		
0	96.00	50
4	96.25	37
8	96.50	32
12	95.25	35
16	87.50	43
20	86.50	43
24	72.50	53

Luz:

Hay discrepancias sobre el efecto de la luz (cantidad y calidad) en la germinación de la semilla del cafeto. Huxley (11), opina que la semilla germina bien bajo condiciones de luz difusa. Valio (17), observó que las semillas germinaron más en la oscuridad que en la luz. Por su parte Arcila (1), observó que la luz tiene un efecto inhibitorio en la morfogénesis de la raíz y no parece afectar la emisión de la radícula ya que las semillas germinadas en la oscuridad presentaron radícula con más desarrollo de raíces absorbentes pero igual porcentaje de germinación que semillas dejadas a la luz. En otro estudio se encontró que la presencia del endocarpio y la luz retardan apreciablemente el proceso de germinación (3).

Temperatura:

Según Wellman (20) y Huxley (10), la mejor temperatura para germinar semillas de café es de 28-30 °C (Tabla 2.2). En CENICAFE se ha observado que las semillas germinan bien a la temperatura ambiente (20-25 °C) (3).

Humedad:

Es importante mantener saturación de humedad en el medio de germinación para que la semilla se embeba y se inicien los procesos metabólicos característicos de la germinación (9, 11).

2.2.3- Otros factores que afectan la germinación.

Sistema de beneficio:
Los resultados de germinación en la Hacienda Maracay muestran que el proceso de beneficio normal no afecta la germinación (3).

Secado de la semilla:
Aunque se ha sugerido que las semillas de café deben secarse a la sombra, se ha demostrado que es posible secarlas al sol (4, 5) o artificialmente hasta 45 °C (2), siempre y cuando no se rebaje el contenido de humedad del grano del 12-13%. Según Bacchi (5), el nivel crítico de humedad del grano es del 8-9%.

Rehidratación de la semilla:

En CENICAFE se ha encontrado que no es necesario remojar las semillas previamente a su siembra en el germinador (3).

Medio de Germinación:
En CENICAFE se evaluaron: la arena lavada de río, tierra cernida, tierra cernida + pulpa, borra de café y aserrín de madera y se encontró que cualquiera de estos materiales puede utilizarse con éxito en los germinadores de café (7).

Tamaño y forma de la semilla:

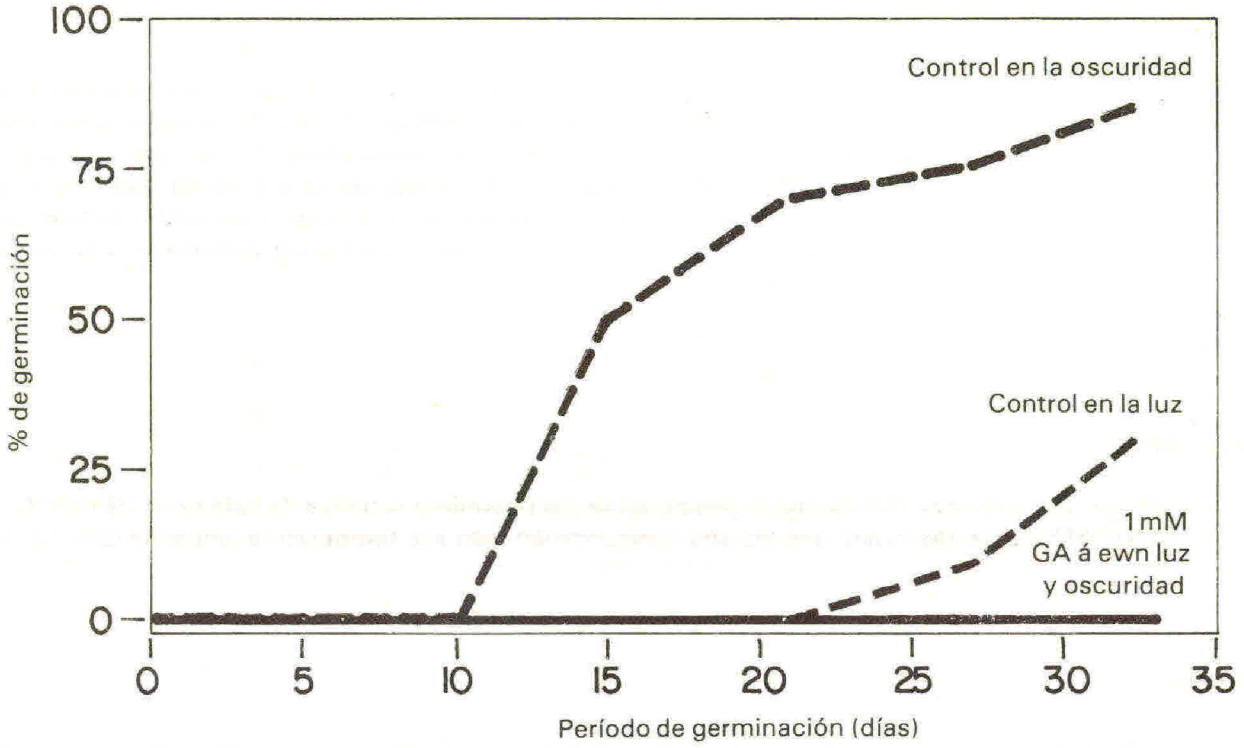


Figura 2.2. Efecto del ácido giberélico en la germinación de las semillas en luz y oscuridad (14).

Tabla 2.2. Efecto de la temperatura en la germinación de la semilla de café.

Wellman (20)		Huxley (10)	
T (°C)	Germinación	T (°C)	Germinación
20	Muy lenta e irregular	24 (arena)	99.5
25	Lenta pero satisfactoria	24	99.3
28-30	Buena y rápida	29	99.0
35	Pobre	34	96.0
40	Pobre	39	Nula
— —		44	Nula
— —		Fluctuante (Max 30, Min 18)	98.0

Tabla 2.3- Influencia de la temperatura de secado en la germinación de semillas de C. Arabica L. var. Caturra. CENICAFE. 1976. Contenido de humedad de la semilla: 12-13% (2).

Temperatura de secado (°C)		% de Germinación
A la sombra (temperatura ambiente)		95
Estufa a:	25	95
	30	94
	35	92
	40	95
	45	95
	50	80
	55	45
	60	4
	70	0
	80	0

Según diferentes estudios (12), para efectos de propagación parece más conveniente la utilización de las semillas de mayor tamaño puesto que el tamaño aunque no afecta el porcentaje de germinación, si puede tener influencia en el desarrollo posterior de la planta.

La forma de la semilla (ejemplo caracoles) no afecta la germinación.

Número de semillas por m2 de germinador:

Se recomienda sembrar como máximo 1/2 kg. de semilla por m2 de germinador (3).

REFERENCIAS

1. ARCILA P., J. Efecto de la luz en la germinación de las semillas de Café. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Fitofisiología. Informe Anual de labores 1982-1983. Chinchiná, CENICAFE, p. 34. 1983.

2. _____. Influencia de la temperatura de secado en la germinación de las semillas de café. CENICAFE (Colombia) 27: 89-9. 1976.

3. _____ y BOTERO J., M. Fisiología de la semilla del cafeto. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Sección de Fitofisiología. Informe Anual de Labores 1984-1985. Chinchiná, CENICAFE, p. 1-41. 1985.

4. BACCHI, O. Seca da semente de cafe ao sol. Bragantia 14: 225-236. 1955.

5. _____. Novos ensaios sobre a seca de semente de café ao sol. Bragantia 15:83-91. 1956.

6. DEDECCA, D. M. Anatomia e desenvolvimiento ontogenético de Coffea arabica L. Var. Typica Craner. Bragantia 16: 315-366. 1957.

7. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección Café. Avance Técnico N° 3 Abril, 1971.

8. FRANCO C., I. y G., ALVARENGA. Maturacao fisiologica da semente do caffeiro (Coffea arabica L. cv. Mundo Novo). Cienc. Prát. Lavras 5: 48-54. 1981.

9. HUXLEY, P.A. Some factors which can regulate germination and influence viability of coffee seeds. Proc. Int. Seed. Test. Ass. 29: 33-57. 1964.

10. _____. The effects of hydrogen -ion concentration, temperature and seed drying method on the germination of coffee seeds. Proc. Int. Seed. Test. Ass. 29:61-70. 1964.

11. _____. Coffee germination test. Recomendations and defective seed types. Proc. Int. Seed. Test. Ass. 30: 705-714. 1965.

12. OSORIO J. y CASTILLO Z., J. Influencia del tamaño de la semilla en el crecimiento de las plántulas de café. CENICAFE (Colombia) 20: 20-40. 1969.

13. QUINTERO, H. M. Determinación del poder germinativo de semillas de café (Coffea arabica L. var. Borbón) bajo diferentes pruebas. Manizales, Universidad de Caldas, Facultad de Agronomía 1968. 41 p (Tesis Ingeniero Agrónomo).

14. TAKAKI, M. y DIETRICH, S.M.C. Effect of gibberellic acid on peroxidases from coffee seeds during germination. Hoehnea 8:29-33. 1979.

15. VALENCIA A., G. Almacenamiento de la semilla de café. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Fitofisiología. Informe Anual 1976-1977. Chinchiná, Cenicafé.

16. _____. Tratamientos para acelerar la germinación de la semilla de café. Revista Cafetera de Colombia. 19: 55-59. 1970.

17. VALIO, I.F.M. Inhibition of germination of coffee seeds (Coffee arabica L. c.v. Mundo Novo) by the endocarp. J. Seed. Teclan. 5: 32-39. 1980.

18. _____. Germination of coffee seeds (C. arabica L. cv. Mundo Novo) J. Exp. Bot. 27: 983-991.

19. VELASCO, J.R. y GUTIERREZ J. Germination and its inhibition in coffee. Philipp. J. Sci. 103: 1-11. 1974.

20. WELLMAN, F. L. y TOOLE, V. K. Cooffee seed germination as affected by species, diseases, temperature and chemicals (Abs.). Proc. Caribbean Sect. Amer. Soc. Hort. Sci., Puerto Rico 4: 1-6. 1960.

CAPITULO 3

FACTORES QUE AFECTAN EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE CAFE EN LA ETAPA DE ALMACIGO.

Materiales resultantes en el germinador:

En 1 m2 de germinador se obtienen a los 75 días los tipos de materiales que se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 — Materiales resultantes en el germinador

Material resultante	% por Variedad	
	Caturra	Colombia
Chapola normal	41	33
Chapola normal atrasada	22	21
Chapola débil	2	3
Chapola clorótica	5	6
Fósforo adelantado	8	13
Fósforo normal	11	8
Fósforo atrasado	2	3

Si se manejan adecuadamente, gran parte de estos materiales son utilizables en la etapa de almácigo (2).

Tamaño de la semilla:

Según Osorio y Castillo (6), debe seleccionarse la semilla de mayor tamaño pués éstas producirán plantas más vigorosas, como se observa en las tablas 3.2 y 3.3

Tabla 3.2 — Desarrollo de la chapola que proviene de semillas de tres pesos diferentes.

Peso de la semilla Miligramos	Peso seco de la chapola Miligramos	Area de los cotiledones. cuadrados	Longitud del tallo Milímetros	Longitud de la raíz Milímetros
Grande 210	99	15	51	104
Mediana 180	91	13	47	100
Pequeña 80	52	7	41	79

Tomado de: Revista Cafetera de Colombia. Vol. XIX: 60-68. 1970.

Tabla 3.3. Valor medio de diversas medidas de crecimiento en plantas de café provenientes de granos grandes y pequeños, a los 185 días desde la siembra en almácigo.

Medidas	Tipo de granos		Porcentaje: semilla
	Grande 250 mg	Pequeño 130 mg	Grande = 100% (52% humedad)
Altura de la planta (Cm)	49.70	42.00	84.5
Número de ramas	2.35	1.15	48.9
Número de pares de hojas	16.90	11.51	68.1
Peso seco de los tallos (gram.)	3.01	1.49	49.5
Peso seco de hojas (gram.)	5.87	3.25	56.4
Peso seco total (gramos)	8.82	4.74	53.7

Tomado de: Revista Cafetera de Colombia Vol. XIX: 60-68. 1970.

Importancia de los cotiledones:

Los cotiledones constituyen el primer tejido fotosintético de la planta y por tanto tienen una influencia decisiva en el crecimiento subsiguiente. Osorio y Castillo (6), encontraron que las plantas a las que se les suprimió un cotiledón tuvieron un crecimiento marcadamente inferior al de las plantas que tenían los dos cotiledones presentes.

Altitud:

La altitud influye notoriamente en el desarrollo de las plantas de café en almácigo, tanto al sol como a la sombra. A medida que aumenta la altitud, el crecimiento, el peso seco de la parte aérea, el número de hojas por planta, el peso seco de hojas y el número de cruces es menor. Este menor desarrollo a mayores altitudes parece debido a la menor temperatura y mayor proporción de luz ultravioleta al aumentar la altitud (Tablas 3,4 y 3.5). (1.4).

No se recomienda establecer almácigos por encima de 1.850 m.s.n.m., porque ocurrirá enanismo, clorosis y mala formación de las plántulas (4).

Luz:

— Los almácigos de café se pueden establecer a pleno sol en altitudes entre 1.050 y 1.550 m.s.n.m. (4).

— Entre 1.550 y 1.850 m.s.n.m., se deben utilizar umbráculos que proporcionen 50% de sombra (4).

Temperatura:

Según Jaramillo y Guzmán (3), la temperatura óptima para el crecimiento del café es alrededor de 21 °C, con un límite inferior de 10 °C y uno superior de 32 °C, fuera de los cuales el crecimiento es nulo. (Figura 3.1).

Tabla 3.4 — Efecto de la altitud sobre el desarrollo y peso seco de café en almácigo. Promedios de 32 plántulas (4).

VARIABLES		ALTITUDES 1.050	1.250	1.550	1.850	2.050	Promedio de Modalidades
Altura de la Planta (Centimetros)	Sol	21.47	24.28	17.25	14.82	6.62	17.29
	Sombra	31.79	27.28	22.15	15.53	9.20	21.19
Número de Hojas	Sol	18.08	23.01	18.38	16.66	14.05	18.04
	Sombra	23.01	21.23	19.80	16.23	13.72	18.80
Peso seco parte aérea (gramos)	Sol	3.93	4.55	3.34	2.54	1.00	3.07
	Sombra	5.87	4.45	4.14	2.49	1.24	3.64
Peso seco hojas (gramos)	Sol	2.78	3.24	2.41	1.85	071	2.20
	Sombra	4.25	3.20	3.04	1.81	0.95	2.65
Número de Cruces	Sol	0.72	1.16	0.60	0.18	0.01	0.53
	Sombra	1.30	0.93	0.88	0.07	0.00	0.64

Tabla 3.5 — Efecto de la luz ultravioleta en el desarrollo de plántulas de café en almácigo. Promedio de 10 plántulas (1).

Variable	Promedios registrados: Al sol	Bajo techo de vidrio	Con 50% sombra
N° de cruces	0.00	0.60	0.10
Altura (cm)	10.73	17.28	11.12
Area foliar (cms2)	162.11	300.87	157.58
Número de hojas	16.20	20.60	13.90
Peso fresco de la parte aérea (g)	6.36	12.12	5.98
Peso fresco de las hojas	5.03	9.27	4.66
Peso fresco de raices	5.18	7.95	3.63

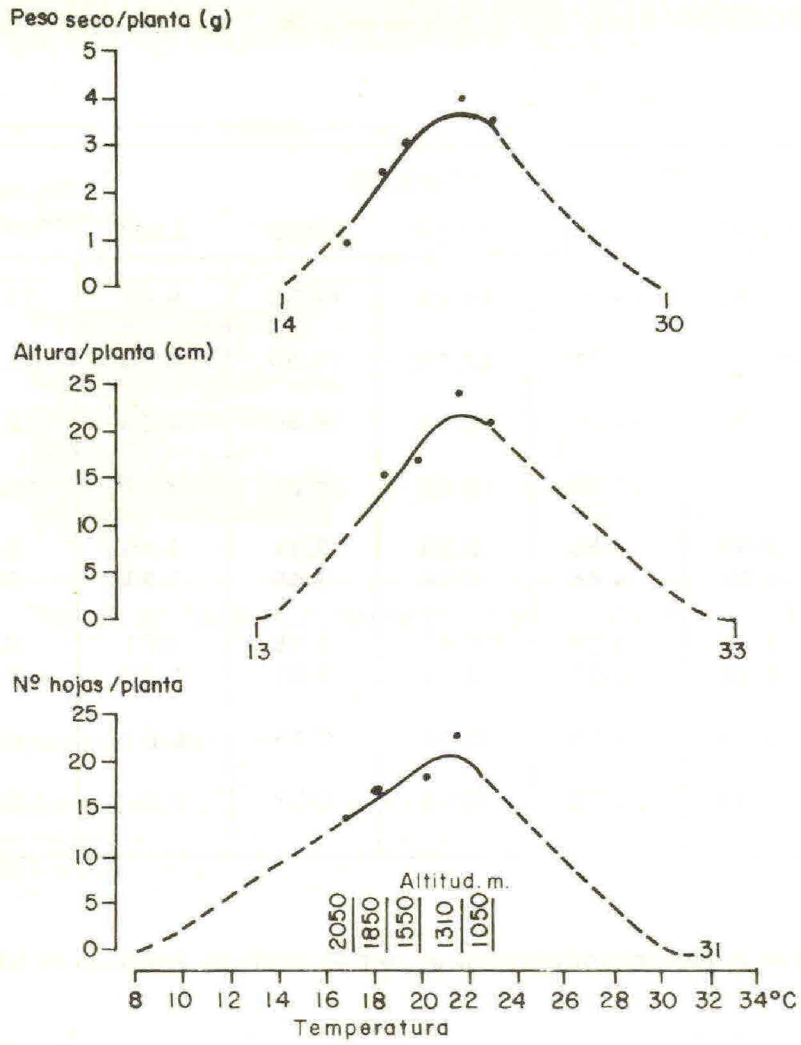


Figura 3.1 — Crecimiento de plantas de Coffea arabica L., var. Caturra a los 6 meses de edad, a libre exposición solar para diferentes condiciones de temperatura (3).

Nutrición:

Este es uno de los factores más críticos para el desarrollo de las planticas en el almácigo. De los diferentes estudios realizados en CENICAFE se destacan los siguientes resultados (Tabla 3.6):

1. La adición de abonos orgánicos como la pulpa descompuesta, gallinaza, etc., a la tierra para el almácigo en proporción 1:1 ó 2:1 (tierra-pulpa) y 2:1 ó 3:1 (tierra-gallinaza) llevará a la obtención de plantas más vigorosas y sanas porque estos abonos aportan nutrimentos y dan una mayor aireación al suelo, lo que redundaría en menor compactación, buena capacidad de retención de húmedad y mayor desarrollo de raíces (5, 10, 11).
2. La aplicación de fertilizantes químicos (simples o compuestos) a la bolsa no es redomendable y más bien puede ser contraproducente (7, 12)
3. No se justifica la aplicación foliar de fertilizantes como Coljap, Wuxal, úrea, Nutrimins.
4. Aspersiones frecuentes de úrea pueden causar quemazón de los tejidos o intoxicaciones por biuret (8, 9).

Edad de transplante:

Cuando se hacen los almácigos en bolsas de polietileno, la mejor edad para transplantar las plantas al sitio definitivo es alrededor de los seis meses (13).

Comparación del desarrollo en almácigo de las variedades Caturra y Colombia:

Bajo idénticas condiciones de manejo, no se observaron diferencias en el desarrollo de la raiz y de la parte aérea de las variedades Caturra y Colombia (2) (Tabla 3.7)

Tabla 3.6 — Influencia de la nutrición sobre el desarrollo de las plantas en el almácigo.

Tratamiento	Altura	Peso seco (g)	Fuente
Testigo (sin fertilizante)	9.20	5.50	Sección Café. CENICAFE
2 g 12-12-17-2	8.40	3.70	Informe Anual 1975-76.
4 g 12-12-17-2	10.10	5.80	
6 g 12-12-17-2	9.10	4.60	
Testigo (sin úrea)	14.20	7.70	Cenicafé 28 (2) 61-66 66/77
2 g úrea	9.60	4.20	
4 g úrea	7.10	2.20	
Testigo (sin superfosfato)	8.80	2.80	Cenicafé 28(2): 61-66/77
2 g superfosfato	10.40	5.00	
4 g superfosfato	11.70	6.30	
Testigo (sin sulfato)	9.90	4.60	Cenicafé 28(2): 61-66/77
2 g sulfato K	10.30	4.70	
4 g sulfato K	10.70	4.70	
Testigo (sin gallinaza)	13.10	12.50	Sección Café. CENICAFE
Testigo (con pulpa 2:2)	26.00	40.80	Informe anual 1979-80.
Suelo + gallinaza (3:1)	23.60	34.80	
Suelo + gallinaza (2:2)	18.10	26.00	
Suelo + gallinaza (1:3)	15.70	22.30	
Testigo (sin pulpa)	17.40	16.30	Avance Técnico N° 28
Suelo + pulpa (3:1)	20.90	23.60	
Suelo + pulpa (2:2)	24.10	34.30	
Suelo + pulpa (1:3)	25.60	38.60	
Testigo con pulpa	17.6	70.4	Avance Técnico N° 49
Testigo sin pulpa	9.5	9.5	
Coljap con pulpa	18.6	80.9	
Coljap sin pulpa	10.5	13.8	
Wuxal con pulpa	17.5	69.3	
Wuxal sin pulpa	9.9	9.9	
Urea con pulpa	17.9	77.9	
Urea sin pulpa	11.2	23.8	
Nutrimin con pulpa	18.7	81.0	
Nutrimin sin pulpa	11.1	18.6	

NOTA: No deben compararse valores entre los diferentes experimentos pues estos corresponden a diferentes épocas.

Tabla 3.7 — Desarrollo en almácigo, a los 6 meses, de las variedades Caturra y Colombia (2)

Variedad	Altura epicotilo cm	Area Foliar cm2	Peso seco parte aérea	Longitud raíz cm	Peso seco raíz (g)
Caturra	18.00	355.00	3.20	20.20	0.80
Colombia	18.00	360.00	2.80	17.20	0.70

REFERENCIAS

1. ARCILA P., J. Efecto de la luz ultravioleta en plántulas de café en almácigo. Cenicafé (Colombia) 25: 90-92. 1974.

2. BOTERO J., M y ARCILA P., J. Densidad máxima de semilla para los germinadores de café. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Fitofisiología. Informe Anual de labores 1984-1985. Chinchiná, Cenicafé. p. 32-56. 1985.

3. JARAMILLO R., A y GUZMAN M., O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en Coffea arabica L., variedad Caturra. Cenicafé (Colombia) 35: 57-65. 1984.

4. LOPEZ, C.; NARANJO J., O.; VILLEGAS E., M. y VALENCIA A., G. Influencia de la altitud en el desarrollo de plántulas de café en almácigo. Cenicafé (Colombia) 23: 87-97. 1972.

5. MESTRE M., A. Utilización de la pulpa en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 28. 1973.

6. OSORIO, J. y CASTILLO Z., J. Influencia del tamaño de la semilla en el crecimiento de las plántlas de café. Cenicafé (Colombia) 20: 20-40. 1969.

7. SALAZAR A., N. Respuestas de plántulas de café a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. Cenicafé (Colombia) 28: 61-65. 1977.

8. VALENCIA A., G. Efecto del biuret sobre el cafeto. Avances Técnicos Cenicafé N° 103. 1983.

9. _____. Fertilización foliar en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 49. 1975.

10. _____. Utilización de la pulpa de café en los almácigos. Avances Técnicos Cenicafé N° 17. 1972.

11. URIBE H., A. y MESTRE M., A. Efecto de la gallinaza como abono en almácigos de café. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Sección Café. Informe Anual de labores 1979-1980. Chinchiná, Cenicafé, p. 88-90. 1980.

12. _____ y _____. Fertilización química del café en almácigos. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección Café. Informe anual de labores 1975-1976. Chinchiná, Cenicafé, pp. 113-114. 1976.

13. _____ y _____. Edad de transplante del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé N° 75. 1978.

CAPITULO 4

Desarrollo Vegetativo del Cafeto y Factores que lo Afectan

En este capítulo se describirá básicamente como es el crecimiento de las raíces, tallo, ramas y hojas del cafeto una vez transplantado al campo y como es afectado por diversos factores.

4.1 – LA RAIZ:

4.1.1.- Morfología y crecimiento:

Es una estructura de importancia primordial puesto que por allí la planta toma el agua y los nutrimentos necesarios para su crecimiento.

Según Nutman (16, 17), un sistema radicular de un cafeto bien desarrollado está compuesto de:

a). Una raíz pivotante o central, a menudo múltiple, que rara vez se extiende a más de 45 centímetros de profundidad.

b). Cuatro a ocho raíces axiales que crecen verticalmente hacia abajo hasta 2-3 metros de profundidad. Estas raíces se originan lateralmente o de la bifurcación de la raíz pivotante y se ramifican en todas las direcciones a diferentes profundidades.

c). Raíces laterales superficiales que crecen paralelas a la superficie del suelo hasta 1-1.5 metros 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.

d). Raíces laterales sub-superficiales que no crecen paralelas a la superficie del suelo. Se originan más profundo que las anteriores y se ramifican en el suelo en todos los planos.

e). Raíces portadoras de raíces absorbentes, de longitud variable, que se distribuyen uniformemente a unos 2.5 cm. de distancia sobre las permanentes (raíces de más de 3 mm. de espesor). Estas raíces tienden a ser más cortas y más numerosas en el suelo superficial.

f). Raíces absorbentes que nacen uniformemente sobre las anteriores, a todas las profundidades, siendo ligeramente más numerosas en el suelo superficial.

Suárez de Castro (18), en un estudio sobre la distribución de raíces del cafeto en un suelo de El Salvador, encontró que la raíz principal de plantas de un año no profundiza más de 20 cms. En plantas de dos años llega hasta los 30 cms. y en cafetos de 7 años profundiza hasta 50 cms.

Suárez de Castro (19), estudió también la distribución de las raíces del cafeto en un suelo franco-limoso en Colombia y encontró en uno de los grupos de los árboles estudiados lo siguiente:

En los 10 primeros centímetros del suelo se encuentra un 52.3 de raíces absorbentes y un 47.5 de las raíces totales. En los primeros 30 cm. se encontraron 86% de las raíces absorbentes y 89.9% de las raíces totales.

Según los datos anteriores, las raíces absorbentes del cafeto son bastante superficiales.

La concentración de raíces disminuye progresivamente del tronco hacia la periferia y en la gotera de la planta ya ocurren concentraciones de raíces mucho menos que el promedio. En plantas de dos años las raíces absorbentes se encontraban casi en su totalidad a menos de 45 cms. del tronco.

Respecto al crecimiento estacional de las raíces Huxley (11) reporta que puede haber períodos de mayor extensión de raíces que otros y que en muchos casos estos períodos precederán a épocas de mayor crecimiento del tallo. Parece que la movilización de fotosintetizados hacia las raíces ocurre en los períodos de menor crecimiento del tallo.

Las anteriores consideraciones sobre la morfología y distribución de las raíces se resumen en la figura 4.1 y deberán tenerse en cuenta para la ejecución de prácticas culturales como: siembra de cultivos intercalados, desyerbas, fertilización, conservación de suelos.

4.1.2 — Factores que limitan el crecimiento de la raíz:

- Malformación de raíz por mala siembra o demora en el transplante.

- Exceso o falta de agua:

Su principal efecto es sobre las raíces absorbentes, limitando la absorción del agua, los minerales y como consecuencia el crecimiento de la parte aérea y la producción de la planta (13, 17, 24).

- Fertilidad y acidez del suelo:

En general parece que el mejor pH para el desarrollo de las raíces del cafeto es de 5.8 a 6.0 (17).

— Limitaciones físicas del suelo:

Suelos pedregosos, pesados o tabla de agua alta, limitan seriamente el desarrollo de la raiz (17, 21, 24). La presencia de hardpan solo afectará el desarrollo de la raíz si éste es muy superficial (17, 18).

— Exceso de producción en la planta y fertilización pobre o mal balanceada:

Cuando no se fertiliza oportunamente (época y cantidad) una plantación de café en producción, puede producirse un desequilibrio fuerte en la planta como sucede en el denominado "paloteo" (5, 13, 24).

— Malezas:

Puesto que el sistema de raíces absorbentes del cafeto es muy superficial, las malezas competirán fácilmente por nutrimentos y agua con el cafeto.

Plagas y enfermedades de la raíz:

Anilladores, llagas, nemátodos.

Nota: Es frecuente observar un aspecto general de debilidad de la planta cuando existe un problema radical.

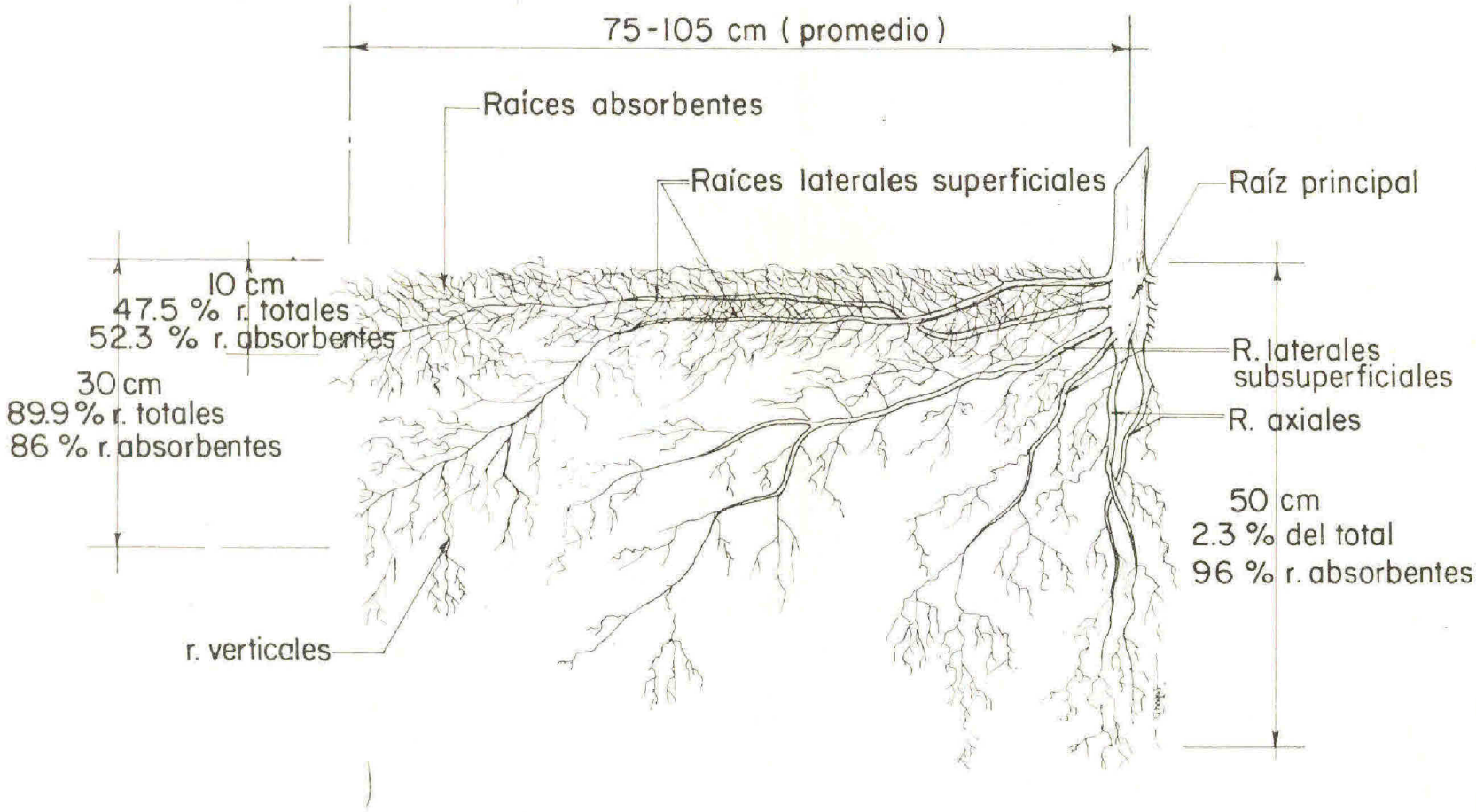


Figura 4.1— Morfología y distribución de raíces de una planta adulta de C. arabica L. Los porcentajes se refieren a observaciones en un individuo y por tanto deben considerarse como valores relativos solamente. (Adaptado de Suáre de Castro (19)).

4.2 — MORFOLOGIA DE LA PARTE AEREA:

4.2.1.- Estructura general de la parte aérea:

En la figura 4.2 se presentan los aspectos más sobresalientes de la morfología de la planta de café así:

Dos tipos característicos de brotes:

1. Ortotrópicos, que crecen verticalmente y comprenden el tallo principal, brotes verticales, brotes de la zoca.

2. Plagiotrópicos o ramas laterales que crecen horizontalmente y comprenden las ramas primarias, secundarias y terciarias.

Otra característica importante es la presencia en las axilas de cada hoja, de una serie ordenada de 5-6 yemas, la más superior de las cuales está separada del resto y se denomina "yema cabeza de serie", las restantes denominadas "yemas seriadas" (8, 15). Estas yemas se empiezan a formar en las plántulas de Coffea arabica a partir del 6° - 8° par de hojas. La función de estas yemas es la siguiente:

TALLO PRINCIPAL:

"Yemas cabeza de serie" Dan origen a ramas plagiotrópicas primarias solamente. Tienen conexión vascular con el tallo desde el principio.

"Yemas seriadas" Originan brotes ortotrópicos solamente. Estas constituyen el potencial de brotación de la zoca. Su número puede aumentar con la edad de la planta. Permanecen latentes hasta que se suprima la dominancia apical. Ocasionalmente originan flores. No tienen conexión vascular desde el principio.

RAMAS PRIMARIAS:

"Yemas cabeza de serie" Forman ramas plagiotrópicas secundarias solamente.

"Yemas seriadas" Originan de 2 a 4 inflorescencias (glomerulos) y cada inflorescencia tendrá 4-5 yemas florales. También pueden originar ramas plagiotrópicas, pero nunca darán origen naturalmente a ramas ortotrópicas y es por esta razón que no se emplean ramas plagiotrópicas para la propagación por estacas.

4.2.2.- Crecimiento de tallo, ramas y hojas y cómo son afectados por factores ambientales:

Consideraciones generales:

Las varias partes de la planta crecen a diferente ritmo y en distintas épocas del año, debido a la interacción de factores genéticos, nutricionales, hormonales y ambientales.

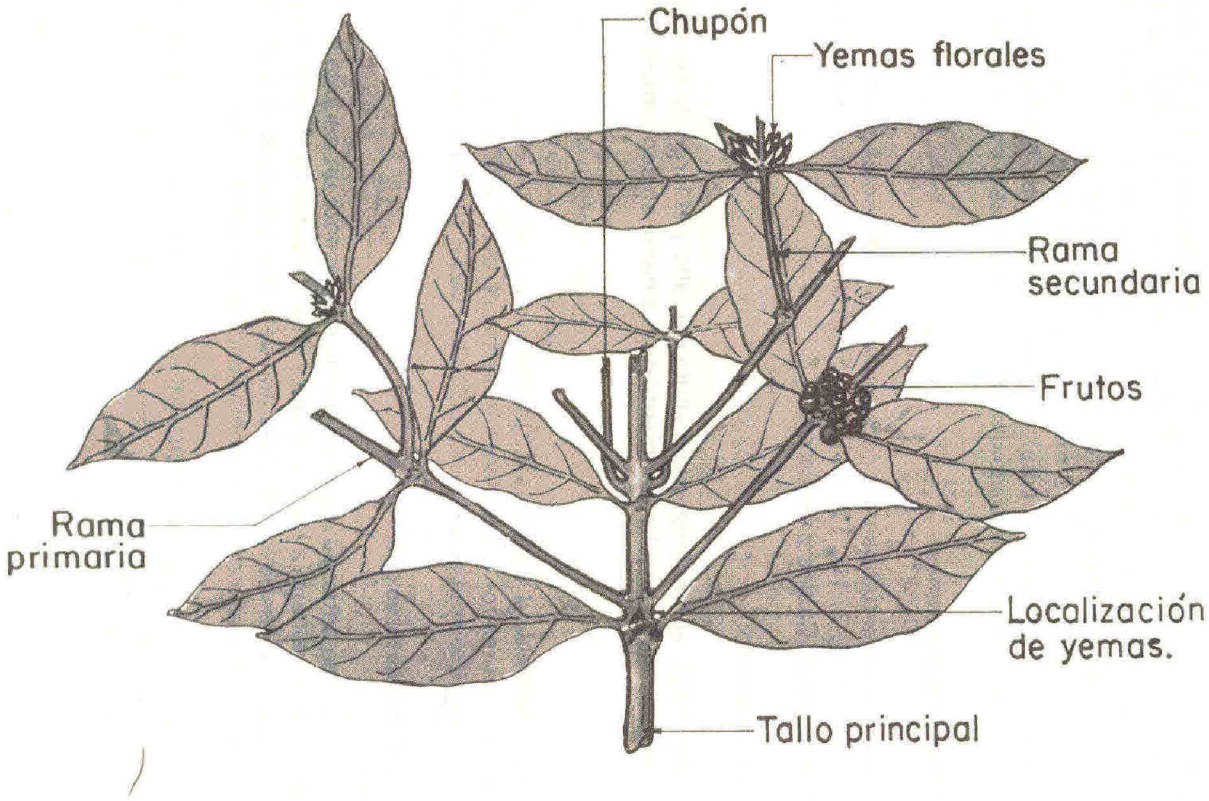


Figura 4.2. Morfología de la parte aérea de Coffea Arabica L.

En general, el crecimiento es más activo cuando hay buen suministro de agua y nutrimentos y cualquier factor que detiene el crecimiento, sin afectar la fotosíntesis, aumentará la tendencia a la diferenciación (ejemplo: formación de flores); aumento en la iluminación tiende a producir plantas más bajas y más diferenciadas (14).

Características del clima de la zona cafetera colombiana:

En la figura 4.3 se resumen las características climáticas generales de la zona cafetera colombiana y las cuales determinan muchos de los hábitos de crecimiento del cafeto en este medio. Se destacan los siguientes aspectos: Valores anuales de precipitación superiores a 2.000 mm. y con dos períodos de mayor y dos de menor precipitación característicos; altos valores de la radiación observada (entre 200 y 400 cal/cm^2/día) con máximos en marzo y septiembre; brillo solar posible de alrededor de 11.5 horas diarias; temperaturas promedios entre 17 y 23°C aproximadamente, caracterizadas por fuertes oscilaciones (8-10°C) entre el día y la noche; volúmenes anuales de evaporación inferiores a 1.200 mm. y temperaturas de suelo que pueden variar entre 15 y 35°C aproximadamente. No obstante, la zona cafetera presenta altos valores de precipitación anual, hay regiones con limitaciones de agua por una inadecuada distribución de lluvias o por alta evaporación (9).

Periodicidad del crecimiento de tallo y ramas:

En Colombia se han realizado varios estudios para determinar la periodicidad de crecimiento del cafeto y su relación con los factores climáticos (6, 7, 10, 12, 20). Estos estudios se aplican básicamente a las condiciones climáticas en la región de Chinchiná, Caldas y similares.

Cafetos en el primer año de desarrollo:

Según los estudios de Gómez (10), el crecimiento en altura del tallo y el largo de las ramas aumentó progresivamente de febrero a marzo, disminuyó en julio y aumentó nuevamente en septiembre y octubre.

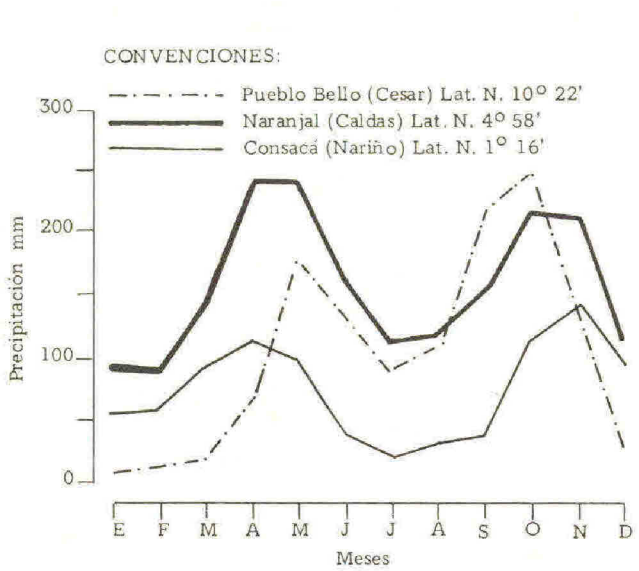
Cafetos en producción:

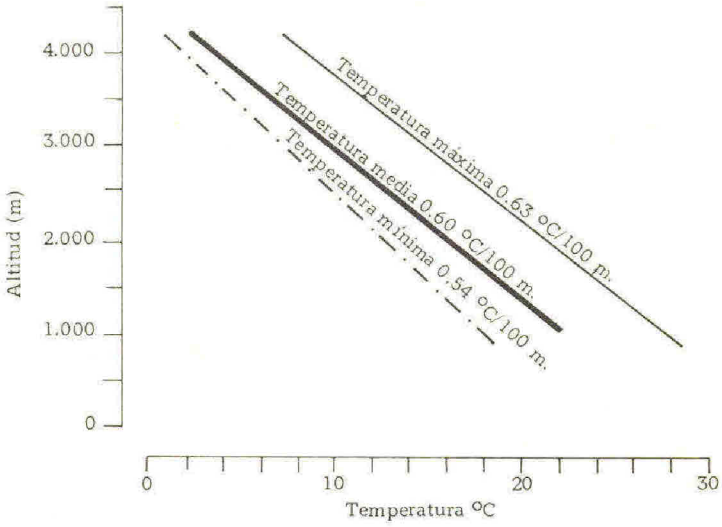
Los trabajos de Gómez (10), Jaramillo y Valencia (12) y Suárez de Castro (20), muestran que hay una tendencia a presentarse dos períodos de mayor crecimiento de ramas y tallos así: Marzo-abril y agosto-septiembre. En la figura 4.4 se presentan ejemplos del crecimiento del tallo y de las ramas durante varios años.

Relación del crecimiento con los factores climáticos:

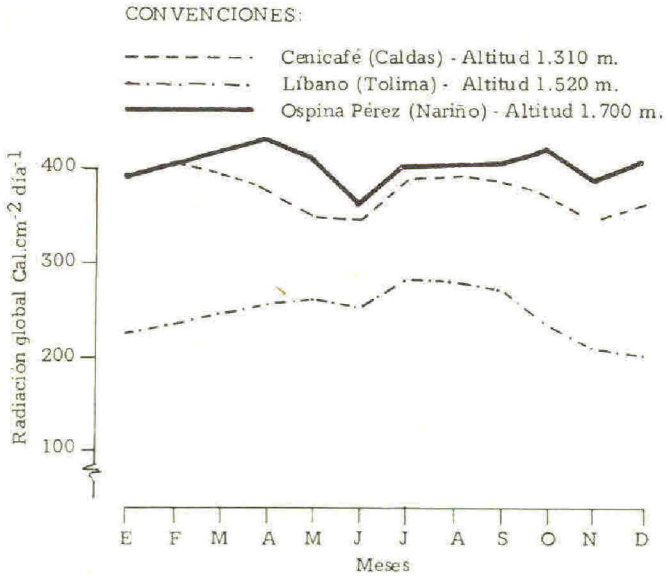
Según Jaramillo y Valencia (12), en aquellas regiones donde se presente un período seco marcado, el comportamiento de la planta estaría condicionado a las variaciones en la cantidad de precipitación o en la humedad del suelo; de otra parte, en las regiones donde no se presentan déficits hídricos en el suelo, el comportamiento del cafeto estaría estrechamente relacionado con la disponibilidad de radiación solar.

Gómez (10) para las condiciones climáticas de CENICAFE no encontró relación entre las variables de la planta, diámetro del tallo, altura del árbol, alargamiento de ramas y número de ramas y la precipitación, deduciendo que estos factores no son limitantes en la localidad.





Variación de la temperatura máxima, media y mínima con la altitud.



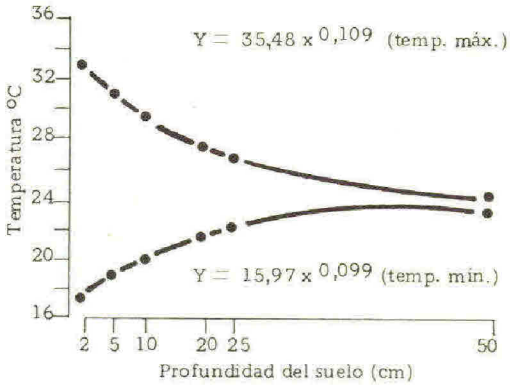


Figura 4.3- Algunas características climáticas de la zona cafetera colombiana. Sección Climatología, CENICAFE (9).

Continúa

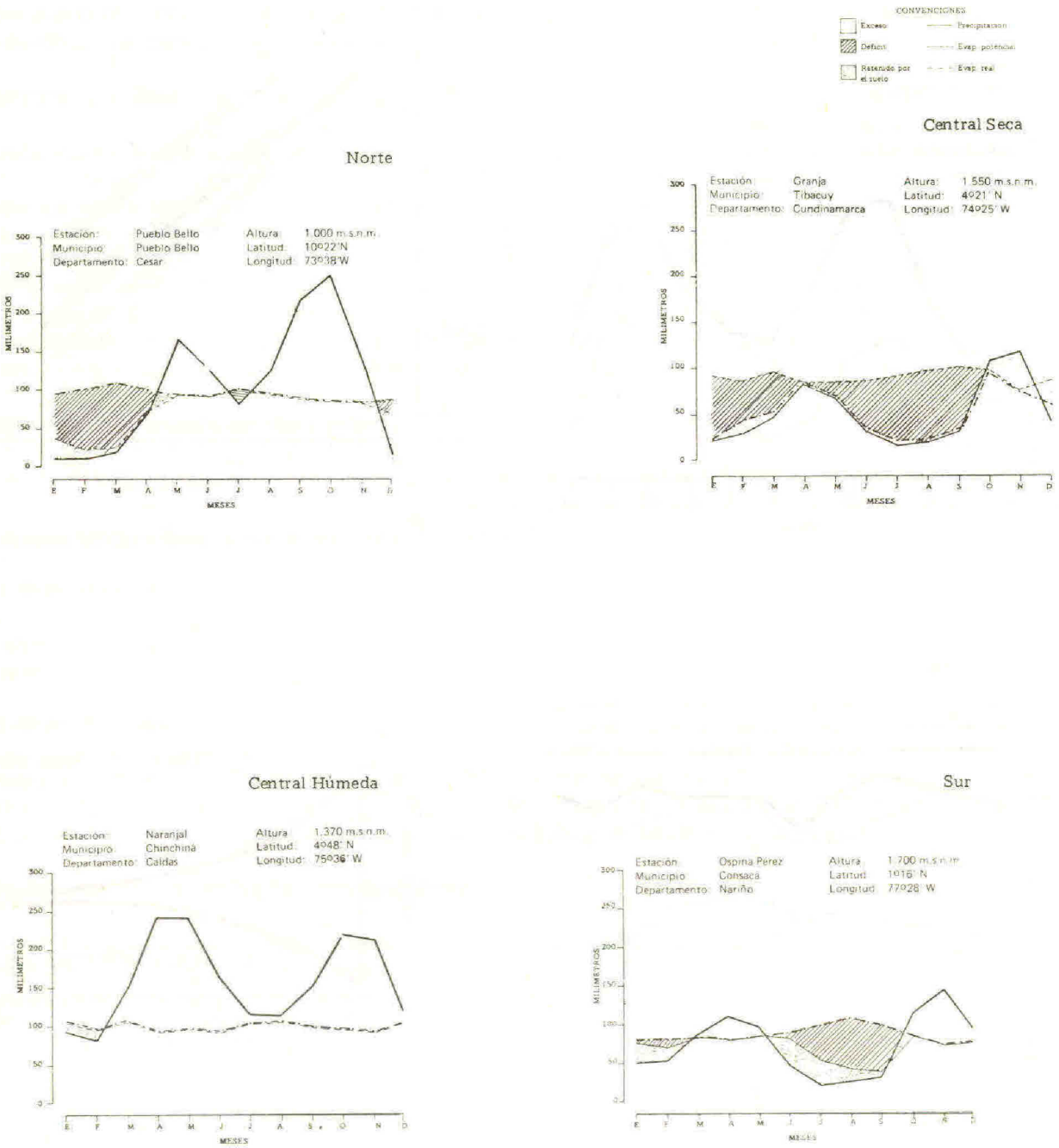


FIGURA 4.3.- Algunas características climáticas de la zona cafetera colombiana. Sección Agroclimatología, CENICAFE (9). Continuación.

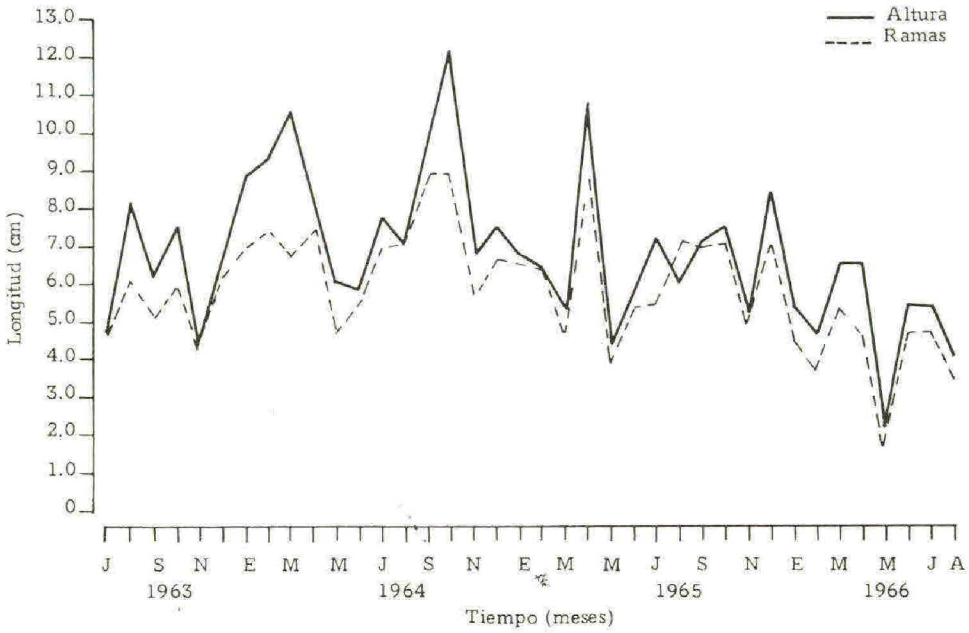


Figura 4.4- Tasas mensuales de crecimiento en altura y extensión de ramas en Coffea Arabica L., variedad Caturra. Naranjal (1963-1966). (12).

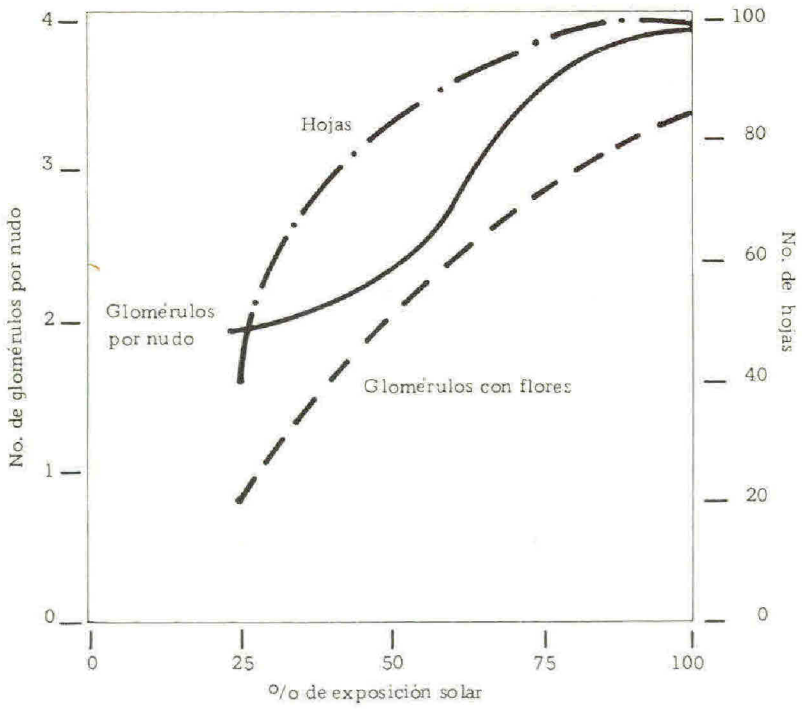


Figura 4.5- Efecto de la luz sobre el número total de glomérulos, glomérulos con flores y sobre el follaje. (6).

Jaramillo y Valencia (12) evaluaron cuales elementos del clima influyen más en la altura de la planta, crecimiento de ramas, número de flores y número de frutos en C. arabica var. Caturra y encontraron que las medidas de la planta que mejor reflejan el clima son: altura, crecimiento de ramas y número de flores y que los elementos de clima que explicaron significativamente los incrementos en altura y en longitud de ramas fueron el brillo solar, la evaporación, la temperatura efectiva y la duración de la temperatura máxima. El número de flores se explicó significativamente por el brillo solar, la evaporación y la variación de almacenamiento de agua en el suelo.

Castillo (7) estudió la relación del crecimiento del cafeto a la temperatura en condiciones de campo y encontró la mayor correlación con el número de horas con temperaturas superiores a 20°C observadas 3 a 4 semanas antes; la temperatura máxima estuvo relacionada con el crecimiento.

Castillo (6) encontró que al aumentar la intensidad de luz aumentaron el número de hojas, número de nudos, número de flores y número de frutos por nudo (Figura 4.5).

Otras relaciones específicas del ambiente y el crecimiento del cafeto se discuten a través de los diferentes capítulos.

4.3 – DESARROLLO FOLIAR DEL CAFETO:

Crecimiento de la hoja:

En plántulas de la variedad Caturra, en almácigo, las hojas alcanzaron su máximo desarrollo entre 20 y 25 días después de su aparición. El crecimiento de la hoja siguió una curva logística (curva de crecimiento de Pearl-Reed), caracterizado por la ecuación: $Y = (a + bc^{X})^{-1}$ en donde: Y = incremento en área foliar; X = tiempo (días); 1/a = máximo crecimiento; a, b, c = constantes (4).

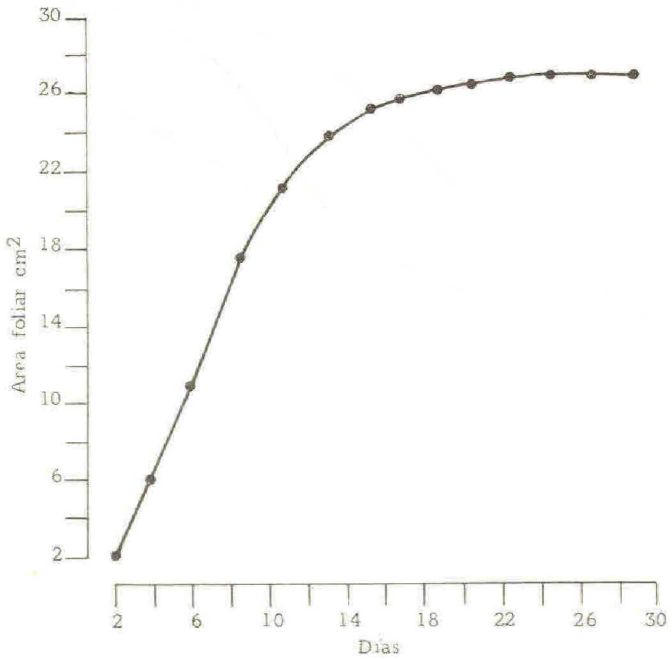


Figura 4.6- Curva de crecimiento de la hoja del cafeto (4).

También se está estudiando en CENICAFE el crecimiento de la hoja en plantas adultas (Figura 4.7). Resultados preliminares muestran que existen muchas diferencias en el crecimiento de la hoja entre árboles, entre ramas de un mismo árbol y aún entre el par de hojas de un mismo nudo. Las hojas pueden tardar entre 40 y 60 días para alcanzar su máxima longitud (1).

El tamaño promedio de las hojas es de 25 - 30 Cm^2 (23).

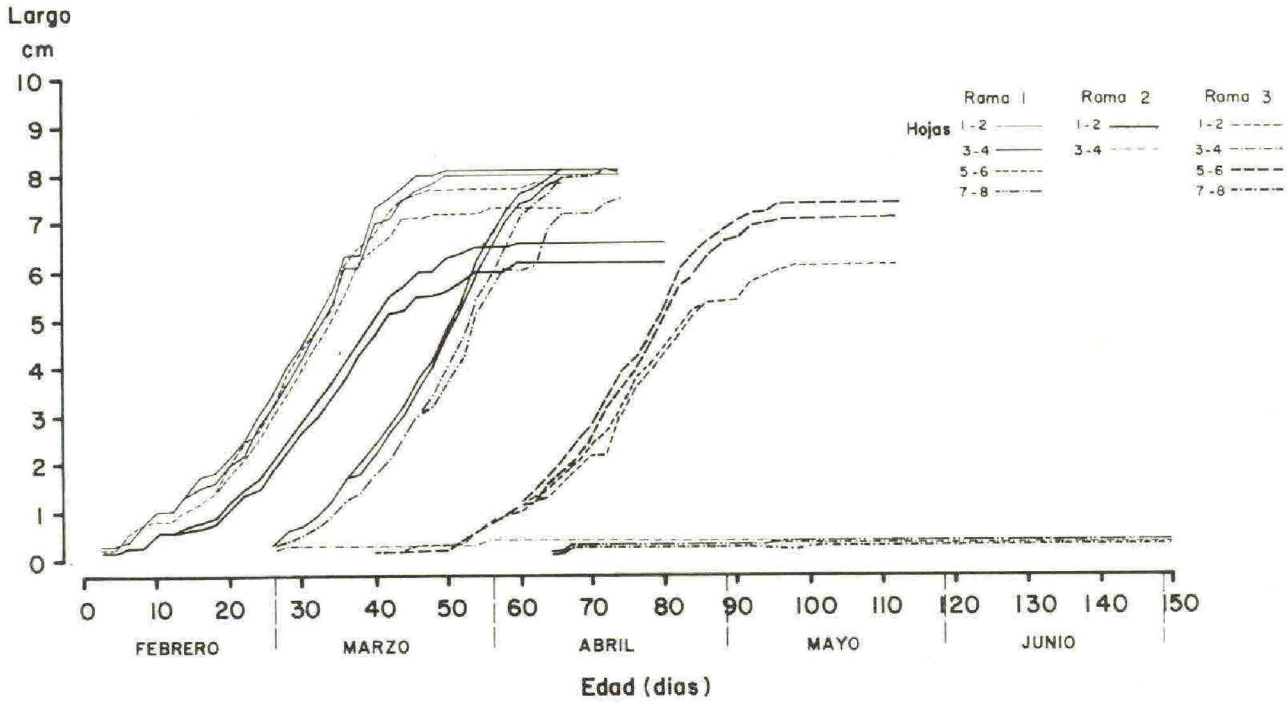


Figura 4.7- Crecimiento de las hojas del cafeto en las condiciones de CENICAFE. (Variedad Caturra). (1).

Periodicidad de la formación de hojas:

El primer par de hojas verdadero aparece en una plántula a los 75 días aproximadamente después de la germinación (semillas con endocarpio presente). En las ramas, un par de hojas aparece cada 15 ó 20 días aproximadamente (22).

La formación de hojas ocurre durante todo el año pero hay épocas en que los factores climáticos como la disponibilidad de agua en el suelo y el brillo solar son más favorables para una mayor formación de hojas. En Chinchiná, Caldas, hay tres épocas de mayor formación de hojas: febrero-abril, julio-agosto y noviembre-diciembre, siendo más abundante la formación de hoja en el período febrero-abril (figura 4.8) (2, 22). Aparentemente hubo una tendencia a disminuir el ritmo de formación de hojas con el transcurso del tiempo en las ramas escogidas, pero esto estaría compensado por la aparición de ramas secundarias.

Figura 4.8 Epocas de formación de hojas. Chinchiná 1982 (22).

Cantidad de hojas:

El número de hojas por árbol varía según la edad de la planta, según la densidad de siembra y según la condición de sol o sombra (Tabla 4.1),

Tabla 4.1 Cantidad de hojas de la planta de café según las condiciones del cultivo.

Edad (años)	Densidad	N° Hojas Arbol
1	—	440
2	—	1.840
3	10.000	3.080
4	—	3.800
5	—	3.920
1		440
2		1.760
3	5.000	4.120
4		5.800
5		6.400
1		440
2		1.400
3	2.500	3.200
4		6.000
5		7.600
2	A la sombra	942
2	Al sol	1.916

Duración y caída de las hojas:

La mayor frecuencia de duración de las hojas en Chinchiná fué de 10 a 15 meses en un cafetal bajo sombra y de 9 a 14 meses en cafetos a pleno sol (3).

En la India bajo sombra natural, las hojas duran entre 15 y 612 días y el 25% de las hojas se cae entre 3 y 6 meses de edad y en Tanganyika han encontrado una duración de 15 a 300 días (14).

Factores como déficit hídricos prolongados, temperaturas altas, reducen el n ivel de carbohidratos en la planta y reducen la duración de la hoja. Estos efectos pueden ser más drásticos durante la maduración de la cosecha. Deficiencias minerales también afectan seriamente la duración de la hoja (5, 13, 14).

En las condiciones de CENICAFE se ha observado una época de mayor caída natural de las hojas, la cual coincide con la época de la cosecha principal, es decir, entre octubre y diciembre (Figura 4.9).

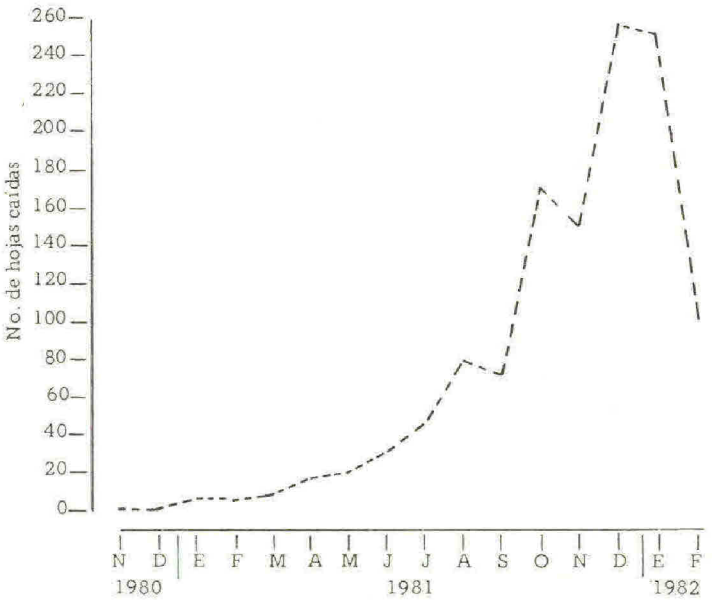


Figura 4.9- Caída de hojas en una plantación de café (22).

En la Tabla 4.2 se muestra la dinámica de la defoliación natural según la densidad de siembra. Se observa que durante los primeros 3-4 años hay un equilibrio entre la cantidad de hojas formadas y las que se caen. Después de este tiempo se acentúa la pérdida de hojas en la época de cosecha.

Tabla 4.2- Defoliación por causas naturales y/o mecánicas en el cafeto (23).

Densidad	% Area foliar en noviembre con relación a junio			
	1967	1968	1969	1970
10.000	101	104	81	93
5.000	102	110	122	91
2.500	102	103	106	86

REFERENCIAS

1. ARCILA P., J. Fisiología del desarrollo foliar del cafeto. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Cafe, CENICAFE, Sección de Fitofisiología. Informe Anual de Labores 1984-1985. Chinchiná. Cenicafé, p. 56-57 1985.

2. _____. Retención y duración de las hojas de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Fitofisiología. Informe Anual de labores Julio 1982-Junio 1983. p. 2-12. 1983. (Mecanografiado).

3. _____ y VALENCIA A., G. Observación del promedio de vida de las hojas de C. arabica. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Fitofisiología. Informe anual de labores Julio 1975-Junio 1976. pp. 33-34. 1976. (Mecanografiado).

4. BUITRAGO, H.L. Determinación de área foliar y velocidad de crecimiento de hojas de café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Fitopatología. Informe anual de labores julio 1981-junio 1982, pp. 200-201. 1982 (Mecanografiado).

5. CANNELL M., G.R. Physiology of the coffee crop. In: Coffee. Botany, Biochemestry and Production of beans and Beverage (M.N. Clifford and K.C. Wilson eds.) AVI Publisting Co. pp. 108-134. 1985.

6. CASTILLO Z., J y LOPEZ A., R. Nota sobre el efecto de la intensidad de luz en la floración del cafeto. Cenicafé (Colombia) 17: 51-60. 1966.

7. _____. Observaciones sobre la relación del crecimiento del cafeto y temperatura en condiciones de campo. Cenicafé (Colombia) 8: 305-313. 1957.

8. DEDECCA, D.M. Anatomía e desenvolvimiento ontogenético de Coffea arabica L. var. Typica. Cramer. Bragantia (Brasil) 16: 315-366. 1975.

9. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia. 40 años de investigación en CENICAFE. Vol. 2. Clima. Chinchiná. Cenicafé. 1983 56 p.

10. GOMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. Cenicafé (Colombia) 28: 3-17. 1977.

11. HUXLEY, P.A.; PATEL, R.Z.; KABAARA, A.M. y MITCHELL, H.W. Tracer studies with 32P on the distribution of functional roots of arabica coffee in Kenya. Ann. Appl. Biol. 77: 159-180. 1974.

12. JARAMILLO R., A y VALENCIA A., G. Los elementos climáticos y el desarrollo de Coffea arabica L. en Chinchiná. Cenicafé (Colombia) 3: 86-104. 1980.

13. KUMAR, D. Some aspects of the physiology of Coffea arabica L, A. Review, Kenya Coffee 44: 9-47. 1979

14. MAESTRI, M. y SANTOS, B.R. Ecofisiología de cultivos tropicales. Café, Promecafé - IICA. 1981. 50 p.

15. MOENS, P. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. Turrialba (Costa Rica) 18: 209-233. 1968.

16. NUTMAN, F.J. The root system of Coffea arabica L. I. Root systems in typical soil of British East Africa J. Exp. Agric. 1: 271-284. 1933.

17. _____. The root system of Coffea arabica L. II. The effect of some soil conditions in modifying the "Normal" root system. J. Exp. Agr. 1: 285-296. 1933.

18. SUAREZ DE CASTRO, F. Distribución de las raíces del cafeto Coffea arabica L. en suelo de El Salvador. El Café de El Salvador. 30: 421-449. 1960.

19. _____. Distribución de las raíces de C. arabica L. en un suelo franco limoso. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Boletín Técnico 1: 1-28. 1953.

20. _____ y RODRIGUEZ G., A. Relaciones entre el crecimiento del cafeto y algunos factores climáticos. Boletín Técnico N° 16. Campaña de defensa y restauración de suelos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Cenicafé, Chinchiná.

21. SUAREZ V., S. Suelos pesados de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé N° 71. 1977.

22. VALENCIA A., G. El área foliar y la productividad del cafeto. Taller sobre Roya del Cafeto. Manizales, Abril 12-16. 1982.

23. _____. Relación entre el IAF y la productividad del cafeto. Cenicafé (Colombia) 24(4): 79-89. 1983.

24. _____. El paloteo del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé N° 82. 1978.

25. WORMER, T.M. and GITUANJA, J. Floral initiation and flowering in Coffea arabica L. in Kenya. Exp. Agr. 6: 157-170. 1970.

CAPITULO 5

Desarrollo Reproductivo del Cafeto

5.1 — DESARROLLO FLORAL:

Las flores del cafeto se forman a partir de las "yemas seriadas" localizadas en las axilas de las hojas de las ramas plagiotrópicas (13), en tres fases fisiológicamente determinadas (1, 3, 14).

a). Iniciación floral y diferenciación.
b). Un corto período de latencia
c). Antesis o apertura de las yemas (Floración propiamente dicha).

a). Iniciación floral y diferenciación:

La formación de una inflorescencia o una rama a partir de una yema seriada solamente se puede saber una vez la yema alcanza cierto grado de desarrollo. En este estado, si la determinación es conducente a flor, ocurre un achatamiento del meristema apical y divisiones celulares que resultan en la formación de 3-4 inflorescencias (glomérulos) cada uno con 3-4 yemas florales. Esta fase de diferenciación e iniciación floral puede durar 1 mes aproximadamente.

Esta iniciación floral puede ser determinada por el fotoperíodo, la temperatura, disponibilidad de agua, balance nutricional, entre otros.

Respecto al fotoperíodo, los trabajos pioneros de Franco (9) sugirieron que el cafeto era una planta de día corto, es decir, con un requerimiento de longitud del día de 13 horas o menos. Sin embargo, trabajos recientes (5, 14) sugieren que el cafeto no es tan sensitivo a cambios en fotoperíodo y que las plantas jóvenes responden a días cortos, mientras que las plantas adultas son insensitivas a fotoperíodos o neutrales.

Con relación a la temperatura se ha encontrado que las condiciones 26/23, 23/23, 23/20 °C día/noche, estimulan la iniciación floral. A temperaturas altas hay mayor iniciación floral. A temperaturas bajas hay inhibición de la iniciación floral (14).

El balance nutricional no parece jugar un papel crítico en la iniciación floral, aunque una relación C/N alta puede favorecer (14).

b). Período de latencia:

Una vez diferenciadas las flores, estas crecen lentamente durante 2 meses hasta que alcanzan un tamaño de 6-8 mm. y cesan de crecer durante un período de 1-4 meses, que aparentemente no se debe a condiciones externas adversas sinó más bien a condiciones intrínsecas de la planta.

Varios factores externos se han asociado con la ruptura de esta latencia: riego o lluvia después de un período prolongado de deficiencia de agua en el suelo, caída repentina de la temperatura o aún neblina intensa al final de un período seco (1, 3, 4, 14).

Santos y Maestri (14), revisaron recientemente la literatura sobre este aspecto y proponen la hipótesis que presentan en la figura 5.1.

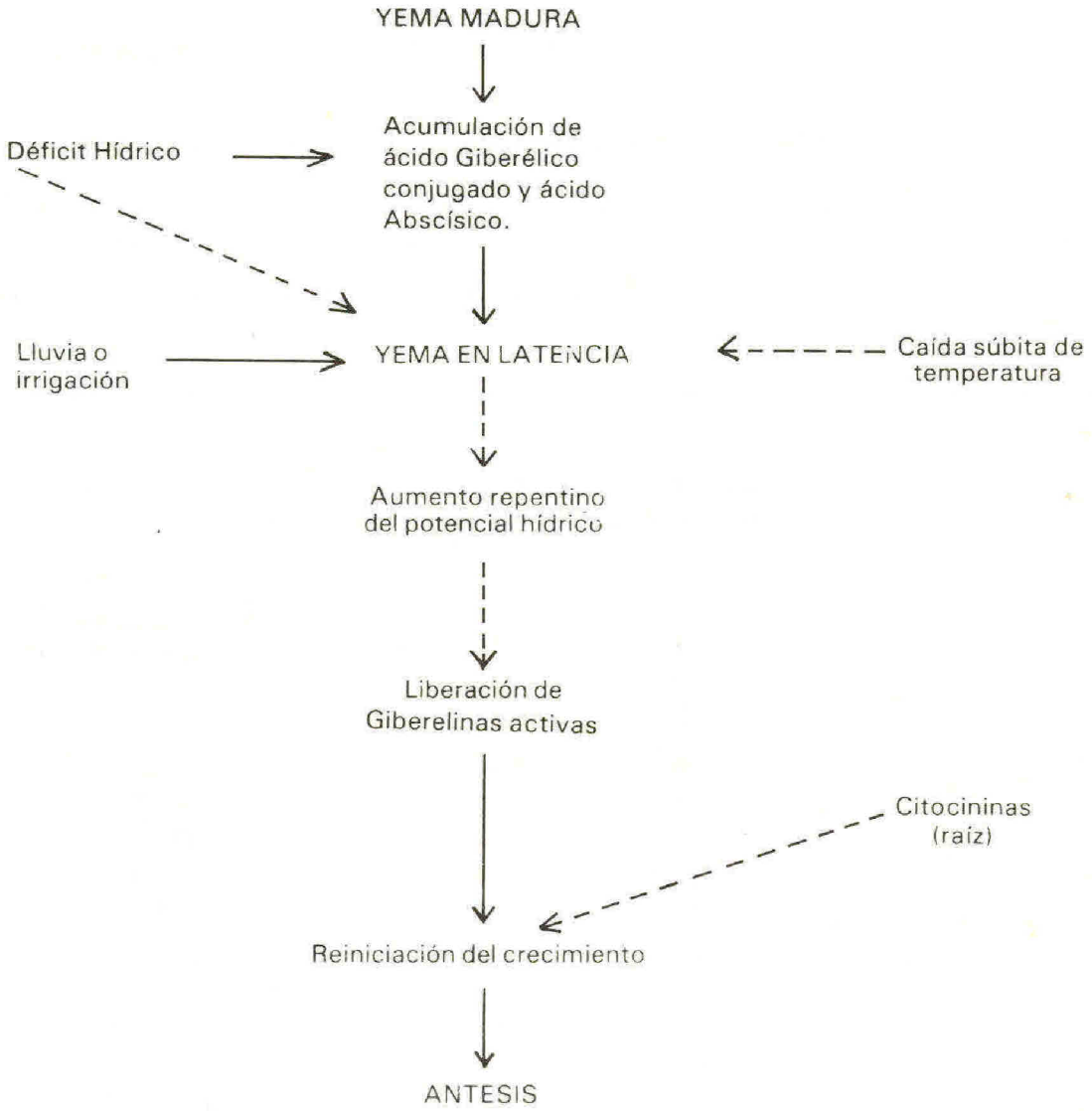


Figura 5.1- Hipótesis corriente acerca de latencia de las yemas florales y antesis en el cafeto. Las líneas punteadas no tienen soporte experimental. (14).

Según esta hipótesis, durante la maduración de la yema ocurre una acumulación de giberelinas inactivas. La deficiencia hídrica contribuye al proceso ya sea mediante una reducción del crecimiento, aumentando el ácido abscisico o induciendo la latencia directamente por mecanismos todavía desconocidos. La presencia de agua ya sea por irrigación o lluvia o una caída súbita de temperatura (3°C o más durante 45 minutos), o cualquier otro cambio en el ambiente que ocasione un cambio rápido en el potencial hídrico de las yemas y afectando por consiguiente reacciones biofísicas y/o bioquímicas conducentes a la liberación de giberelinas activas, traerá como resultado la terminación de la latencia.

c). Antesis (floración):

Después de la ruptura de la latencia por los factores expuestos anteriormente, la yema floral se expande rápidamente y abre en un término de 10-15 días.

El tiempo transcurrido desde la diferenciación floral hasta la floración es variable y puede estimarse que dura aproximadamente 4-5 meses.

Es interesante anotar que en Colombia no se han estudiado las dos primeras fases del desarrollo floral.

En la figura 5.2 se presenta la variación mensual en el número de flores y frutos en la variedad Caturra (11). En las condiciones de Chinchiná la floración más importante se presenta de enero a marzo (cosecha de octubre-noviembre). En agosto-septiembre se presentan otras floraciones de menor intensidad que producen la cosecha de abril-mayo y cuya cantidad es mucho menor que la de fin de año. Se presentan además pequeñas floraciones durante todo el año.

En las condiciones de Chinchiná, la máxima antesis ocurre un poco antes de los períodos de máximo crecimiento vegetativo.

En la tabla 5.1 se muestra la dinámica de la floración en las condiciones de Chinchiná. Se observa que en esta región la mayor cantidad de floración tiende a concentrarse en el mes de febrero.

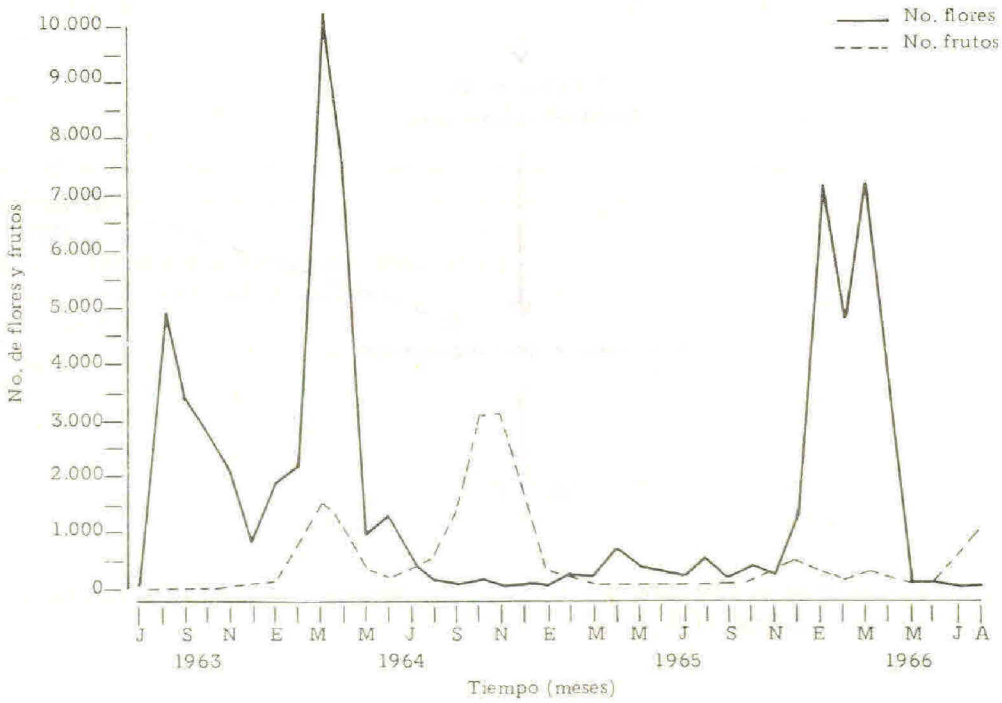


Figura 5.2- Variación mensual en número de flores y frutos de Coffea arabica L., var. Caturra. Naranjal (1963-1966). (11).

En Colombia se ha determinado además que la floración del cafeto aumenta con el aumento de la intensidad de luz. (Figura 4.5) (7.).

Tabla 5.1- Porcentajes mensuales de floración (cosecha principal) para la variedad Caturra 1976-1985.

MES	Porcentaje de Floración									
	AÑOS									
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Diciembre	— —	5 (1)	20 (1)	5 (1)	5 (1)	— —	25 (1)	2 (1)	2 (1)	2 (1)
Enero	20 (1)	30 (1)	45 (2)	35 (1)	50 (2)	— —	20 (1)	5 (1)	25 (1)	37 (3)
Febrero	55 (2)	50 (2)	25 (2)	40 (2)	25 (2)	55 (2)	39 (2)	35 (2)	60 (4)	3 (2)
Marzo	15 (1)	10 (1)	— —	10 (1)	10 (1)	12 (2)	10 (2)	43 (2)	12 (2)	45 (2)
Abril	— —	— —	— —	— —	— —	20 (1)	— —	— —	— —	3 (1)

( ) = Número entre paréntesis indica el número de floraciones en el mes.

5.2 – DESARROLLO DEL FRUTO:

Según Suárez (15), en las condiciones de Chinchiná se tienen las siguientes etapas en el desarrollo del fruto. (Figura 5.3).

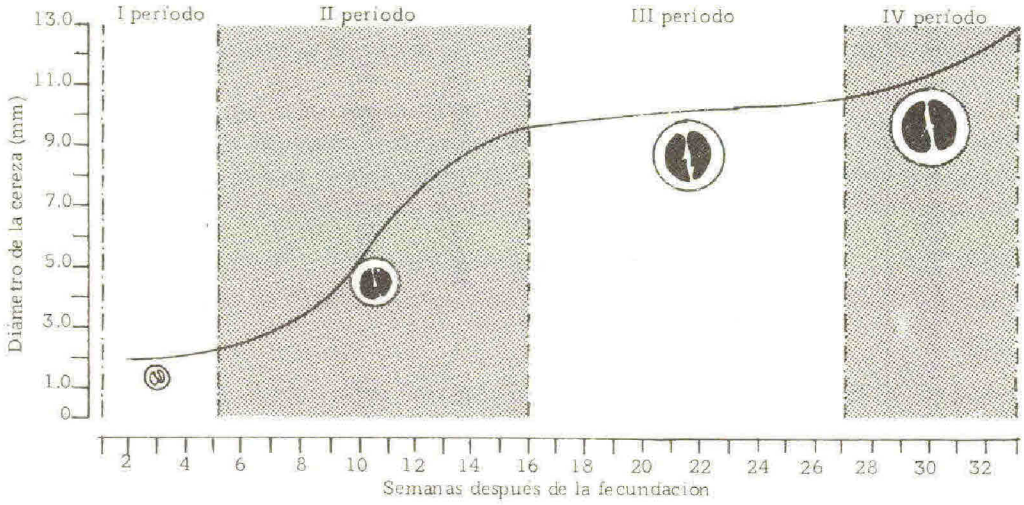


Figura 5.3- Curva promedio de crecimiento del fruto de café en Cenicafé (15).

Primera etapa:

Oscila entre 4 y 7 semanas después de la fecundación. Es un período donde hay muy poco crecimiento en peso y volúmen (6, 10, 12, 18). En esta etapa la presencia o ausencia de lluvia no influyeron el desarrollo del fruto.

Segunda etapa:

Con una duración entre la 6ª y 16ª semanas después de la fecundación. En esta etapa el fruto crece rápidamente en volúmen y peso seco, debido principalmente al crecimiento del pericarpio (6, 10, 12, 18). También ocurre rápida expansión celular, el fruto adquiere un contenido de 80-84% humedad, los dos espacios donde irán las semillas se expandirán a su tamaño definitivo y se llenarán de un líquido lechoso o futuro endosperma y el endocarpio (pergamino) se lignifica. Durante este período es necesaria una buena disponibilidad de agua. El tamaño que adquieran las cavidades donde irá la semilla depende del estado hídrico de la planta. En Kenya se ha observado que los frutos que crecen en períodos húmedos son más grandes que los que crecen en períodos secos. Según Cannell (4) la cantidad de lluvia durante este período de rápida expansión del fruto, es un factor definitivo para el tamaño de grano y otros factores como cantidad de cosecha, defoliación parcial o prácticas culturales diferentes a riego tienen poco efecto sobre el tamaño del grano.

A veces pueden presentarse alteraciones en el desarrollo del fruto como son el secamiento y caída de frutos tiernos o la caída de frutos más desarrollados. En el primer caso el problema está asociado a la falta de agua al comienzo de esta etapa de crecimiento acelerado del fruto.

El segundo caso corresponde al denominado "grano negro". En las plantaciones de café afectadas, se observa diferente cantidad de frutos verdes en el suelo con una ligera tonalidad verde-amarillenta en el pericarpio (cubierta exterior). Al partir estos granos se ve que el endocarpio (pergamino) ya se ha formado y el integumento o líquido lechoso ha adquirido un color café muy oscuro, casi negro. Algunos frutos afectados permanecen adheridos a la planta y al partirlos muestran ennegrecimiento total o parcial de los endospermas. Este problema se debe a una falta de agua entre 13 y 17 semanas después de la floración. (16, 17).

Tercera etapa:

Comprende entre la 16ª y 27ª semanas después de la fecundación. Durante este período el crecimiento exterior no es aparente. Internamente ocurre la formación de la materia seca que viene a formar el endosperma de la semilla. Una vez las cavidades de la semilla son llenadas por el endosperma, ocurre gran demanda por asimilados y minerales (6, 12, 18).

Cuarta etapa:

Entre la 27ª y 33ª semanas después de la fecundación. Aquí ocurre la maduración caracterizada por rápido aumento en peso seco y volúmen del pericarpio, pérdida de la clorofila del fruto, producción de etileno, cambio de color (6, 12, 18). Esta etapa ocurre normalmente en época lluviosa.

En la figura 5.4 se presenta la dinámica de la maduración de los frutos (distribución de cosecha) en diferentes variedades de café, en las condiciones de Chinchiná (8).

5.3 — RESUMEN DE LA DURACION DE LAS DISTINTAS FASES DE CRECIMIENTO DEL CAFETO.

Semilla - Primer par hojas	2 1/2 meses
Primer par hojas - Primer par ramas	5 - 6 meses
Primer par ramas (siembra) - Primera floración	10 - 11 meses
Primer par ramas - Primera cosecha	17 - 20 meses
Desarrollo flores (diferenciación - antesis)	4 - 5 meses
Desarrollo fruto	8 - 9 meses
Duración hojas	12 - 15 meses

Según Jaramillo y Guzmán (Referencia 3, Capítulo 3), existe una relación lineal negativa entre el número de días transcurridos desde la siembra hasta la primera cosecha (N) y la temperatura media del aire. A menor temperatura, el número de días transcurridos entre la siembra y la primera cosecha es mayor. En el rango analizado (19-22 °C) al aumentar la temperatura en un grado, N disminuye en 36 días. (Figura 5.5)

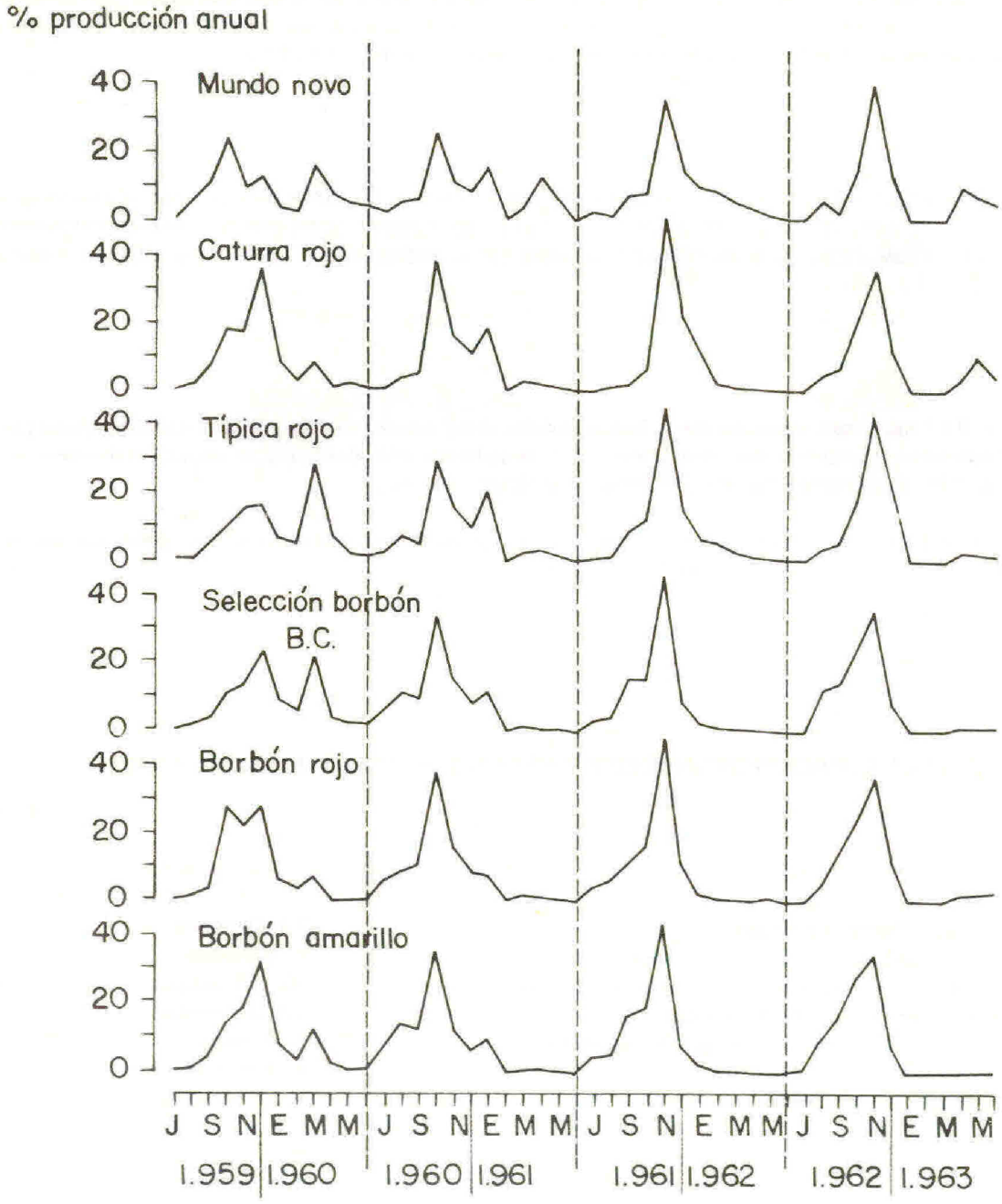


Figura 5.4- Distribución mensual de la producción en porcentaje, para 6 variedades de café. Se observa que las mayores producciones ocurrieron en el mismo mes, en todas las variedades (condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas). (8).

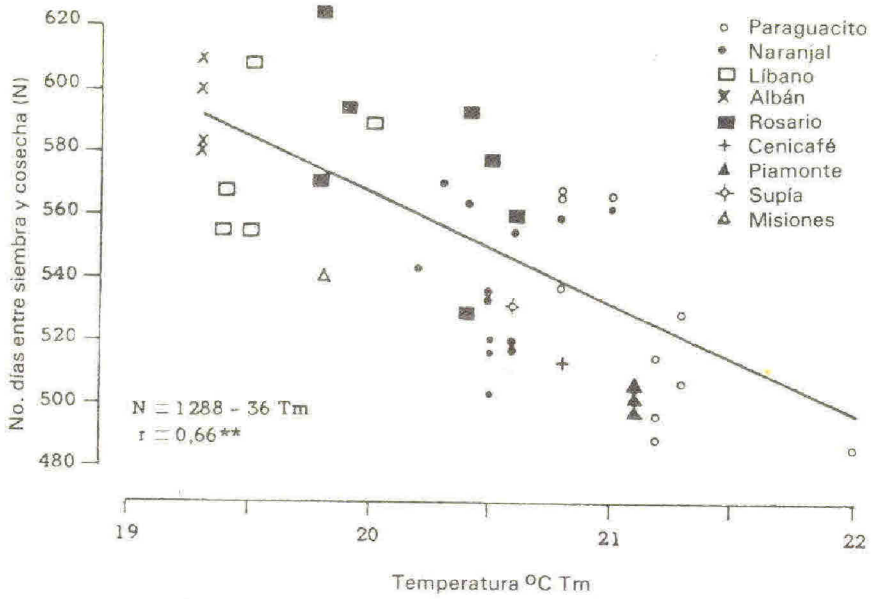


Figura 5.5- Relación entre el número de días transcurridos entre la siembra y la primera cosecha (N) en Coffea arabica L., variedad Caturra, y la temperatura media del aire (Referencia 3, Capítulo 3).

REFERENCIAS

1. ALVIM, P. de T. Factors affecting flowering of coffee. In genes, enzymes and populations. (A.B. Srb ed.). Plenum Press, N.Y. pp. 193-202. 1976.

2. ARCILA P., J. Fisiología de la floración del cafeto. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Sección de Fitofisiología. Informe Anual de labores 1984-1985. Chinchiná, Cenicafé, pp. 58-65. 1985.

3. BROWNING, G. Environmental control of flower bud development in Coffea arabica L. In: Environmental effects on crop physiology. Fith long Ashton Symposium. (J.J. Linds berg and c.v. Cutting eds.) Academic Press. pp. 321-336. 1977.

4. CANNELL, M.G.R. Physiology of the tree crop. In: Coffee Botany, Biochemistry and Production of beans and Beverage (M.N. Clifford and K.C. Wilson eds.) Avi Publishing Co. pp. 108-134. 1985.

5. _____. Photoperiodic response of mature trees of Coffea arabica L. Turrialba (Costa Rica) 22: 198-206 1972.

6. _____. Changes in the respiration and growth rates of developing fruits of Coffea arabica L. J. Hort. Sci. 46: 263-272. 1971.

7. CASTILLO Z., J. y LOPEZ A., R. Notas sobre el efecto de la intensidad de luz en la floración del cafeto. Cenicafé (Colombia) 17: 51-60. 1966.

8. _____ y QUICENO H., G. Estudio de la producción de seis variedades comerciales de café. Cenicafé (Colombia) 19: 18-36. 1968.

9. FRANCO, C.M. Fotoperiodismo em cafeiro C. arabica L. Rev. Inst. Cafe (Sao Paulo, Brasil) 174: 1586-1592 1940.

10. GOMEZ G., L. Influencia de factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. Cenicafé (Colombia) 28: 3-17. 1977.

11. JARAMILLO R., A. y VALENCIA A., G. Los elementos climáticos y el desarrollo de Coffea arabica L. en Chinchiná. Cenicafé (Colombia) 3: 86-104. 1980.

12. LEON, J. y FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de Coffea arabica L. Turrialba (Costa Rica) 12: 65-74. 1962.

13. MOENS, P. Investigaciones morfológicas ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. Turrialba (Costa Rica) 18: 209-233. 1968.

14. SANTOS, B. R.; MAESTRI, M and COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee. A Review J. Coffee Res. 8: 29-73. 1978.

15. SUAREZ S., J. V. Influencia de la precipitación en el crecimiento del fruto de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 89. 1979.

16. VALENCIA A., G. Granos negros y caída de frutos tiernos del café. Avances Técnicos Cenicafé N° 49. 1975.

17. VALENCIA A., G. Factores que inciden en la formación de granos negros y caída de frutos verdes de café. Cenicafé 24: 47-55. 1973.

18. WORMER, T.M. The growth of the coffee berry. Ann. Bot. (London) 28: 47-55. 1964.

CAPITULO 6

El Proceso Productivo de la Planta de Café

6.1 — DETERMINANTES DE LA PRODUCCION:

Ciclo de producción:

En las condiciones climáticas colombianas el ciclo de producción del cafeto, es decir, el tiempo transcurrido desde la formación de nudos nuevos, donde se formarán las flores y frutos, hasta la maduración de los frutos, es de 17-20 meses aproximadamente (7). En la figura 6.1 se resume este ciclo y se presentan además las épocas aproximadas en que ocurren los diferentes eventos del crecimiento como formación de ramas y hojas, maduración de nudos, diferenciación floral, antesis, crecimiento y maduración del fruto, tanto para cosecha principal como para mitaca. Debe tenerse en cuenta que este ciclo sufrirá algunas variaciones dependiendo de las condiciones climáticas en cada localidad y en cada año. Observese también que diferentes eventos ocurren en forma simultánea.

Componentes de la producción:

La producción de la planta de café depende básicamente de los siguientes componentes: 1) producción por árbol y 2) producción por hectárea:

1) Producción por árbol (potencial genético)

$$\text{Producción por árbol} = \frac{\text{N° frutos}}{\text{Arbol}} \times \frac{\text{Peso granos}}{\text{Fruto}}$$

en donde:

$$\frac{\text{N° Frutos}}{\text{Arbol}} = \frac{\text{N° nudos fructíferos}}{\text{Arbol}} \times \frac{\text{N° frutos}}{\text{Nudo}}$$

$$\frac{\text{Peso granos}}{\text{Fruto}} = \frac{\text{Peso}}{\text{Fruto}} \times \frac{\text{Peso granos}}{\text{Peso fruto}}$$

La producción de árboles individuales a libre crecimiento depende básicamente de la densidad de siembra y el número de nudos con potencial de florecimiento producidos el año anterior. El número de nudos productivos por árbol es el componente de producción de mayor variabilidad entre árboles y es tal vez el componente más fácilmente afectado por factores ambientales (ejemplo: luz, agua) y prácticas culturales (ejemplo: fertilización nitrogenada) (Tabla 6.1, Figura 6.2) (3, 4).

La producción de árboles individuales sometidos a algún tipo de poda, por ejemplo "descope", dependerá principalmente de la cantidad de ramas secundarias y del número de nudos con potencial de florecimiento que se formen en estas ramas.

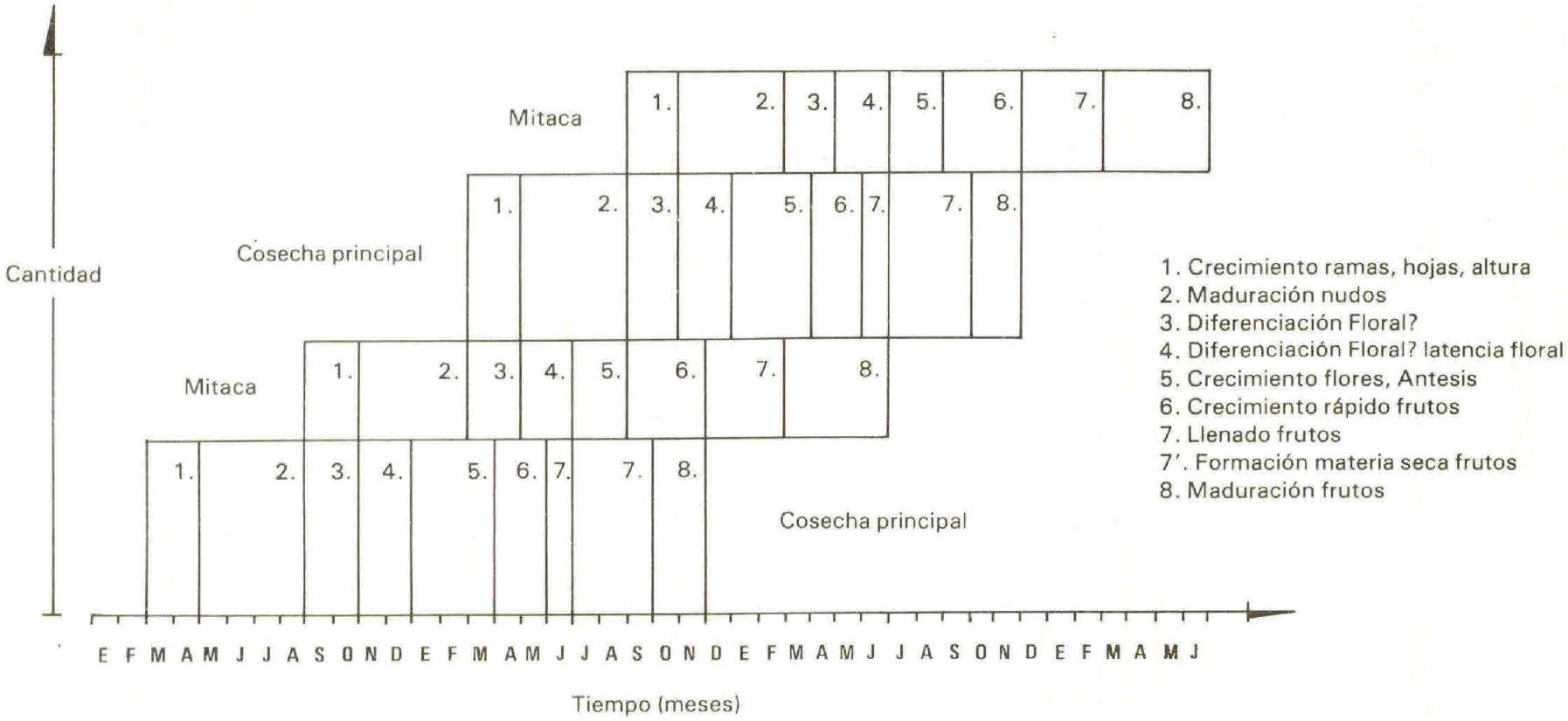


Figura 6.1- Secuencia de las fases vegetativa y reproductiva de C. arabica L. variedad Caturra en las condiciones climáticas de Chinchiná, Colombia. Sección de Fitofisiología, Cenicafé, 1985.

Tabla 6.1- Producción anual promedio (kg c.p.s.) por parcela de 100 m2 y por árbol, para tres densidades de siembra. Variedad Caturra. Chinchiná (18).

N° Plantas/Ha.	1967		1968		1969		1970	
	Parc.	Arbol	Parc.	Arbol	Parc.	Arbol	Parc.	Arbol
10.000	90	0.90	108	1.08	96	0.96	81	0.81
5.000	42	0.85	84	1.68	88	1.76	78	1.57
2.500	19	0.75	21	0.83	56	2.26	71	2.86

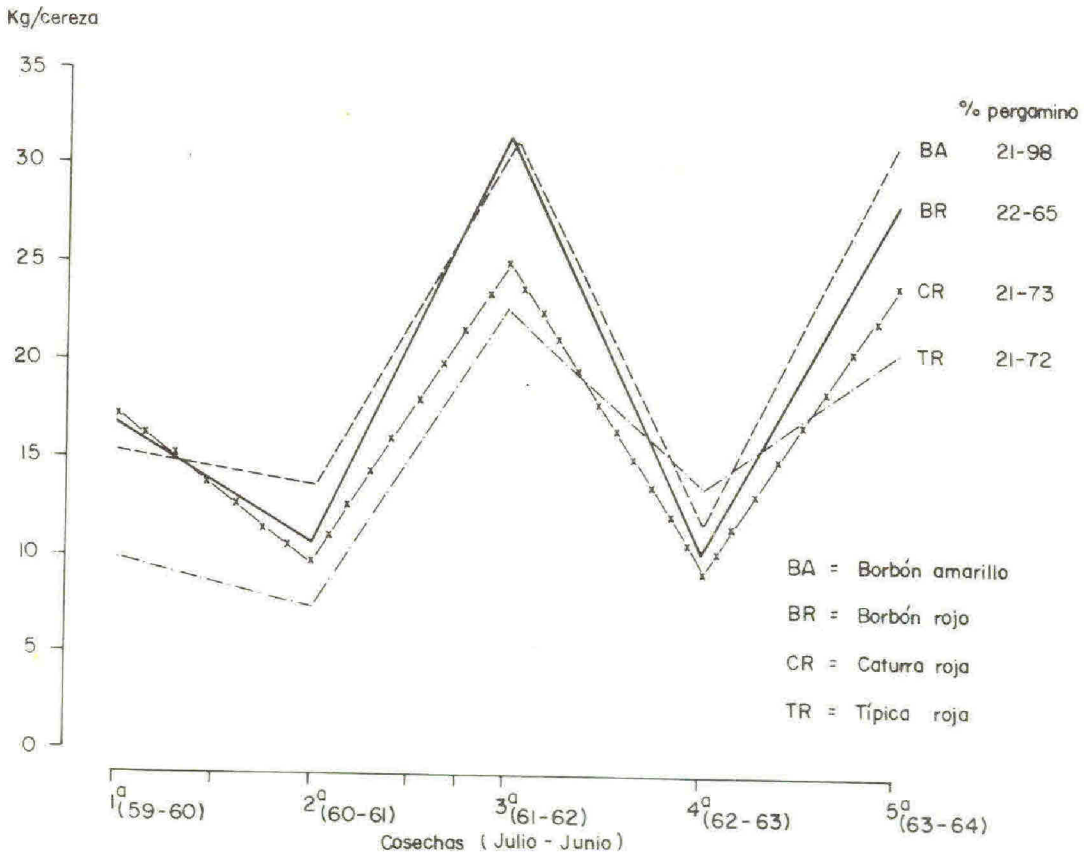


Figura 6.2- Producción por árbol de cuatro variedades de C. arabica L. Distancia de siembra 3 × 3 m. (6).

2) Producción por hectárea:

En la figura 6.3 se presenta la relación entre la densidad de siembra y la producción de café de la variedad Caturra en condiciones experimentales.

Las producciones óptimas (la producción biológica que ofrece las mejores retribuciones) se consiguen con 10.000 tallos/ha. aproximadamente (18).

Al aumentar la densidad de siembra, disminuye la producción por árbol. Este efecto puede ser atribuido al autosombreamiento el cual tiene un efecto marcado sobre la diferenciación floral, la cual depende críticamente de la radiación solar que reciban los nudos con potencial de florecimiento. Castillo y López (5) demostraron que con 50% de sombra, en una plantación de 18 meses, se redujeron en un 30% el número de nudos con flores, en un 40% el número de inflorescencias por nudo y en un 50% el número de flores por inflorescencia.

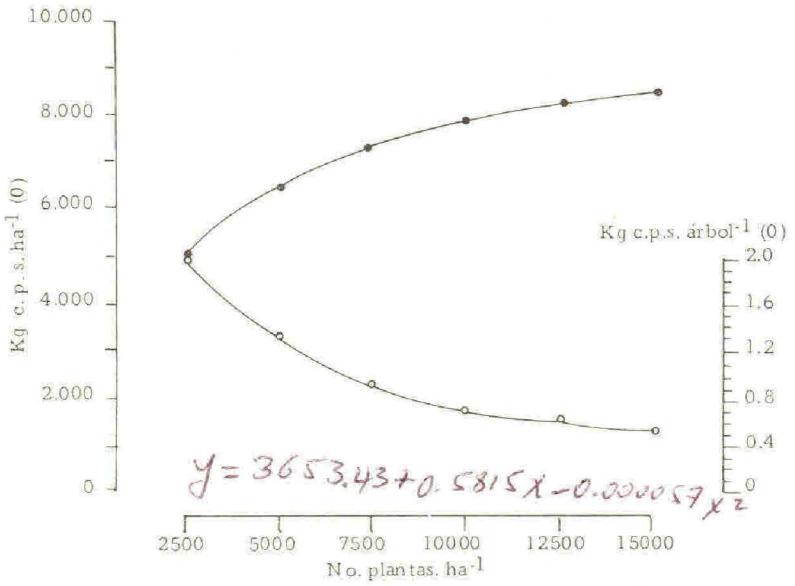


Figura 6.3- Relación entre la densidad de siembra y la producción por hectárea y por árbol. Calculada por la sección de Biometría de Cenicafé, con base en varios ensayos de la Sección de Café de Cenicafé.

Frutos madurados:

No todas las flores que se forman se convierten en frutos. Los porcentajes de cuajamiento son muy variables y se han reportado valores entre 20-80%. Jaramillo y Valencia (9) encontraron para Colombia un valor de 30-40%. (Figura 5.1)

Indice de área foliar:

Aunque la productividad de la planta depende en grado sumo de la cantidad de follaje presente, una mayor cantidad de follaje no significa necesariamente una mayor producción.

El índice de área foliar (IAF) es la relación del área foliar de la planta al área del terreno ocupada por esa planta. En CENICAFE se encontró una relación entre la producción y el IAF en la variedad Caturra (Figura 6.4). Las mayores producciones se lograron con un IAF de 7.97 en junio, el cual sería el IAF óptimo. Valores cercanos a este IAF óptimo se alcanzaron en la densidad de 10.000 plantas/ha. a los tres años después de la siembra y en la densidad de 5.000 plantas/Ha a los cuatro años después de la siembra (Figura 6.5). Una vez logrado este IAF óptimo en una plantación, lo ideal sería tratar de conservarse con fertilizaciones, raleos, podas, etc..

6.2 — FIJACION DE CARBONO (Fotosíntesis)

Fotosíntesis

En términos simples, la fotosíntesis consiste en la conversión del CO_2 de la atmósfera a carbohidratos, mediante el uso de la energía de la luz y asociada a una formación de oxígeno (O_2) a partir de agua (H_2O). El proceso fotosintético podría resumirse como una secuencia de los siguientes eventos:

1) Captura de la energía de la luz por los cloroplastos mediante las clorofilas.

2) Partición de la molécula de H_2O con la producción de electrones (H^+) de alta energía y oxígeno (O_2).

3) Transferencia de electrones para generación de energía química (en la forma de compuestos denominados ATP) y agentes reductores de gran potencia (en la forma de compuestos llamados $NADPH_2$).

4) Uso de esta energía química (ATP y $NADPH_2$) para fijar el CO_2 para formar los carbohidratos y otros constituyentes de la planta.

Los tres primeros eventos son los denominados comunmente "reacciones luminosas" y el último evento se denomina "reacciones de oscuridad" (ciclo C_3 o ciclo de Calvin, ciclo C_4 y ciclo de las crasulaceas) y se ilustran en la figura 6.6.

Desde el punto de vista fotosintético el cafeto se comporta como una planta de sombra. Según Cannell (3) hay cuatro características de la tasa fotosintética del cafeto que reflejan su condición de planta adaptada a la sombra:

1) En las hojas a plena exposición solar, las tasas máximas de fijación de CO_2 son bajas (alrededor de 7 micromoles de $CO_2/M^2/$ segundo a 20 °C, mientras que hojas a la sombra pueden alcanzar valores hasta de 14 micromoles de CO_2/m^2/segundo. (Figura 6.7).

2) Las hojas a plena exposición solar necesitan un máximo de 500 a 600 unidades (micro Einsteins) de energía fotosintéticamente activa por m^2 y por segundo. Las hojas a la sombra necesitan alrededor de 300 unidades. Se considera que en el trópico hay disponibles a medio día, en un día soleado, alrededor de 2.500 unidades de energía fotosintéticamente activa.

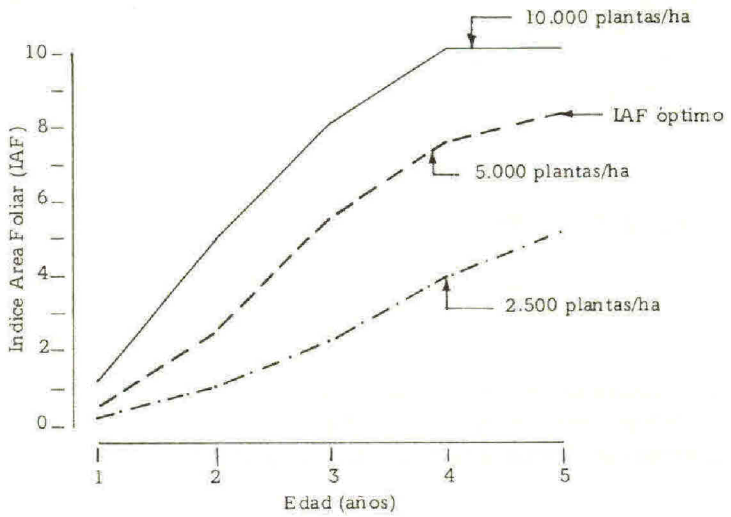


Figura 6.4- Indice de área foliar en plantaciones de café con varias densidades de siembra (19).

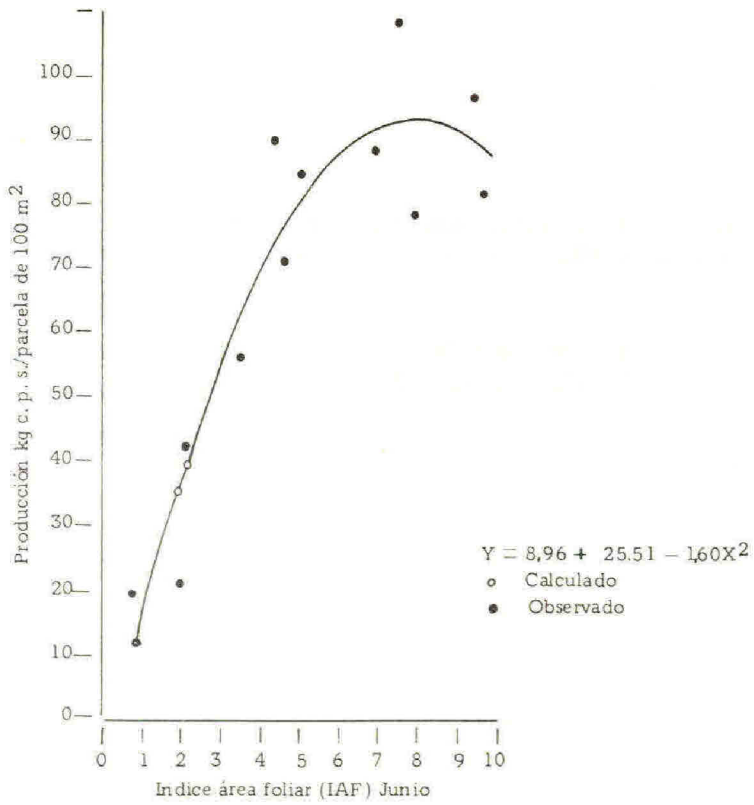


Figura 6.5- Relación entre la producción y el índice de área foliar en junio. (19).

FOTOSINTESIS

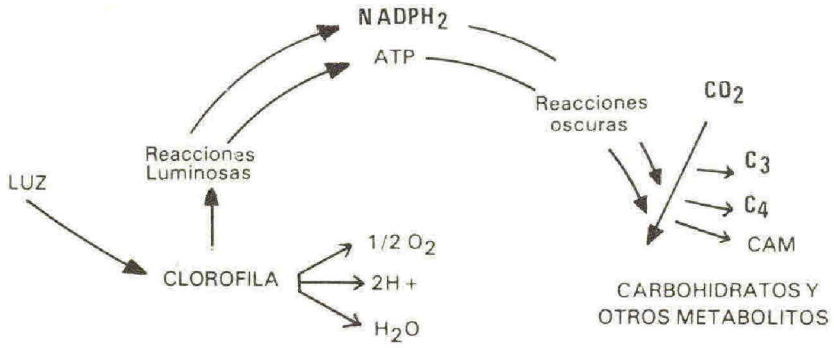


Figura 6.6- Esquema general del proceso de fotosíntesis.

En la planta de café adulta la capa externa de hojas retienen gran proporción de la radiación solar incidente y un porcentaje mínimo de radiación llega a las hojas más internas. Jaramillo y Santos (8), observaron que el follaje de la variedad Catuai interceptó un 96% de la radiación solar incidente y el 4% restante llegó a la superficie del suelo. La capa de hojas más externa interceptó 88% de la radiación total y solamente el 8% restante quedó disponible para las demás capas. (Figura 6.8).

3) La tasa de fotosíntesis neta disminuye en forma acentuada al aumentar la temperatura de la hoja por encima de 25 °C, debido probablemente a que por deshidratación de la hoja se produce cierre de los estomas.

   Lo anterior quiere decir que la tasa de fotosíntesis neta de las hojas de café a plena exposición solar, durante un día soleado será baja porque la temperatura de la hoja puede alcanzar 35-40 °C.

4) Exposición contínua a alta radiación solar puede causar daños al aparato fotosintético aún en hojas adaptadas a la plena exposición solar.

Con base en las consideraciones anteriores, no es contradictorio que se obtengan mayores producciones a plena exposición solar que a la sombra, ya que muy pocas hojas en un árbol adulto estan a plena exposición solar y además en esta condición es mayor la diferenciación floral (5). También se puede concluir que el cafeto es más adaptado para siembras densas puesto que el auto y mutuo sombrío proporcionan bajas intensidades luminosas y bajas temperaturas foliares, ideales para una fotosíntesis y crecimiento más eficientes.

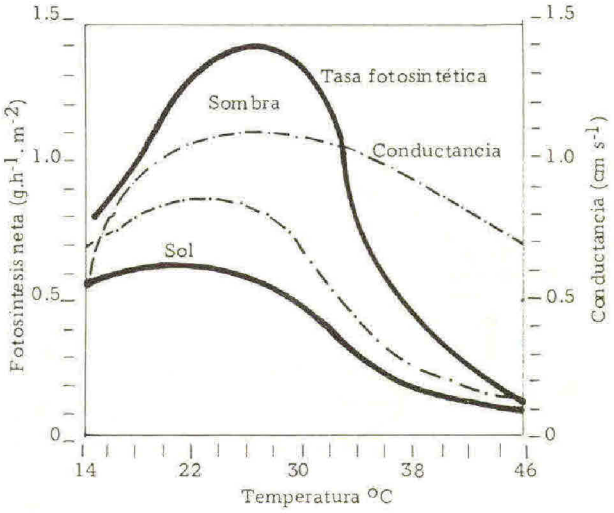


Figura 6.7- Tasas fotosintéticas y conductancia estomática al sol y a la sombra en Coffea arabica L. Adaptado de Kumar y Tieszen (19).

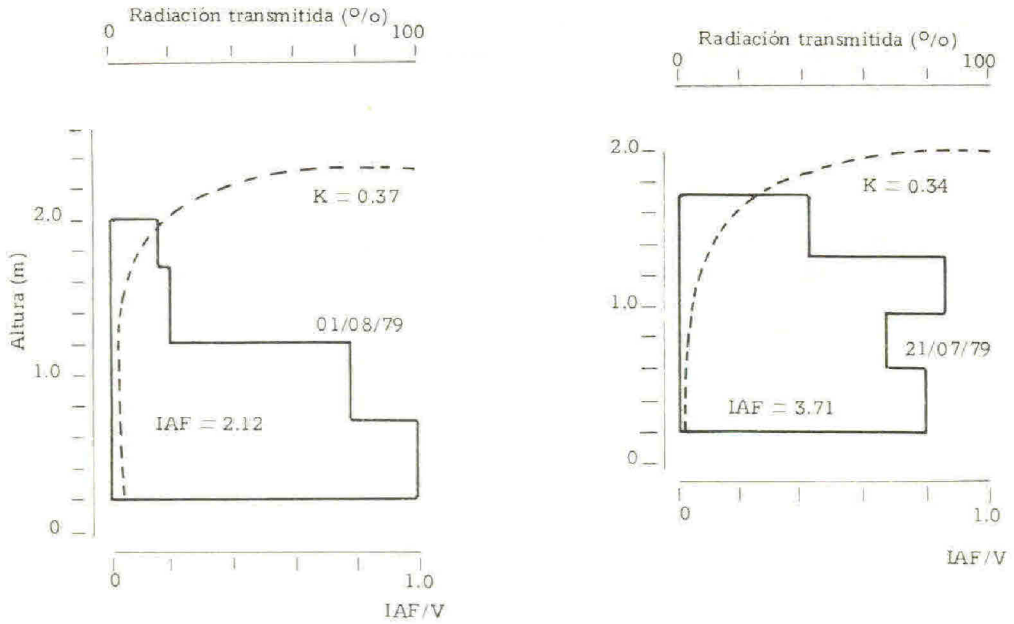


Figura 6.8- Penetración de la luz a través de la fronda de una planta de Coffea arabica L. (8).

Es interesante anotar que los frutos en formación tienen de 30-60 estomas por mm^2 (comparado con 240-260/mm2 en hojas adultas al sol) y pueden llegar a representar entre 20-30% de la superficie fotosintética total de la planta. Los frutos pueden llegar a formar hasta un 30% de su propia materia seca (4).

6.3 — EFECTO DE DIVERSOS FACTORES EN LA FOTOSINTESIS.

A continuación se presenta un resumen del efecto de diferentes factores sobre la fotosíntesis (FS) en hojas del cafeto.

1) Edad de la hoja (12, 20)

Edad	Tasa FS
Hoja joven (aproximadamente mitad tamaño de hoja adulta).	No es suficiente para satisfacer sus requerimientos respiratorios.
Segundo par (no totalmente expandido).	Muy baja.
Tercer par.	No alcanzó tasa del 4° y 5° pares
Cuarto y quinto par	9.5 mg $CO^2/dm^2/h$ (tasa normal)
Sexto y séptimo par	Aproximadamente 1/2 de la tasa normal.

2) Efecto de la luz (10, 14, 17)
Cantidad Luz (Micro Einstenios/m^2/seg.)

18	Fotosíntesis no suficiente para su propia respiración.
37	Fotosíntesis suficiente por encima de lo necesario para respiración. Incremento lineal.
300	Hasta aquí incremento líneal.
600	Máximo 8.5 mg/m^2/segundo.
1.200	Ligera disminución (efecto temperatura).
Más de 1.200	Más disminución (efecto temperatura) si T 25°C, no disminuye ni aumenta.

NOTA: Un día soledado = 2.400 Micro-Einsteins/m^2/segundo.

3) Efecto de la disponibilidad de agua en la hoja (2, 11, 12)

Condición	Tasa FS
Capacidad de campo	Ligeramente menor que plantas con -8 bars.
-20 bares	90% de lo normal
-27 bares	Solo 25% de lo normal
-30 bares	Sólo 10% de lo normal

NOTA: Bar = Presión negativa o tensión de 1 Atm. La mayoría de las plantas a capacidad de campo tienen un potencial de -2 a -3 bares. Cerca a punto de marchitamiento: -20 a -35 bares.

4) Efecto de la temperatura (10, 14, 15, 16)

Temperatura	Tasa FS
20 - 25 °C (óptima) (300-1.200 uE/m2/seg.)	8 - 8.5 mg/dm2/h
25 °C (1.200 uE/m2/seg)	8 - 8.5 mg/dm2/h
20 °C (300 uE/m2/seg)	8 - 8.5 mg/dm2/h
35 °C (300 uE/m2/seg)	Menos que a 10 °C
10 °C (300 uE/m2/seg)	4 mg/dm2/h
45 °C (300 uE/m2/seg)	Mínima

5) Efecto de la nutrición (12, 13)

Elemento	Tasa FS
Niveles altos de K y P	Aumentaron tasas a 1.5 veces
N (nivel 2>nivel 1)	Nivel 1 aumentó Nivel 2 no aumentó

6.4 — PRODUCCION DE MATERIA SECA.

En la tabla 6.2 se presentan las cantidades aproximadas de materia seca producida en las variedades Caturra y Colombia a diferentes edades de la planta (1).

Tabla 6.2- Producción de materia seca en Coffea arabica L., variedades Caturra y Colombia, sembradas a 1 × 1 m. Cenicafé, 1985 (1).

Variedad	Edad (meses)	Materia Seca (gramos)					
		Raíz	Tallo	Ramas	Hojas	Frutos	Total
Caturra	32	282.6	319.1	334.8	432.9	144.2	1514.6
	38	432.9	567.1	416.6	556.6	268.9	2152.1
	44	396.8	638.9	431.9	536.2	368.3	2372.1
	50	478.5	896.9	607.1	662.1	189.2	2833.8
	56	486.6	979.0	703.7	583.1	200.7	2953.1
Colombia	32	269.3	498.1	387.8	463.0	126.4	1744.6
	38	406.6	379.9	601.3	689.0	231.1	2667.9
	44	391.7	800.1	523.5	637.3	463.4	2816.0
	50	568.3	1293.2	1046.5	994.0	539.4	4441.4
	56	475.1	1325.4	841.9	776.6	167.7	3586.7

Según Cannell (3) la planta de café tiene un potencial de producción de materia seca entre 20-30 Ton/Ha/año.

En la tabla 6.3 se muestra como la planta distribuye la materia seca entre sus diferentes partes en proporciones muy específicas (1.).

Tabla 6.3- Contribución de raíces, tallos, ramas, hojas y frutos al peso seco total de la planta. Proyecto FF-69. Cenicafé 1985 (1).

Parte de la Planta	% del peso seco total de la planta				
	Caturra	Colombia	Catuai	Erecta	Cat. × S.B.
Raíz	16 - 19	13 - 15	14 - 17	13 - 17	13 - 17
Tallo	21 - 32	28 - 32	26 - 32	21 - 34	16 - 27
Ramas	18 - 23	18 - 24	18 - 25	21 - 30	22 - 39
Hojas	19 - 29	19 - 27	19 - 30	21 - 30	21 - 38
Frutos	7 - 16	4 - 17	2 - 12	6 - 14	3 - 14
Parte aérea	81 - 84	85 - 87	82 - 88	85 - 87	83 - 87

REFERENCIAS

1. ARCILA P., J. Productividad del cafeto. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café. Sección de Fitofisiología, Informe Anual de labores 1984-1985. Chinchiná, Cenicafé, pp. 65-79. 1985.

2. BIERHUIZEN, J. F.; NUNES, M. A. and PLOEGMAN, L. Studies on the productivity of coffee. II. Effect of soil moisture on photosynthesis and transpiration of Coffea arabica. Acta Botánica Neerlandica 18: 367-374. 1969.

3. CANNELL M., G. R. Physiology of the coffee crop. In: Coffee Botany. Biochemistry and Production of beans and beverage. (M.N. Clifford and K.C. Wilson eds). Avi Publishing Co. pp. 108-134. 1985.

4. _____. Primary production, fruit production and assimilate partition in arabica coffee. A "review" in Coffee Research Foundation, Kenya, Annual Report for 1971/1972, pp. 6-24. 1972.

5. CASTILLO Z., J y LOPEZ A., R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. Cenicafé 17: 51-60. 1966.

6. _____ y QUICENO H., G. Estudio de la producción de seis variedades comerciales de café. Cenicafé (Colombia) 19: 18-36, 1968.

7. JARAMILLO R., A. y GUZMAN M., O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en Coffea arabica L. var Caturra. Cenicafé 35: 57-65. 1984.

8. _____ y SANTOS DOS J.M. Balance de radiación solar en Coffea arabica L. variedades Catuai y Borbón amarillo. Cenicafé (Colombia) 31:86-104. 1980.

9. _____ y VALENCIA A., G. Los e ementos climáticos y de desarrollo de Coffea arabica L. en Chinchiná, Colombia. Cenicafé (Colombia) 31: 127-143. 1980.

10. KUMAR, D. and TIESZEN, L.L. Photosynthesis in Coffea arabica L. I. Effects of light and temperature. Experimental Agriculture 16: 13-19. 1980.

11. _____ and _____. Photosynthesis in Coffea arabica L. II. Effects of water stress. Experimental Agriculture 16: 21-27. 1980.

12. _____ and _____. Some aspects of photosypthesis and related processes in Coffea arabica L. Kenya Coffee 41: 309-315. 1976.

13. MAESTRI, M. and BARROS R., S. "Coffee" In: Ecophysiology of tropical crops. (F. de Alvim and T.T. Koslowski eds.). Academic press, London, pp. 249-278. 1977.

14. NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F. and PLOEGMAN, L. Studies on the productivity of coffee. I Effect of light, temperature and CO_2 concentration on photosynthesis of Coffea arabica L. Acta Botánica Neerlandica 17: 93-102. 1968.

15. _____; _____ and _____. Studies on productivity of coffee. III. Differences in photosynthesis between four varietes of coffee. Acta Botánica Neerlandica 18: 420-424. 1969.

16. RENA, B.A. y MAESTRI, M. Fisiología do cafeeiro. Informe Agropecuario Belo Horizonte 11: 26-40. 1985.

17. TIO, M. A. Effect of light intensity on the rate of apparent photosynthesis in coffee leaves. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 46: 159-166. 1962.

18. URIBE H., A. y MESTRE M., A. Efecto de la densidad de población y del sistema de manejo sobre la producción de café. Cenicafé (Colombia) 31: 29-51. 1980.

19. VALENCIA A., G. Relación entre el índice de área foliar y la productividad del cafeto. Cenicafé (Colombia) 24: 79-89. 1973.

20. YAMAGUCHI, T. and FRIEND, D.J.C. Effect of leaf age and irradiance on photosynthesis of Coffea arabica. Photosynthetica 13: 271-278. 1979.

CAPITULO 7

Integración de Funciones en la Planta

7.1 — LOS TRES MEDIOS PARA EL CRECIMIENTO DE LA PLANTA.

Los nutrientes indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas se obtienen de tres fuentes en el ambiente: ATMOSFERA, AGUA y SUELO.

La atmósfera suministra CO_2. Todos los átomos de carbono y la mayoría de los átomos de oxígeno presentes en la materia seca de la planta se derivan principalmente del CO^2 asimilado en la fotosíntesis. Aproximadamente 1/3 de los átomos de oxígeno presentes en la materia orgánica de la planta se deriva del agua del suelo y las 2/3 restantes del CO_2 atmosférico. En el capítulo anterior se ilustró ampliamente este proceso en la planta de café.

El agua es la segunda fuente de nutrición para las plantas superiores. No obstante, el mayor volúmen de agua absorbido mediante las raíces, se pierde por la transpiración foliar, una pequeña cantidad de esta agua es utilizada como un reactivo en reacciones metabólicas. El agua es incorporada al material vegetal mediante reacciones de hidratación e hidrólisis. Además, el agua es un reactivo en las "reacciones luminosas" de la fotosíntesis en las cuales los átomos de hidrógeno del agua son incorporados a la materia orgánica de la planta y el oxígeno es liberado como O_2 .

En la tabla 7.1 se presenta la transpiración en cuatro variedades de café. Puede observarse que al sol la cantidad de agua transpirada es mayor que a la sombra, con valores que van desde 10.58 g/dm²/día al sol, hasta 4.62 g/dm²/día a la sombra.

Tabla 7.1 - Promedios de medidas de transpiración para cuatro variedades de café al sol y bajo sombra (siembra: agosto 1961, noviembre 1963). Cenicafé.

Variedades	Tratamiento	Transpiración (litros)	Area foliar m²	Trans/ aérea foliar (l/m²)	N° Hojas
Típica	Sol	58.7	6.38	9.20	2240
	Sombra	38.7	4.62	8.38	948
Borbón	Sol	62.4	6.82	9.15	1870
	Sombra	52.7	5.94	8.87	1106
Caturra	Sol	62.3	7.49	8.32	1916
	Sombra	34.4	4.68	7.35	942
Mundo Novo I	Sol	55.0	5.20	10.58	1527
	Sombra	44.0	4.66	9.44	1010

La tercera fuente ambiental de nutrición es el suelo, el cual suministra iones minerales derivados de las rocas parentales y de los residuos de descomposición de plantas y animales. Un elemento esencial es aquel en cuya ausencia la planta no puede completar su ciclo de vida. Aunque un análisis de tejido puede revelar la presencia de 30 a 60 elementos, solamente 16 son esenciales: 4 (C, H. O y N) se derivan del CO_2, H_2O y N_2 de la atmósfera; los 12 restantes (K, Ca, Mg, P, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B y Cl) se derivan del suelo y de estos, los últimos siete se denominan microelementos, porque la planta los requiere en cantidades muy pequeñas; los restantes (K, Ca, Mg, P y S) se denominan macroelementos. Existen otros elementos que se han demostrado como esenciales para unas pocas especies solamente: sodio, cobalto, silicio, selenio, niquel y cloro.

7.2— INTEGRACION DE FUNCIONES EN LA PLANTA.

En la figura 7.1 se resumen los principales procesos fisiológicos de la planta (absorción de nutrientes y agua, translocación y redistribución, fotosíntesis, respiración, asimilación y transpiración). Prácticamente todo el movimiento de minerales desde las raíces hasta los brotes ocurre por el xilema (la parte viva de la madera), en un proceso promovido básicamente por la corriente respiratoria. Movimiento hacia abajo y recirculación de los asimilados y minerales ocurren principalmente a través del floema (localizado por fuera del xilema, muy cerca de la corteza del tallo), proceso promovido por osmosis y transporte activo desde las fuentes de asimilados hasta los sitiós de consumo.

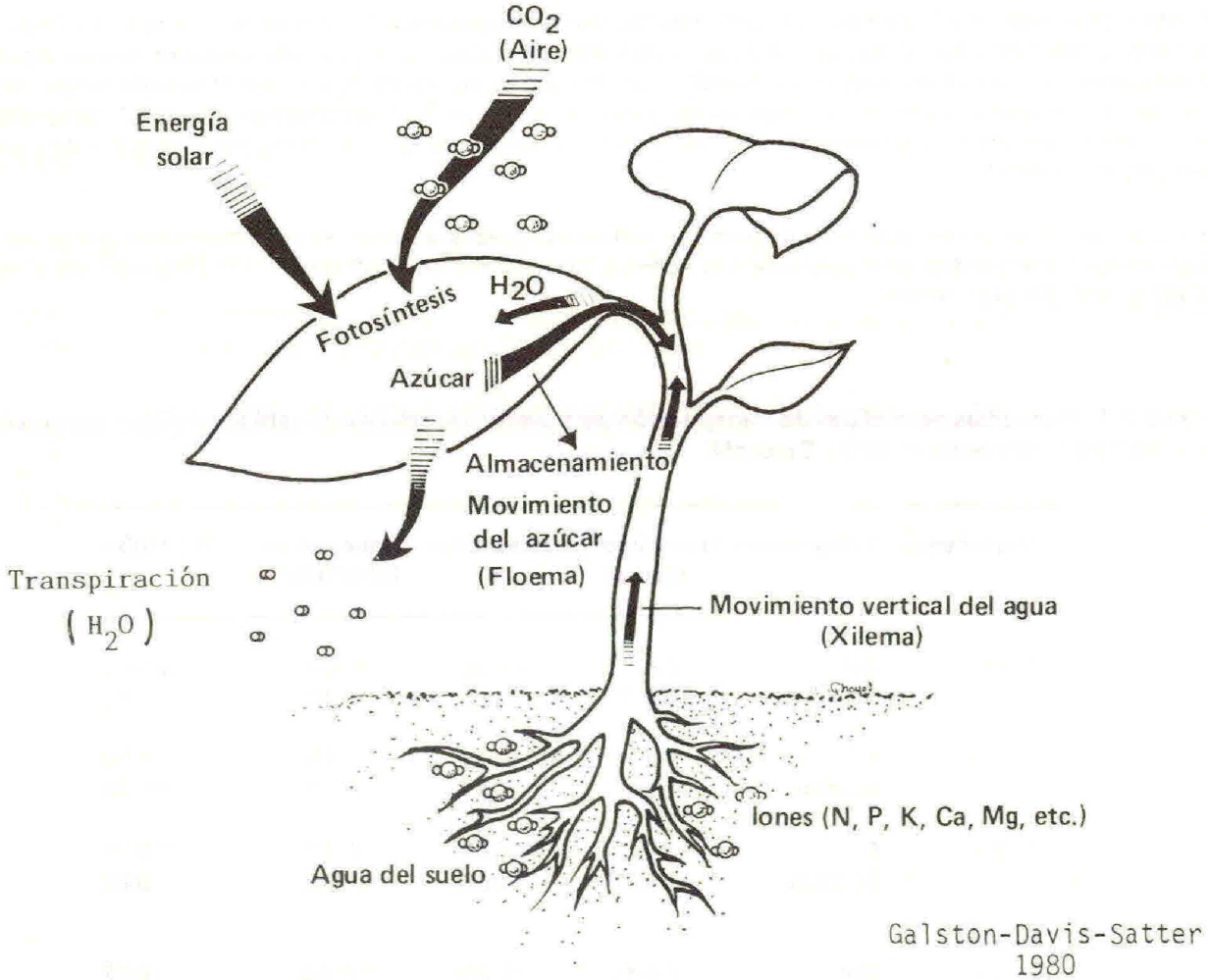


Figura 7.1 - Integración de funciones en la planta (1).

REFERENCIA

1. GALSTON, A. W.; DAVIS, P. J. y SATTER, R. L. The life of the green plant. 3° ed. Prentice Hall, New Jersey 464 p., 1980.

2. Huerta, S.A. Intensidad de transpiración en el café en condiciones de exposición solar y penumbra natural. Cenicafé 13 (3): 125-135. 1962