



PROMECAFE

VIII CURSO REGIONAL SOBRE FUNDAMENTOS DE LA CAFICULTURA MODERNA

MODULO IV

**9 de Julio al 10 de Agosto de 1990
CATIE, TURRIALBA, COSTA RICA**



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 Fito fisiología 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, actúan 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).

Potencial genético

Fija límites dentro de los cuales el ambiente puede afectar el crecimiento.

Factores ambientales

Precipitación, temperatura, luz, suelos, prácticas culturales, aspectos socioeconómicos.

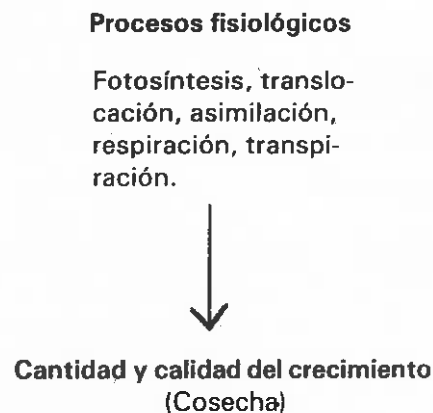


Figura 1.1- El papel de la Fisiología Vegetal en la producción de cosechas. Fuente: Kramer, P.J. y Kozlowski, T.T. Physiology of Woody Plants. Academic Press, N. Y. 811 p. 1979.

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

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 proteína (13%) y contenidos de cafeína 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.

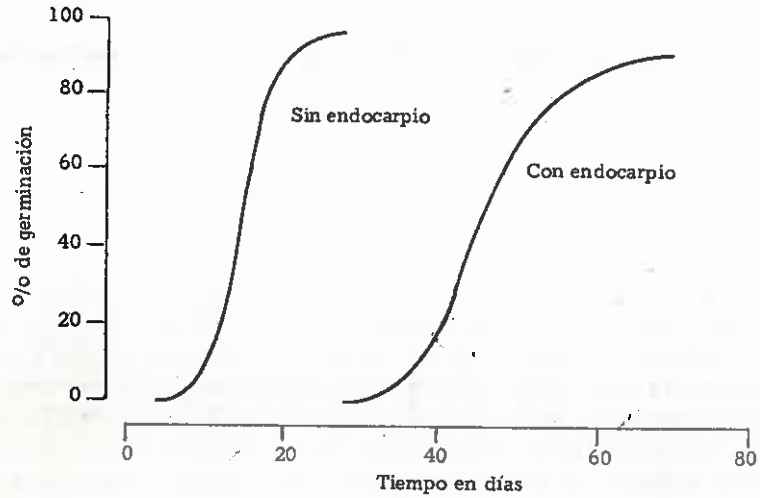


Figura 2.1- Efecto del endocarpio (pergamino) en la germinación de las semillas de Coffea arabica L. (18, 19).

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:

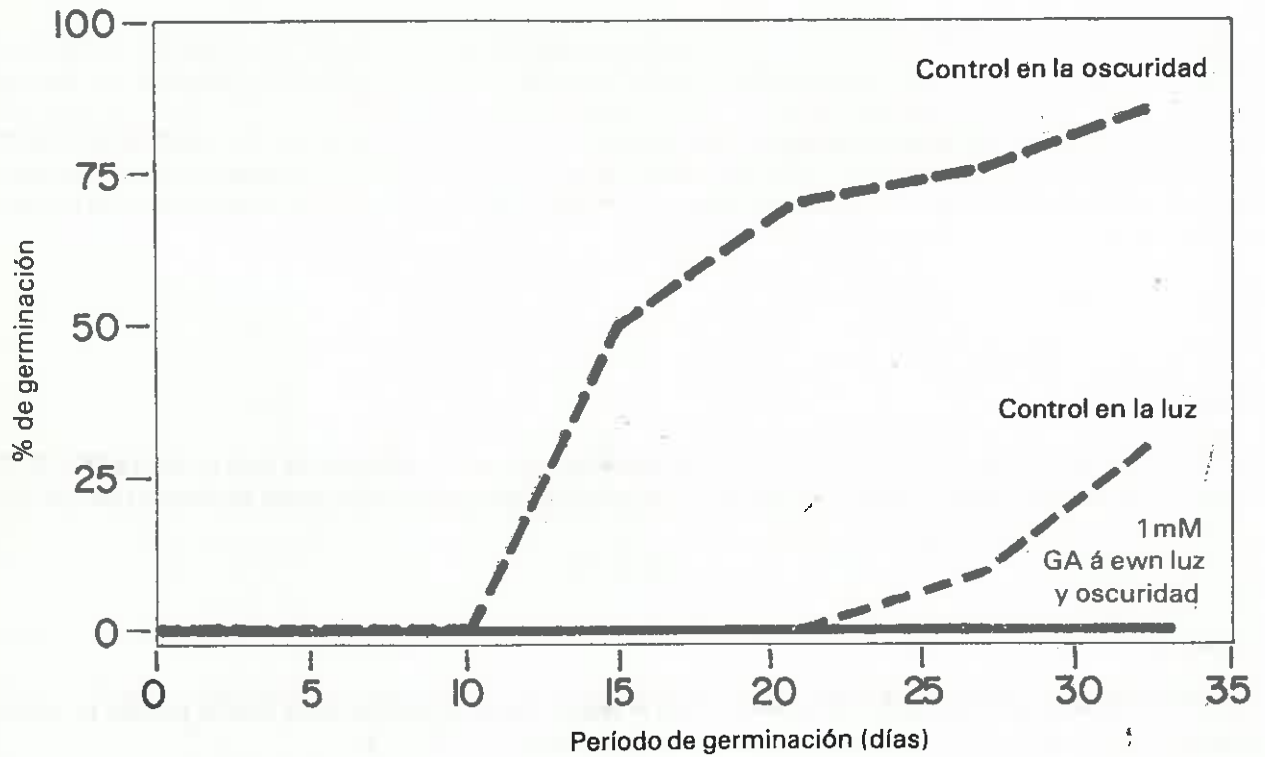


Figura 2.2. Efecto del ácido giberélico en la germinación de las semillas en luz y oscuridad (14).

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 café 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. Anatomía e desenvolvimiento ontogénico 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 cafeeiro (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, Cenicafe.
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 (Coffea arabica L. c.v. Mundo Novo) by the endocarp. J. Seed. Techn. 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. Coffee 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 almacigo (2).

Tamaño de la semilla:

Según Osorio y Castillo (6), debe seleccionarse la semilla de mayor tamaño pues 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					Promedio de Modalidades
		1.050	1.250	1.550	1.850	2.050	
Altura de la Planta (Centímetros)	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	0.71	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
Nº de cruces	0.00	0.60	0.10
Altura (cm)	10.73	17.28	11.12
Area foliar (cms ²)	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 raíces	5.18	7.95	3.63

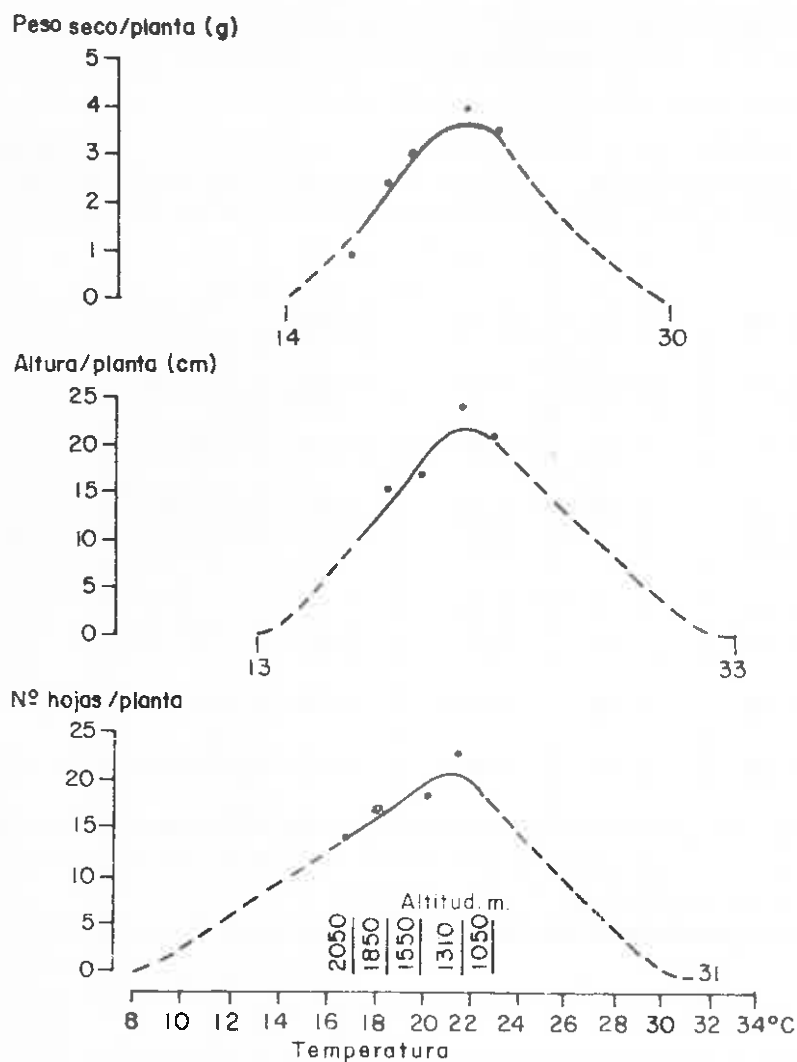


Figura 3.1 — Crecimiento de plantas de *Coffea arabica* L., var. Caturra a los 6 meses de edad, a libre exposición solar para diferentes condiciones de temperatura (3).

Nutrición:

Este es uno de los factores más críticos para el desarrollo de las plantitas 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 nutrientes y dan una mayor aireación al suelo, lo que redundaría en menor compactación, buena capacidad de retención de humedad y mayor desarrollo de raíces (5, 10, 11).
2. La aplicación de fertilizantes químicos (simples o compuestos) a la bolsa no es recomendable 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 raíz 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 Informe Anual 1975-76.
2 g 12-12-17-2	8.40	3.70	
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 Informe anual 1979-80.
Testigo (con pulpa 2:2)	26.00	40.80	
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	
Nútrimin 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 cm ²	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 plántulas 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 periodos de mayor extensión de raíces que otros y que en muchos casos estos periodos precederán a épocas de mayor crecimiento del tallo. Parece que la movilización de fotosintetizados hacia las raíces ocurre en los periodos 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 raíz (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.

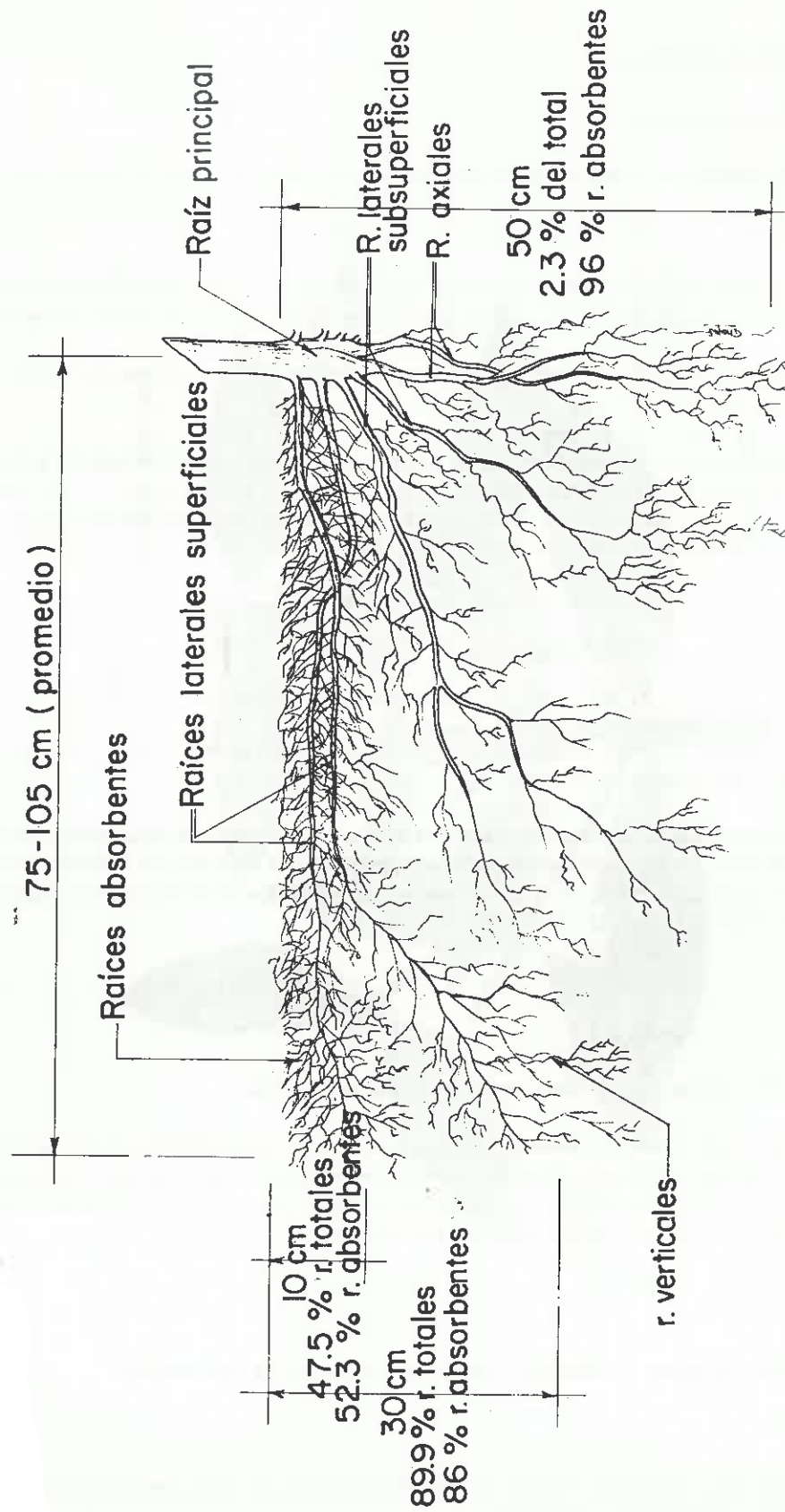


Figura 4.1— Morfología y distribución de raíces de una planta adulta de *C. arabica* L. Los porcentajes se refieren a observaciones en un individuo y por tanto deben considerarse como valores relativos solamente. (Adaptado de Suárez de Castro (19)).

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 suprime 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.

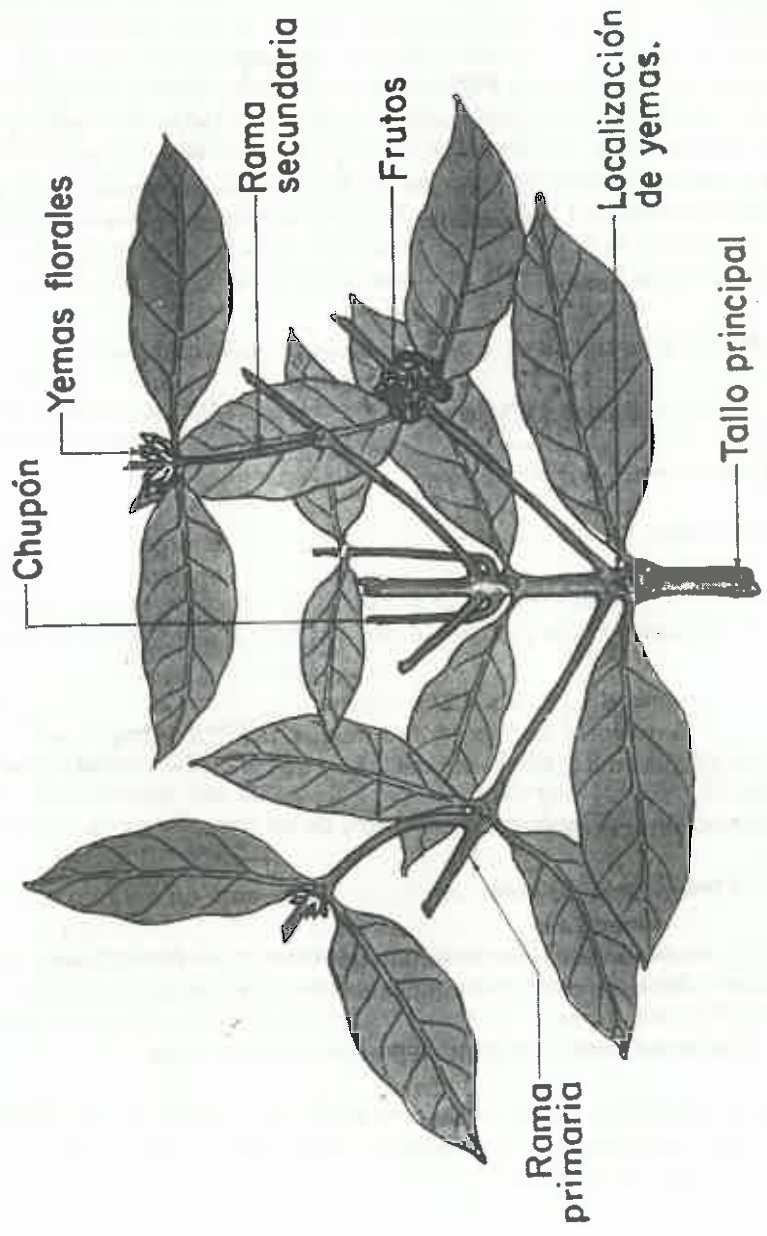


Figura 4.2. Morfología de la parte aérea de Coffea Arabica L.

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 café 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/cm²/día) con máximos en marzo y septiembre; brillo solar posible de alrededor de 11.5 horas diarias; temperaturas promedio 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 café 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.

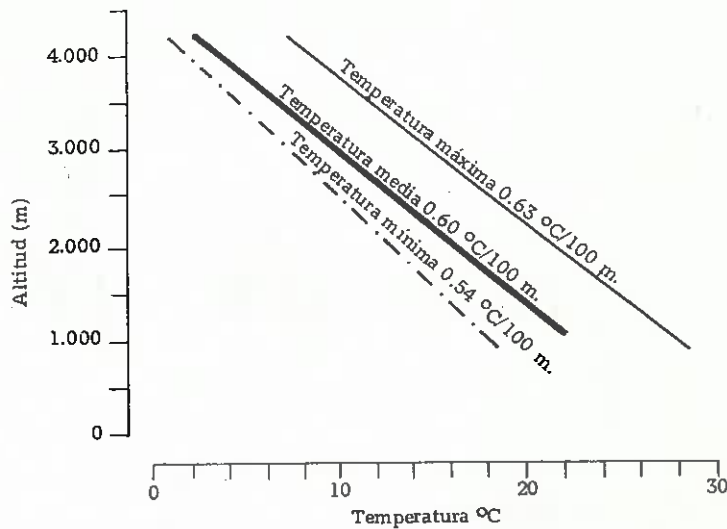
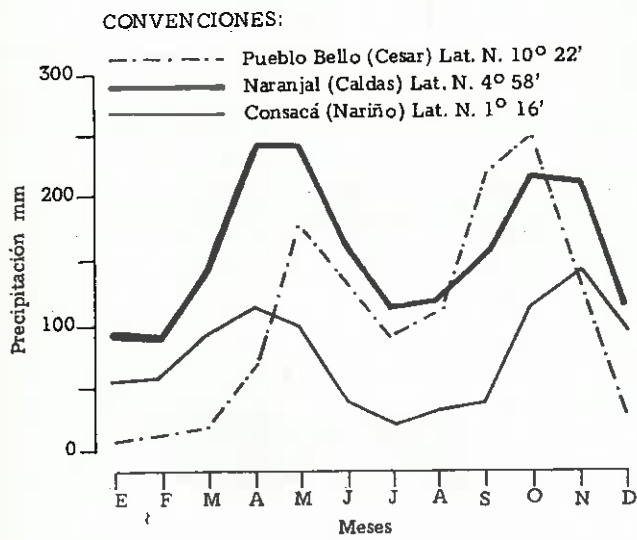
Cafetos en producción:

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 café 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.

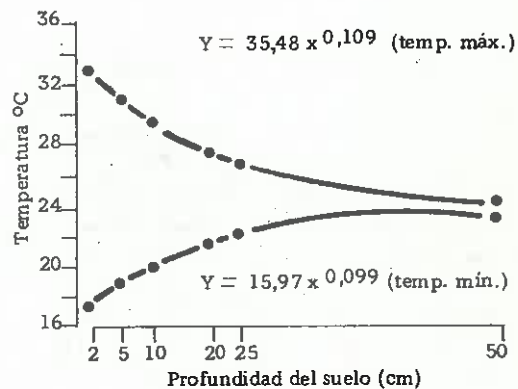
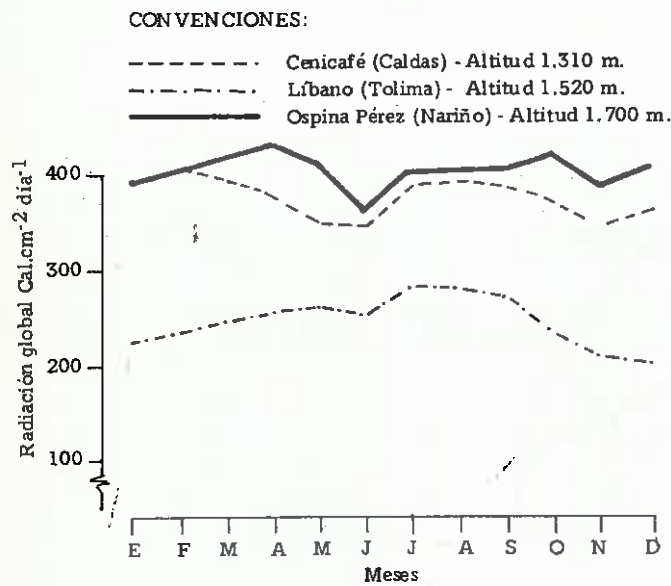


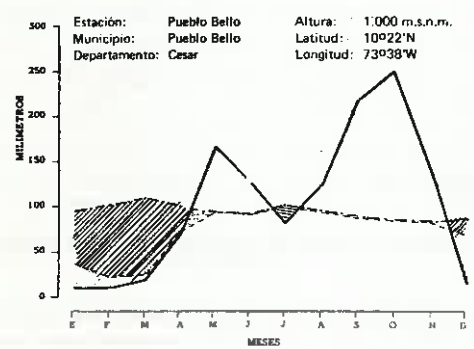
Figura 4.3- Algunas características climáticas de la zona cafetera colombiana. Sección Climatología, CENICA-FE (9).

Continúa

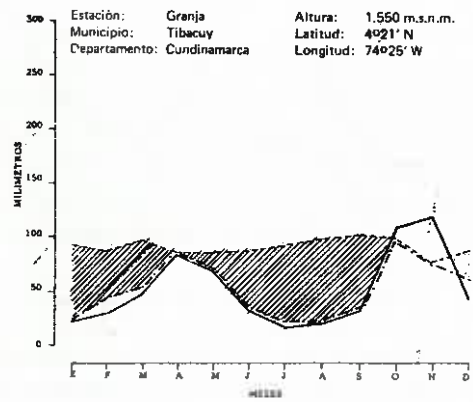
CONVENCIONES

- Exceso
- ▨ Déficit
- ▤ Reseñado por el suelo
- Precipitación
- - - Ewp. potencial
- · - Ewp. real

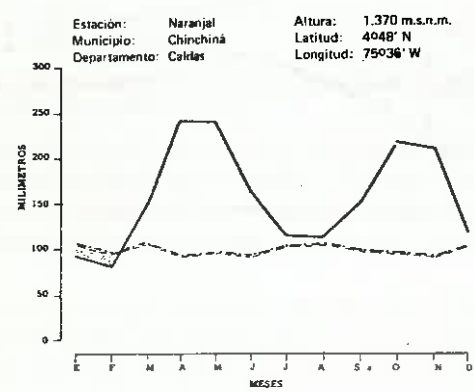
Norte



Central Seca



Central Húmeda



Sur

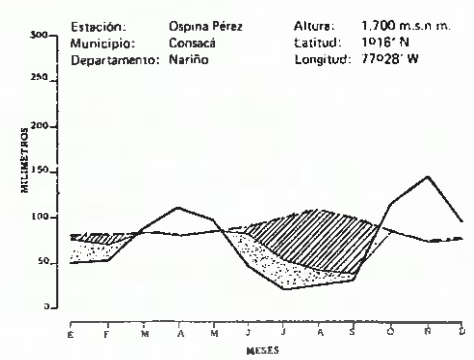


FIGURA 4.3.- Algunas características climáticas de la zona cafetera colombiana. Sección Agroclimatología, CENICAFE (9). Continuación.

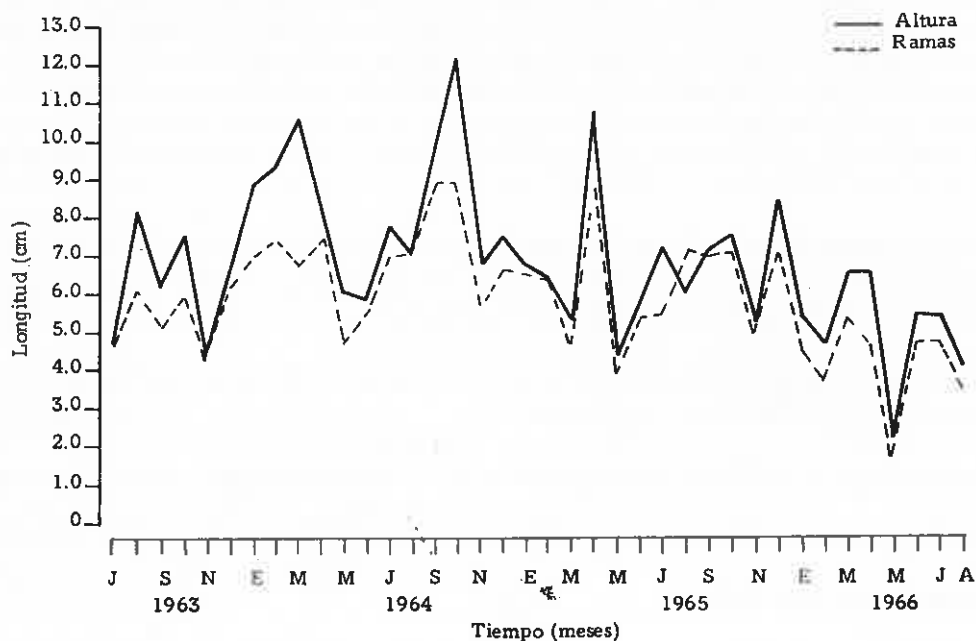


Figura 4.4- Tasas mensuales de crecimiento en altura y extensión de ramas en Coffea Arabica L., variedad Caturra. Naranjal (1963-1966). (12).

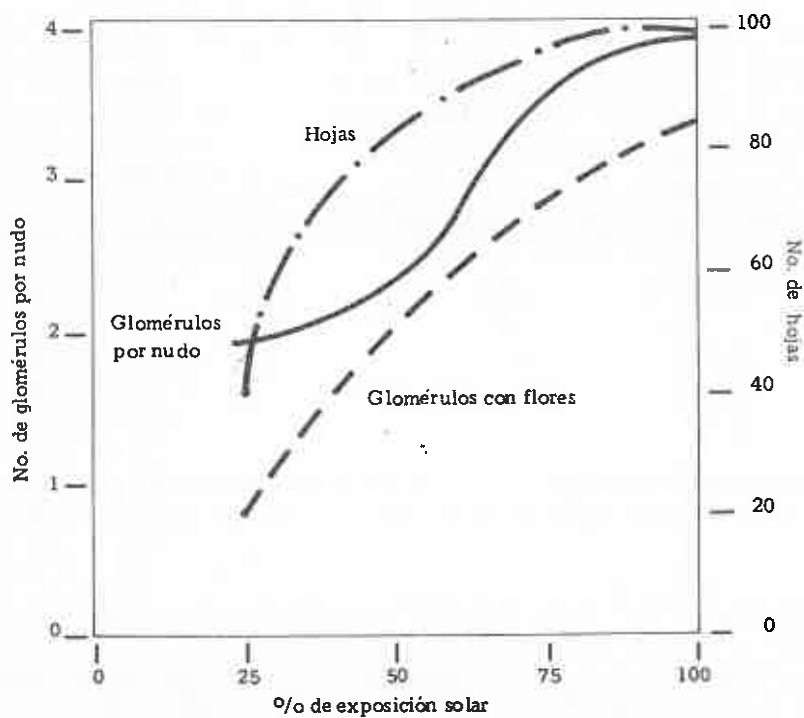


Figura 4.5- Efecto de la luz sobre el número total de glomérulos, glomérulos con flores y sobre el follaje. (6).

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: $Y = (a + bc \cdot X)^{-1}$ en donde: Y = incremento en área foliar; X = tiempo (días); $1/a$ = máximo crecimiento; a, b, c = constantes (4).

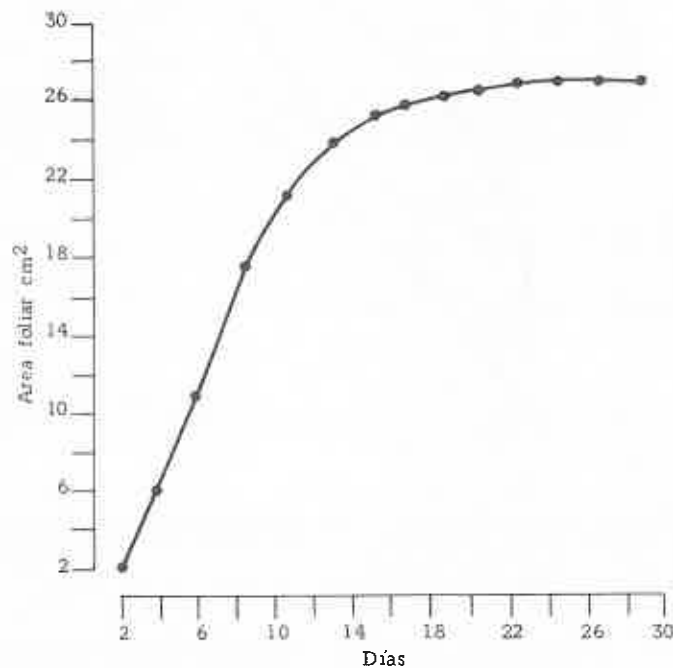


Figura 4.6- Curva de crecimiento de la hoja del cafeto (4).

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 Cm²(23).

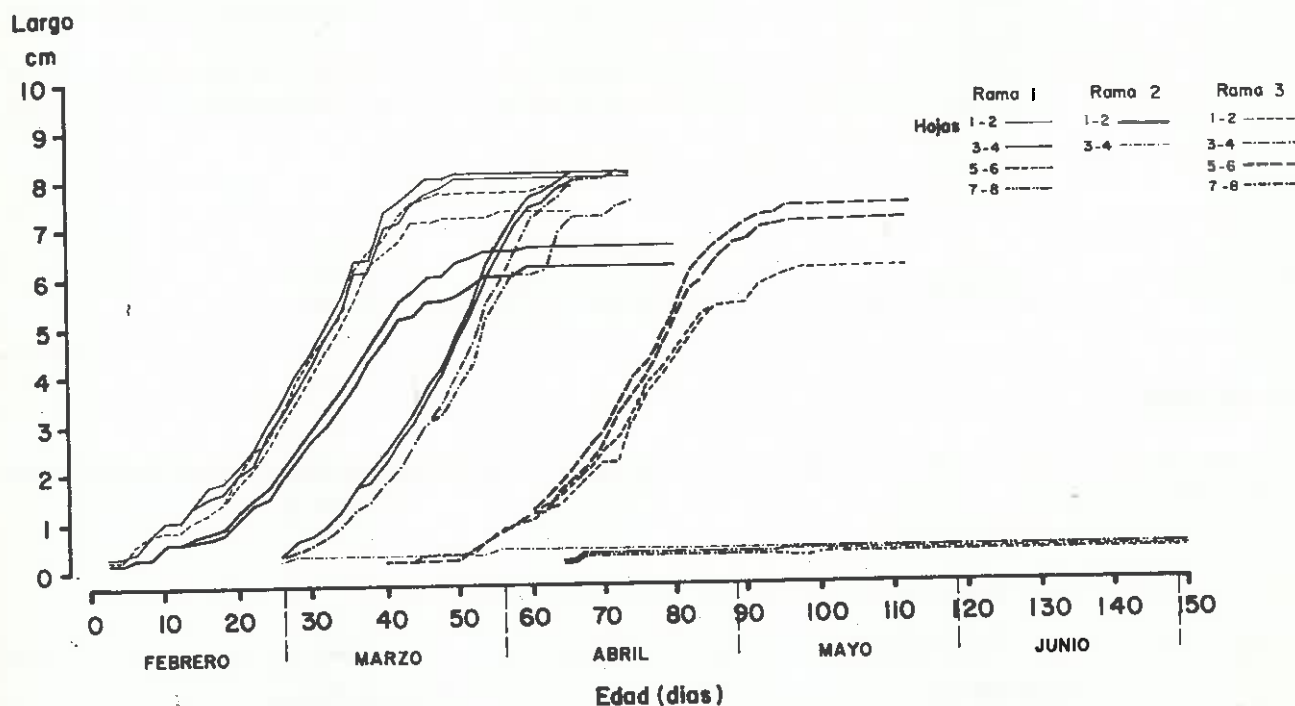


Figura 4.7- Crecimiento de las hojas del cafeto en las condiciones de CENICAFE. (Variedad Caturra). (1).

Periódicidad 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 Chin-chiná, 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.

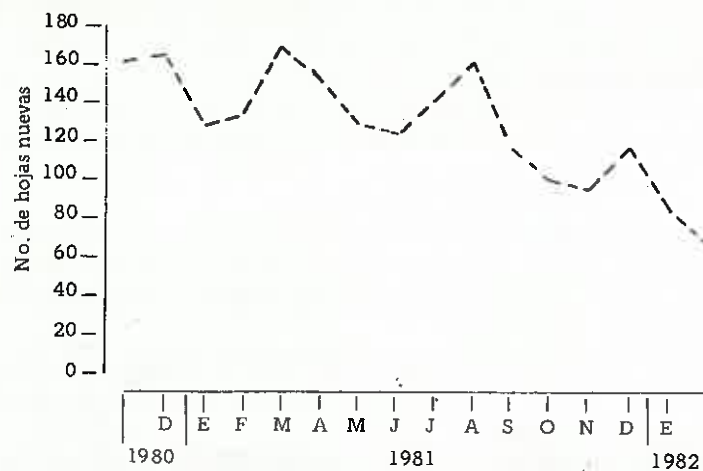


Figura 4.8 Epocas de formación de hojas. Chinchiná 1982 (22).

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 nivel 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).

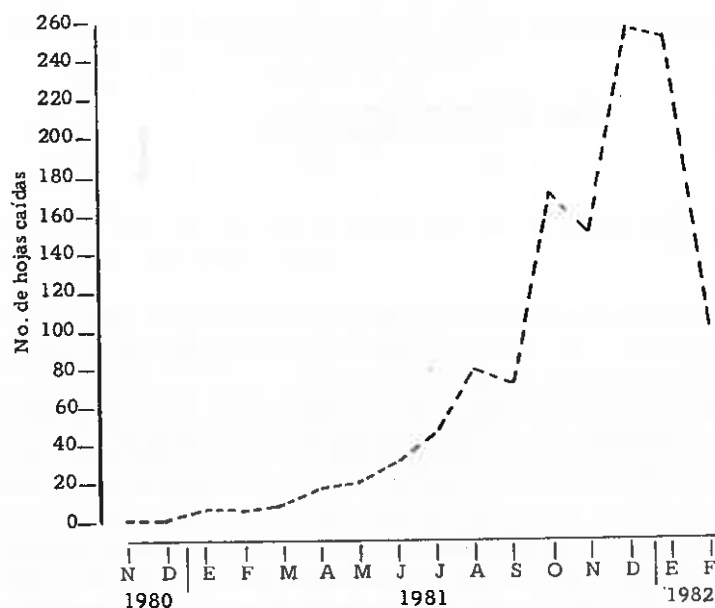


Figura 4.9- Caída de hojas en una plantación de café (22).

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, Biochemistry and Production of beans and Beverage (M.N. Clifford and K.C. Wilson eds.) AVI Publishing 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 periodo 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 sino 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.

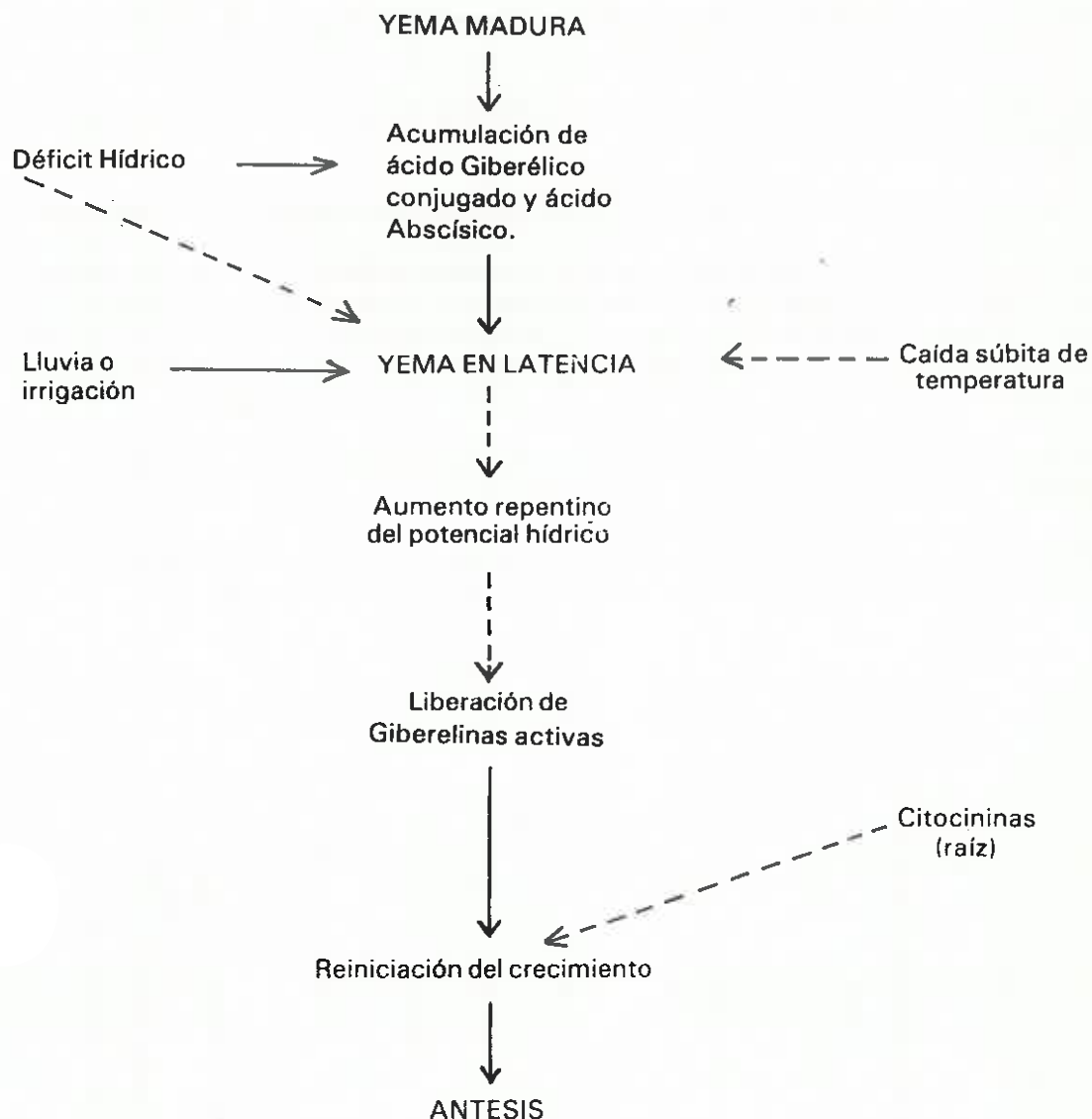


Figura 5.1- Hipótesis corriente acerca de latencia de las yemas florales y anthesis en el café. Las líneas punteadas no tienen soporte experimental. (14).

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 abscísico 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.

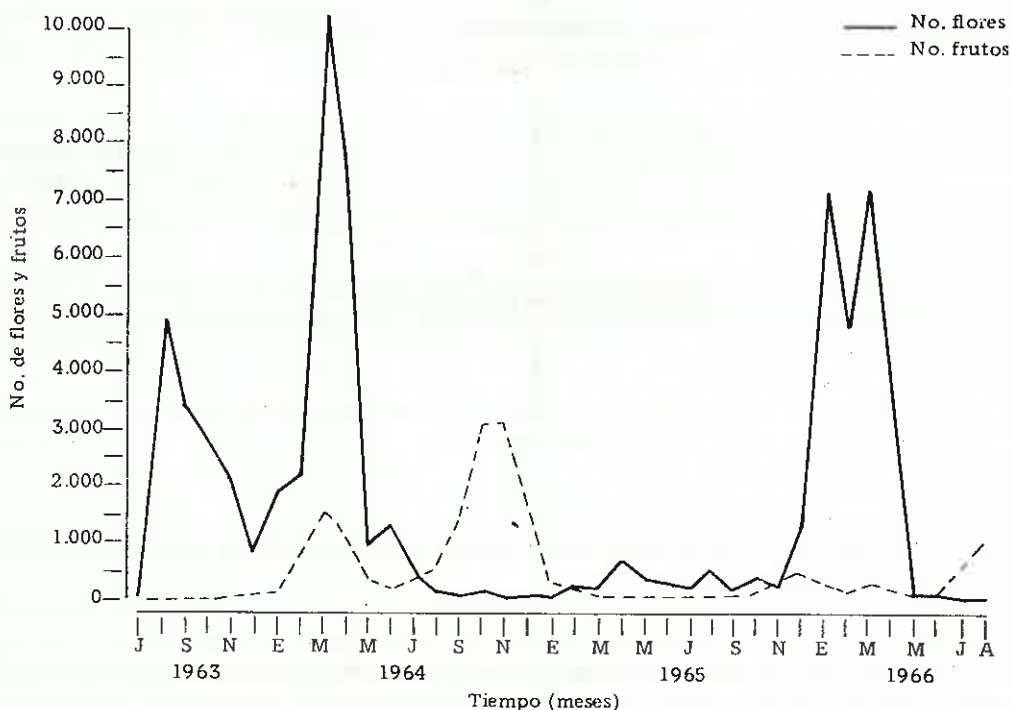


Figura 5.2- Variación mensual en número de flores y frutos de Coffea arabica L., var. Caturra. Naranjal (1963-1966). (11).

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)		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).

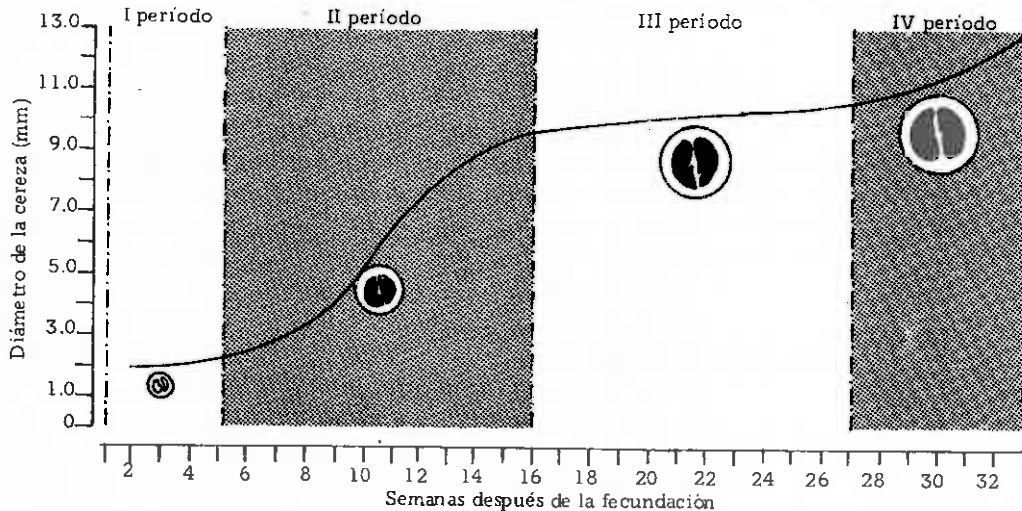


Figura 5.3- Curva promedio de crecimiento del fruto de café en Cenicafé (15).

Primera etapa:

Oscila entre 4^a y 7 semanas después de la fecundación. Es un período donde hay muy poco crecimiento en peso y volumen (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 6^a y 16^a semanas después de la fecundación. En esta etapa el fruto crece rápidamente en volumen 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 volumen 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)

% producción anual

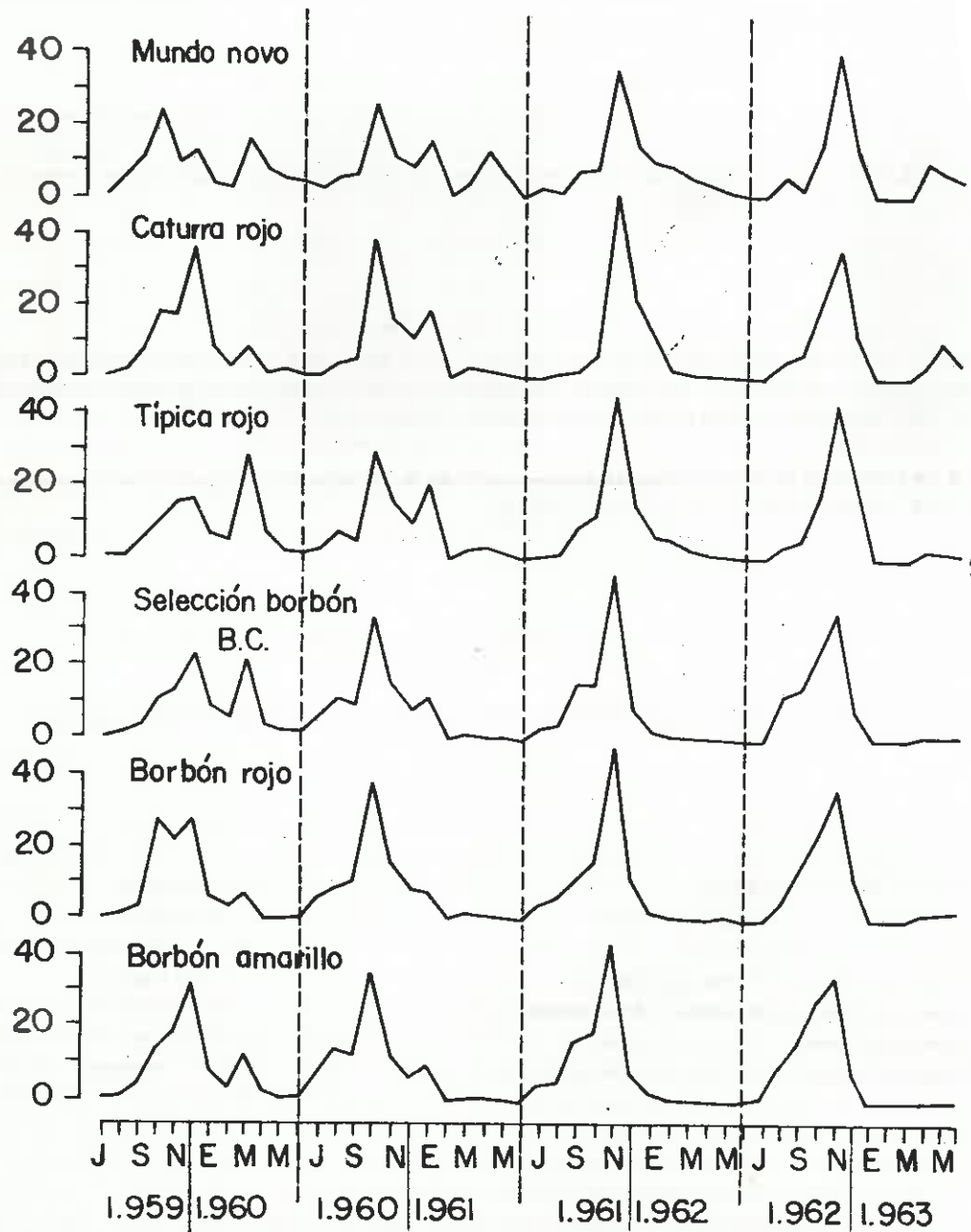


Figura 5.4- Distribución mensual de la producción en porcentaje, para 6 variedades de café. Se observa que las mayores producciones ocurrieron en el mismo mes, en todas las variedades (condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas). (8).

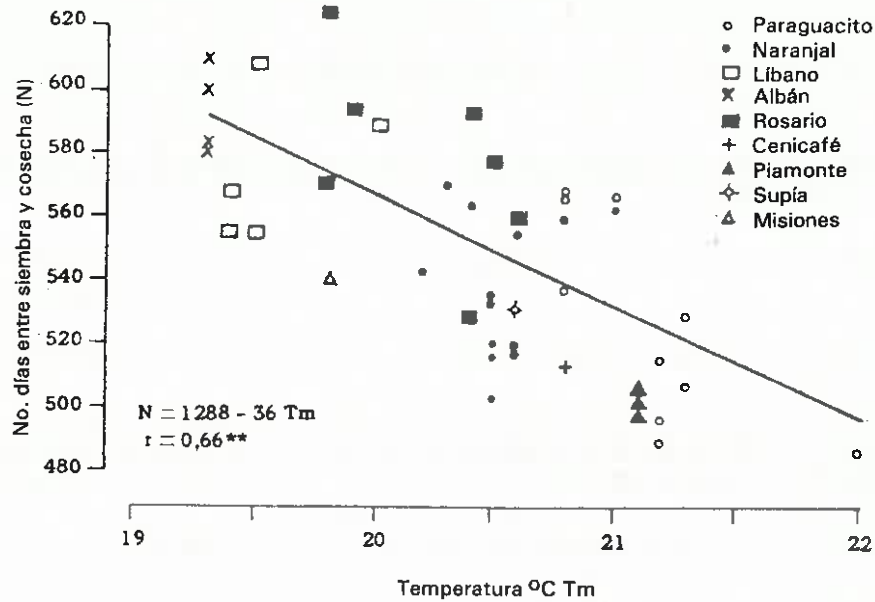


Figura 5.5- Relación entre el número de días transcurridos entre la siembra y la primera cosecha (N) en *Coffea arabica* L., variedad Caturra, y la temperatura media del aire (Referencia 3, Capítulo 3).

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 café. 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 café. 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)

$$\text{Producción por árbol} = \frac{\text{N}^\circ \text{ frutos}}{\text{Arbol}} \times \frac{\text{Peso granos}}{\text{Fruto}} \quad \text{en donde:}$$

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

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

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.

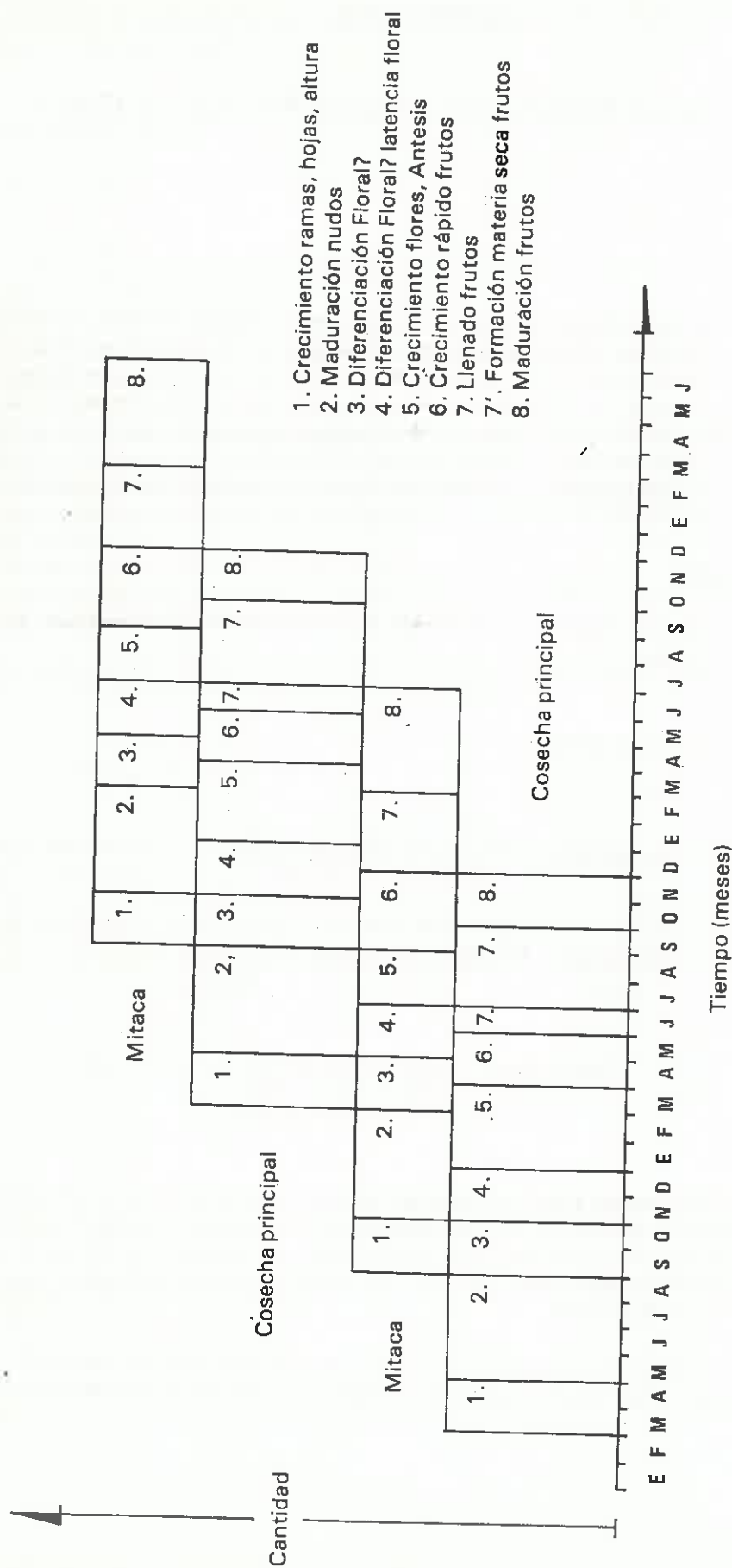


Figura 6.1- Secuencia de las fases vegetativa y reproductiva de *C. arabica* L. variedad Caturra en las condiciones climáticas de Chinchiná, Colombia. Sección de Fitofisiología, Cenicafé, 1985.

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

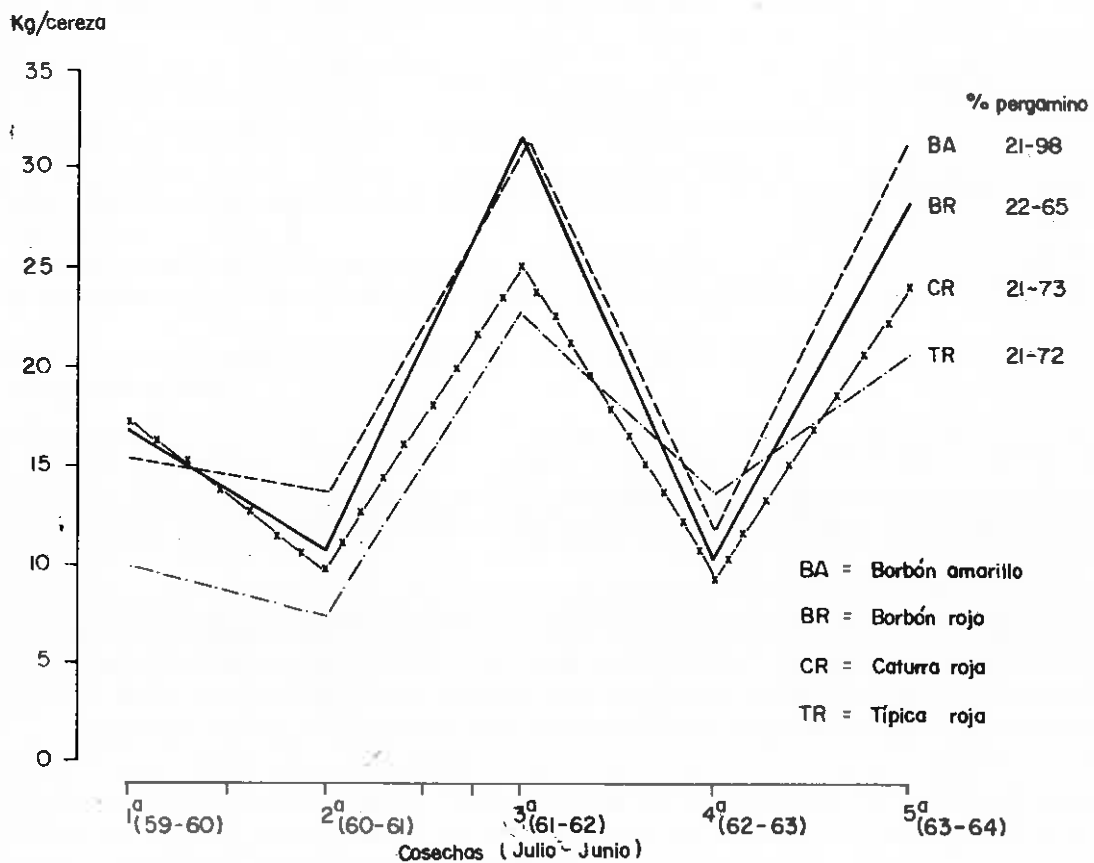


Figura 6.2- Producción por árbol de cuatro variedades de *C. arabica* L. Distancia de siembra 3 x 3 m. (6).

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 auto-sombreamiento 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.

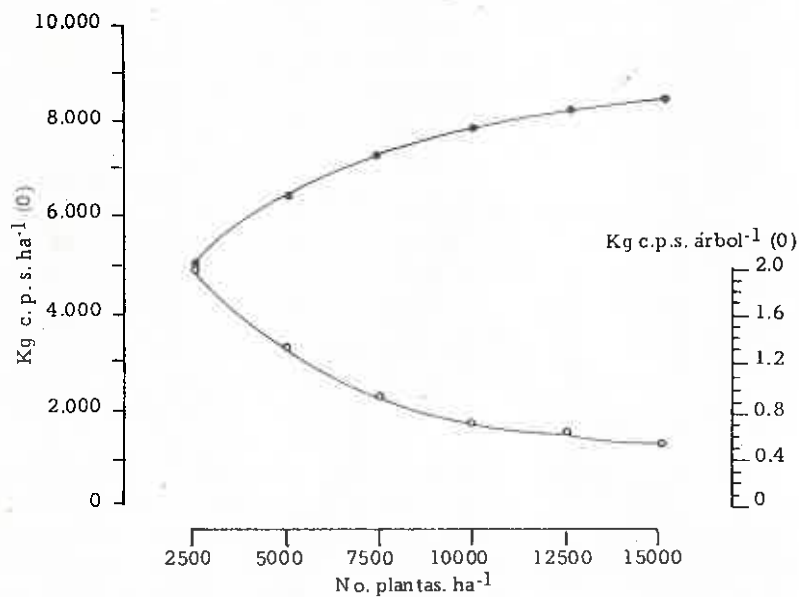


Figura 6.3- Relación entre la densidad de siembra y la producción por hectárea y por árbol. Calculada por la sección de Biometría de Cenicafé, con base en varios ensayos de la Sección de Café de Cenicafé.

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)

Índice 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 comúnmente "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 crasuláceas) 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 $\text{CO}_2/\text{M}^2/\text{segundo}$ a 20°C , mientras que hojas a la sombra pueden alcanzar valores hasta de 14 micromoles de $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{segundo}$. (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.

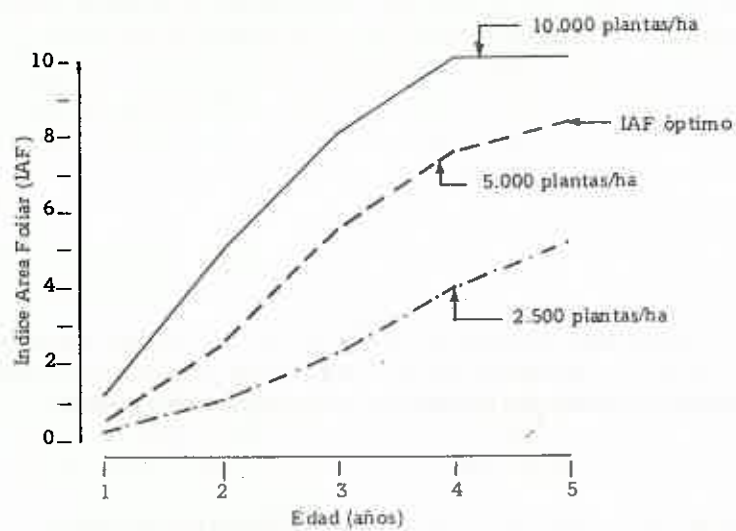


Figura 6.4- Índice de área foliar en plantaciones de café con varias densidades de siembra (19).

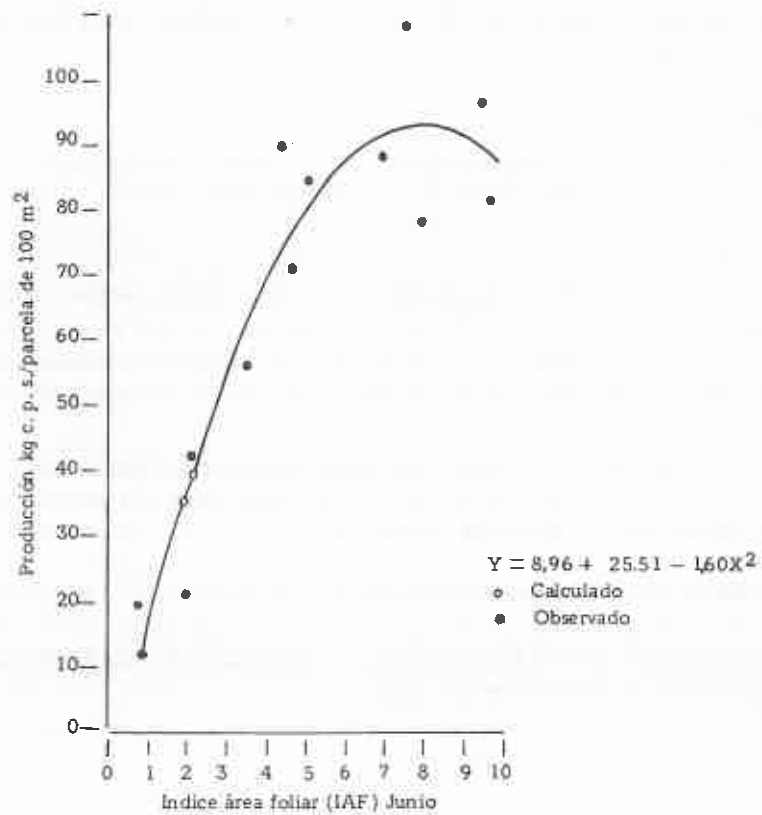


Figura 6.5- Relación entre la producción y el índice de área foliar en junio. (19).

FOTOSINTESIS

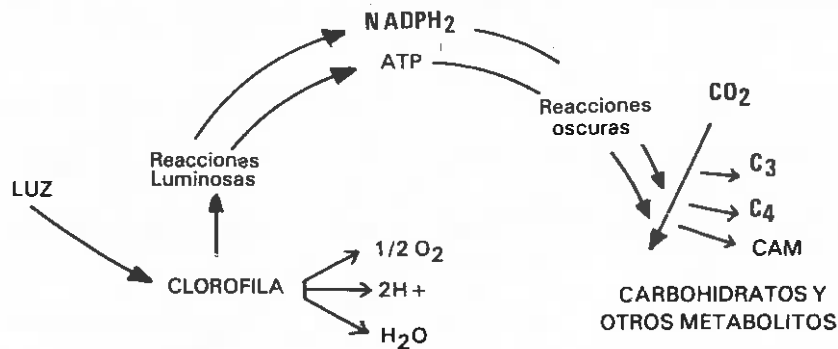


Figura 6.6- Esquema general del proceso de fotosíntesis.

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 continua 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 están a plena exposición solar y además en esta condición es mayor la diferenciación floral (5). También se puede concluir que el café es más adaptado para siembras densas puesto que el auto y mutuo sombrero proporcionan bajas intensidades luminosas y bajas temperaturas foliares, ideales para una fotosíntesis y crecimiento más eficientes.

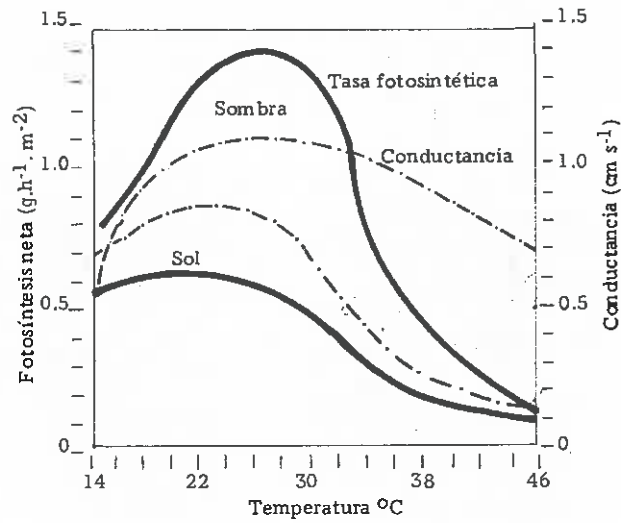


Figura 6.7- Tasas fotosintéticas y conductancia estomática al sol y a la sombra en *Coffea arabica* L. Adaptado de Kumar y Tieszen (19).

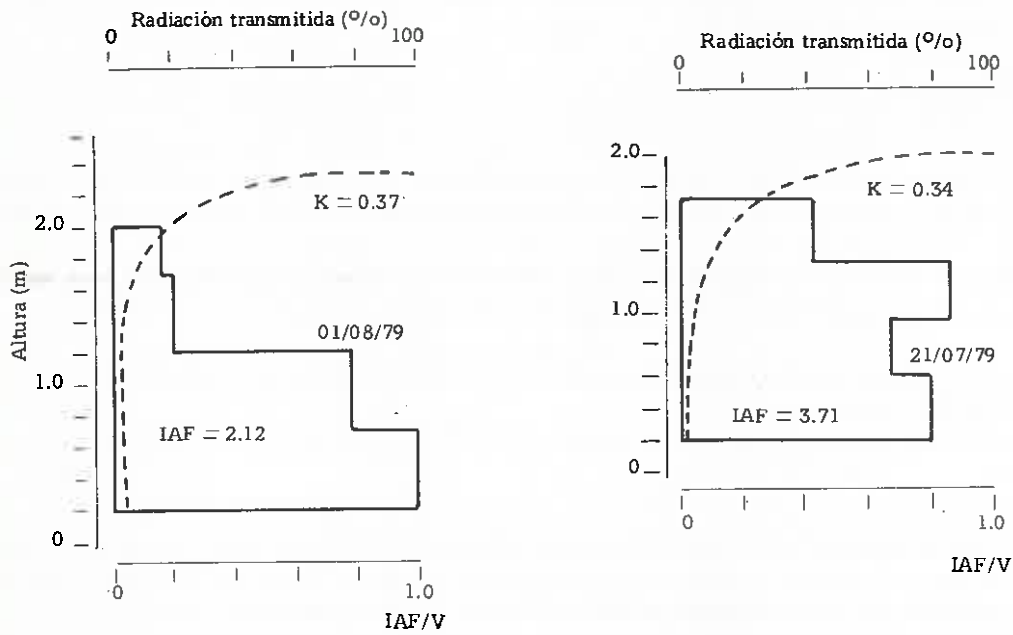


Figura 6.8- Penetración de la luz a través de la fronda de una planta de *Coffea arabica* L. (8).

Es interesante anotar que los frutos en formación tienen de 30-60 estomas por mm^2 (comparado con 240-260/ mm^2 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 café.

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. Cuarto y quinto par Sexto y séptimo par	No alcanzó tasa del 4° y 5° pares 9.5 $\text{mg CO}_2/\text{dm}^2/\text{h}$ (tasa normal) Aproximadamente 1/2 de la tasa normal.

2) Efecto de la luz (10, 14, 17)

Cantidad Luz (Micro Einstenios/ $\text{m}^2/\text{seg.}$)

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

NOTA: Un día soledado = 2.400 Micro-Einsteins/ $\text{m}^2/\text{segundo}$.

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 N (nivel 2 > nivel 1)	Aumentaron tasas a 1.5 veces 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 x 1 m. Cenicafé, 1985 (1).

Variedad	Edad (meses)	Materia Seca (gramos)					Total
		Raíz	Tallo	Ramas	Hojas	Frutos	
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 elementos 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 photosynthesis 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 CO₂ 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 varieties 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 volumen 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.

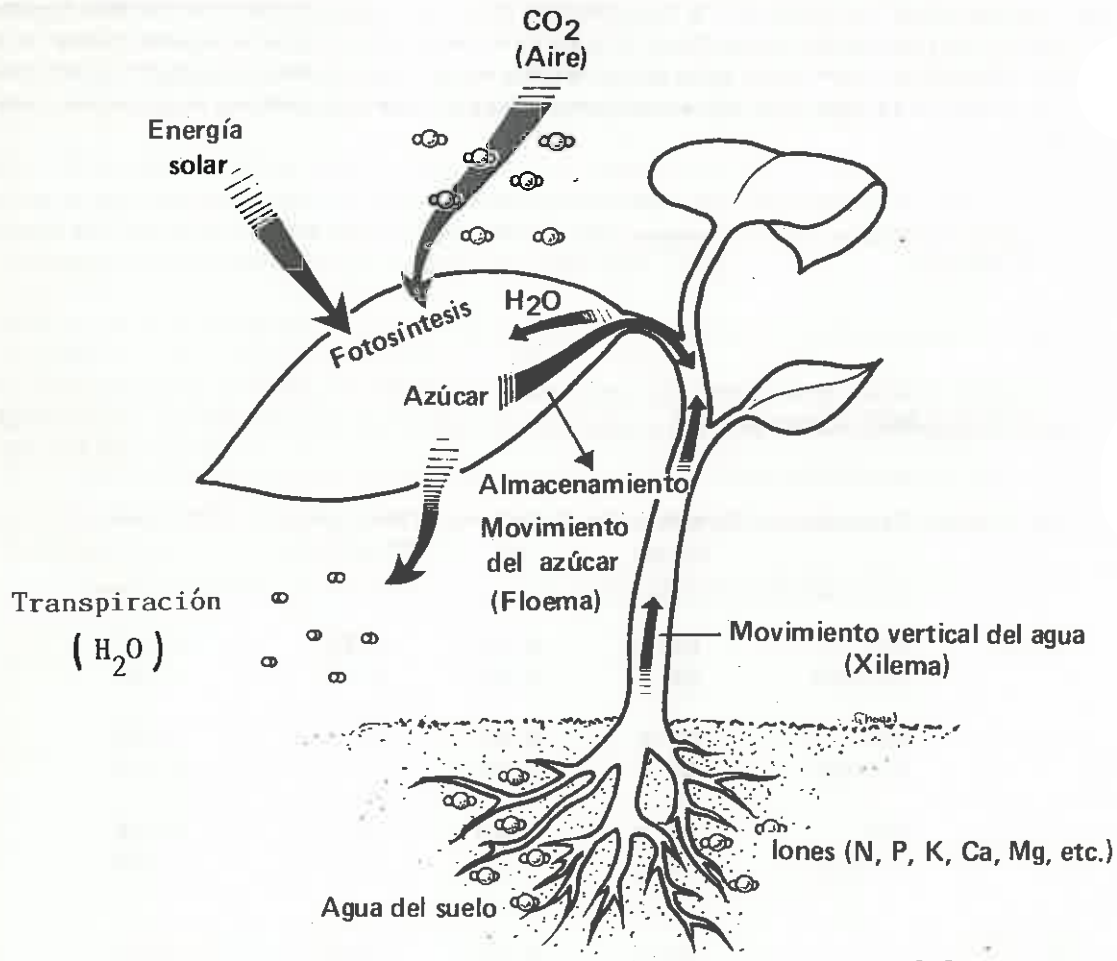
Tabla 7.1 - Promedios de medidas de transpiración para cuatro variedades de café al sol y bajo sombra (siembra: agosto 1961, noviembre 1963). Cenicafé.

Variedades	Tratamiento	Transpiración (litros)	Area foliar m ²	Trans/ aérea foliar (l/m ²)	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, níquel 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 sitios de consumo.



Galston-Davis-Satter
1980

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

Fisiologia do cafeeiro

Alemar B. Rena ¹
Moacyr Maestri ²

INTRODUÇÃO

Informações sobre a fisiologia das plantas são necessárias ao estabelecimento de um manejo racional de uma cultura e como guia em programas de melhoramento.

O presente artigo aborda aspectos da fotossíntese, produtividade e crescimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro adulto, com ênfase na sua regulação pelos fatores climáticos e edáficos. Consideração especial foi dispensada à fisiologia dos sistemas de plantios adensados e da morte de ponteiros. A nutrição mineral somente foi considerada na medida de seu envolvimento nesses processos e fenômenos.

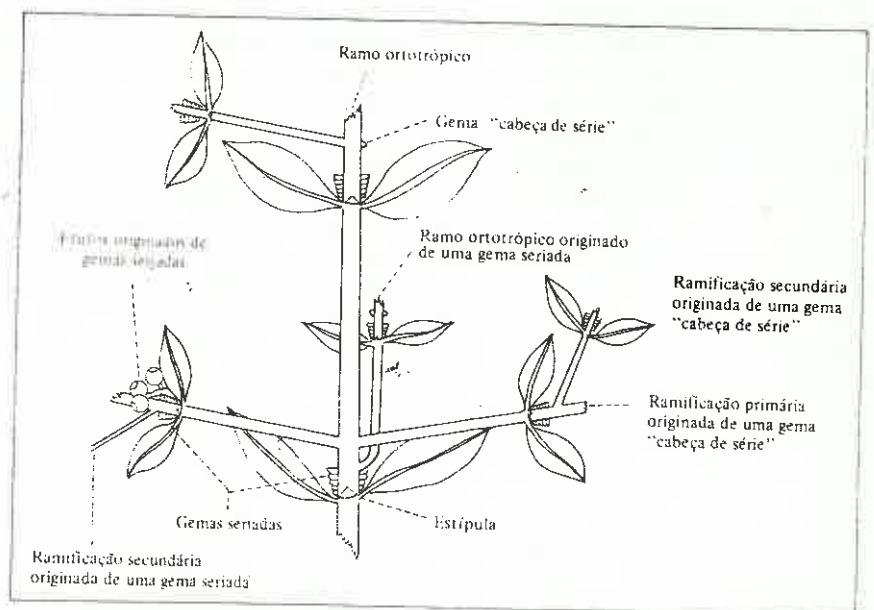
No texto, as palavras café e cafeeiro referem-se especificamente ao *Coffea arabica* L., mencionando-se pelo nome científico de *C. canephora* os cafés robustas.

CRESCIMENTO VEGETATIVO

O café é um arbusto de crescimento contínuo, que apresenta um caracterís-

tico dimorfismo dos ramos, a saber (Fig. 1): (1) ramos ortogeotrópicos, que crescem verticalmente, e (2) ramos plagiogeotrópicos, crescendo lateralmente numa inclinação que varia entre 45 e 90° em relação ao eixo principal. Ramos verticais adicionais, também chamados "ladrões", comumente só aparecem

nos cafeeiros mais idosos, ou quando o ramo principal é decapitado ou danificado. Já os ramos laterais, denominados primários, começaram a aparecer na muda a partir do 6º ao 10º nó e daí para frente continuamente, crescendo simultaneamente com o eixo principal. Ramificações laterais secundárias (ou de



^{1/} Engº Agrº, Ph.D., Prof. Titular/UFV - 36.570 - Viçosa-MG
^{2/} Engº Agrº, Ph.D., Prof. Titular/UFV - 36.570 - Viçosa-MG

ordem superior) podem aparecer no cafeeiro adulto, mas com crescimento defasado em relação ao ramo primário.

O eixo principal possui folhas opostas cruzadas, entre os pecíolos das quais se inserem estípulas largas. A filotaxia dos ramos laterais é idêntica à dos ramos verticais, mas em virtude de uma torsão do entrenó e dos pecíolos, as folhas são colocadas num plano horizontal.

Os ramos ortogeotrópicos e plagio-geotrópicos originam-se de gemas diferencialmente determinadas. Na axila de cada folha, nos eixos verticais, existe uma série linear ordenada de cinco a seis gemas — as gemas seriadas — e isoladas, acima da série, uma outra gema — dita "cabeça-da-série" — que se forma na planta a partir do 8º ao 10º nó, ou mesmo a partir do 6º nó (Fig. 1). As gemas seriadas não possuem traço vascular, enquanto as cabeças-da-série o possuem desde o início. As gemas cabeças-da-série dão origem unicamente a ramos laterais, ao passo que as seriadas eventualmente desenvolvem-se em ramos verticais (ladrões). O controle apical é estrito sobre as gemas seriadas e apenas indireto sobre as cabeças-da-série. As gemas seriadas sob altas temperaturas brotam espontaneamente formando ramos verticais, o que dá à planta aspecto entouceirado.

CRESCIMENTO DO CAULE

O crescimento dos ramos laterais do cafeeiro, em diferentes regiões, mostra uma flutuação sazonal que tem sido relacionada com as condições climáticas.

Na Costa Rica, o crescimento é mínimo quando as temperaturas são baixas e os dias curtos (agosto até a primeira metade de janeiro). Verificou-se que nem fertilização nitrogenada, chuva, umidade do solo, floração ou frutificação alteram a periodicidade básica, embora a taxa de crescimento seja maior nos cafeeiros sem frutos ou que ainda não tenham florescido. O crescimento não pode também ser correlacionado nem com a temperatura, nem com a precipitação. Alta precipitação esteve mesmo correlacionada negativamente com o crescimento.

Em Santa Tecla, El Salvador, a maior parte do crescimento ocorre na estação chuvosa, apesar de iniciar-se em

janeiro, ou seja, três meses antes das chuvas, e cai rapidamente em julho, quando a precipitação é máxima.

No Quênia e na Tanzânia, onde existem duas estações chuvosas e duas secas, o crescimento está correlacionado com as chuvas. O crescimento é vagaroso na estação seca e fria.

Na região central da Colômbia, há duas épocas de crescimento rápido do café, as quais coincidem com as épocas de floração. O menor crescimento verifica-se durante os dois meses chuvosos de novembro e dezembro. Observou-se que embora existisse uma relação entre o máximo e o mínimo de crescimento com as somas das médias de temperatura-hora, uma correlação altamente significativa foi encontrada apenas com temperaturas noturnas acima de 20°C, ocorridas três a quatro semanas antes da medição do crescimento.

Em Viçosa, o crescimento dos ramos é rápido durante a estação quente e chuvosa (setembro-março) e lento na estação fria e seca (março-setembro). Atribuiu-se às altas temperaturas ocorridas nos meses de janeiro-fevereiro (as maiores do ano) uma pequena queda na taxa de crescimento dos cafeeiros, no mesmo período. Como a irrigação não afetou nem o ritmo, nem a taxa de crescimento, sugeriu-se que a queda da taxa, na época fria, foi provocada por dias curtos. Situação análoga foi relatada para Zimbábue, que possui clima semelhante ao de Viçosa. Crescimento mínimo ocorre nos meses secos de maio a setembro, mesmo com a irrigação no período.

No sul da Índia, virtualmente paralisado na estação seca e fria (novembro-março), o crescimento inicia-se com a elevação da temperatura, mesmo sem chuvas, alcançando as taxas máximas na época quente e chuvosa (março-junho). Na estação das monções marítimas (junho-agosto), o crescimento quase cessa, reiniciando-se no final e mantendo-se constante na estação das monções continentais (setembro-dezembro). A queda no crescimento no início das monções marítimas tem sido atribuída à competição com o processo reprodutivo, à lixiviação de nitratos ou ao excesso de umidade no solo.

Vê-se, portanto, que várias causas têm sido invocadas para explicar a perio-

dicidade de crescimento observada nas regiões cafeeiras, incluindo-se, entre elas secas, temperatura, fotoperíodo, excesso de água, lixiviação de nitratos por fortes chuvas e crescimento reprodutivo.

As secas têm sido comumente associadas com periodicidade de crescimento em várias regiões cafeeiras; mas em alguns casos a época seca coincide com baixas temperaturas e dias curtos, o que certamente dificulta a identificação do fator primário. Observações como a de que irrigação na época seca pode não estimular o crescimento, de que o crescimento pode reiniciar-se antes da ocorrência de chuvas, ou mesmo de que a redução de crescimento pode verificar-se em época chuvosa, estão a indicar que outro fator pode ser mais importante no controle do crescimento, como seja a temperatura ou o comprimento do dia. Nas regiões cafeeiras equatoriais (Quênia, Colômbia), as variações do comprimento do dia durante o ano são diminutas, e, portanto, chuva ou temperatura devem ter papel importante no crescimento do café. Todavia, tem-se sugerido que variações em temperatura e chuva podem condicionar a planta para responder ao fotoperíodo. Um efeito condicionador da baixa temperatura foi também postulado para as condições de Viçosa.

No Quênia, resultados indicam que, nos cafeeiros irrigados, os nós são produzidos intermitentemente, numa sucessão de lançamentos, cada lançamento começando após uma chuva, mas, quando das chuvas principais, os lançamentos são menos intensos nos cafeeiros irrigados, que naqueles que não receberam irrigação. Conclui-se que o estímulo seria algum evento climático ligado à precipitação; mas independentemente da condição hídrica do solo. Presumivelmente a chuva é necessária para forçar o lançamento, por reduzir a demanda evaporativa e aumentar a umidade do solo, quando esta é insuficiente. Cafeeiros que vinham sob regimes controlados de umidade do solo e foram submetidos a períodos de seca de oito ou de doze semanas e em seguida irrigados, logo iniciaram lançamentos, produzindo folhas mais rapidamente e abrindo mais os estômatos que cafeeiros que foram irrigados constantemente. Os cafeeiros que

havia passado por um período maior de seca produziram cerca de 70% a mais de ramos laterais que os que haviam sofrido seca por menor tempo. Parece que as tensões hídricas restringem o crescimento, mas ao longo tempo estimulam os cafeeiros a um crescimento compensatório mais tarde, ao serem as tensões eventualmente liberadas, possivelmente pelo decréscimo da resistência radicular à absorção de água. Ácido giberélico (GA_3) foi incapaz de superar a restrição na produção de nós e na extensão dos entrenós imposta pela tensão hídrica; o padrão geral de lançamentos de crescimentos não foi também alterado por tratamentos com GA_3 . O lançamento não pode, portanto, ser resultado de um aumento do suprimento de giberelinas.

Algumas observações relacionam a presença de frutos com o crescimento vegetativo. No sul da Índia, a expansão rápida dos frutos alterna com o crescimento vegetativo rápido. O ritmo de crescimento vegetativo do café em Turrialba foi atribuído à formação e ao crescimento dos frutos, mas a eliminação dos frutos não alterou a periodicidade, embora o crescimento tenha sido maior nos cafeeiros sem frutos.

As variações sazonais no crescimento da parte aérea estão associadas com variações na distribuição de matéria seca entre e dentro dos sistemas aéreo e radicular. O fruto em crescimento é o mais forte dreno metabólico, limitando a mobilização de assimilados para os tecidos vegetativos e reduzindo o crescimento. O padrão da periodicidade do crescimento, todavia, não se modifica.

O florescimento, em várias regiões, ocorre pouco antes ou simultaneamente com o período ou períodos de máximo crescimento dos ramos laterais. Parece que os fatores que induzem florescimento são os mesmos que estimulam o surto de crescimento vegetativo.

A atividade cambial no eixo principal também exhibe periodicidade, conforme se observou em Israel. Em Viçosa, o crescimento do tronco também é ritmico, começando em outubro e indo até junho; de julho a setembro não há crescimento mensurável. As maiores taxas ocorrem em janeiro-fevereiro, simultaneamente com a redução do crescimento dos ramos. Cafeeiros irrigados comportaram-se do mesmo modo que ca-

feeiros que não receberam irrigação. O crescimento cambial correlacionou-se significativamente com a temperatura média, mas apresentou igualmente um paralelismo estreito com a curva de variação do fotoperíodo.

FOLHAS — APARECIMENTO, EXPANSÃO E QUEDA

A produção de folhas está intimamente associada com o crescimento dos caules, especialmente dos ramos laterais, tendo-se em vista que os primórdios foliares resultam diretamente da atividade da gema apical. O crescimento relevante, portanto, é aquele comprometido com a formação de nós e não com a extensão dos entrenós, embora os dois processos estejam de algum modo relacionados.

A produção de folhas (formação de nós) é um processo contínuo durante todo o ano, mas a sua taxa varia com as condições climáticas. Contudo, há registro de formação de folhas em surtos (lançamentos) intermitentes, no Quênia. Em Viçosa, o número de pares de folhas formadas nos ramos primários não varia sensivelmente na estação quente chuvosa (outubro-março), mas cai acentuadamente na estação fria seca. Desde que o tratamento de irrigação não alterou esse padrão, o efeito foi atribuído à temperatura e ao fotoperíodo. Dias longos sem dúvida aceleram a formação de nós.

No Quênia, onde duas estações chuvosas alternam-se com duas secas, foi observado, na estação quente, que cafeeiros irrigados produziram maior número de nós que aqueles submetidos a períodos variáveis de falta de água. Nestes houve redução do número de nós proporcionalmente à intensidade da seca. Em alguns casos, na estação chuvosa que se seguiu, cafeeiros sujeitos anteriormente à seca produziram mais nós que os que haviam recebido irrigação, numa forma de crescimento compensatório. A formação de nós não ocorre continuamente, mas em lançamentos intermitentes de curta duração, associados com precipitação acompanhada de queda rápida da temperatura. Os lançamentos foram mais freqüentes na estação seca quente e menos perceptíveis na estação seca fria. As respostas às chuvas foram altamente afetadas por tratamentos de

irrigação, presumivelmente porque as chuvas não umedeciam o solo suficientemente para dar uma resposta comparável pelas plantas que não eram irrigadas. GA_3 não alterou o padrão da periodicidade na produção das folhas, mas em geral aumentou a taxa e ampliou a resposta à precipitação.

A iniciação dos primórdios foliares no flanco do meristema apical é seguida imediatamente, sem pausa perceptível, pela diferenciação e expansão da folha.

A expansão das folhas, tanto no Quênia, quanto no Brasil, é maior em estações chuvosas que em estações secas. Em Viçosa, a expansão segue sempre o modelo sigmóide, mas a taxa de crescimento e a área final dependem da época em que se verifica a expansão. Assim, folhas que apareceram em outubro atingiram uma média de 55 cm², com uma taxa média de crescimento de 9,2 cm² por semana, em janeiro 27 cm² e 4,5 cm² por semana, e em julho 9 cm² e 0,9 cm² por semana. A irrigação não modificou esse comportamento, pelo que o efeito foi atribuído a fotoperíodos mais curtos. Altas temperaturas e fortes radiações solares podem explicar os valores baixos encontrados para as folhas que iniciaram o crescimento em janeiro. O crescimento completou-se em seis semanas, exceto para as folhas aparecidas em julho, que cresceram durante dez semanas.

Em Israel, encontrou-se que a radiação solar e a temperatura são os principais fatores que controlam a expansão foliar. As menores folhas apareceram no início ou fim do período de crescimento (maio-novembro), e as maiores, em junho e julho. Periodicidade sazonal de crescimento das folhas foi registrada também no sul da Índia e na Tanzânia.

O sombreamento induz aumento na área das folhas, mas é sabido que o sombreamento, além de reduzir a radiação, altera também a temperatura, a umidade relativa do ar e a umidade do solo.

Pode ser que a temperatura seja mais importante que a luz no controle do crescimento da folha, pois estudo sob condições controladas mostrou que o melhor crescimento se deu com temperaturas dia/noite de 24°/20°C e a intensidade de luz não teve efeito significativo.

A temperatura das folhas pode alcançar valores elevados de 40°C acima da temperatura do ar e, considerando os resultados disponíveis, acredita-se que o crescimento das folhas é inibido durante períodos quentes.

O café é uma planta perene de crescimento mais ou menos contínuo, que não perde normalmente todas as suas folhas de uma só vez. Nos climas tropicais, a abscisão foliar tem sido associada com a precipitação e com a duração do dia. No caso do café, a perda de folha se intensifica na época seca. Em Campinas, a área foliar média de um cafeeiro reduziu-se de 32 m² na estação chuvosa para 12 m² na estação seca. Por outro lado, atribuiu-se a queda das folhas do café no sul da Índia, no período seco que se segue às chuvas, a partir de outubro, a altas temperaturas e intensidades de luz.

Secas e altas temperaturas afetam acentuadamente a duração foliar por promoverem uma diminuição dos níveis de carboidratos nas folhas. Sendo os frutos importantes drenos de carboidratos, desfolhamentos causados por secas e altas temperaturas tornam-se assim severos durante a frutificação e após a colheita. Distúrbios mais graves, como depauperamento e seca de ponteiros, têm sido associados com baixa reserva de carboidratos.

Pulverizações com certos fungicidas aumentam a retenção foliar em café, o chamado "efeito tônico". Esse efeito pode ser devido à eliminação da microflora da superfície foliar, a qual produz etileno, um fitohormônio promotor de senescência e abscisão. O fato de que fungicidas em café induzem maior abertura estomática, enquanto CEPA, um gerador de etileno nos tecidos vegetais, provoca fechamento, suporta essa sugestão.

Sem dúvida, a queda de folhas é uma maneira de conservar água em períodos críticos. Além disso, o fechamento de estômatos nos períodos de seca ajuda suplementarmente a conservar a água.

O fenômeno de retenção foliar tem relevante importância como fator de aumento do rendimento e da estabilidade da produção, e seu controle direto ou indireto pode oferecer resultados compensadores, haja vista, como exemplo, o fato de que pulverizações com fungicidas,

tendo prolongado a vida das folhas sadias, levaram a um aumento de 20% no rendimento de grãos de café.

RELAÇÕES DE CRESCIMENTO RADICULAR

As radículas superficiais do cafeeiro, na Tanzânia, apresentam dois períodos de rápido crescimento, maio a julho e janeiro a março, os quais foram correlacionados com o acúmulo de nitrato no solo, já que esses períodos são estações de pouca chuva. Entretanto, pesquisas mais recentes não confirmaram a possível correlação entre o teor de nitrato no solo com o crescimento, tanto da parte aérea, quanto do sistema radicular. No Quênia, observou-se que a taxa de crescimento radicular foi maior em certos períodos que em outros, e parece que, na maioria das vezes, ele precedeu ao crescimento do caule. Entretanto, constatou-se que o movimento de fotoassimilados para o sistema tronco/raiz ocorreu após a paralisação do crescimento rápido do caule, sugerindo que este seria o período do aumento da atividade radicular.

Durante a estação seca e quente no Quênia (janeiro-fevereiro), todas as partes do cafeeiro aumentam muito pouco de matéria seca, à exceção das radículas com menos de 3 mm de diâmetro. No início da estação chuvosa prolongada (fevereiro-março), o crescimento vegetativo da parte aérea é intenso, as radículas apresentam ainda algum crescimento, mas as raízes de diâmetro superior a 3 mm praticamente não crescem. Em síntese, as raízes parecem ser um dreno forte nos períodos posteriores aos chuvosos. Sob certas condições, o crescimento ativo das raízes ocorre durante a estação chuvosa, mas noutros casos o crescimento é mais rápido quando o conteúdo de umidade do solo não é tão alto, após as chuvas. De qualquer forma, essas informações, aparentemente contraditórias, parecem indicar que os períodos de maior crescimento em extensão da parte aérea e das raízes não são concorrentes.

No Quênia, a atividade radicular é desprezível a 180 cm de profundidade em qualquer época, mas nas outras profundidades, e num raio de 135 cm do tronco, o nível relativo de atividade va-

ria marcadamente com a estação. Por exemplo, após a seca prolongada, relativamente elevada, atividade radicular foi encontrada entre 45 e 75 cm de profundidade e bem próxima ao tronco. Contudo, após uma chuva, a maior atividade se desenvolveu na superfície do solo e a uma distância de 70 cm do tronco.

Deficiência hídrica no solo tem reflexos negativos sobre o sistema radicular, particularmente sobre as raízes absorventes, limitando a absorção de água e minerais, o crescimento da parte aérea e a produção da planta.

A fertilidade e a reação do solo, além da sua textura, afetam marcadamente o crescimento das raízes. Os solos neutros, ou ligeiramente ácidos, são os mais favoráveis para o crescimento das raízes do cafeeiro, e o pH entre 5,8 e 6,0 representa o limite inferior para um bom desenvolvimento do sistema radicular. Quando o subsolo é mais ácido que esse limite, as raízes absorventes tendem a concentrar-se na camada superficial do solo, exigindo, para o crescimento adequado do sistema radicular, e conseqüentemente da planta inteira, a manutenção de boa fertilidade nessa camada superficial. Situação semelhante pode ser facilmente encontrada na maioria das áreas cafeeiras do Brasil, especialmente nas regiões de cerrados.

A aplicação de cobertura morta e de irrigação pode afetar muito o padrão de crescimento das raízes do cafeeiro. A irrigação reduz a profundidade de penetração da raiz pivotante e o desenvolvimento de raízes primárias e secundárias nas camadas mais profundas do solo. A cobertura morta aumenta o tamanho do sistema radicular como um todo e a profundidade da raiz axial.

Os métodos de cultivo podem também influenciar muito o crescimento do sistema radicular. Os cultivos profundos podem causar cortes de radículas, e os danos serão tanto maiores quanto mais superficial for o sistema radicular. Às vezes ocorre a regeneração parcial do sistema radicular, mas no caso de a injúria ser repetida por vários anos, pode levar ao completo debilitamento do cafeeiro. Nas condições brasileiras, em que solos ácidos são freqüentes e o sistema radicular tende a ser superficial, a profundidade dos cultivos pode definir a vida

café

produtiva do cafeeiro.

O crescimento reprodutivo do cafeeiro é outro fator que pode influenciar bastante o crescimento e a longevidade das raízes. Via de regra, as plantas de café a pleno sol tendem a apresentar superprodução de frutos, acarretando inevitável morte de ramos e de raízes.

DESENVOLVIMENTO REPRODUTIVO

FLORAÇÃO

O café é uma espécie tropical de floração gregária, ou seja, todas as plantas individuais, numa certa extensão geográfica, florescem simultaneamente. Todavia o número de lançamentos de florações varia desde umas poucas, nas regiões cafeeiras das latitudes médias, com época de seca definida, até várias ao longo do ano, nas regiões equatoriais chuvosas. Assim, enquanto na região cafeeira do sul do Brasil aparecem duas-três florações de intensidades decrescentes, na Costa Rica verificam-se até 12-15. Esse hábito reprodutivo conduz a uma série de dificuldades práticas, umas relacionadas com colheitas parciais prolongadas, outras com o controle efetivo de doenças



A decisão segura.

ou pragas, ou com a qualidade dos grãos.

A floração do café será aqui tratada em três fases - iniciação floral, desenvolvimento do botão floral e antese (floração) (Fig. 2), fazendo-se ainda uma tentativa de separar a iniciação floral das fases preparatórias de indução e de evocação. Existe certa confusão com respeito ao papel dos vários fatores que afetam cada fase. Muitas vezes um fator que pode estar favorecendo uma fase particular é tomado como estando ligado a outra fase, dificultando a interpretação.

INFLORESCÊNCIA - GÊNESE E MORFOLOGIA

Em *C. arabica*, as inflorescências são formadas nas axilas das folhas dos ramos laterais (plagiogeotrópicos) crescidos na estação anterior. Os nós produzem flores apenas uma vez. Já em *C. canephora*, as inflorescências são produzidas apenas no crescimento corrente do ano. Desse modo, a floração depende estreitamente do crescimento dos ramos

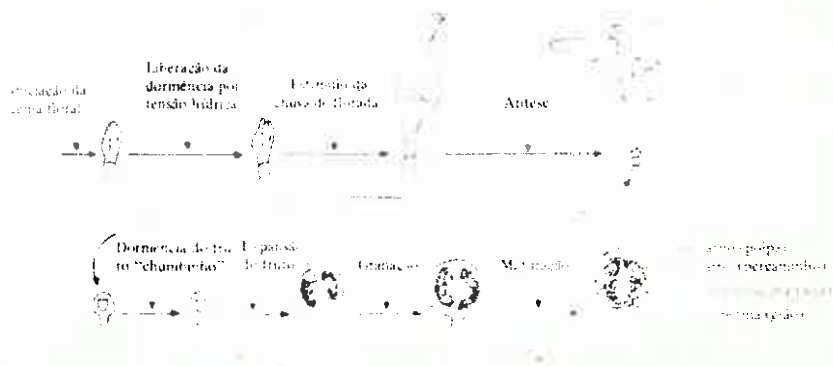
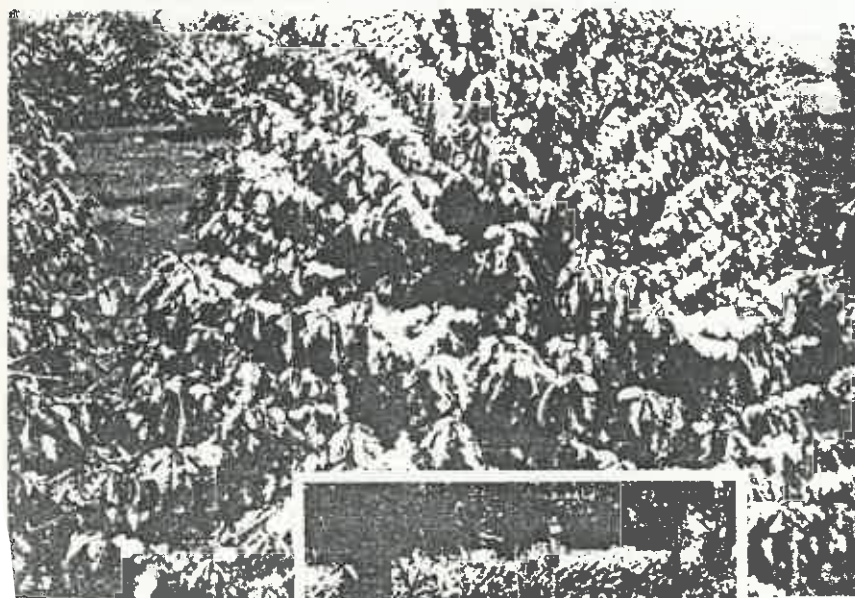
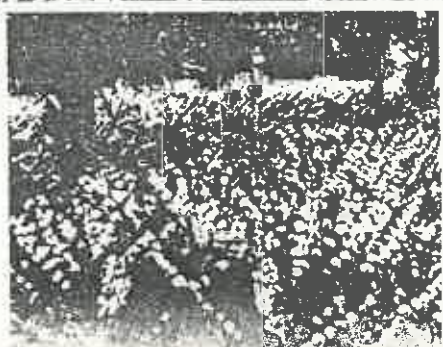


Fig. 2 - Estádios da floração e da frutificação do cafeeiro (adaptado de Cannell, 1983).



Café em floração



laterais, em especial dos primários.

Os ramos laterais possuem, nas axilas das folhas, até seis gemas ordenadas numa série linear. A maior fica junto ao caule e a menor próxima ao pecíolo da folha. As gemas ditas "cabeças-da-série", que existem sempre nos caules verticais, aparecem raramente nos ramos laterais no café arábica (Fig. 1) e não são regulares no tipo robusta. As gemas seriadas podem dar origem a gemas florais ou a ramos laterais secundários (ou de ordem maior), enquanto as gemas "cabeças-da-série", se existentes, dão origem exclusivamente a ramos laterais.

As gemas seriadas de ramo primário desenvolvem-se em inflorescências, que pertencem ao tipo chamado homotático composto. A inflorescência, em princípio, é a continuação do ramo vegetativo, em que brácteas e bractéolas aparecem como órgãos homólogos de folhas e estípulas interpeciolares (interfoliares). Cada gema seriada dá um eixo curto, terminando numa flor. Estes eixos pos-

suem vários nós em que se inserem brácteas opostas e cruzadas, em cujas axilas se forma outra série descendente de gemas florais. Essas gemas podem, por sua vez, dar origem a novos eixos curtos, semelhantes ao eixo-mãe, terminados igualmente por uma flor e com vários nós, e assim por diante.

Comumente a gema superior de cada série axilar dos eixos laterais origina a maior inflorescência, enquanto as consecutivas desenvolvem-se em inflorescências cada vez menores ou permanecem indiferenciadas. Todavia, em café arábica, no máximo seis gemas desenvolvem-se em botões florais (flores).

As inflorescências têm pendúnculos curtos, e os vários botões florais estão comprimidos uns contra os outros, formando um conjunto compacto, recoberto por um cálculo constituído de dois pares de bractéolas, conjunto que se denomina glomérulo. Na axila de cada folha aparecem quatro glomérulos e só raramente mais.

INICIAÇÃO FLORAL

O processo de iniciação de flores, que culmina com a formação de primórdios florais claramente reconhecíveis, é precedido das reações fisiológicas da indução do estado florífero na planta, a qual resulta na produção do "estímulo floral" e da evocação do meristema, ao final irreversivelmente destinado a transformar-se em flor ou inflorescência.

Não há um meio exato de delimitar os processos da indução e evocação floral, pois, em consequência de sua natureza quantitativa e gradual, apresentam ampla faixa de sobreposição, sem nítida separação. Em *C. arabica*, exames microscópicos são imprescindíveis para determinar a condição floral de uma gema seriada. Observações externas só diferenciam gemas floralmente determinadas quando as futuras flores são individualmente visíveis e prontas para abrir, ou seja, numa fase já adiantada de desenvolvimento floral.

A transição floral em que a gema vegetativa passa a reprodutiva - a evocação - compreende uma seqüência de eventos de natureza morfológica e bioquímica, a qual começa com a chegada do estímulo indutivo. Obviamente, pelo tamanho das gemas e pelas quantidades

necessárias, os estudos dessa transição apresentam sérias dificuldades metodológicas. Com café existem apenas alguns trabalhos de cunho morfológico ou morfogenético. Em *C. canephora*, o ápice cônico e proeminente torna-se largo e achatado, durante a modificação do meristema vegetativo e reprodutivo. Com menos de 300 μ m de altura, o primórdio floral ainda é indeterminado, podendo evoluir tanto em inflorescência como em ramo. Em *C. arabica*, o meristema indiferenciado é ligeiramente côncavo e aparece na base do par de primórdios foliares mais recentemente formado. Um leve achatamento do meristema e sua elevação acima do nível original são os primeiros indícios de transição floral.

Ao final do processo de evocação, a gema seriada deve estar irreversivelmente comprometida com a formação da inflorescência, em outras palavras, deve estar floralmente determinada. A determinação floral é o estágio de desenvolvimento a partir do qual a remoção da gema terminal do ramo não pode mais afetar o desenvolvimento das inflorescências.

A maioria dos trabalhos tem adotado critério de observação visual, que identifica o botão floral já diferenciado e, portanto, com a fase de iniciação completa. Assim, fatores como temperatura e água, que podem estar associados mais com a evocação ou diferenciação dos primórdios florais do que com a indução, aparecem confundidos nos seus efeitos. A confusão de efeitos pode mostrar-se até entre crescimento vegetativo e iniciação floral. Mesmo o fotoperíodo, que é um fator típico de indução floral em um grande número de plantas herbáceas e lenhosas, pode atuar na floração do café indiretamente, afetando o crescimento vegetativo.

Fotoperíodo - Sob condições experimentais e com plantas jovens, tem-se mostrado que o café é uma planta de dia curto, com um fotoperíodo crítico em torno de 13-14 horas. Como nas regiões cafeeiras do globo o comprimento do dia não excede esse limite, tem-se posto em dúvida o papel regulador do fotoperíodo na indução floral, sob condições naturais, pois é de supor-se que as plantas estariam no mínimo sempre sob condições indutivas. Pesquisas com plantas

adultas no Quênia indicam que, somente depois de seis meses, cafeeiros que tiveram o período noturno interrompido (equivalente a dia longo) mostraram um menor número de primórdios florais que cafeeiros sob fotoperíodo natural (12 horas), o que levou à sugestão de que plantas adultas de café são insensíveis ao fotoperíodo. No Quênia, onde o comprimento do dia permanece ao redor de 12 horas, o café floresce ritmicamente em duas épocas, em fevereiro-março ou outubro-novembro, podendo ocorrer mudança do ritmo por meio de poda, condições da árvore ou condições de tempo. Tais observações sugerem estar as plantas num estado induzido permanente. Todavia, na Costa Rica, onde a variação sazonal do comprimento do dia é pequena, a indução floral ocorre ao longo do ano, evidenciando um estado de indução permanente.

Trabalho realizado em Campinas, com plantas jovens de café de quatro cultivares e da variedade *semperflorens* crescidas no campo, sob fotoperíodo natural (11-14 horas) e fotoperíodo longo (18 horas), indica que as plantas sob dias longos não só produziram flores, como o fizeram em maior número. Na variedade *semperflorens* foram observadas flores durante todo o ano, e nos dois regimes de luz. Sugeriu-se que o café é planta de dia neutro, atribuindo a maior frequência de flores sob 18 horas ao estímulo do crescimento vegetativo induzido por dias longos.

Existe a possibilidade de que plantas jovens sejam mais sensíveis ao fotoperíodo que plantas maduras e que, sob condições naturais, o sinal fotoperiódico possa ser perturbado, modulado ou substituído por outros fatores.

Esses resultados mostram que investigações críticas são necessárias para estabelecer com segurança o papel regulador do fotoperíodo na indução floral em café, procurando-se determinar inequivocamente seu efeito direto no processo, à parte de efeitos indiretos, via crescimento vegetativo.

Temperatura - Num estudo sob condições controladas e fotoperíodo indutivo de oito horas, o maior número de gemas florais apareceu nas temperaturas mais altas (30°C dia/23°C noite), apesar de ser o crescimento vegetativo

ótimo a 23°C dia/17°C noite. Baixas temperaturas, 17°C/12°C e 20°C/17°C, inibiram a iniciação floral. Em plantas de 13 meses de idade, as combinações ótimas foram 26°C/23°C e 23°C/17°C, enquanto em algumas plantas de dois anos e meio de idade, a combinação que mais favoreceu a iniciação foi 23°C/17°C. Aparentemente, temperaturas amenas estimulam a iniciação floral, sob condições controladas, em interação com o fotoperíodo, já que não se obteve iniciação floral nas séries sob fotoperíodo de 16 horas, embora algumas flores tenham aparecido sob luz contínua.

Água — O efeito de déficits hídricos na planta sobre a iniciação floral não tem sido investigado sistematicamente e tem sido mesmo difícil correlacionar os dois fenômenos por meio de observações fenológicas. No Quênia, onde as floradas ocorrem em duas épocas distintas, registrou-se iniciação floral tanto em períodos secos, quanto úmidos. No sul do Brasil, no Zimbábue e na Índia, a iniciação ocorre quando os dias vão encurtando, a temperatura caindo, e a estação seca avançando. Na Costa Rica, que não possui período definido de seca, a iniciação floral se dá durante qualquer período do ano. Na Colômbia, a iniciação floral foi associada a uma baixa relação precipitação/brilho solar. Já havia sido sugerido antes que a maturação dos ramos e das gemas florais requer um período seco. É possível, em resumo, que períodos secos estimulem a iniciação floral, mas não sejam críticos na fase indutiva.

Condições Internas — As informações sobre o possível controle da iniciação floral por condições internas são ainda bastante fragmentárias. Ocasionalmente, tem-se mencionada a razão carbono/nitrogênio (C/N) como uma condição que afeta a iniciação floral em café, mas as evidências de suporte são mais circunstanciais que experimentais. Observações em *C. canephora* indicam que mais gemas florais se iniciam quando a relação C/N é alta. Na mesma espécie, encontrou-se uma estreita correlação entre a razão C/N nas folhas e a iniciação floral. Verificou-se adicionalmente que, em ramos anelados na casca por ocasião da iniciação floral, as gemas abaixo do anel deram ramos vegetativos,

enquanto as localizadas acima do anel deram origem a primórdios florais. Desde que ramos sem anelamento produziram gemas florais simultaneamente, a razão C/N não pode ser a causa primária da iniciação.

Café ao sol produz mais gemas florais que à sombra. Essa diferença pode ser atribuída a uma razão C/N provavelmente mais alta ao sol, enquanto o efeito inibidor do sombreamento na formação de gemas florais pode ser devido ao maior nível de giberelinas à sombra.

A relação entre crescimento vegetativo e iniciação floral também é conflitante. Em alguns experimentos de irrigação, observou-se um estímulo à iniciação floral, e acredita-se que chuvas promovem iniciação floral. Todavia tem-se sugerido que, mesmo começando durante os períodos de quiescência vegetativa, a iniciação floral prossegue durante os períodos de crescimento ativo, o que indica não haver oposição séria entre os dois processos. Em Chinchiná (Colômbia), a diferenciação floral ocorre na época da atividade vegetativa intensa, reforçando ainda mais aquela conclusão. Provavelmente, nas regiões em que a redução do crescimento ocorre simultaneamente à iniciação floral, os dois processos estejam condicionados por um fator externo comum, como dia curto, que tanto induz floração, como reduz o crescimento.

Uma oposição entre o crescimento reprodutivo e iniciação floral transparece das observações feitas no Quênia de que a presença de frutos inibe a floração, bem como a sua retirada provoca uma antecipação de dois meses na iniciação floral.

A função reguladora dos hormônios, na iniciação floral das plantas em geral, ainda é assunto em discussão. Em café, existem umas poucas observações que sugerem a participação de giberelinas como inibidores da iniciação floral. Assim, no Quênia, pulverizações com ácido giberélico nas plantas conseguem retardar a iniciação floral, provocando mudanças de ritmo de colheita, de precoce a tardia. Evidências indiretas nessa mesma linha foram obtidas com pulverizações de cafeeiros com CCC, um inibidor de biossíntese de giberelinas, as quais resultaram num aumento de 30% na produção de grãos.

Desenvolvimento do Botão Floral — Os primórdios florais diferenciados crescem de modo contínuo por um período de cerca de dois meses, até atingirem um tamanho máximo de 4 a 8 mm, ocorrendo então uma pausa de semanas ou meses de duração (dormência), dependendo das condições externas, principalmente da distribuição de chuvas.

Ao entrarem os botões em dormência, as células-mães dos microsporos estão desenvolvidas plenamente, mas não ocorreu a divisão meiótica para formar as tétradas microspóricas, o que se verificará somente após o reinício do crescimento (liberação da dormência).

A conexão vascular no pedicelo do botão resume-se quase que exclusivamente ao floema, sendo o xilema bastante reduzido, com os vasos de parede espessa. O lúmen dos vasos na região proximal do pedicelo aumenta significativamente com o desenvolvimento dos botões, mas o aumento é maior nos botões que passaram por um período de tensão hídrica. A espessura da parede dos vasos da zona proximal reduziu-se nos pedicelos dos botões que sofreram tensões hídricas. Não há diferenças no xilema da região distal do pedicelo.

Externamente, só se pode assegurar que as gemas estão floralmente determinadas quando os botões, ainda verdes, se tornam individualmente visíveis e pronto para se abrirem sob a ação de um estímulo. Todavia, as gemas já estão determinadas bem antes, quando aparecem inchadas e envolvidas pelas brácteas já espessadas, e recobertas por uma secreção gomosa. Num estágio anterior, as gemas assumem uma forma achatada e triangular e podem ou não já estar diferenciadas, floralmente.

Em períodos de ativa iniciação floral, mesmo as gemas muito pequenas e ainda escondidas pelas bractéolas podem estar floralmente determinadas.

No período de crescimento suspenso, tanto a matéria seca quanto fresca permanecem virtualmente estacionárias, sugerindo uma baixa mobilização de assimilados e água. A conexão vascular rudimentar, já mencionada, pode ter um efeito atenuante na redistribuição de água para outras partes da planta durante o período da seca; além de que a cobertura mucilagínosa das gemas pode

ter um efeito adicional na preservação de água. O teor de água nos botões em dormência é relativamente baixo. Inicialmente mostrou-se que as gemas mantêm um potencial hídrico maior que o das folhas do mesmo nó, tendo-se sugerido que o fluxo tanto de água quanto de nutrientes para o botão floral se realiza no floema.

Aparentemente, sob condições de campo, a pausa de crescimento dos botões coincide com uma estação seca e com redução do crescimento vegetativo. Todavia, os relatos sobre a importância de um déficit de água na cessação do crescimento dos botões são contraditórios. Alguns sugerem que botões desenvolvidos sob condições de suprimento abundante de água crescem continuamente até a abertura de flor, outros que, nas mesmas condições, os botões cessam temporariamente de crescer. Em cafeeiros sob irrigação constante, verificou-se que os botões florais mantinham uma dormência permanente, sendo necessário um período de seca, para que houvesse a florada quando os cafeeiros eram novamente irrigados. Foi sugerido que um período seco é necessário para quebrar a dormência verdadeira dos botões, os quais permaneceriam então quiescentes até a ocorrência de uma chuva.

O fato de que, em cafeeiros crescendo em solução nutritiva ou solo constantemente irrigado, as gemas florais cessam também de crescer, entrando em dormência, levanta a questão da relevância do período de seca na regulação do fenômeno. Contudo, déficits internos de água podem desenvolver-se mesmo em cafeeiros irrigados, estando o tempo ensolarado.

Há quem afirme que os botões florais entram em dormência, especialmente a altas temperaturas, nas quais a iniciação floral é máxima (30°C dia/23°C noite), mas há também quem tenha observado que, em todas as combinações de temperaturas estudadas, os botões tomaram-se dormentes. De qualquer modo, altas temperaturas favorecem o aparecimento de "estrelinhas". Esse efeito depende em parte das condições em que as plantas tenham sido previamente cultivadas; se à temperatura de 23°/17°C e transferidas para 30°/24°C algum tempo antes da antese, o efeito da alta temperatura é menos pre-

judicial.

Durante a época seca, os botões florais acumulam grandes quantidades de inibidores do tipo ácido abscísico, responsáveis por cerca de 75% da dormência, mas um balanço desfavorável entre promotores e inibidores do crescimento no botão floral pode ser a causa primária do fenômeno. Tem havido contudo certa controvérsia quanto à natureza da dormência dos botões florais de café, alguns admitindo tratar-se de quiescência, imposta por limitações ambientais, outros sugerindo um mecanismo de dormência verdadeira, devida a condições intrínsecas.

O período de dormência parece ser uma fase bem definida do desenvolvimento do botão floral, cuja maturidade morfológica completa-se com o desenvolvimento pleno das células-mães dos micrósporos. Fisiologicamente, os botões parece que se tornam preparados para reagir aos estímulos desencadeadores da antese, conforme indicam as observações de que, nos cafeeiros que têm sempre água em abundância, não há floração até que se verifique um período de seca, seguido de chuva ou irrigação. Do ponto de vista prático, um maior ou menor período de dormência faz com que botões em diferentes ocasiões possam alcançar o mesmo grau de desenvolvimento, ao final de certo tempo, e com isto estabelecer uma uniformização das floradas. Obviamente, a uniformização das colheitas depende da uniformidade, tanto da iniciação floral, quanto da antese.

Antese — Desenvolvimento da Flor, Florada

Sob condições naturais, os botões florais, que entraram em dormência durante um período de seca, tão logo ocorre uma chuva, reiniciam imediatamente seu crescimento, levando à abertura das flores, a qual se verifica num único dia em café robusta, mas que se prolonga por maior tempo em arábica. Comumente as flores abrem-se nas primeiras horas da manhã, e a corola começa a murchar no segundo dia, caindo já no outro dia. As floradas, na maioria das regiões cafeeiras, coincidem com o início do rápido crescimento vegetativo ou ocorrem durante a estação de máximo crescimento.

O intervalo entre o reinício do cres-

cimento e a antese aparentemente depende da temperatura. Observou-se que, sob condições controladas, o tempo para abertura variou de 8 a 11 dias, à medida que a combinação de temperatura dia/noite decrescia de 30°/24°C a 23°/17°C. Em condições naturais, as diferenças de temperatura por ocasião das floradas podem determinar as variações no tempo de abertura dos botões, que está em geral entre 7 e 15 dias.

Os botões, que no estado de dormência são verdes, ao aumentarem de tamanho com o reinício do crescimento, adquirem já a partir do segundo dia uma coloração verde-clara, que muda gradativamente do verde ao branco do quinto dia em diante até a antese. O comprimento, a matéria fresca e a matéria seca sofrem rápido incremento. Esses incrementos vão de mais de seis vezes para a matéria fresca e até 25 vezes para a matéria seca, indicando uma intensa mobilização de água, nutrientes e assimilados pelos botões. Com a saída do estado de dormência, os elementos condutores, no pedicelo dos botões, são formados em abundância e o lúmen dos vasos parece aumentar, e isso pode facilitar bastante o transporte.

Tem-se observado com frequência que muitos nós sem folha não florescem, apesar de possuírem gemas florais diferenciadas. O desenvolvimento normal do botão e a antese dependem grandemente do número médio de folhas por nó, do número total de folhas presente em cada ramo e do teor de amido do lenho, salientando a importância dos assimilados no desenvolvimento pós-dormência do botão floral. Há evidências circunstanciais a favor desse ponto de vista. Por exemplo, verificou-se um decréscimo de peso foliar específico (peso foliar/área foliar) durante a fase de antese e, mediante anelagens e manipulações na relação entre a área foliar e o número de botões durante a fase de antese, chegou-se à conclusão de que uma área foliar de aproximadamente 4,70 cm² é necessária para a abertura de uma flor. A fotossíntese corrente foi mais importante que qualquer outra fonte de assimilados para o crescimento da flor.

A corola em expansão acumula amido continuamente a princípio, atingindo uma fase estável intermediariamente, e

decrecendo no final, até a antese. O teor de açúcares solúveis aumenta continuamente e pode ter um papel osmótico na expansão rápida da corola na antese. A absorção do oxigênio pelo botão floral aumenta acentuadamente com o acúmulo de matéria seca, isto é, as taxas de respiração sobem com o desenvolvimento do botão. Esses resultados fragmentários indicam um metabolismo acelerado nos botões florais em expansão.

A floração de café, em condições naturais, é provocada pelas primeiras chuvas da estação, após um período de seca. Chuvas e queda abrupta de temperatura estão geralmente associadas nas regiões tropicais, e o sinal externo primário, desencadeador da antese, pode ser tanto água, quanto temperatura, ou uma interação dos dois.

Água — Nas regiões com períodos secos e chuvosos alternados, as florações do café verificam-se logo após as primeiras chuvas da estação. Tratamentos vários que simulam condições de chuva são igualmente efetivos (irrigação superficial, irrigação por aspersão e imersão em água de ramos cortados ou de segmentos de ramo, ou ramos ainda na planta).

Sem dúvida, a água induz o reinício do crescimento, mas há divergências de interpretação quanto ao seu papel primário, alguns atribuindo-lhe a função de aliviar tensões hídricas nos botões quiescentes, outros envolvendo-a na quebra de uma dormência verdadeira dos botões.

Um período de seca prévio pode ser importante na abertura floral. Em experimentos realizados na região costeira do Peru, onde raramente chove, nos cafeeiros constantemente irrigados, os botões não se abriram, enquanto nos cafeeiros submetidos a déficit de água, os botões se abriram regularmente. Foi sugerido então que um período de seca é necessário para quebrar a dormência, e que a irrigação subsequente era necessária apenas para induzir o crescimento da gema quiescente. Esse fenômeno foi denominado "hidroperiodismo"

Algumas observações aparentemente contrariam a hipótese de um hidroperiodismo. Cafeeiros cultivados em casa-de-vegetação, em solo constantemente

irrigado, ou em solução nutritiva, florescem simultaneamente com os cafeeiros sob condições naturais. Todavia, tem sido aventada a idéia de que os botões florais podem sofrer déficits internos de água, mesmo com suprimento de água constante. Esse balanço hídrico negativo na planta seria devido a uma baixa condutividade hidráulica das raízes.

Em Campinas, mediou-se o potencial hídrico da folha e do botão floral na fase de antese, em cafeeiros que eram estimulados ao florescimento por irrigação, depois de um período de seca de sete a dez dias. A antese só ocorria quando o potencial hídrico das folhas caía a -1,2 MPa, estando o potencial hídrico dos botões acima do das folhas; com a irrigação, o potencial hídrico dos botões tornava-se menor que o das folhas. Foi proposto que, durante o período seco, a água flui dos botões para as folhas, causando déficits hídricos nos botões. A irrigação, após o período seco, reverte o fluxo de água. O aumento rápido do potencial hídrico nos botões induziria então a quebra de dormência. Em solos constantemente irrigados, os botões nunca haviam experimentado tensões hídricas e portanto não se abriram. A remoção das folhas do nó, antes da irrigação, impedia a abertura dos botões subtendidos, supostamente pela falta de um fluxo rápido de água da folha para os botões.

O efeito das folhas parece todavia ser mais na nutrição que nas relações hídricas conforme outros estudos. Quando se imergia a base de segmentos de caule de um nó, com botões florais, em água e em solução de sacarose, o crescimento dos botões em água iniciava-se após dois dias, mas dentro em pouco cessava, enquanto em sacarose muitos botões chegavam à antese. Cafeeiros, mesmo desfolhados, podem florescer. A aplicação de água nos botões induz o reinício do crescimento, mas se a aplicação se faz nas folhas, os resultados são inconclusivos. Em Viçosa, aplicou-se água ou nas folhas ou nos botões subtendidos de cafeeiros em vasos que tinham ou não sofrido um déficit prévio de água de dez dias. A aplicação diretamente nos botões quebrou a dormência em todos os casos, com uma pequena quantidade perma-

necendo dormente nas plantas que não haviam passado por déficits hídricos. A aplicação nas folhas só liberou a dormência de botões dos cafeeiros que tinham sido submetidos a tensões hídricas; nos cafeeiros sem déficits, somente uma pequena parte dos botões foi liberada da dormência.

Ainda em Viçosa, estudou-se a absorção de água tritiada e de ^{45}Ca por segmentos de dois nós retirados de ramos de cafeeiros em vaso, constantemente irrigados, ou submetidos previamente a déficit hídrico lento. O cálcio funciona como indicador de transporte apoplástico (principalmente xilemático). A presença da folha que subtende os botões e a tensão hídrica prévia aumentaram o ingresso de água e de cálcio nos botões. O fato de que uma incisão entre a folha e os botões subtendidos, e na qual foi colocada uma lâmina de vidro, reduziu o ingresso de água nos botões em níveis similares aos tratamentos sem folhas, indica que a folha auxilia a absorção de água pelos botões. Por outro lado, uma razão $^3\text{H}/^{45}\text{Ca}$ alta, observada com as plantas que não sofreram déficit hídrico prévio, sugere que os botões apresentavam uma elevada resistência apoplástica, principalmente xilemática, ao ingresso de água. Nas plantas submetidas ao déficit hídrico prévio, razões mais baixas apontam uma menor resistência do fluxo de água para os botões. Estudos anatômicos paralelos evidenciaram um maior aumento do lúmen dos vasos na zona proximal do pedicelo dos botões que atravessaram um período de tensão hídrica, e nos que, posteriormente, tiveram sua dormência suspensa.

Temperatura — Eventualmente, a temperatura tem sido relacionada com a quebra de dormência dos botões florais de café. Em condições naturais, nos trópicos, as chuvas vêm comumente acompanhadas de uma queda rápida de temperatura, dificultando a identificação do fator crítico no processo.

Cafeeiros cultivados em vasos constantemente irrigados floresceram quando foram transferidos de regimes de altas temperaturas dia/noite para regimes de baixas temperaturas, sugerindo que uma queda rápida da temperatura poderia eliminar a dormência de botões

florais de plantas de floração gregária, como o café.

Recentemente associou-se a quebra de dormência dos botões florais com uma queda de 3°C na temperatura, dentro de um período de 45 minutos ou menos, baseando-se nos dados meteorológicos e nas floradas de três anos consecutivos, no Quênia.

Tem-se observado que em geral a irrigação por aspersão é mais eficiente que a irrigação do solo na quebra da dormência. Possivelmente, além do umedecimento direto dos botões, ocorre em tais casos um abaixamento da temperatura. Chuvas podem ter efeito semelhante.

Alguns estudos com ramos cortados que são imersos em água têm sido citados como evidências em contrário ao hipotético efeito de baixa temperatura. Entretanto, a associação inseparável dos fatores água e temperatura nessas condições torna difícil interpretar inequivocamente o efeito relatado. Devem-se, portanto, aguardar dados mais esclarecedores.

Relações Hormonais — Tentativas iniciais para liberar a dormência dos botões florais de café com substâncias diversas, como açúcar, tiouréia, etileno-chorohidrina, hidrazida maleica, ácido tri-iodobenzóico e auxinas sintéticas diversas não tiveram êxito. Efeitos marcantes foram contudo obtidos com giberelina, sendo maiores nas plantas sujeitas a déficit hídrico. Resultados semelhantes foram obtidos em *C. canephora*. Assim, em conclusão, giberelina exógena promove a quebra da dormência do botão, mesmo na ausência de água, desencadeando localizadamente (no próprio botão) um mecanismo que leva à renovação do crescimento. A resposta parece todavia ser mais eficaz nas plantas que passaram por um período de seca.

Aplicações de citocininas têm produzido resultados menos salientes. Em cafeeiros robusta sob constante irrigação, cinetina em lanolina, aplicada nos botões, não produziu nenhum efeito. Em café arábica, benzil-adenina, em pulverizações ou microgotas, deu também quase sempre efeitos insatisfatórios, exceto no caso de plantas que haviam passado por um longo período de seca.

A aplicação de ácido abscísico em botões florais de plantas que estavam sob tensão hídrica manteve a dormência após a irrigação, enquanto os cafeeiros do controle floresceram normalmente; a dormência manteve-se por três a quatro meses, e os botões finalmente morriam ou produziam "estrelinhas".

Por mais sugestivos que sejam os efeitos de aplicações de hormônios, o seu papel real precisa ter confirmação com evidências de que eles participam no controle natural do processo.

Giberelinas livres aumentam rapidamente no botão floral, em seguida à irrigação por aspersão ou chuva, precedendo ao aumento da acelerada absorção de água e à formação de vasos xilemáticos associadas com a quebra de dormência. Como o nível de giberelinas no xilema aparentemente não varia, presume-se que o seu aumento nos botões resulte de uma conversão de uma forma conjugada a uma forma livre. Já que a aplicação dos retardantes de crescimento CCC e B-9, que inibem a síntese de giberelinas, não afeta o crescimento dos botões, exclui-se a possibilidade de as giberelinas originarem-se novamente por síntese.

Por outro lado, conforme foi observado por alguns autores, ácido abscísico acumula-se em grande quantidade nos botões florais dormentes. Seu conteúdo, em valores absolutos, mantém-se constante até quatro dias após a irrigação por aspersão, aumentando desde então até a antese. Já o teor de matéria fresca do botão decai até o oitavo dia, quando volta a subir continuamente até a antese. Entretanto, outros autores também determinaram o nível de promotores e inibidores no botão dormente e na antese, verificando que a razão inibidores/promotores, de 25 no botão dormente, já no segundo dia após a quebra da dormência estava em 2,16; no quarto dia não havia inibidores detectáveis, enquanto o nível de promotores continuava a aumentar, só caindo no dia da antese. Diferenças de metodologia podem ser a causa da discrepância dessas informações, particularmente com relação a inibidores.

O teor de citocininas aparentemente aumenta no xilema logo após a quebra da dormência dos botões, mas nestes

só começa a aumentar a partir do segundo dia, continuando até dois dias antes da antese. As citocininas nos botões podem aliviar o efeito de inibidores, acelerar a mobilização de assimilados das folhas ou estimular a divisão meiótica das células-mães dos micrósperos.

O teor de auxina nos botões dormentes e na fase de antese mantém-se baixo e não parece assim ter um papel saliente no fenômeno de indução e quebra de dormência.

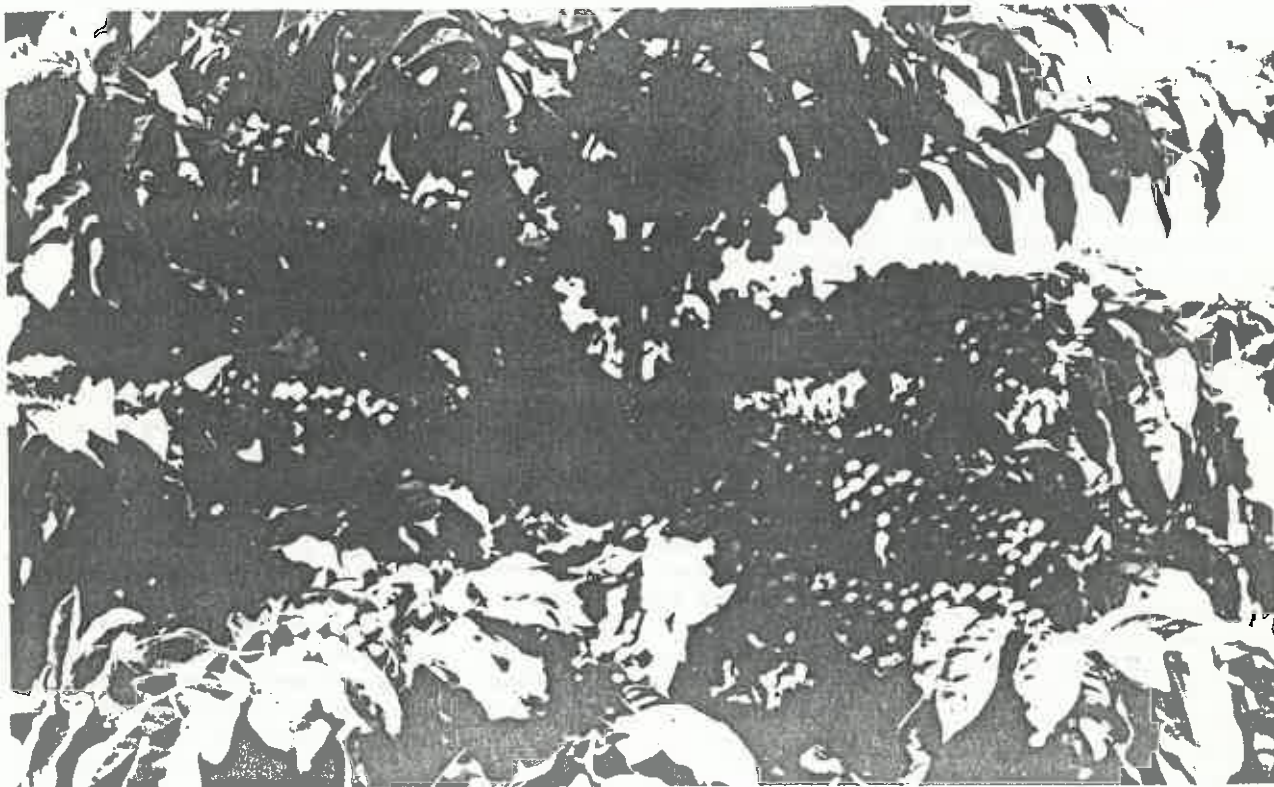
FRUTIFICAÇÃO

A frutificação aqui será considerada sob três processos seqüenciais, vingamento da flor (ou pegamento do fruto), desenvolvimento do fruto e maturação (Fig. 2).

Vingamento da Flor

A maturação das anteras pode coincidir com a antese ou verificar-se alguns dias antes. A polinização realiza-se antes de a flor abrir-se completamente, assegurando um elevado grau de autofecundação, acima de 94%, desde que *C. arabica* é uma espécie autofértil. Em *C. canephora*, que apresenta auto-incompatibilidade, a polinização ocorre após a abertura completa das flores, sendo os grãos de pólen transportados por ventos ou insetos.

Em *C. arabica*, a exposição prematura de partes internas da flor, como estilete, estigma e anteras, reduz as possibilidades de polinização. Essas flores anormais são classificadas em três categorias, de acordo com a severidade da abertura prematura: (a) estilete e anteras consideravelmente expostos — maioria dos casos severos; (b) parte do estigma e pontas da antera salientes — casos menos severos, e (c) ausência de protusão de partes internas, mas com abertura do tubo da corola no ápice — casos menos anormais. Essas anormalidades podem reduzir o vingamento das flores em até 80% e 40%, respectivamente, para os dois primeiros grupos, enquanto as do último grupo podem comportar-se como flores normais. Num caso extremo de anormalidade, todas as partes florais permanecem verdes e atrofiadas, e os lobos da corola abrem-se ligeiramente, expondo os dois estiletos. A flor atrofiada é conhecida como "estrelinha".



Diversos fatores têm sido associados como anormalidades florais. Observa-se grande quantidade de flores anormais em plantas crescidas sob temperaturas relativamente altas; entretanto, condições da planta, adicionalmente à temperatura, predispõem à formação de "estrelinhas". Deficiências de água ou seca também predispõem os cafeeiros à atrofia. Reduziu-se, com irrigação, a percentagem de flores "estrelinhas" de 57% a menos de 5%, ou até praticamente a 0%. Excesso de chuvas tem sido também mencionado como fator que induz as anomalias. Desde que algumas cultivares de café apresentam maior incidência de anomalia floral que outras, o fenômeno parece ter certo grau de controle genético. A falta de polinização e fecundação acarreta uma queda inicial de frutos (ovários), podendo resultar em vingamento (pegamento) bastante baixo, em algumas regiões cafeeiras.

Desenvolvimento do Fruto

O crescimento do fruto de café em tamanho e matéria fresca segue um modelo de sigmóide dupla, embora um modelo de sigmóide simples tenha sido igualmente relatado. Inicialmente o crescimento é desprezível. Segue-se um

período de crescimento rápido, até o fruto verde atingir seu tamanho final (metade do tamanho do fruto maduro). Nesse ponto, o crescimento virtualmente cessa por um longo período, até o início da maturação, quando o crescimento se reinicia e o fruto aumenta rapidamente de tamanho. Alguns autores acrescentam mais um estágio, durante o qual a matéria seca do fruto aumenta regularmente, ao passo que a matéria fresca aumenta pouco. O crescimento do fruto de café compreende assim cinco fases: (1) período sem crescimento visível — fase "chumbinho"; (2) fase de expansão rápida, ao fim da qual o endocarpo endurece (pergaminho); (3) formação do endosperma, que ocorre durante a parte final da fase de expansão (endosperma leitoso); (4) endurecimento do endosperma, que continua até antes da maturação (granação); (5) maturação (cereja).

Desde a antese até o fruto verde chegar ao seu tamanho máximo decorre um período de quatro-seis meses, e o período de maturação toma dois meses ou mais, dependendo das condições ecológicas e da cultivar. A fase inicial, conhecida como "chumbinho", dura cerca

de seis semanas.

Alguns fatores podem afetar o crescimento do fruto. No Quênia, o tamanho final da cereja depende acentuadamente da chuva caída 10 a 17 semanas após o florescimento, período que corresponde à fase de expansão rápida do fruto, ao final da qual se dá o endurecimento do endocarpo. A expansão celular que delimita o tamanho da semente, e que caracteriza essa fase, é sensível à deficiência hídrica. Ainda no Quênia, irrigação e cobertura morta foram as únicas práticas culturais que aumentaram o tamanho do fruto, ambas melhorando o balanço hídrico dos cafeeiros. Em Zimbábue, se a cultura era irrigada, as condições meteorológicas aparentemente tinham pouca influência no crescimento dos frutos. Em experimento sob condições controladas, a taxa de desenvolvimento dos frutos de café foi marcadamente afetada pela temperatura, sendo mais rápida a temperaturas intermediárias.

Os frutos em desenvolvimento mobilizam prioritariamente os assimilados, sem contudo modificar o padrão sazonal da translocação. Os ramos com carga pesada importam carboidratos na fase

de rápida expansão dos frutos, o excesso permitindo ao ramo produzir mais folhas e reter mais frutos. Os ramos laterais secundários podem contribuir significativamente para o crescimento dos frutos. A presença de frutos estimula a fotossíntese da planta, tanto que cafeeiros frutíferos produzem mais matéria seca, que os sem frutos, fato que é atribuído à menor taxa de fotorespiração nos cafeeiros com frutos. Os próprios frutos em desenvolvimento, sendo verdes e possuindo estômatos, podem sintetizar algum carboidrato, mas sua contribuição é pequena.

A utilização de carboidratos de reserva no crescimento do fruto ainda não está clara. Os frutos em desenvolvimento podem utilizar as reservas de amido do lenho e das folhas concomitantemente, ou podem esgotar as reservas do lenho em primeiro lugar. O teor de amido de reserva pode ser tomado como índice de rendimento, já que se relacionou baixo rendimento com níveis reduzidos de reservas de amido durante o florescimento e crescimento inicial dos frutos. Parece haver melhor correlação do rendimento com o teor de amido das folhas que do lenho. Contudo, estudos recentes sugerem que o teor de amido foliar e caulinar não é um bom índice das reservas de carboidrato, pois ele não expressa a quantidade real de amido da planta. O mais importante parece ser a capacidade fotossintética corrente.

Quando no seu primeiro mês de expansão rápida, cerca de 8 a 12 semanas depois do florescimento, os frutos comumente estão sujeitos a cair, especialmente sob o efeito de tensões hídricas. A nutrição nitrogenada pode ter igualmente parte no fenômeno, tendo em vista o relato de que a aplicação de nitrogênio reduziu a queda de frutos. Mais tarde, os frutos podem cair também, quando as disponibilidades de carboidratos são bastante baixas ou quando tenha ocorrido seca de ponteiros. A observação de que pulverizações em 2,4 - D ou 2, 4, 5 - T reduzem a queda de frutos sugere um controle hormonal do fenômeno. O vingamento (pegamento) médio em Campinas é de cerca de 50%, sendo maior na parte superior da planta.

São poucos os estudos sobre as relações hormonais no fruto do café. Têm sido observados baixos níveis de citoci-

ninas e giberelinas na fase "chumbinho". A seguir, as concentrações desses hormônios sobem progressivamente, decrescendo depois até perto da maturação, quando há uma pequena subida novamente. A curva de variação de citocininas acompanha mais de perto a curva do crescimento em matéria fresca dos frutos do que a de giberelinas, cujo pico máximo ocorre na fase de crescimento suspenso. A aplicação de ácido giberélico diretamente nos frutos em desenvolvimento provocou aumento no volume, matéria fresca e matéria seca dos frutos e maior peso das sementes. Pulverização repetida de ácido giberélico em cafeeiros com frutos novos induziu um aumento da matéria seca da semente. Os dados todavia não permitem julgar, se se trata de um efeito direto nos próprios frutos.

Maturação

Na maturação, além da mudança visível de cor, que passa de verde a vermelho ou amarelo, conforme a cultivar, modificações outras ocorrem. O pericarpo aumenta de volume e o endocarpo toma-se mais denso pela deposição da matéria seca, pelo que o fruto aumenta de tamanho e peso. A taxa de respiração eleva-se nesse período, o que indica ser o fruto do tipo climatérico, e atinge o máximo na 32ª semana, época aproximada do amadurecimento pleno, caindo a seguir. Os teores de nitrogênio total, proteínas insolúveis e compostos nitrogenados solúveis, que não proteínas e aminoácidos, apresentam uma tendência de aumento durante a maturação, enquanto as proteínas solúveis e aminoácidos permanecem constantes até o final da maturação, quando mostram um aumento considerável. O nível de açúcares totais, açúcares redutores e sacarose permanece constante até o início da maturação, elevando-se então acentuadamente. O acúmulo de açúcares redutores é maior que o de sacarose. A curva de variação da matéria seca da polpa apresenta uma tendência semelhante àquela dos açúcares totais.

A desuniformidade da maturação, conseqüência das floradas sucessivas, tem sido preocupação constante, pelos inconvenientes que traz à colheita. Desde que o ácido 2-cloro-etil fosfônico (CEPA), que libera etileno nos tecidos

vegetais, é capaz de apressar a maturação de frutos, seu uso tem sido tentado em café. Os resultados com aplicações de CEPA indicam que para uma maturação perfeita, os frutos devem ter já completado pelo menos 75% de sua maturidade, ou seja, duas-três semanas antes da colheita principal; frutos de mais baixa maturidade ou não amadurecem ou produzem grãos de qualidade inferior. Os frutos podem adquirir a aparência de maduros (cor vermelha ou amarela do exocarpo), mas o endosperma pode não estar completamente desenvolvido, além de que CEPA pode causar abscisão de frutos jovens. A uniformidade de maturação, facilitando a abscisão, é de importância na colheita mecânica, mas o uso de CEPA não parece ser promissor.

ECONOMIA DO CARBONO

TAXAS DE FOTOSSÍNTESE

Foram feitas poucas estimativas de taxas fotossintéticas do cafeeiro, e os valores variam desde 0,7, em condições de campo, até 16,0 mg CO₂.dm⁻².h⁻¹, em condições controladas. As taxas de fixação do CO₂ em *C. canephora* são em geral inferiores às do *C. arabica*, e há alguma variação genética entre as diversas cultivares.

INFLUÊNCIA DA LUZ E DA TEMPERATURA

No Quênia, foi pela primeira vez demonstrado que a fotossíntese do cafeeiro é maior em condições de baixa luminosidade do que à luz solar plena, e a assimilação total diária foi maior à sombra do que ao sol. Esse fato foi atribuído à alta irradiância, já que ele aparentemente não se correlacionava com o conteúdo foliar de água ou com o acúmulo de fotoassimilados. Resultados semelhantes foram também obtidos mais tarde em Porto Rico. Como os autores não mediram a temperatura foliar, eles deixaram de quantificar o fator mais importante envolvido na queda da fotossíntese sob alta irradiância.

Parece que a queda na taxa fotossintética, sob alta intensidade luminosa, é decorrência do aumento da temperatu-

ra foliar e da conseqüente elevação da concentração interna ou mesofílica do CO_2 , que acima de 24°C , acarreta diminuição da condutância foliar global, dificultando as trocas gasosas da folha. Assim, à temperatura foliar de 34°C , a fotossíntese do cafeeiro seria praticamente zero. Recentemente, entretanto, não se observaram grandes variações na condutância estomática do cafeeiro entre 25 a 35°C , embora a fotossíntese líquida tenha decrescido muito nesse intervalo de temperatura. A grande diminuição na condutância mesofílica, acima de 20°C , foi considerada a causa da redução da fixação fotossintética, e não a diminuição da condutância estomática.

O *C. arabica* é originalmente uma espécie adaptada à sombra, embora a maioria das plantações seja atualmente conduzida a pleno sol. Folhas do cafeeiro fotossintetizaram ativamente mesmo à intensidade luminosa de $30\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, e comparações das taxas fotossintéticas de cafeeiros crescidos à sombra e à plena luz solar evidenciaram que a irradiância saturante foi de $300\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, nas plantas ao sol. Contudo, as plantas sombreadas apresentaram taxas fotossintéticas substancialmente maiores. Quando a temperatura foi mantida constante em 25°C , não se observou redução da fotossíntese mesmo a $1.200\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Com base nesses resultados, pode-se concluir que o cafeeiro é mais adaptado a plantios adensados, onde o sombreamento mútuo proporciona baixa intensidade luminosa e baixas temperaturas foliares, condições ideais para a fotossíntese e crescimento mais eficiente.

Entretanto, grande parte das folhas do cafeeiro, sob as condições de campo dos trópicos e durante a estação de maior crescimento, deve apresentar uma temperatura média diária acima de 30°C , e durante boa parte do dia a temperatura foliar provavelmente estará acima de 35°C . Assim, se esses resultados puderem ser transportados diretamente para as condições de campo, a produção de cafeeiros nas regiões tropicais seria baixíssima. Na realidade essa não é a situação.

No entanto, informações recentes indicam que a temperatura ótima para a assimilação de CO_2 no cafeeiro varia de 20 a 30°C , dependendo da temperatura

a que as plantas foram aclimatadas nos dias anteriores.

Todas as estimativas de taxas fotossintéticas, mencionadas até agora, foram obtidas analisando-se as trocas de gás carbônico por folhas inteiras. Nessas determinações estão incluídas as resistências mesofílicas, estomática, cutilar e da camada limitrofe, as quais dificultam a interpretação da influência da luz, temperatura, CO_2 e água sobre a fotossíntese. Recentemente, em Viçosa, utilizando-se técnicas polarográficas e fragmentos foliares de $50\mu\text{m}$ de largura, que permitem estudar apenas a resistência mesofílica da fotossíntese, foram obtidas evidências de que o processo fotossintético em si, no cafeeiro, é beneficiado até 35°C , e que não há diferenças marcantes entre as diferentes cultivares de café arábica estudadas. Esses resultados contradizem a informação anterior de que altas temperaturas influenciam mais a resistência mesofílica do que a estomática.

RELAÇÕES HÍDRICAS

Há indicações de que a deficiência hídrica causa maior redução na fotossíntese que na transpiração. Entretanto, alguns autores, usando metodologia mais apropriada, observaram que a condutância foliar seguiu estreitamente as variações fotossintéticas, o que indica um controle dos estômatos sobre a fotossíntese. Aparentemente a condutância mesofílica não participou desse controle, já que as medições foram feitas à temperatura constante de 25°C . Mas, sob condições de campo, onde as variações de temperatura estão sempre relacionadas com o processo de desidratação foliar, a variação de condutância mesofílica pode também desempenhar um papel importante na regulação da assimilação do CO_2 , à medida que o potencial hídrico foliar diminui. A diminuição da condutância mesofílica associada à desidratação aparentemente tem como causas fundamentais a inibição do transporte de elétrons e a redução da atividade enzimática durante o processo fotossintético.

A fotossíntese da folha de café não é afetada por potenciais hídricos de até $-1,0\text{ MPa}$, reduzindo-se apenas 25%,

quando o potencial cai para $-2,0\text{ MPa}$. Mesmo o solo estando na capacidade de campo, nas horas mais quentes do dia o potencial hídrico foliar pode alcançar valores próximos de $-1,5\text{ MPa}$, não diferindo muito do solo com 50% de água disponível. Esse resultado indica que não há necessidade de irrigar o cafeeiro enquanto o teor de água no solo não alcançar a metade da capacidade de campo. Essas informações sugerem que o cafeeiro é uma espécie relativamente resistente à seca.

INFLUÊNCIA DA IDADE DA FOLHA SOBRE A FOTOSSÍNTESE

As taxas de fotossíntese líquida variam com a idade da folha. As folhas do terceiro, quarto e quinto pares apresentam as mais altas taxas de fixação do gás carbônico, com diferenças insignificantes entre si. No primeiro e segundo pares de folhas, as taxas fotossintéticas são menores, provavelmente porque os cloroplastídios e os estômatos não estão ainda funcionando normalmente. Do sexto par em diante, a fotossíntese declina novamente, alcançando a metade do valor normal no oitavo par, mais em função da diminuição da condutância mesofílica, já que a estomática permanece alta.

FOTOSSÍNTESE DOS FRUTOS

Os frutos do cafeeiro são verdes na fase de crescimento, têm estômatos funcionais e podem representar 20 - 30% da superfície fotossintética total de uma árvore com boa carga. Há evidências de que os frutos são responsáveis por até 30% do seu ganho de matéria seca e que a taxa de fotossíntese das folhas de café é regulada pela força dos drenos, dos quais os frutos são os principais representantes.

RESPIRAÇÃO E FOTORRESPIRAÇÃO

Foram realizados poucos estudos sobre a respiração das folhas do cafeeiro, e os valores obtidos variam de $0,2$ a $0,7\text{ mg de CO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, mostrando que a respiração da folha madura do cafeeiro consome de $1/6$ a $1/17$ do que é produzido pela fotossíntese. A taxa res-

piratória varia com as diferentes fases ontogenéticas da folha, sendo muito elevada nos estádios iniciais do crescimento, decrescendo em seguida e estabilizando-se a valores bem baixos, quando a folha atinge o seu tamanho máximo. A taxa fotossintética apresenta variação oposta durante o crescimento foliar.

O cafeeiro é uma planta C_3 , o que significa que o primeiro produto estável da fotossíntese é o ácido glicérico-3-fosfato, um composto de três átomos. As folhas iluminadas das plantas C_3 apresentam um tipo adicional de oxidação de compostos orgânicos, conhecido como fotorrespiração, o qual representa uma perda extra de matéria seca da ordem de 25 a 50%. Essa é uma das principais causas da baixa fotossíntese líquida do cafeeiro.

O processo fotorrespiratório aumenta muito com a elevação da temperatura foliar, o que ocorre, por exemplo, quando a folha do cafeeiro é fortemente iluminada. Nessas condições, o ponto de compensação de CO_2 (a concentração externa de CO_2 em que a fotossíntese se iguala à respiração mais a fotorrespiração), que normalmente já é muito elevado no cafeeiro, torna-se ainda maior. Esta é a principal razão pela qual o cafeeiro e a maioria das plantas C_3 adaptam-se melhor às condições de temperaturas amenas e de luminosidade mais baixa.

As taxas fotorrespiratórias variam com as diferentes cultivares de café, sugerindo a possibilidade de selecionar materiais genéticos mais produtivos com base nessa característica.

PROBLEMAS ESPECIAIS

ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DOS PLANTIOS ADENSADOS

Mesmo os aumentos de produtividade proporcionados pelos métodos de manejo mais avançados e os melhores sistemas de controle às pragas e doenças serão ultrapassados pelos custos de produção sempre em alta. Aparentemente a única solução para esse problema é o aumento da população de plantas por unidade de área, ou seja, o uso de plantios adensados. Nesse sentido, várias pesquisas foram conduzidas nas últimas

duas décadas nas regiões cafeeiras da África e da América do Sul e Central, inclusive no Brasil, com o objetivo de esclarecer alguns aspectos ecofisiológicos e fitotécnicos relacionados aos plantios adensados.

Não há dúvida de que os plantios adensados dão produtividades muito maiores do que os convencionais, que compensam em muito as dificuldades de manejo da cultura, em termos de poda, colheita, pulverizações e outros. Há evidências de que a população de 5.000 plantas/ha, que corresponde ao espaçamento de $2,5 \times 0,8$ m, está bem próxima da ideal para as cultivares de pequeno porte e para os solos mais pobres, como os da Zona da Mata de Minas Gerais e os dos cerrados.

Dentre os aspectos ecofisiológicos relevantes, que devem ser considerados nos plantios adensados, citam-se as disponibilidades de água e de nutrientes minerais.

Acredita-se que seja pouco provável que a redução da "rugosidade" da cultura, ocasionada pelo adensamento, afetaria os termos aerodinâmicos da equação de Penman, o suficiente para eliminar o aumento do consumo de água decorrente da maior cobertura da cultura. Entretanto, não se pode constatar experimentalmente que o aumento da densidade de plantas tenha incrementado as tensões hídricas da cultura, a não ser naquelas densidades extremamente elevadas (acima de 9.000 plantas/ha). Os problemas hídricos não são assim maiores nos plantios adensados, relativamente aos espaçamentos convencionais, e as vantagens dos aumentos de produtividade resultantes do adensamento podem ser até maiores nas áreas mais quentes e secas. Há pelo menos três razões pelas quais o adensamento não causa um balanço desfavorável: a) o sistema radicular dos plantios adensados tende a ser mais profundo, permitindo o aproveitamento da água das camadas mais profundas do solo; b) por causa do sombreamento mútuo, as temperaturas foliar e do solo são menores, resultando em menor transpiração e evaporação do solo; c) há menor desenvolvimento de invasoras na base do dossel, decorrente da baixa luminosidade, o que contribui ainda mais para a economia da água.

Uma análise detalhada da distribuição da luz em diferentes densidades de plantio permite concluir que mesmo as folhas mais baixas das plantas, numa população de 9.000 árvores/ha, receberam radiação fotossinteticamente ativa superior a $300 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, a qual é muito próxima da intensidade ótima de luz para a fotossíntese do cafeeiro. Assim, puramente do ponto de vista fotossintético, uma população de 9.000-10.000 plantas/ha não deve ter limitações de luz.

Também com respeito às limitações nutricionais, pelo menos nas densidades médias, não haverá aumento na exigência de minerais. Ocorrerá, ao contrário, uma utilização mais eficiente dos fertilizantes, em consequência do maior número de raízes que explorará um dado volume de solo e da menor lixiviação dos minerais.

Além do mais, nos plantios adensados, a superfície do solo tem que ser menos cultivada e fica mais protegida do impacto direto das gotas de chuva, resultando em maior proteção das raízes absorventes superficiais e em maior preservação da estrutura do solo, evitando a erosão.

Em resumo, o plantio adensado permite captura mais eficiente da energia luminosa para a síntese de carboidratos, melhor utilização da água e dos minerais e melhor controle natural da floração, evitando a superprodução por árvore e a conseqüente morte descendente de ponteiros.

MORTE DE PONTEIROS E DE RAÍZES

A seca dos ponteiros, ou morte descendente de ramos, e a morte de raízes do cafeeiro são problemas bastante graves. A seca de ponteiros é o fenômeno mais evidente e não deve ser equacionado como uma simples causa, mas sim como a resultante de um complexo de tensões da própria planta e do ambiente. Por essa razão, o problema tem recebido diversos nomes, como "die-back" ou morte descendente, morte descendente de Elgon, síndrome de debilidade, "new malady die-back" e morte descendente de Lyamungu.

Ainda que alguns autores relacionem a seca dos ponteiros com causas

fisiopatológicas, a maioria das evidências indica o esgotamento de carboidratos na planta, em decorrência de superprodução, como sendo a causa primária do problema. Contudo, há alguns fatores do ambiente, como tensões hídricas prolongadas, deficiência severa de certos minerais, alta luminosidade e temperaturas elevadas, que podem agravar a desordem.

Há uma estreita correlação entre a morte descendente de ramos e a morte de raízes. A morte do sistema radicular é também decorrência de produções elevadas e do esgotamento de carboidratos e ocorre simultaneamente com a seca de ponteiros. Uma planta apenas aparentemente se recupera da morte acentuada de ponteiros e de raízes, não havendo completa restauração do sistema de suporte das raízes absorventes. Assim, após dois ou três anos de recuperação, quando a planta volta a apresentar uma boa carga, sofre novas perdas de ramos e raízes, morrendo, ou tornando-se definitivamente improdutivo.

Entretanto, nem sempre se observa grande efeito da carga no crescimento em extensão ou na morte do sistema radicular. Mas estudos recentes realizados em Viçosa, mediante o uso de observatórios radiculares, mostraram que apenas visualmente não se podem discriminar raízes vivas das mortas. Quando as raízes foram removidas dos observatórios e sua atividade metabólica estimada pelos métodos densimétrico e respiratório, verificou-se que a 'Catuaí' e a 'Catimor', imediatamente após a segunda colheita, apresentavam cerca de 40% das suas raízes mortas. Por outro lado, a seca dos ramos foi muito mais acentuada na 'Catimor', ainda que a 'Catuaí' tenha produzido 25% menos café coco por planta.

Nalgumas progênes de 'Catimor' resistentes à ferrugem ocorre forte depauperamento das plantas, caracterizada pela morte súbita e progressiva de ponteiros, durante os anos de grande carga. Aparentemente o fenômeno é tão mais intenso, quanto menor e mais uniforme for a carga da progênie e quanto maior for a resistência à ferrugem. O depauperamento tem início muito precocemente na vida das plantas e já pode ser observado na primeira produção, sendo tanto mais forte, quanto mais exuberante for o desenvolvimento ini-

cial das plantas, que resulta em grande carga e pequena razão folha/fruto. O depauperamento compromete seriamente a carga pendente e acentua o ritmo biennial de produção, pois a planta leva pelo menos um ano para recuperar-se. Ademais, ao longo dos ciclos de depauperamento/recuperação, a planta revigora-se cada vez menos, terminando sua vida útil dentro de cinco a sete anos. A natureza fisiológica desse depauperamento de algumas progênes de 'Catimor' não é ainda completamente conhecida, mas seguramente foi herdada de progenitores Caturra ou Híbrido Timor.

Há evidências de que a disponibilidade de carboidratos seja a causa mais importante do depauperamento de algumas progênes de 'Catimor'. Aparentemente, a nutrição mineral desequilibrada é mais efeito do que causa da degenerescência da planta. Assim, deficiências e desbalanceamento de minerais poderiam agravar o depauperamento do cafeeiro, mas adubações equilibradas não evitariam o problema e nem ajudariam na recuperação das plantas debilitadas.

É possível que o importante não sejam os carboidratos de reserva das folhas ou do lenho, os quais são rapidamente esgotados pelos botões florais, flores, "chumbinho" e folhas jovens em crescimento, mas sim a capacidade fotossintética da planta, a qual depende da área foliar por planta e da taxa de fotossíntese líquida corrente.

A maior demanda de fotoassimilados pelo cafeeiro ocorre durante o período de enchimento, ou granação, dos frutos e coincide com os meses de temperaturas mais elevadas (janeiro e fevereiro). De modo geral, a fotossíntese do cafeeiro é muito mais sensível às altas temperaturas, mas há diferenças marcantes entre os germoplasmas. É possível que o acentuado depauperamento de algumas progênes de 'Catimor' e a tendência da 'Catuaí' de apresentar o mesmo comportamento, nos anos de grande carga, sejam consequência da maior sensibilidade desses materiais a temperaturas elevadas.

Em suma, é possível que a morte dos ramos e raízes no cafeeiro esteja associada ao balanço hormonal da planta. Estudos realizados noutras espécies

revelaram que as razões entre os conteúdos de giberelinas, citocininas, ácido abscísico e etileno podem definir padrões de senescência e morte das diferentes partes da planta, ou mesmo da planta toda. Infelizmente, esse tipo de informação é inexistente no cafeeiro e deverá aguardar futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, P. de T. *Coffea*. In: HALEVY, A.B., ed. CRC handbook of flowering. v. 2 (no prelo).
- ALVIM, P. de T. Factors affecting flowering of coffee. In: GENES enzymes and population. New York, Plenum, Press, 1973. v. 2, p. 193-202.
- ALVIM, P. de T. Physiology of growth and flowering in coffee. *Turrialba*, 2: 57-62, 1969.
- ALVIM, P. de T. Recent advances in our knowledge of coffee trees. I. *Physiology. Coffee Tea Ind. Favor Field*, 81: 17-8, 20, 22, 24-5, 1958.
- BARROS, R.S. & MAESTRI, M. Floração do café - Uma revisão. *Revista Ceres, Viçosa*, 25: (141) 467-79, 1978.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M. & COONS, M.P. The physiology of flowering in coffee: a review. *J. Coffee Res.*, 8: 29-73, 1978.
- CANNELL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield. *J. Coffee Res.*, 5: 5-20, 1976.
- CLOWES, M. St. J. & ALLISON, J.C.S. A review of the coffee plant (*Coffea arabica* L.), its environment to coffee - growing in Zimbabwe. *Zimbabwe J. Agric. Res.*, 20: 1-19, 1982.
- FRANCO, C.M. Fisiologia do cafeeiro. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA, São Paulo Cultura e adubação do cafeeiro, 2 ed. São Paulo, 1965.
- HERNÁNDEZ MEDINA, E. Consideraciones fisiológicas en torno al desarrollo y fructificación del café. *Rev. Agric. Puerto Rico*, 44: 8-14, 1965.
- HUXLEY, P.A. Some aspects of the physiology of Arabica coffee - the central problem and need for a synthesis. In: LUCKWILL, L.C. & CUTTING, C.V., eds. *Physiology of tree crops*. New York, Academic Press, 1970. p. 255-68.
- KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. - a review. *Kenya Coffee*, 44: 9-47, 1979.
- MAESTRI, M. & BARROS, R.S. Coffee. In: ALVIM, P. de T. & KOZŁOWSKI, T.F., eds. *Ecophysiology of tropical crops*. New York, Academic Press, 1977. p. 249-78.
- RENA, A.B. & MAESTRI, M. Fisiologia do Cafeeiro. In: SIMPÓSIO sobre fatores que afetam a produtividade do cafeeiro. Poços de Caldas, s. ed., 1984. v. 2, p. 1-87.
- SONDAHL, M.R. & SHARP, W. Research in *Coffea* spp. and applications of tissue culture methods. In: SHARP, W.R.; LARSEN, P. O.; PADDOCK, E.F. & RAGAHAVAN, V., eds. *Plant cell and tissue culture-principles and applications*. Columbus, Ohio State University Press, 1979.
- SYLVAIN, P.G. Long-range objectives in studies of the physiology of coffee. *Turrialba*, 4: (1) 13-22, 1954.
- WORMER, T.M. Some physiological problems of coffee cultivation in Kenya. *Café, Lima*, 6: 1-20, 1965.

❧ FISILOGIA DE LAS SEMILLAS DE CAFE
II. FACTORES QUE RETARDAN LA
GERMINACION: EL PERGAMINO ❧

CAFE: 4: 97-100. 1962

Por

Frank E. Bendaña ❧❧

Introducción

Desde hace varias décadas se sabe que el pergamino de las semillas de café retarda la germinación. Según Cramer (4), en su reciente revisión sobre la investigación en café en Indonesia, ya en 1912 Boon había hecho esa observación.

La germinación del *Coffea arabica* tarda desde 30 a 60 días bajo condiciones normales de campo.

Went (10) trabajando en "Earhart Plant Research Laboratories" determinó que con una temperatura de 28-30°C las semillas rompían la superficie del suelo en tres semanas, notando así mismo que la presencia de pergamino, el que realmente es el endocarpio (3), retardaba la germinación por lo menos una semana. Wellman y O'Toole (9) también obtuvieron germinación en 21 días con temperaturas de 28-30°C. Bendaña y Powell (1) han reducido el período a 14 - 15 días envolviendo las cajas de germinación con papel de aluminio para mantener una humedad alta, pero aún así la presencia del pergamino prolonga el período a 27-30 días.

Surge la interrogante de por qué el pergamino retarda la germinación. Siguiendo el método clásico pueden considerarse las siguientes explicaciones.

(a) El pergamino puede actuar como una barrera mecánica, imponiendo el crecimiento del embrión.

(b) Puede contener alguna sustancia

química que inhibe el crecimiento del embrión, el que solamente crece una vez que tal inhibidor se ha lixiviado, oxidado o inactivado de una manera u otra.

(c) El endocarpio podría ser impermeable al oxígeno, sin el cual se libera energía de las reservas acumuladas. Podría ser impermeable al anhídrido carbónico; producto de la respiración, el cual diluiría el aire hasta el punto de que no se produzca oxidación.

(d) Puede ser impermeable al agua, impidiendo así la imbibición, (primera de las numerosas etapas de la germinación).

Se descarta la posibilidad de que el embrión esté en estado latente o de desarrollo incompleto, ya que solamente en presencia de su endocarpio intacto es que se retarda la germinación de la semilla.

Materiales y Métodos

Se usó *Coffea arabica* 'Bourbon'. El origen de las semillas y el método de germinación han sido ya descritos (1).

La extracción del pergamino se hizo de acuerdo con el método descrito por Nitsch (6), con la única variante de que se usó eter y agua destilada (en vidrio) como solventes, así como metanol. Para las pruebas bioquímicas se usó el coleoptilo de avena (7), y también se agregaron los extractos al papel filtro que se usaba para poner las semillas a germinar.

Se ideó un aparato sencillo para probar la impermeabilidad del endocarpio a gases y al agua (vease figura 1).

❧ Recibido para publicación, 18 de junio 1962.

❧❧ Departamento de Botánica, Universidad de Florida, Gainesville, Florida.

Para la prueba de oxígeno y de anhídrido carbónico se evacúa el tubo A, se cierra el grifo, dejando así esta sección al vacío. Una trampa con azul de metileno o $Ba(OH)_2$ que también ha sido evacuada previamente, se conecta con dicho tubo y se abre el grifo. El paso del oxígeno se mide entonces por medio de la rapidez con que se descolora el azul de metileno (5); y el paso del anhídrido carbónico, por medio de la cantidad de $BaCO_3$ que se precipita (8).

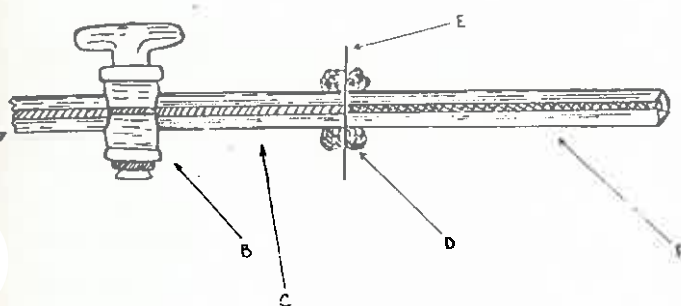


Fig. 1 Aparato diseñado para medir la permeabilidad de barreras pequeñas.

- A: Tubo que conecta con la trampa al vacío.
- B: Grifo.
- C: Continuación del tubo A (conteniendo solución de sucrosa al 10%).
- D: Grasa de la que se usa para el grifo.
- E: Barrera en prueba.
- F: Otra parte del tubo A (conteniendo agua destilada).

Para la prueba de permeabilidad al agua se hace uso de la osmosis; el tubo A se llena con una solución de sucrosa al 10%, y el tubo F con agua destilada (en vidrio). Se usan agujas hipodérmicas y jeringas medicas para llenar ambos tubos. Con mucho cuidado se deja una burbuja en el tubo F, o no se llena el tubo por completo, anotando la distancia hasta el extremo del tubo; después de varios intervalos de tiempo se mide nuevamente la distancia, correspondiendo la diferencia a la cantidad que ha atravesado la barrera.

Resultados y Comentarios

Barrera mecánica. Tal explicación se descartó inmediatamente, ya que las semillas con el pergamino ligeramente agrietado abrían la superficie de la vermiculita a los 15 días, lo mismo que aquellas a las cuales se les había quitado el pergamino.

Inhibición química. Se probó el efecto sobre el crecimiento de los extractos de agua, alcohol y éter con pergamino secado

Cuadro 1

Efecto de Extractos de Pergamino en el Crecimiento del Coleoptilo de Avena

Tratamiento	Longitud en mm. [■]
Testigo	5,8
AIA [■] 10 ⁻⁴	8,7 ^{■■■}
AIA 10 ⁻⁵	8,2
AIA 10 ⁻⁶	7,7
Extracto de alcohol	5,7
Extracto de éter	5,8
Extracto de agua	5,8

- Promedio de 5 secciones por replicación, 3 replicaciones por tratamiento.
- AIA = Acido indolacético.
- El valor promedio obtenido para los tratamientos con auxinas corresponde perfectamente a la curva "standard".

Cuadro 2

Efecto del Extracto de Pergamino en la Germinación de Semillas de Café

Tratamiento	Porcentaje de Germinación	No. de días transcurridos para que germinara el 90% de las semillas
Testigo	95	11
Extracto de alcohol	92	10
Extracto de éter	97	10
Extracto de agua	95	12

Estos valores son promedio de 6 replicaciones, con 25 semillas por replicación.

y molido, por medio de la prueba de avena, y colocándolos en el papel filtro en que se ponían a germinar las semillas sin pergamino. Tal como se puede apreciar en los cuadros 1 y 2, no se detectaron efectos visibles.

Impermeabilidad a gases. Se llevaron a cabo unos experimentos para ver si el endocarpio es impermeable al oxígeno suministrado por medio de un tanque, y los resultados, indican que no hay base para tal explicación (véase cuadro 3).

Cuadro 3

Celeridad del Movimiento de Oxígeno a Través de Diferentes Barreras Medida Mediante la Decoloración del Azul de Metileno

Barrera	Tiempo necesario para descolorar el azul de metileno (segundos)
Bolsas para diálisis	128 ■■
Papel "glassine" ■	-- ■■■
Pergamino	142

- Eli Lilly, "Powder paper" (glassine).
- Promedio de cuatro pruebas, 3 replicaciones por prueba.
- Después de una hora no hubo descoloración.

Se llevaron a cabo experimentos similares a los antes mencionados para ver si el pergamino era impermeable al anhídrido carbónico (CO₂), pudiendo de esa manera diluir el aire y el oxígeno dentro del espacio entre el endosperma y el endocarpio. En el cuadro 4 se presentan los resultados, los cuales refutan tal posibilidad.

Cuadro 4

Celeridad del Movimiento de CO₂ a Través de Diferentes Barreras Medida Mediante la Precipitación de BaCO₃

Barrera	Tiempo necesario para el primer precipitado visible (segundos)
Testigo (bolsas de diálisis)	30
Papel "glassine" ■	-- ■
Pergamino	60

- Sin nebulosidad después de una hora.

Impermeabilidad al agua. Se usaron dos métodos para comprobar la posibilidad de que el endocarpio pudiera ser impermeable.

(a) Se usó el aparato de la figura 1, y los resultados, presentados en el cuadro 5, no dejan lugar a dudas de que el agua no atraviesa el pergamino. El experimento se había llevado a cabo anteriormente bajo una campana (1) a fin de mantener una humedad máxima todo el tiempo y evitar el movimiento de las columnas por causa de la evaporación.

Cuadro 5

Movimiento de Agua a Través de Diferentes Barreras

Barrera	Movimiento en mm. después de:			
	30 Min.	60 Min.	120 Min.	180 Min.
Bolsas de diálisis	15	25	47	60
Papel "glassine"	--	--	--	--
Pergamino	--	--	--	--

- Coincide con resultados anteriores usando como indicador NaCl y AgNO₃ (1).

(b) Para mayor confirmación de las conclusiones de que el pergamino es impermeable al agua, y que esa es la razón por la cual se retarda la germinación, se

Cuadro 6

Cantidad de Agua Absorbida por Semillas de Café ■

Tratamiento	0	6	12	24
	(horas)			
	Porcentaje de agua			
Sin Pergamino	12	28	76	88
Con Pergamino	12,2	12,7	12,4	12,4

- El porcentaje se calcula de la siguiente manera: peso a tiempo t - peso a tiempo 0 = peso a tiempo 0 x 100.

pusieron semillas con y sin pergamino a embeber agua durante 24 horas, y al cabo de este período se determinó el porcentaje de humedad. En el cuadro 6 se presentan los resultados de la imbibición en 0, 6, 12 y 24 horas.

Con este último experimento no puede haber duda de que el pergamino es impermeable al agua, retardando por lo tanto la germinación al no permitir el paso del agua que se necesita como primer paso en este proceso.

Literatura Citada

1. BENDAÑA, F. E. Fisiología de las semillas de Café. I. Problemas relativos al almacenamiento. *Café* 4(15):93-95, Oct.-Dic., 1962.
2. BENDAÑA, F. E. and POWELL, R. D. Germination of *Coffea arabica*. *Proc. Assoc. So. Agr. Workers.* 58:244. 1960.
3. COBLEY, L. S. An Introduction to the Botany of Tropical Crops. London. Longmans Green, 1956. 357 p.
4. CRAMER, P. J. S. A Review of Literature of Coffee Research in Indonesia. Edited by Wellman F. L., Turrialba, Costa Rica. IAIAS Miscellaneous Publication No. 15, 1957. 262 p.
5. HAWK, P. B., OSER, B. O., and SUMMERSON, W. H. Practical Physiological Chemistry. 12th Ed. Philadelphia. The Blakiston Co. 1947. 1323 p.
6. NITSCH, J. P. Methods for Investigation of Natural Auxins and Growth Inhibitors. In Wain, R. L. and Wightman, F., ed. *The Chemistry and Mode of Action of Plant Growth Substances.* New York. Academic Press. 1956. 312 p.
7. NITSCH, J. P. and NITSCH, C. Studies on the growth of Coleoptile and first internode sections. A new sensitive straight-growth test for auxins. *Pl. Physiol.* 31:94-111. 1956.
8. OLSON, A. R., KOCK, C. W. and PIMENTEL, G. C. *Introductory Quantitative Analysis.* San Francisco W. H. Freeman Co. 1957.
9. WELLMAN, F. L. and TOOLE, F. R. Coffee seed germination as affected by species, diseases and temperature. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci. Caribbean Region*, 4:1-6. 1960.
10. WENT, F. W. *The experimental Control of Plant Growth.* Waltham, Mass. Chronica Botanica Co. 1957. 343 p.

CARE: 4:93-96. 1962

Turrialba, Costa Rica * Vol. 4, No. 15 * Octubre-Diciembre, 1962

FISIOLOGIA DE LAS SEMILLAS DE CAFE
I. PROBLEMAS RELATIVOS AL
ALMACENAMIENTO

Por

Frank E. Bendaña

Introducción

* Las semillas de café, contrariamente a las de la mayoría de las plantas cultivables, pierden su viabilidad muy rápidamente.

Este es un problema muy serio para el genetista y para el técnico en mejoramiento, quienes no pueden conservar las semillas por años para observar el fenotipo producido y de esa manera establecer el genotipo, o perpetuar un carácter deseable. Por lo tanto, en las investigaciones con café algunas veces se hace necesario recurrir a la propagación vegetativa.

El café se almacena bajo numerosas

condiciones, y según Cramer (2) el método más común, el uso de carbón húmedo, lo sugirió por primera vez Jaaverslag en 1913, y la proporción de 150 cc de agua por kilogramo de semillas fue sugerido por De Fluiter en 1939. Otros han sugerido que las semillas se almacenen en bodegas húmedas, pozos secos, dando a entender que la humedad de las semillas es de suprema importancia.

Crocker y Venton (3) han clasificado el café como una nuez por cuanto su endosperma es semiceluloso y cualquier pérdida de humedad lo contrae hasta el punto de estrangular el embrión. Recientemente, Wellman y O'Toole (6) afirmaron que semillas de café mantenidas a 10° C y 50 por ciento de humedad habían permanecido viables durante cuatro años y 10 meses.

Los resultados que se ofrecen aquí representan los promedios de experimentos iniciados en 1958.

■ Recibido para publicación, 18 de junio 1962.

■ Departamento de Botánica, Universidad de Florida, Gainesville, Florida.

Materiales y Métodos

Se obtuvieron semillas de *Coffea arabica*, 'Bourbon', de parte del señor Esteban McEwan, de Matagalpa, Nicaragua. Estas semillas provenían de cerezas recogidas durante la cosecha de 1957-1958, habiendo sido recolectadas de las ramas centrales de plantas de 8 a 10 años de edad.

Apenas recibidas, las semillas fueron colocadas bajo diferentes condiciones, dando lugar a los experimentos I y II.

Experimento I. Es una combinación de diversas humedades relativas a diferentes temperaturas. Las semillas fueron puestas en vasos de precipitación ("beakers") y éstos a su vez colocados en desecadores ("desiccators") que tenían soluciones saturadas en contacto con su fase sólida, manteniendo en esa forma humedades constantes (5). Por ejemplo, para obtener una humedad relativa del 75% a una temperatura de 20°C, se usó una solución de NaCl; para la misma humedad a 10°C, se usó NH₄NO₃; para una temperatura de 20°C, NaClO₃, etc. Los desecadores fueron colocados seguidamente en refrigeradores o en hornos, según la temperatura que se deseaba. Las temperaturas que se usaron fueron de 0 a 60°C con intervalos de 5°C.

Experimento II. Almacenamiento bajo diferentes atmósferas. Se usó el aire como testigo en comparación con los siguientes tratamientos:

(1) Aire saturado con CO₂; se obtuvo generando CO₂ de Na₂CO₃ y 10N HCl.

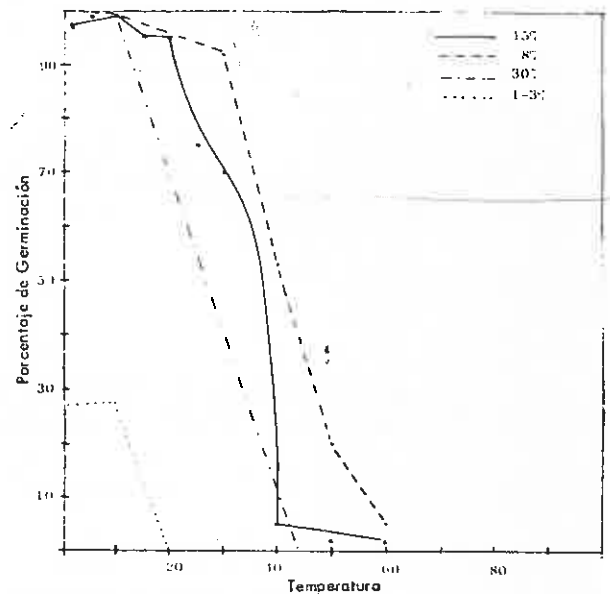
(2) Atmósfera de nitrógeno; tanque obtenido de Mathieson Co.

(3) Vacío.

En los tratamientos (1) y (2) los desecadores se evacuaron rápidamente sometiendo a vacío, cerrando la torrecilla, conectando el vástago de la torrecilla al tubo que conduce al gas y haciendo girar otra vez la torrecilla a la posición de abierto. Esta operación no toma más de uno o dos minutos, y por lo tanto el autor cree que este procedimiento no causó daño alguno a las semillas.

Todas las semillas se pusieron a germinar en platos petri o en tela de caseína ("cheesecloth") previamente saturada con agua a 30°C \pm 0,1° (1).

Se consideraron como germinadas las semillas cuyas radículas habían alcanzado una longitud de 2,5 mm o más después de ocho días de la siembra.



* Todas las semillas se mantuvieron en estas condiciones por una semana.

Fig. 1 Efecto de la temperatura sobre semillas almacenadas con distintos contenidos de humedad.

Todos los tratamientos fueron muestreados semanalmente durante los dos primeros meses, cada tres semanas durante los cuatro meses siguientes, y cada mes de ahí en adelante. Cada muestreo consistió de 10 semillas y un duplicado.

Resultados y Comentario

Quando se recibieron, las semillas tenían aproximadamente 15% de humedad. Las temperaturas superiores a 40°C son letales para semillas con 15% o más de humedad relativa, tal como puede apreciarse en la figura 1. Este efecto no es

extraordinario, ya que a temperaturas como esa hay desnaturalización de las proteínas debida al rompimiento de su estructura secundaria y terciaria. La explicación dada por Genkel y Chao Shi-Hsu (4) es que estas altas temperaturas rompen los plasmódemos entre las células parenquimatosas del endosperma. Aunque no cabe duda de que la disecación eventualmente causa rotura del plasmódemo debido al colapso de las células, es dudoso que este sea el efecto inicial de la temperatura.

El efecto de la disecación también se aprecia claramente en la figura 1. Sin embargo, Wellman y O'Toole (6) han podido mantener la viabilidad durante varias semanas a temperaturas de -10°C a -16°C so-

lamente si las semillas estaban "secas". En todos los experimentos descritos aquí, las semillas con menos de un 3% de humedad habían perdido su viabilidad.

Con estos resultados en mente, semillas con diferentes contenidos de humedad se mantuvieron a $9^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$; sin embargo, no se usaron semillas con un contenido de humedad menor del 5%, por razón de los resultados letales observados con semillas secas. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 1. Parece que la mejor combinación es la de 50% de humedad a 10°C . Esta fue entonces la relación adoptada para el almacenamiento general de semillas, y al cabo de cuatro años aún era posible obtener una germinación del 95%.

CUADRO 1

EFFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN EL ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS DE CAFE A TEMPERATURA CONSTANTE ($9^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)

(Contenido original de humedad de las semillas: 16-17%)

Humedad relativa	Porcentaje de germinación después de						
	2 Sem.	1 Mes	2 Mes.	3 Mes.	6 Mes.	1 año	4 años
10 por ciento	90	91	78	52	55	32	--
20 por ciento	89	93	82	68	68	47	--
30 por ciento	98	95	90	81	80	63	--
40 por ciento	98	98	95	96	96	80	--
50 por ciento	98	98	98	98	98	98	95
60 por ciento	98	88 [■]	81 [■]	67 [■]	--	--	--
Mayor del 60 por ciento	93 [■]	80 [■]	--	--	--	--	--

■ Hubo crecimiento de hifa de un hongo que parecía Fusarium.

En los tratamientos atmosféricos el efecto del vacío es el más pronunciado (véase cuadro 2), ya que produce una rápida muerte de las semillas (en algunas en 10 a 15 minutos).

Went (7) obtuvo también resultados similares. El nitrógeno tuvo un pequeño efecto en el período de un año, pero el aire saturado con anhídrido carbónico no tuvo efecto alguno. Pudiera suceder que la in-

tensidad de la respiración sea tan baja que cualquier contaminación por el oxígeno de los gases sea suficiente para dar lugar a tal indiferencia de las semillas a las diversas atmósferas.

Conclusiones

Las semillas de café son sumamente sensitivas a la humedad, a las temperaturas altas, y a cualquier tratamiento que cause desecación.

Las condiciones optimas para el almacenamiento de semillas de café son: temperaturas aproximadas a $10^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y humedades alrededor de 50%.

Todas las semillas de café que se reciben en la actualidad se colocan bajo tales condiciones, habiéndose logrado mantener

una viabilidad del 95% con semillas almacenadas durante cuatro años.

CUADRO 2

Viabilidad de Semillas Almacenadas bajo Diferentes Condiciones Atmosfericas

Tratamiento	Porcentaje de germinación después de almacenadas por días						
	5	15	30	45	90	180	360
Testigo	98 ^m	98	94	98	96	98	98
Aire saturado con CO ₂	96	97	97	98	95	96	95
Nitrógeno	98	98	92	90	88	90	86
Vacío	11	3	5	--	--	--	--

^m Todos los valores representan los promedios de tres replicaciones de 20 semillas c/u.

Literatura Citada

- BENDAÑA, F. E., and POWELL, R. D. Germination of *Coffea arabica*. Proc. Assoc. So. Agr. Workers. 58:244. 1960.
- CRAMER, P. J. S. A Review of Literature of Coffee Research in Indonesia. Edited by F. L. Wellman. Turrialba, Costa Rica. IAIAS Misc. Pub. No. 15, 1957. 262. p.
- CROCKER, W., and BARTON, L. V. Physiology of Seeds. Waltham, Mass. Chronica Botanica Co. 1957.
- GENKEL, P. A., and CHAO SHIH-HSU. The role of plasmodesmata in the loss of germination ability of coffee (*Coffea robusta* L.) seeds. Pl. Physiol. (Russian) 5:303-307. 1958.
- O'BRIEN, F. E. M. The control of humidity by saturated solutions. J. Sci. Instruments 25:73-76. 1948.
- WELLMAN, F., and O'TOOLE, V. R. Coffee seed germination as affected by species, diseases, and temperature. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. Caribbean Region. 4:166. 1960.
- WENT, F. W. The Experimental Control of Plant Growth. Waltham, Mass. Chronica Botanica Co. 1957. 343 p.

ALGUNAS CARACTERISTICAS FISIOLÓGICAS DEL CAFETO Y SU RELACION CON LA NUTRICION MINERAL*

Alvaro Segura Monge**

INTRODUCCION

En el área de la nutrición mineral, así como en otras, es necesario comprender las relaciones existentes entre la planta y el medio ambiente que la rodea, ya que depende del sistema ecológico que una especie pueda presentar su máximo potencial genético, traducido en términos económicos como abundantes cosechas, en el caso de la especie que hoy ocupa nuestra atención.

Si bien es cierto que los fitomejoradores han desarrollado cultivares de café con altos potenciales de producción, la verdad es que esta característica no ha sido paralela en relación a otros asuntos como por ejemplo, la de desarrollar materiales menos susceptibles al "agotamiento" y consecuentemente capaces de producir en forma sostenida a través del tiempo.

En los parámetros siguientes se hará una reseña de algunas características que hacen que la caficultura intensiva, modifique las propiedades fisiológicas de nuestros actuales materiales.

* Seminario presentado en el Seminario-Taller sobre Nutrición Mineral del Cafeto. PROMECAFE-IICA, Antigua, Guatemala, 14 de julio de 1989.

** Ing. Agrónomo, M.Sc. Jefe, Sección Nutrición Mineral del Cafeto. Programa Cooperativo ICAFE-MAG, Costa Rica.

Significado Fisiológico de la Bienalidad en la Producción

La planta de café en su habitat natural, se encontraba asociado a un bosque natural formado principalmente por cuatro estratos arbóreos. De esta manera, al no importar el número de frutos producidos, que dicho sea de paso eran o son pocos, mantenía un equilibrio Fruto; Area Foliar; Madera; Raíz. De tal suerte que no necesitó desarrollar mecanismos adaptativos para superar lo que hoy se conoce bienalidad de la producción.

De este punto de vista, podría pensarse que la planta de café es entonces primitiva, desde el punto de vista evolutivo, sin embargo al ser una especie perenne adaptada a la sombra, su perpetuidad no dependía en la producción de abundantes semillas como en el caso de un cultivo anual, muy por el contrario, al igual que otras especies forestales gran parte de su inversión energética se traducía en la producción de follaje.

Con el desarrollo de la caficultura intensiva, el hecho de producir plantas pequeños con entrenudos cortos y altamente productoras, sumado al hecho de que se hace modificado el ambiente natural, principalmente la eliminación del sombrero; todo esto ha contribuido a "forzar" metabólicamente a la planta y producir y sostener abundantes cosechas, en otras palabras a movilizar asimilados y elementos nutritivos al fruto provenientes principalmente del tejido foliar y maderoso. Como consecuencia inmediata esta reexportación de energía potencial, restó capacidad de producción vegetativa, debilitando la planta y ocasionando en años alternos drásticas caídas en la capacidad de crecer y desarrollar biomasa. En términos prácticos esta superproducción de granos lo que ocasiona es un desequilibrio energético sobre la cual un manejo racional de la planta y una buena contribución de la genética podría en el futuro resolver.

Características Ecofisiológicas de la Planta de Café

Dentro del contexto de la discusión, es conveniente caracterizar algunas propiedades de esta especie. Primero el cafeto como cualquier especie que inmoviliza el CO_2 en compuestos primarios de tres carbonos, presenta procesos de fotorespiración que le restan capacidad fotosintética neta, produciendo como consecuencia bajas tasas de crecimiento.

Así Sondahl *et al* (1976) estima que la fotorespiración en café alcanza tasas cercanas a $2 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2} \cdot \text{Seg}^{-1}$, o sea casi tres veces mayor que las tasas respiratorias estimadas por Nutman (1937). Segundo, siendo el cafeto una especie adaptada a la sombra, su mecanismo fotosintético es muy sensible al deterioro físico que ocasiona la frecuente exposición a altas radiaciones en ausencia de sombra. Tercero, aún a libre exposición solar, la fotosíntesis se satura a bajas intensidades de radiación fotosintéticamente activa ($600 \mu\text{Em}^{-2} \cdot \text{Seg}^{-1}$). De esta manera teniendo en consideración que durante los días soleados en el trópico y en horas de medio día, la radiación incidente se aproxima a $2500 \mu\text{Em}^{-2} \cdot \text{Seg}^{-1}$; sugiere que el cafeto es capaz de reducir CO_2 en períodos muy cortos del día. Cuarto, inevitablemente producto de lo anterior, tasas de fotosíntesis neta disminuye marcadamente conforme aumenta la temperatura de las hojas a ámbitos superiores a $20-25^\circ\text{C}$. Esto último posiblemente ocasionado por un aumento en la resistencia total a la difusión de CO_2 ; de cualquier manera, la fotosíntesis neta de cafetos localizados en el trópico es baja en días soleados en virtud de que la temperatura foliar puede ascender hasta 10°C o más, por encima de la temperatura ambiente, aumentando consecuentemente el punto de compensación por CO_2 (Rizopoulou y Nunes, 1981).

Ciclo Anual de Crecimiento y su Relación con la Nutrición Mineral

Los cafetos establecidos en regiones tropicales no ecuatoriales, presentan a diferencia de regiones Ecuatoriales (zonas de con-

vergencia intertropical), un solo ciclo de crecimiento y fructificación. Así, la iniciación floral es rápida y la tasa de crecimiento vegetativo lento durante las épocas secas y frías (Brasil) y/o frías y lluviosas (América Central). Por otro lado la floración y el rápido crecimiento es rápido a partir del inicio de la estación lluviosa; consecuentemente los frutos se desarrollan en la época cálida y lluviosa y maduran al inicio de la estación más fría del año (Noviembre a diciembre en América Central).

Adicionalmente, el crecimiento vegetativo no es continuo durante el año, evidenciando algunas características que son inherentes a su periodicidad. Por otro lado, durante el verano a causa de las temperaturas supraóptimas a que son expuestos los cafetos, se induce frecuentemente deficiencias hídricas, reducción excesiva de las tasas de fotosíntesis, todo lo cual induce reducidos ^{veci} ~~creci-~~ mientos. Otro elemento adicional, es que la reducción en el crecimiento ~~se reduce debido a~~ ^{es influenciada por la} fructificación, ya que los frutos en desarrollo movilizan fotoasimilados y elementos minerales de hojas y bandolas, lo que obviamente resta capacidad de crecer.

Desde el punto de vista nutritivo es de esperar que el cafeto sea mas exigente durante aquellas épocas, en que como consecuencia de una fotosíntesis neta óptima, produzca abundante materia seca (inicio de las lluvias y caída en la temperatura), lo mismo en épocas en que el desarrollo del fruto sea acelerado (drenaje de asimilados y elementos minerales), aproximadamente de uno a cuatro meses después de la floración. Finalmente, cuando el pericarpo una vez formada la semilla, manifieste un aumento rápido en el contenido de materia seca (inicio de la maduración, siete u ocho meses después de la floración).

LITERATURA CITADA

1. CANNELL, M.G.R., Physiology of coffee corp. In Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage. Clifford, M.N. y Wilsons, K.C. (eds.) p. 101-134, 1985.
2. NUTMAN, J.F. Studies on the physiology of Coffea arabica L. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. Annals of Botany. I:353-62. 1937.
3. RIZOPOULOU, S. y Nunes, M.A. Same adaptative photosynthetic of sun plant (Ceratonia siliqua) and shade plant (Coffea arabica). In Components of productivity of Mediterranean -climatic regions. Basic and applied. Morgans, N.S. y Mooney. H.A. (eds.) Junk Publishers, Boston. 85-89, 1981.
4. SONDAHL, M.R. Crocomo, D.J.; Sodek, L.; Measurements of ^{14}C incorporation by iluminated intact leaves of coffee plants from gas mixtures containing $^{14}\text{CO}_2$. Journal of Experimental Botany. 27:1187-95. 1976.

Cuadro 55. Producción de café cv 'Pacas' en condiciones de bajo, con sombra permanente y a plena exposición solar. Estación Experimental de San Andrés, La Libertad, iniciado en 1977.

Tratamiento	Cosecha. Kg oro/ha				Promedio
	1979-80	1980-81	1981-82	1982-83	
Sin sombra permanente	215.47	3009.47	1221.74	3246.69	1922.84
Con sombra permanente	398.49	1578.40	1861.82	1133.45	1242.51

Cuadro 56. Area foliar del cv 'Pacas' en condiciones de bajo, con sombra permanente y a plena exposición solar. Estación Experimental de San Andrés, La Libertad, iniciado en 1977.

Tratamiento	Area foliar m ² /caf:			Incremento De 1979 a 1981
	1979	1980	1981	
Sin sombra permanente	7.97	16.01	17.00	9.03
Con sombra permanente	6.69	8.77	14.47	7.78

IRIGOYEN. Resúmenes de Inv. en Café (El Salvador) 5:85-86 (82/83)

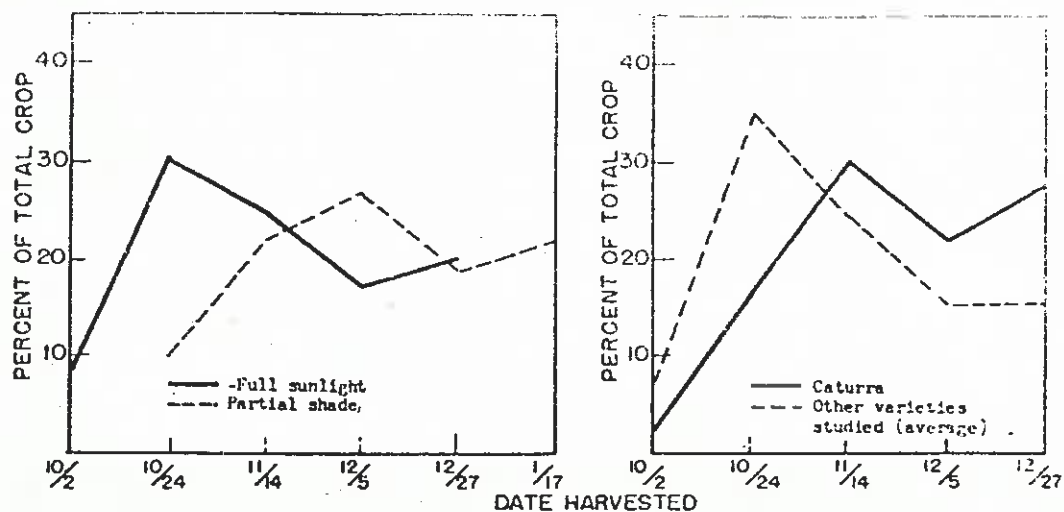


FIG. 1.—Effect of shade and of variety on ripening rate of coffee berries at Jayuya: A, Effect of shade when all varieties studied are averaged; B, Caturra in full sunlight as compared with other varieties.

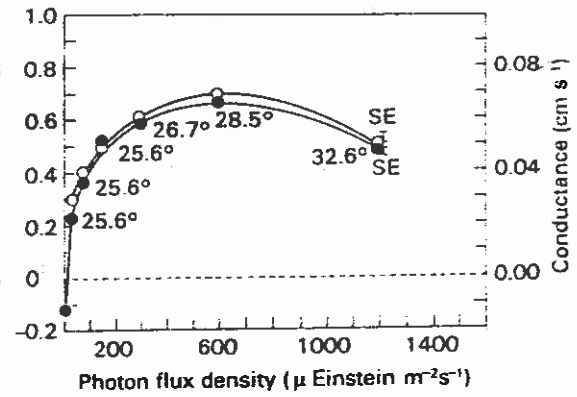
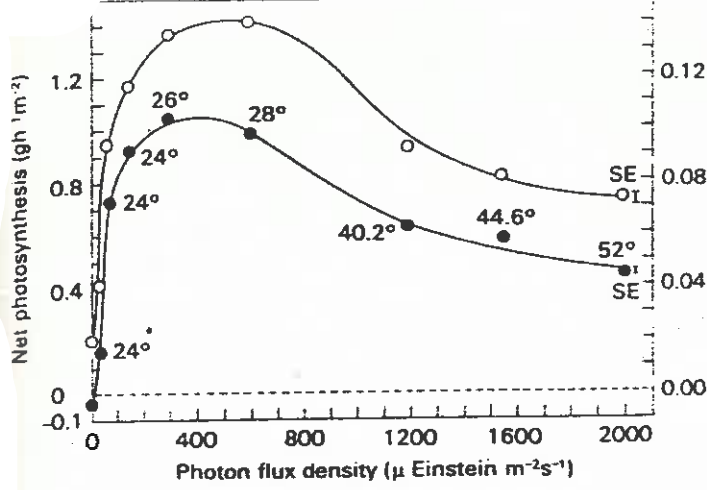


Fig. 1 (left). Effects of various photon flux densities on net photosynthetic rates (●) and leaf conductances (○) in shade-grown coffee plants at various leaf temperatures. The dark respiration rate is indicated below the broken line, and figures shown on the graph points are leaf temperatures.

Fig. 2 (right). Effects of various photon flux densities on sun-grown plants (cf. Fig. 1).

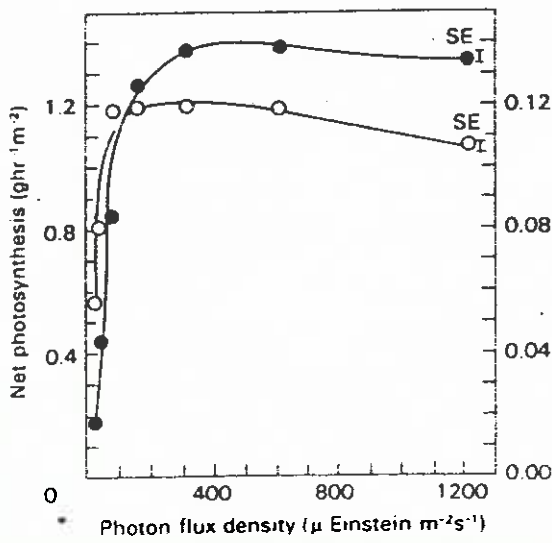


Fig. 3. Photosynthetic rates (●) and conductances (○) at increasing photon flux densities but at a fixed temperature of 25°C.

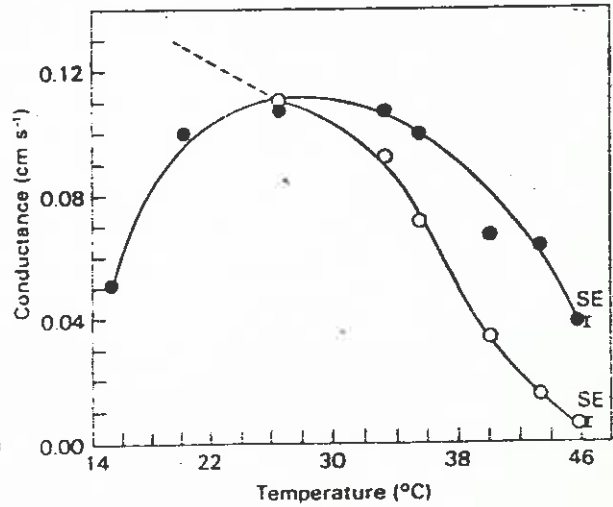


Fig. 6. Mesophyll conductances (○) and stomatal (leaf) conductances (●) at increasing temperatures measured on shade-grown plants.

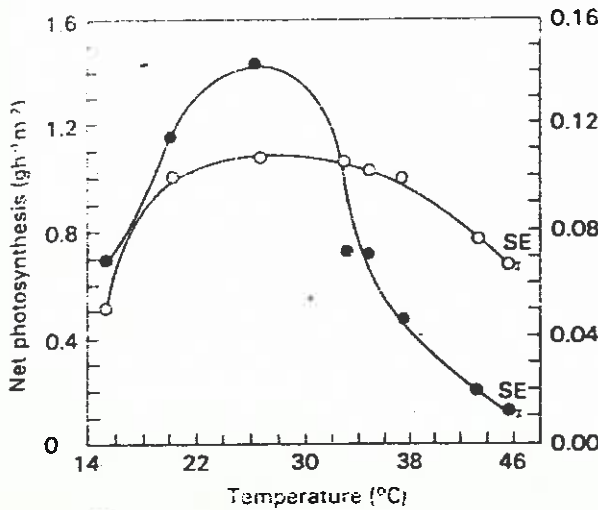


Fig. 4 (left). Photosynthetic rates (●) and conductances (○) of shade-grown plants at increasing temperatures.

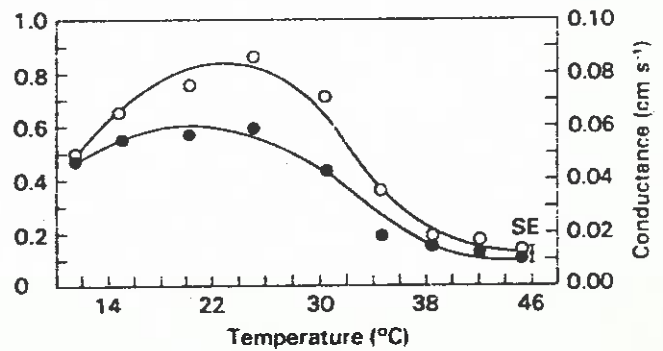


Fig. 5 (right). Rates of sun-grown plants as in Fig. 4.

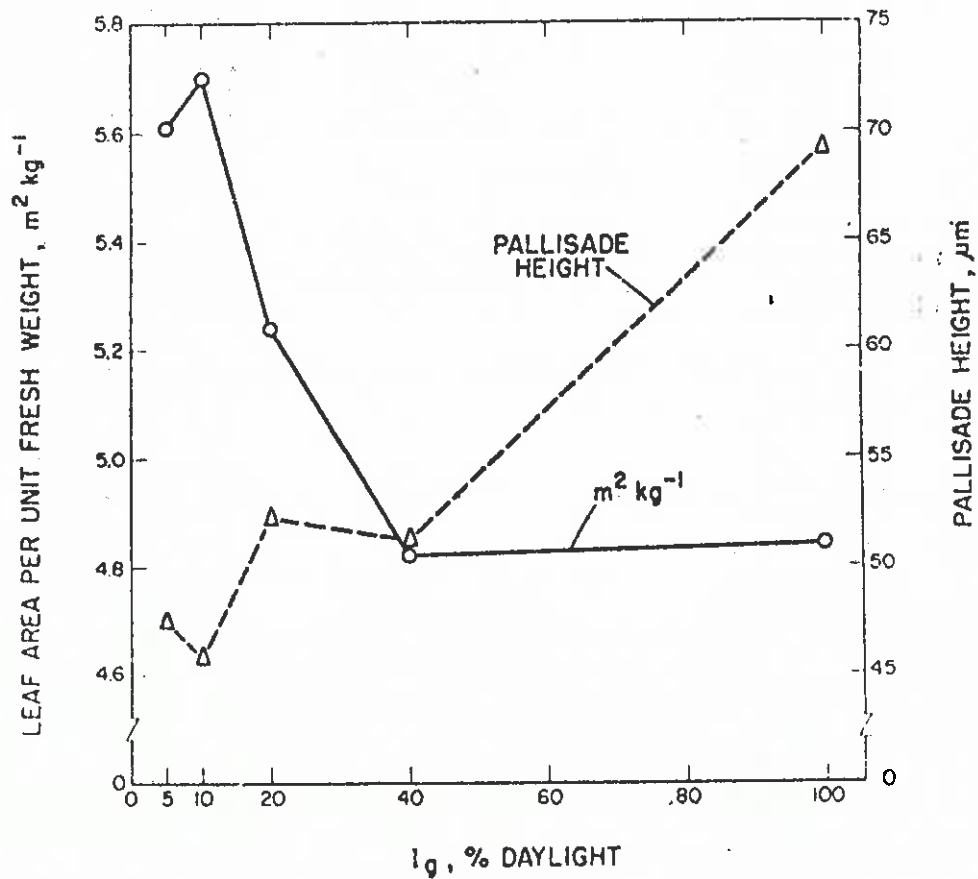


Figure 5. Effect of growth irradiance on leaf area per unit fresh weight (—) and height of palisade cells (---). Values of r^2 from second degree polynomial regressions, $n = 5$, in first experiment = 0.95 for leaf area per unit fresh weight and 0.96 for height of palisade cells.

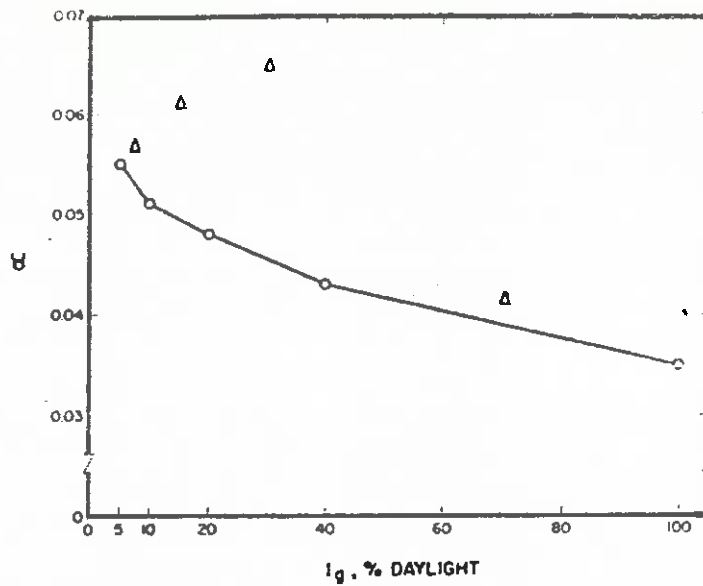


Figure 3. Effect of growth irradiance on quantum yield (α). First experiment = o, running mean of second experiment = Δ . Value of r^2 from second degree polynomial regression ($n = 5$) in first experiment = 0.99.

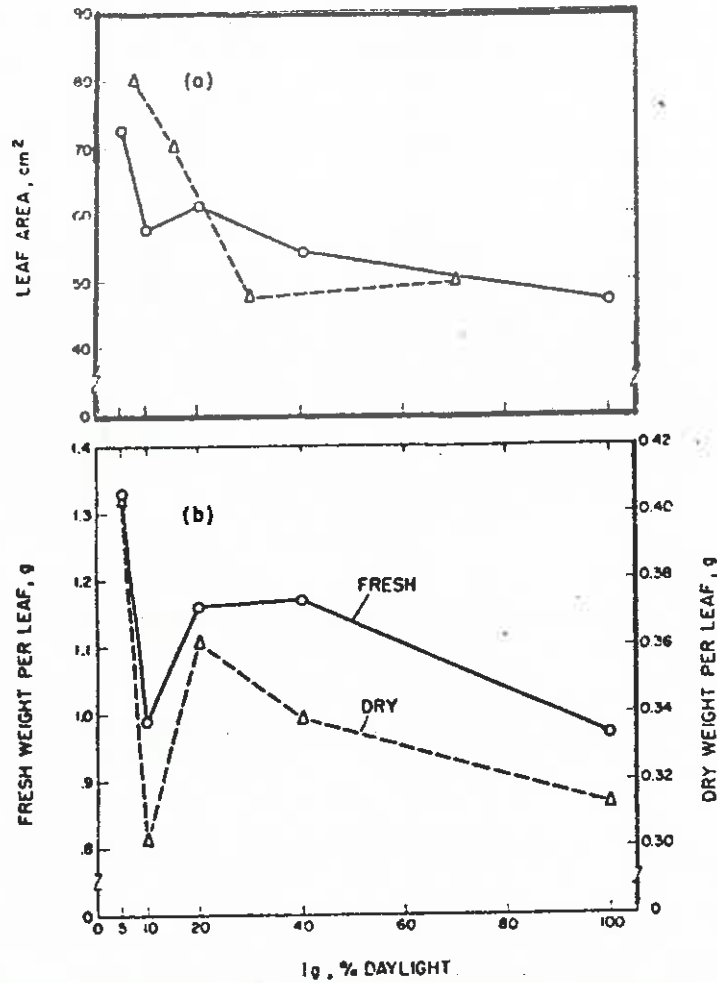


Figure 4. Effect of growth irradiance on (a) individual leaf area, (b) leaf fresh and dry weight. First experiment = o, running means of second experiment = Δ . Values of r^2 from second degree polynomial regressions in first experiment, 0.75 for leaf area ($n = 5$), 0.91 for fresh weight and 0.98 for dry weight (omitting 10% value, $n = 4$).

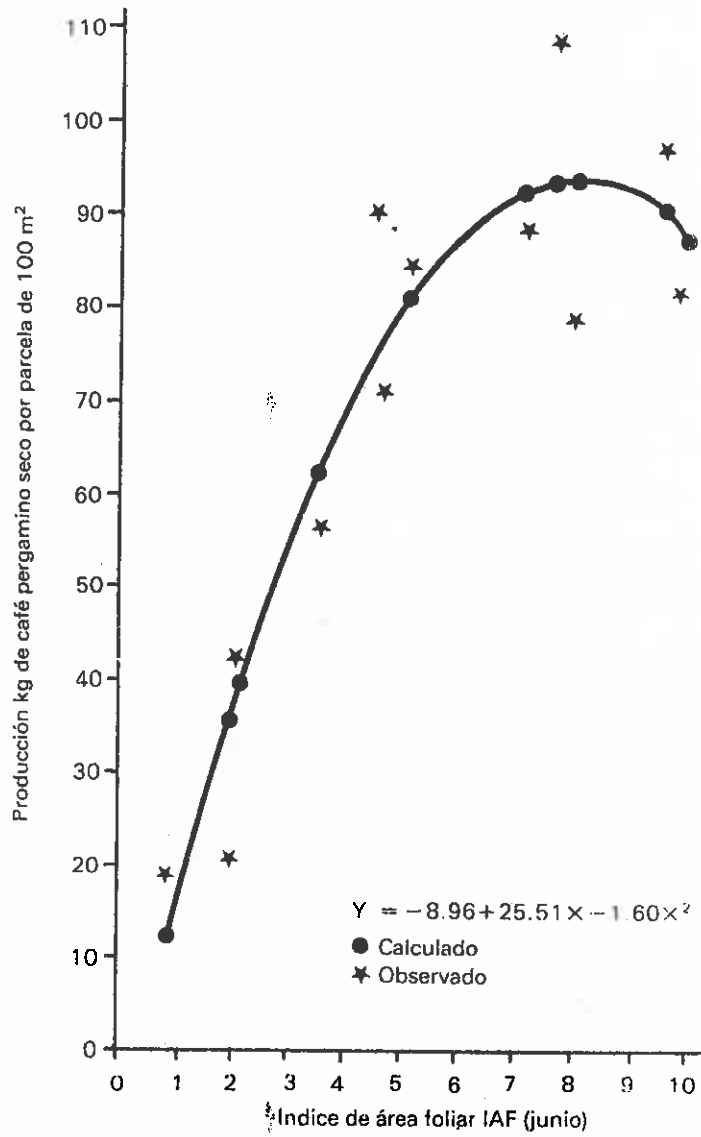


Figura 1.2 Ecuación de regresión de la producción por parcela (Y) sobre el índice de área foliar en junio (X) y valores observados [95].

VALENCIA. Cenicafé. 23:79-80. 1973

EPECTO SOMBRIO SOBRE ALGUNAS CARACTERISTICAS DEL CRECIMIENTO DE HOJAS DE CAFE DESPUES DE 150

DIAS DE SU EMERGENCIA. (KONA, HAWAII)

TRATAMIENTOS	INT. EMERG. (días)	LONGITUD MAXIMA (mm)	TASA ELONG. ⁻¹ (mm.día ⁻¹)	NO. HOJAS POR PLANTA	AREA (dm ²)	MATERIA FRESCA (9.dm ⁻²)	MATERIA SECA (9.dm ⁻²)
PLENO SOL	20 ± 4,1	115 ± 4,1	4,5 ± 0,23	147 ± 2,1	0,46 ± 0,11	2,2 ± 0,18	0,73 ± 0,05
25% EXPOSICION	32 ± 6,3	145 ± 2,8	6,6 ± 0,23	71 ± 1,9	0,58 ± 0,99	1,8 ± 0,15	0,53 ± 0,004

(YAMAGUCHI, FRIEND, 1979)

EFEECTO COMBINADO DE LA TEMPERATURA Y DE LA RADIACION SOBRE LA RESISTENCIA
DIFUSIVA ESTOMATICA DE HOJAS DE DOS ESPECIES (Seg. cm⁻¹)

ESPECIE	TEMPERATURA (°C)	RADIACION (M E m ⁻² .seg ⁻¹) 3,2	RADIACION (M E m ⁻² .seg ⁻¹) 320
<u>Ceratonia</u> sp.	10	+24	26,0
	24	+24	1,5
	34	16	0,6
<u>Coffea arabica</u>	10	+24	12,0
	24	+24	6,0
	34	+24	+30,0

RIZOPOULOU Y NUNES, 1981

$$ME = 10^{-6} \text{ J}$$

$$W \text{ m}^{-2} = 1 \text{ J m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1} = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ Cal. cm}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$$

RESERVAS DE ELEMENTOS MINERALES (KG/HA) EN LA ASOCIACION:

Coffea arabica + poeppigiana. (Turrialba, Costa Rica)

ELEMENTOS	HOJA		RAMAS		TALLOS		RAICES	MANTILLO	SUELO	T O T A L
	C	E	C	E	C	E				
N	67	187	43	99	71	54	43	136	8500	9201
P	3	13	5	12	9	5	1	7	2997	3051
K	19	74	90	110	15	29	18	17	630	1003
Ca	33	66	40	56	82	63	30	85	2835	3291
Mg	8	22	4	21	12	9	10	14	573	674

ALPIZAR ET AL; 1985

C = Coffea arabica

E = Erythrina poeppigiana

PRODUCCION DE CAFE ORO POR HECTAREA PROMEDIO DE CUATRO COSECHAS (1965-1969)

PUERTO RICO

Distancia de siembra: 1,83 m. x 1,83 m. (2985 P./Ha.)

VARIEDAD	(SACOS 46 KG/HA) S O L	SOMBRA (40% SOMBRA)
MUNDO NOVO	67,32 a	45,77 abc
CATURRA	54,35 abc	34,30 de
VILLALOBOS	53,22 abc	31,85 ef

BONETA Y BOSQUE, 1972

SOMBRA: Inga inga

ELEVACION: 550 m.s.n.m.

PRECIPITACION MEDIA ANUAL: 1604 mm.

TEMPERATURA MINIMA: 14,42 °C

TEMPERATURA MAXIMA: 27,30 °C

APORTE DE MATERIA ORGANICA (KG.HA.⁻¹.AÑO⁻¹) POR
PARTE DE LOS CAFETOS EN DIVERSAS ASOCIACIONES (VERACRUZ, MEXICO)

S E C C I O N	CAFE + INGA I. + INGA L + NARANJA + BANANO	CAFE + INGA J.	CAFE+INGA L.	SOL
HOJAS	921	1190	1356	1367
RAMAS	43	54	27	61
FRUTOS	140	136	134	325
T O T A L	1104	1380	1527	2079

JIMENEZ Y MARTINEZ, 1979

EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS RESISTENCIAS IMPUESTAS POR HOJAS DE CAFE

A LA DIFUSION DE CO₂

(Radiación = 320 μ E m⁻².seg⁻¹)

TEMPERATURA (°C)	RESISTENCIA TOTAL	RESISTENCIA 1,6 (rs + ra)	Rm	PUNTO COMPENSACION CO ₂
10	59,5	24,0	35,5	60
24	23,8	14,4	9,4	60
34	178,6	+53,0	+125,0	130

RIZOPOULOU Y NUNES, 1981

Cuadro 2.11 Fenología del cafeto en condiciones de solana y de umbría [132]

Parámetro	Solana	Umbría
Floración		
Epoca	=	
Número de flores que abren	>	
Ennegrecimiento y caída de flores antes de abrirse	>	
Fructificación		
Maduración	Temprana	Más tardía
Cosecha	>	
Porcentaje cerezas manchadas	>	
Mediciones somáticas		
Altura		>
Longitud ramas primarias		>
Número de hojas/rama primaria		>
Diámetro del tronco	>	
Número de horquetas	>	
Nudos/rama primaria	>	
Yemas florales	>	
Ramas secundarias	>	
Número de hojas en ramas secundarias	>	
Peso sistema radical	>	
Aspecto		
General		Mejor
Pérdida del follaje	Más rápida	
Recuperación al inicio de las lluvias	Más rápida	

Simbología: = No hay diferencia
> Mayor que

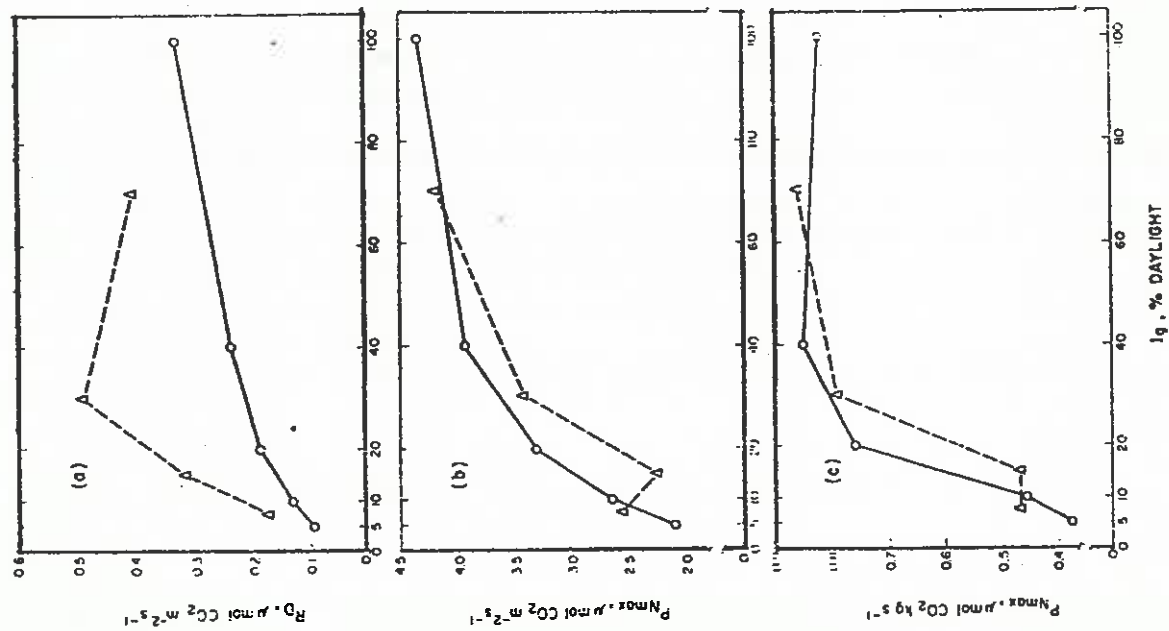


Figure 1. Effect of growth irradiance (I_g) on (a) rate of dark respiration (R_D), (b) rate of photosynthesis at light saturation (P^{Nmax}) per unit area, and (c) per unit leaf fresh weight. First experiment = ○, running means of second experiment = △. Values of r^2 from second degree polynomial regressions, $n = 5$, in first experiment, 0.99 for R_D , 0.99 for P^{Nmax} (leaf area) and 0.93 for P^{Nmax} (leaf fresh weight).

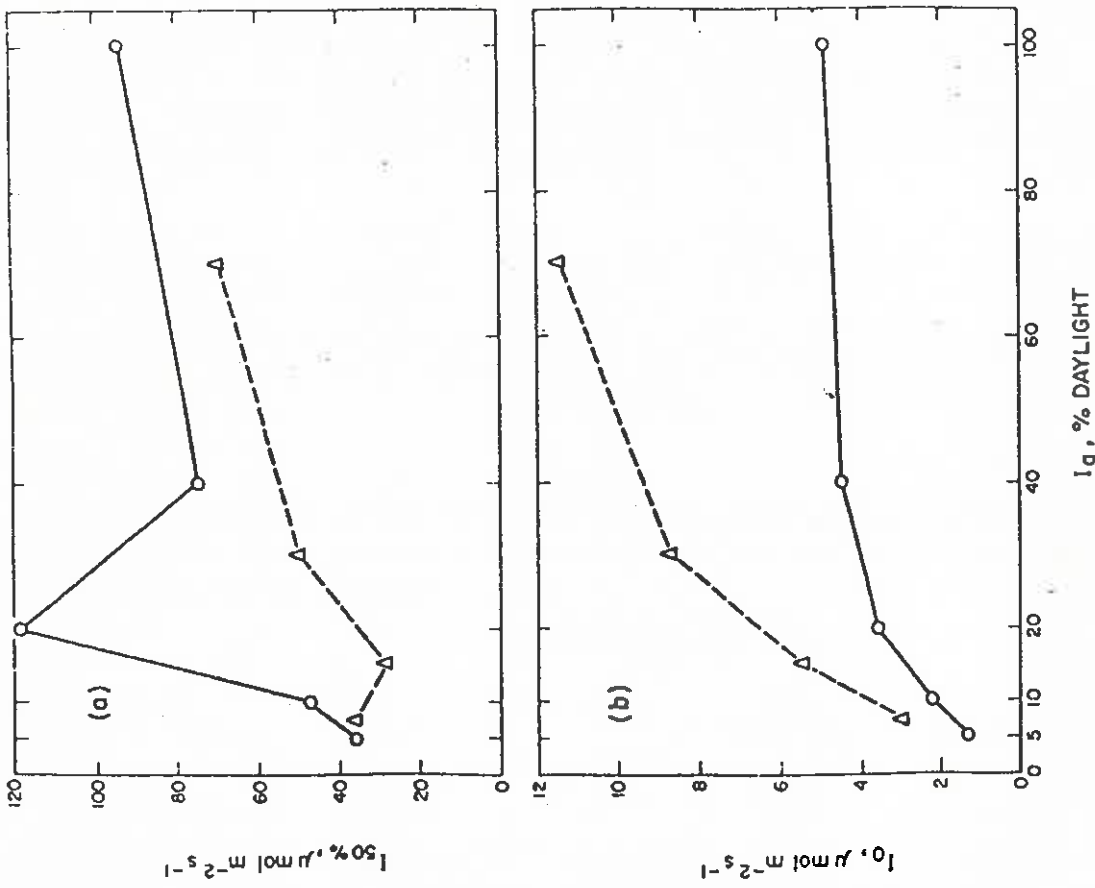


Figure 2. Effect of growth irradiance on (a) irradiance needed for 50% of maximal rate of photosynthesis ($I_{0.5}$) and (b) the irradiance at the light compensation point (I_0). First experiment = ○, running means of second experiment = △. Values for r^2 from second degree polynomial regressions in first experiment, 0.99 for $I_{0.5}$ (omitting value for 20% daylight, $n = 4$) and 0.97 for I_0 ($n = 5$).

Table 2. Differences in the proportion of the total uptake returned to the soil in the fallen leaves

	Mean % composition of fallen leaves (% dry weight)	Mean % gain (+) or loss (-) of nutrient by the leaves before they fell*	Mean % of total uptake returned to the soil in fallen leaves over the experimental period
Organic-N	2.35	-13	8
P	0.075	-48	4
K	1.44	-47	6
Ca	1.26	+18	12
Mg	0.256	-7	9

* Calculated by comparing the weight of nutrients in similar dry weights of fallen and 'old' leaves (see Fig. 1). The fallen leaves were collected every 2-3 weeks and so were little more leached by rainfall than the living ones.

Table 6. Estimated mean annual nutrient uptake of a single-stem tree of *Arabica* coffee in Kenya, the amount returned to the soil by pruning and leaf fall, and removed in an average crop of fruits ($g\ tree^{-1}$)

Element	Uptake (1)	Returned to the soil in prunings and fallen leaves			Removed Whole fruits (4)
		Young 5-year-old tree (2)	Trees over about 10 years of age (3)		
N	98*	26	65	23*	
P	6.1	1.5	3.5	1.7	
K	101	18	50	29	
Ca	36	10	29	2.7	
Wg	10.3	2.6	7.2	2.0	
S†	8.1	1.2	3.9	2.3	
Dry matter	6000	1070	3225	1500	

(1) Estimated from the mean rate of uptake from September 1967 to June 1968 by fruiting and deblossomed trees.

(2) Estimated from the rate of leaf fall from September 1967 to June 1968, plus twice the amount pruned off in December 1967.

(3) Estimated from the rate of increase in branches and leaves from September 1967 to June 1968, and assuming that the weight of leaves and bearing wood on mature trees is maintained approximately constant from year to year by pruning and leaf fall.

(4) Equivalent to a yield of about $1100\ kg\ ha^{-1}$ (9 cwt acre⁻¹) of clean sun-dried beans from 1500 trees ha^{-1} , the average for commercial estates in the Ruiru area.

* Probably underestimates (see p. 215).

† Estimated using percentage composition data from Malavolta *et al.* (1962), Muller (1966) and Arzolla *et al.* (1965).

PRODUCCION DE CAFE CEREZA EN KILOGRAMOS
POR ARBOL [■]

Intensidades de luz en %:	Cosecha	Niveles de nitrógeno			Pro- medio
		N ₀	N ₁	N ₂	
100	1959-60	1,378	1,694	1,653	1,575
	1960-61	3,542	4,744	5,613	4,633
75	1959-60	0,857	1,098	0,882	0,946
	1960-61	2,413	4,271	4,584	3,756
50	1959-60	0,737	1,168	0,690	0,865
	1960-61	2,129	3,180	2,426	2,578
Promedio	1959-60	0,991	1,320	1,075	1,129
	1960-61	2,695	4,065	4,208	3,656

■ Cada valor es el promedio de 16 árboles (50,00 m²)

INCREMENTO DEL NUMERO DE NUDOS POR RAMA [■]

Intensidades de luz en %:	Niveles de Nitrógeno			Promedio	Promedio
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₁ y N ₂	N ₀ , N ₁ y N ₂
100	2,88	3,50	4,01	3,75	3,46
75	1,17	2,99	3,28	3,13	2,48
50	1,45	2,69	2,81	2,75	2,32
Promedio	1,83	3,06	3,37	3,21	2,75

■ Cada valor es el incremento promedio de 32 ramas en 16 árboles

LONGITUD PROMEDIO DEL ENTRENUDO
EN CENTIMETROS [■]

Intensidades de luz en %:	Niveles de nitrógeno			Promedio	Promedio
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₁ y N ₂	N ₀ , N ₁ y N ₂
100	3,75	3,43	3,48	3,45	3,55
75	3,99	3,93	3,79	3,86	3,90
50	4,00	3,95	4,14	4,04	4,03
Promedios	3,91	3,77	3,80	3,78	3,83

■ Cada valor es el promedio de 32 ramas en 16 árboles.

Medidas de cafetos al sol y bajo sombra (Promedio de 50 cafetos)

Fecha: Marzo de 1960

	Altura cms.	Diámetro tronco mmis.	No. de cruces	No. de nudos/ rama prima- ria	Longitud ramas primaria cms.	No. de ho- jas/rama primaria	No. frutos o yemas flora- les/rama primaria	No. de ra- mas secun- darias en c/primaria	No. de ho- jas/rama secundaria
Sol	160	39.17 ^{***}	25.10	19.10 ^{***}	66.08	2.84	379.85 ^{***}	5.01 ^{***}	15.68 ^{***}
Sombra	174 ^{***}	34.26	24.84	16.67	68.72	5.00 ^{***}	309.19	3.00	9.76

Fecha: Octubre de 1960

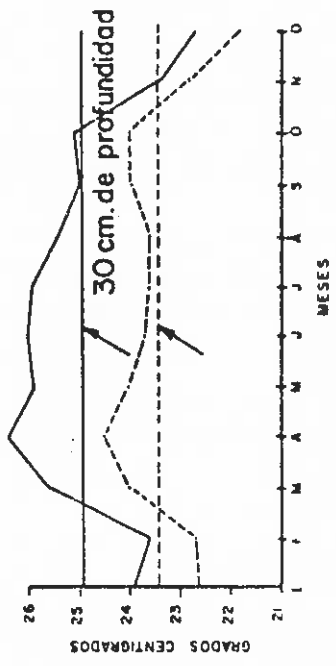
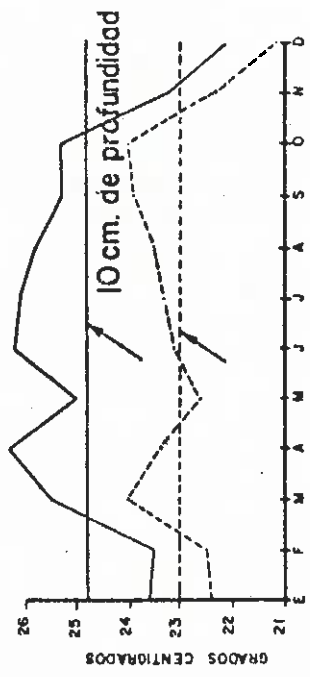
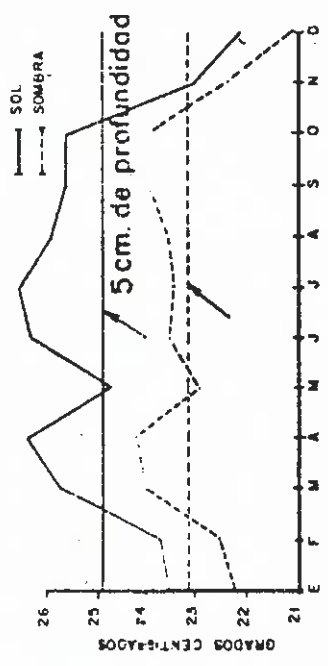
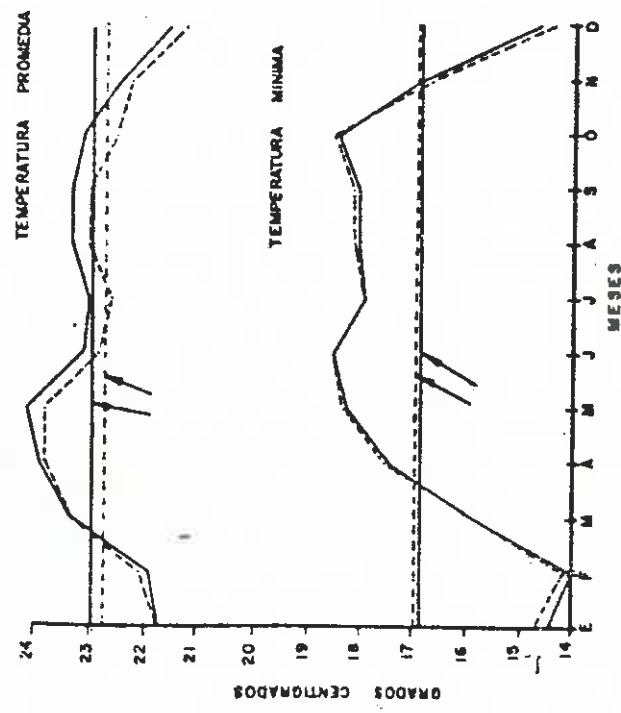
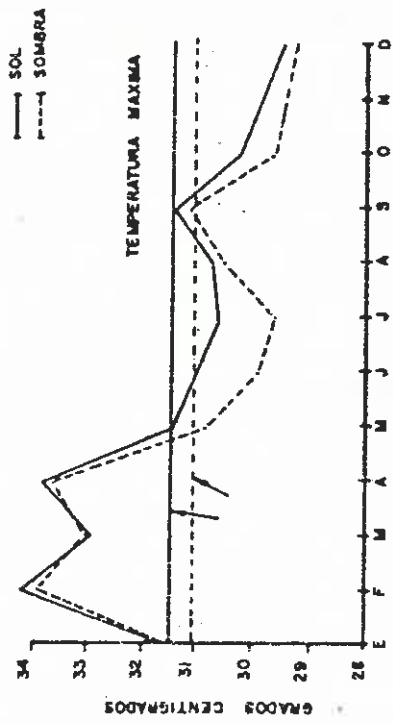
Sol	192	50.60 ^{***}	36.14 ^{***}	27.46 ^{***}	82.72	10.36 ^{***}	79.55 ^{***}	9.70 ^{***}	65.84 ^{***}
Sombra	218 [■]	44.75	34.52	22.37	82.99	8.65	56.99	6.60	39.69

■ - diferencias significativas al nivel del 5% de probabilidades
^{***} - diferencias significativas al nivel del 1% de probabilidades

Porcentaje de humedad del suelo a diferentes profundidades
 en cafetales al sol y bajo sombra [■]

Mes	Profundidad en centímetros					
	0 - 10		10 - 20		30 - 40	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
Oct./59	35.29	41.43 $\phi\phi$	35.10	39.76 $\phi\phi$	35.19	40.79 $\phi\phi$
Nov.	28.99	33.22 $\phi\phi$	29.44	34.04 $\phi\phi$	31.73	36.45 $\phi\phi$
Dic.	23.13	27.41 $\phi\phi$	25.27	29.20 $\phi\phi$	27.89	31.85 $\phi\phi$
Enero/60	16.96	18.63 $\phi\phi$	21.44	22.67 ϕ	26.48	26.60
Febrero	13.86	15.98 $\phi\phi$	19.07	21.31 $\phi\phi$	23.46	23.82
Marzo	12.91	14.57 ϕ	18.01	19.44	22.03	23.67 ϕ

ϕ = Diferencia significativa al nivel del 5%
 $\phi\phi$ = Diferencia significativa al nivel del 1%



SUAREZ DE CASTRO ET AL; Café. 3:81-102. 1961

QUADRO 1. — Variação das porcentagens de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio durante a formação do fruto do cafeeiro.

Estágio de maturação	Matéria seca	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	%	%	%	%	%	%
1. Flor	15,0	3,76	0,63	3,93	0,77	0,80
2. Verde «chumbinho» (90 dias)	15,5	1,75	0,33	3,27	0,35	0,40
3. Verde aquoso (120 dias) ..	23,8	1,80	0,23	2,51	0,34	0,45
4. Verde sólido (150 dias) ...	31,1	1,75	0,32	2,85	0,36	0,39
5. Cereja (210 dias)	35,6	1,71	0,29	2,70	0,23	0,11

QUADRO 2. — Quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio absorvidas por 1000 frutos de café em vários estágios de maturação.

Estágio de maturação	Quantidades de N, P e K existentes em 1000 frutos				
	Pêso úmido	Pêso seco	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	g	g	g	g	g
1. Flor	130	19,5	0,73	0,12	0,77
2. Verde «Chumbinho» (90 dias)	680	105,4	1,84	0,35	3,45
3. Verde aquoso (120 dias) ...	755	181,2	3,26	0,42	4,50
4. Verde sólido (150 dias)	840	260,4	4,46	0,85	7,42
5. Cereja (210 dias)	1280	454,4	8,78	1,32	12,27

QUADRO 3. — Acumulação de matéria seca e NPK durante a formação do fruto do cafeeiro.

Material determinado	Porcentagens de substâncias acumuladas relativamente aos totais encontrados no final da maturação		
	Da flor aos 3 meses	4.º e 5.º meses	6.º e 7.º meses
	%	%	%
Matéria seca	23	34	43
• Nitrogênio	21	30	49
Fósforo	26	38	36
Potássio	28	33	39

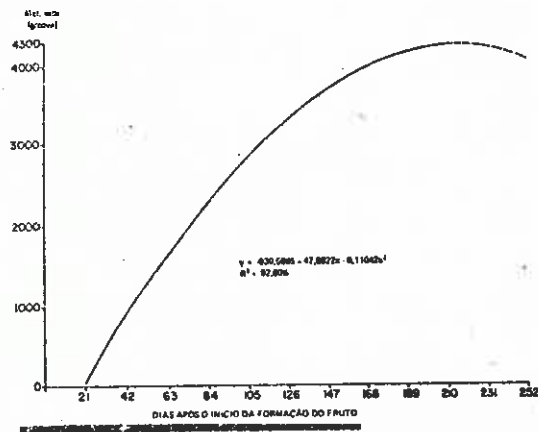


FIG. 1. Curva de regressão da quantidade de matéria seca (y) acumulada pelo fruto do cafeeiro, em função do desenvolvimento (x).

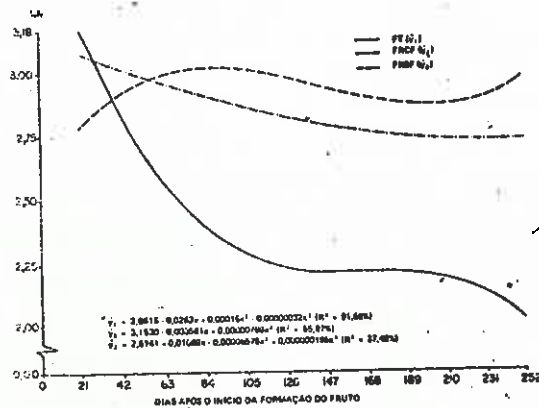


FIG. 2. Curvas de regressão dos teores de nitrogênio (y) em frutos (—), folhas de ramos com frutos (-.-) e folhas de ramos sem frutos (- -), em função da época de amostragem (x).

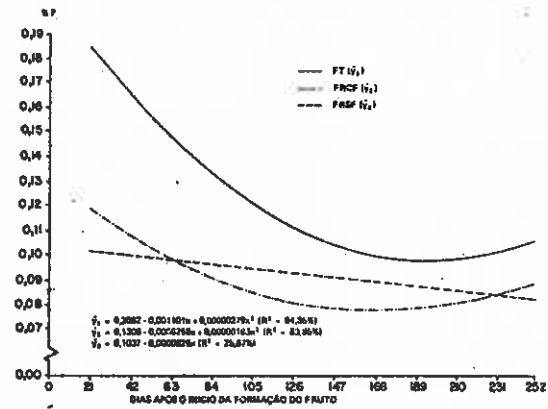


FIG. 3. Curvas de regressão dos teores de fósforo (y) em frutos (—), folhas de ramos com frutos (-.-) e folhas de ramos sem frutos (- -), em função da época de amostragem (x).

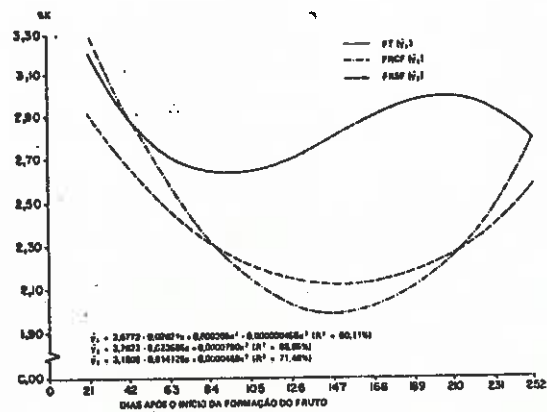


FIG. 4. Curvas de regressão dos teores de potássio (y) em frutos (—), folhas de ramos com frutos (-.-) e folhas de ramos sem frutos (- -), em função da época de amostragem (x).

TABLE 5: Average leaf water potentials (Ψ_s) and resistances (R) during the hot hours of a Summer day in trees at various densities of a "fan".

Arc	Plant Density thousand/ha	(r) (bars)	Ψ_s -1 (cms)
R	2.6	— 16	6.5
P	3.9	— 17	7.5
N	5.8	— 19	7.0
L	8.6	— 20	6.0
J	12.7	— 20	6.5
H	18.8	— 21	11.5
F	27.7	— 24	22.0

Table 4: Some useful parameters measured for the three groups of plants (see text)

Group	Transpiration (mghr leaf)	Chlorophyll Conce. (O.D. at 665 m μ)	Length of Palisade (Micron)	Soil Moisture Content (%)
SEA	0.49	0.91	9.9 \pm 0.59	23.5
P SH	0.46	0.98	5.1 \pm 0.35	23.6
SH	0.35	0.90	3.9 \pm 0.18	23.6

TABLE 6: 100-cherry and 100 bean weight of such samples taken from plants at various densities.

Plant density	2.2	3.6	5.8	8.6	12.7	18.8	27.7	40.9
100-cherry weight	133.7	203.4	189.2	186.2	179.1	157.5	154.8	145.0
100-bean weight	41.0	43.5	39.6	40.6	42.2	36.8	37.0	34.0

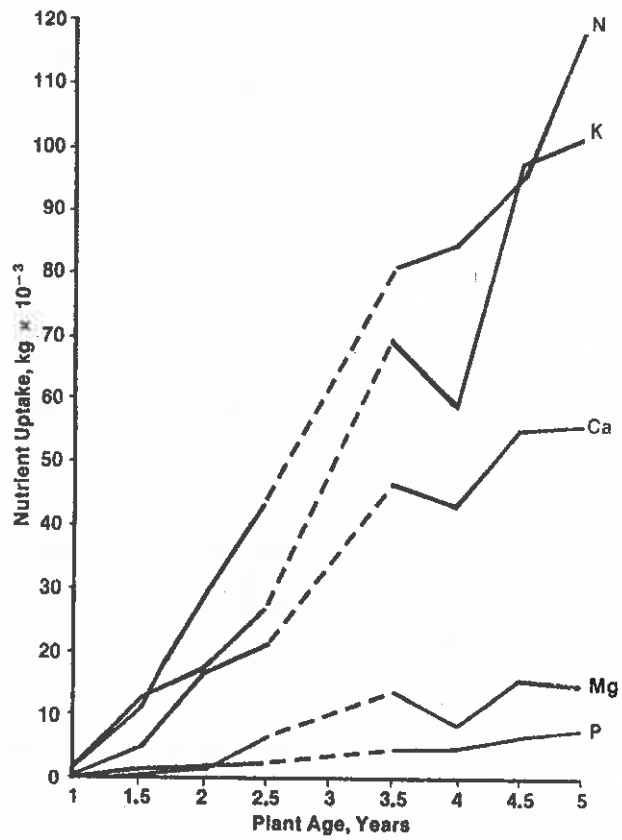


Fig. 41-6. Nutrient uptake by Bourbon Vermelho as a function of age measured in three plants per planting hole. Dotted lines represent missing data (Catani & Moraes, 1958).

CATANI Y MORAES; *Rev. Agric.* 33:45-52. 1958

Cuadro 21. Largo de los frutos de las variedades Pacas y Teki sic observados durante tres periodos de 1978.

Periodos	Duración en días	Largo (cm)			
		Pacas		Tekisic	
		Inicial	Final	Inicial	Final
1	1-37	0.00	0.46	0.00	0.46
2	37-87	0.46	1.46	0.46	1.50
3	87-235	1.46	1.47	1.50	1.52

Cuadro 22. Diámetro de los frutos de las variedades Pacas y Tekisic observados durante tres periodos de 1978.

Periodos	Duración en días	Diámetro de los frutos (cm)			
		Pacas		Tekisic	
		Inicial	Final	Inicial	Final
1	0-37	0.00	0.27	0.00	0.28
2	37-87	0.27	1.04	0.28	1.02
3	87-235	1.04	1.23	1.02	1.27

Cuadro 23. Pesos de los frutos de las variedades Pacas y Tekisic.

Periodos	Duración en días	Pesos de frutos (gr)			
		Pacas		Tekisic	
		Inicial	Final	Inicial	Final
1	0-37	0.0	2.15	0.0	2.17
2	37-87	2.15	72.5	2.17	96.7
3	87-200	92.5	112.3	96.7	127.2
4	200-235	112.3	152.5	127.2	165.2

Cuadro 24. Tasas de crecimiento del fruto de la variedad Pacas.

Periodos	Milésimas de cm diarias		Peso (gr/día)
	Largo	Diámetro	
1	12.4	7.3	0.058
2	20.4	1.75	0.903
3	0.10	1.41	0.455
4			2.234

Table 41-1. Total nutrient uptake by two varieties of coffee trees from planting to age 3.5 yr (Correa et al., 1983).

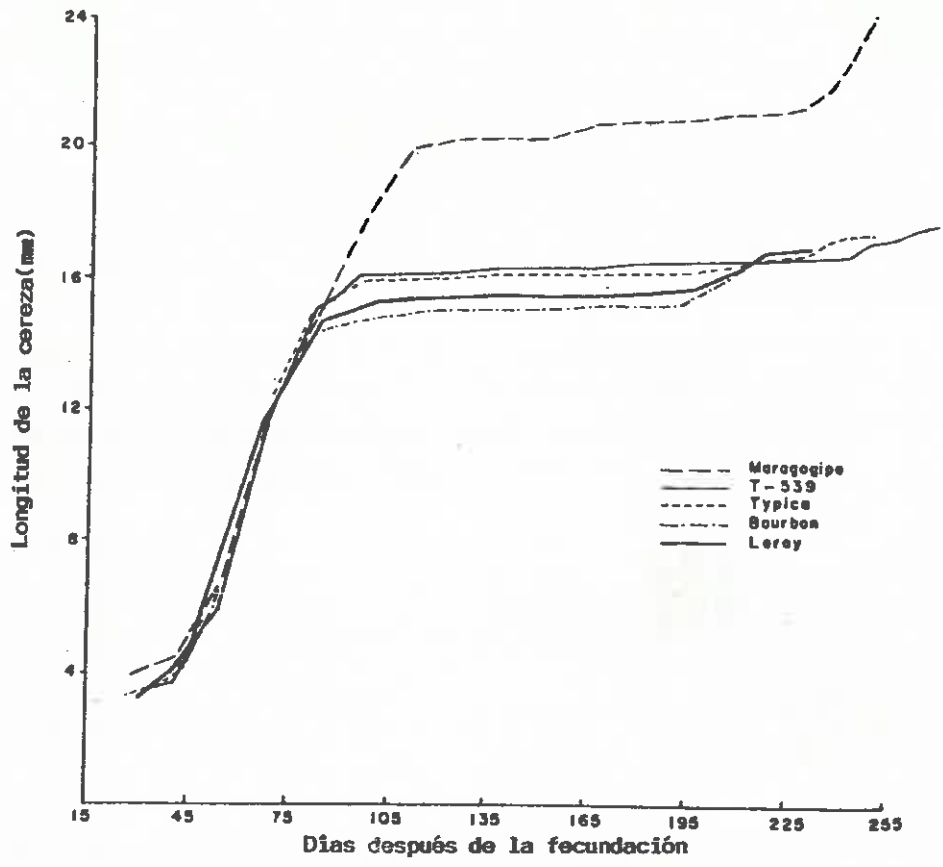
Nutrient element	Age after planting in the field														
	0.5 yr				1.5 yr				2.5 yr				3.5 yr		
	Coffee seedlings at 0.5 yr		Catuai		Mundo Novo		Catuai		Mundo Novo		Catuai		Mundo Novo		Catuai
	total nutrient uptake, kg ha ⁻¹														
N	0.296	0.200	1.250	1.636	37.900	34.387	91.375	63.687	103.956	124.800					
P	0.016	0.014	0.061	0.051	0.704	0.840	2.954	2.255	6.390	6.652					
K	0.213	0.166	0.694	0.772	21.876	20.672	68.097	52.323	97.652	101.388					
Ca	0.100	0.094	0.451	0.449	8.505	11.221	27.221	18.743	26.649	27.534					
Mg	0.021	0.019	0.115	0.122	1.968	2.465	11.468	8.490	9.998	10.345					
S	-	-	0.054	0.049	1.250	1.437	2.950	1.862	3.187	3.800					
Yield†							21.2	18.3	16.2	19.2					

† Bags of clean coffee ha⁻¹ yr⁻¹. Data include the crop yield contribution. Coffee trees were planted 2 by 4 m, giving an approximate planting rate of 1250 coffee trees ha⁻¹, each represented by two trees per planting hole.

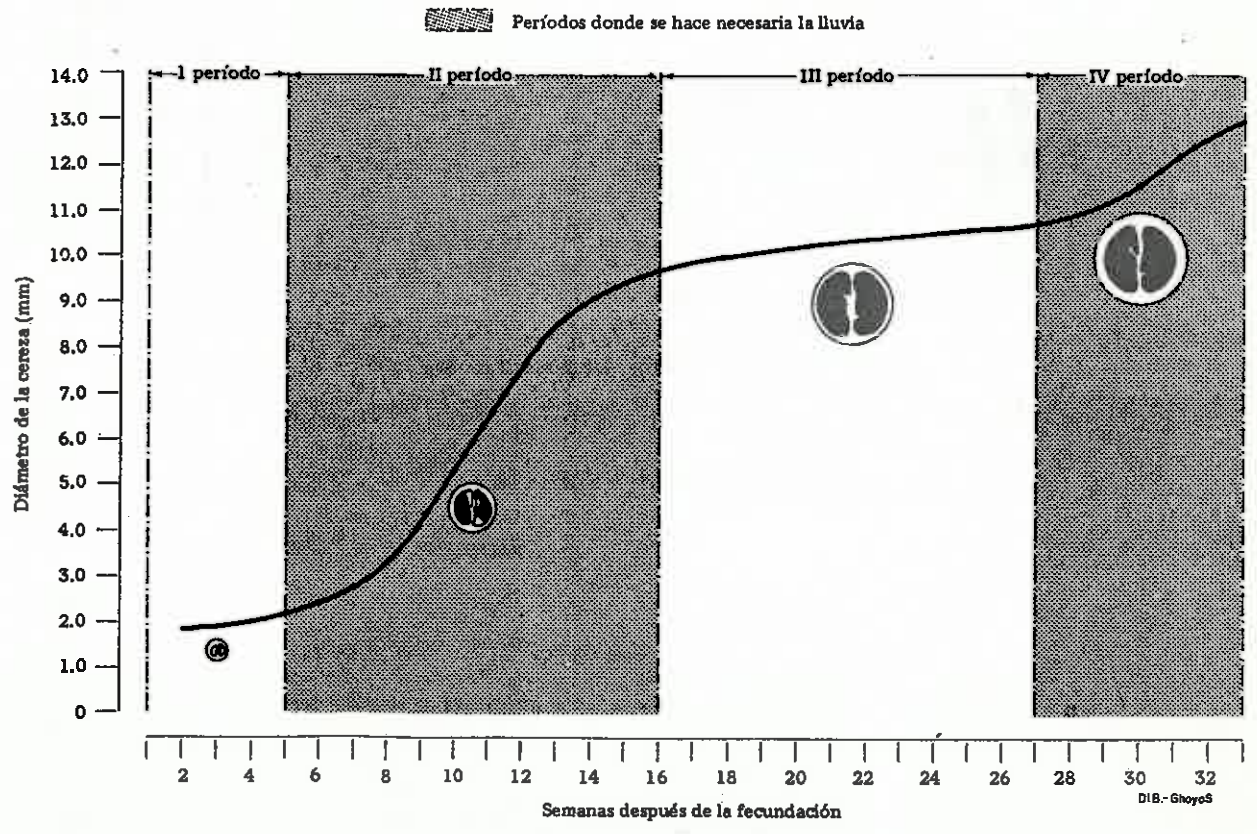
Table 41-2. Total nutrient uptake by two varieties of coffee trees from planting to age 3.5 yr (Correa et al., 1983).

Nutrient element	Age after planting in the field														
	0.5 yr				1.5 yr				2.5 yr				3.5 yr		
	Coffee seedlings at 0.5 yr		Catuai		Mundo Novo		Catuai		Mundo Novo		Catuai		Mundo Novo		Catuai
	total nutrient uptake, kg ha ⁻¹														
B	2.89 × 10 ⁻⁴	2.39 × 10 ⁻⁴	8.21 × 10 ⁻⁴	7.40 × 10 ⁻⁴	4.34 × 10 ⁻³	3.93 × 10 ⁻³	1.32 × 10 ⁻¹	1.07 × 10 ⁻¹	7.04 × 10 ⁻³	1.07 × 10 ⁻¹	1.07 × 10 ⁻¹				
Cu	3.63 × 10 ⁻³	7.00 × 10 ⁻³	2.74 × 10 ⁻³	1.15 × 10 ⁻³	3.27 × 10 ⁻³	2.46 × 10 ⁻³	1.19 × 10 ⁻¹	1.12 × 10 ⁻¹	1.10 × 10 ⁻¹	1.10 × 10 ⁻¹	1.16 × 10 ⁻¹				
Fe	2.66 × 10 ⁻³	3.06 × 10 ⁻³	1.88 × 10 ⁻³	2.47 × 10 ⁻³	5.89 × 10 ⁻¹	4.77 × 10 ⁻¹	1.81	1.67	1.45	2.19					
Mn	9.84 × 10 ⁻⁴	1.80 × 10 ⁻³	8.14 × 10 ⁻³	8.38 × 10 ⁻³	1.49 × 10 ⁻¹	1.62 × 10 ⁻¹	2.71 × 10 ⁻¹	1.96 × 10 ⁻¹	1.48 × 10 ⁻¹	2.19 × 10 ⁻¹					
Zn	1.14 × 10 ⁻⁴	1.10 × 10 ⁻⁴	2.00 × 10 ⁻⁴	4.00 × 10 ⁻⁴	3.03 × 10 ⁻³	1.78 × 10 ⁻³	1.78 × 10 ⁻¹	1.53 × 10 ⁻¹	16.2	19.2					
Yield†							21.2	18.3	16.2	19.2					

† Bags of clean coffee ha⁻¹ yr⁻¹. Data include the crop yield contribution. Coffee trees were planted at 2 by 4 m, giving an approximate planting rate of 1250 coffee trees ha⁻¹, each represented by two trees per planting hole.

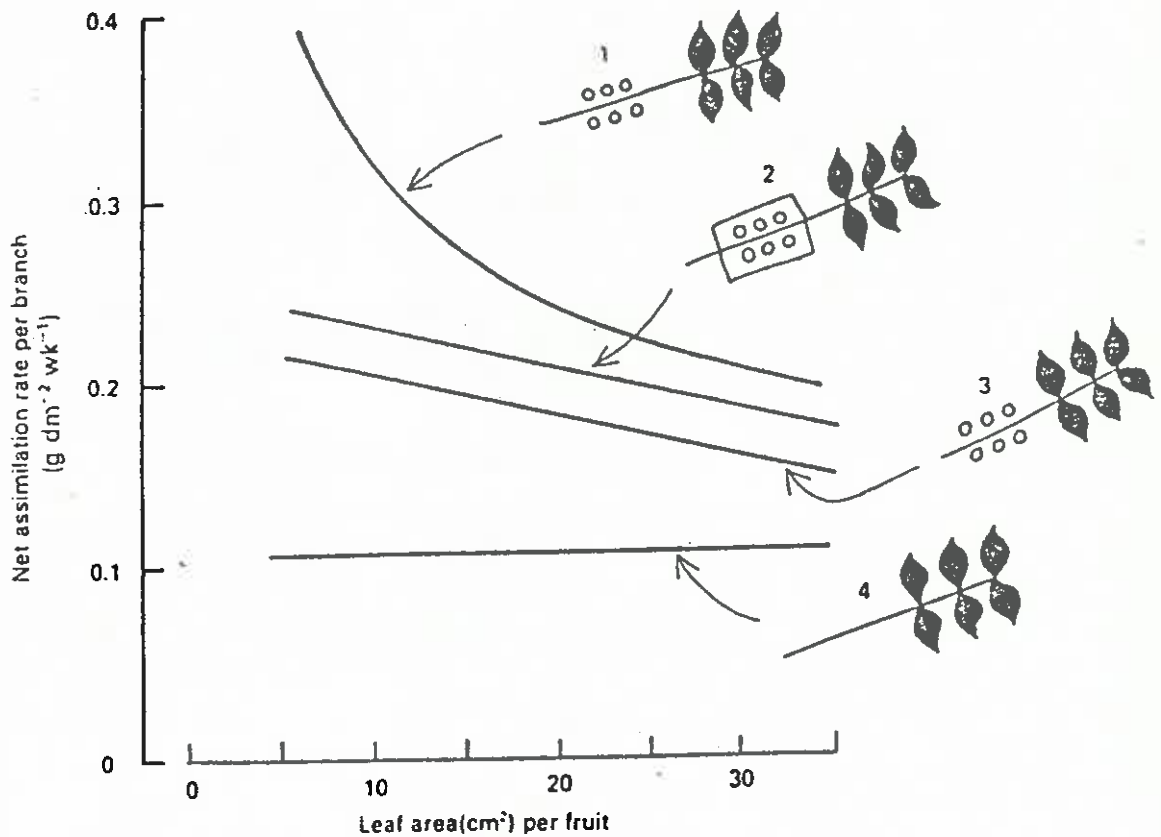


LEON Y FOURNIER, Turrialba. 12:65-74. 1962



SUAREZ. Avances Técnicos. Cenicafé. No. 89. 1979

Figure 5.8: Coffee Fruit Photosynthesis and Sink Effect. The net assimilation rate (E_a) of attached branches, ring-barked at the base, as a function of their leaf/fruit ratio. 1. E_a of fruiting branches calculated as g dm^{-2} leaf area wk^{-1} . 2. E_a calculated as g dm^{-2} leaf area week^{-1} of fruiting branches on which fruits were kept in the dark, in opaque, cooled, ventilated, cloth sleeves. 3. As for 1, except E_a is calculated as g dm^{-2} of leaf plus fruit surface area week^{-1} . 4. E_a of branches with fruits removed. There were 60 replicate branches per treatment, and E_a was recorded over an 88-day period. Taken from Cannell (1971a).



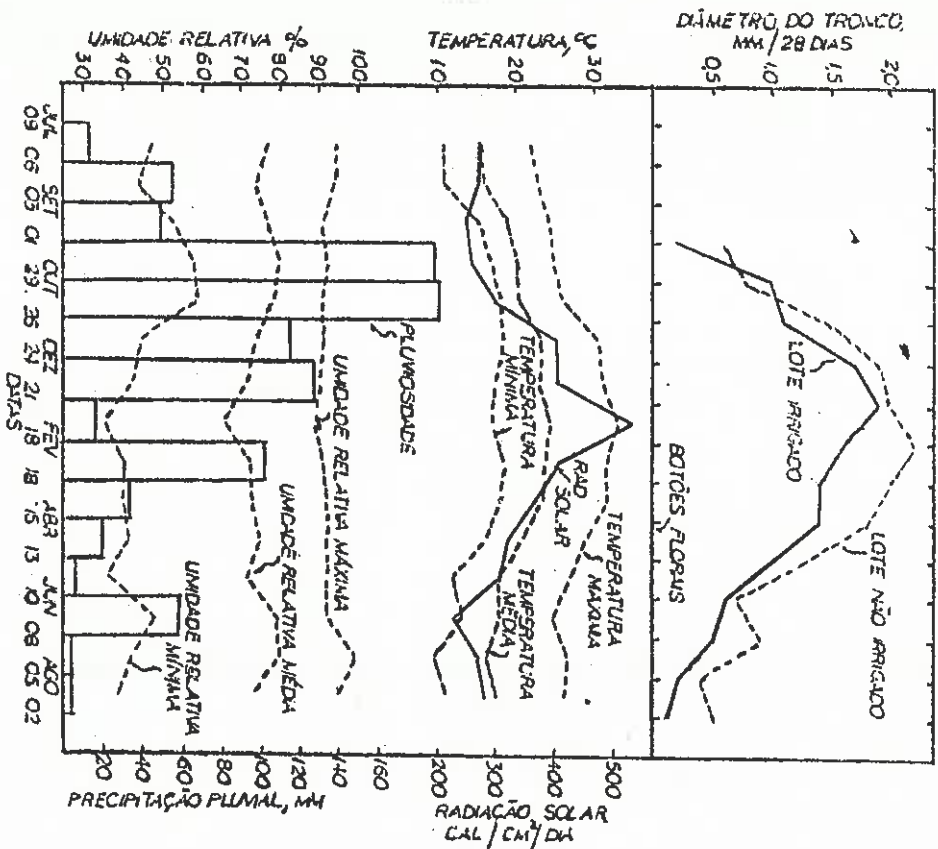


Fig. 1.—Dados climáticos de Vigosa, de julho de 1970 a agosto de 1971 e respectivas taxas de crescimento do tronco do café (média de 12 troncos por lote).

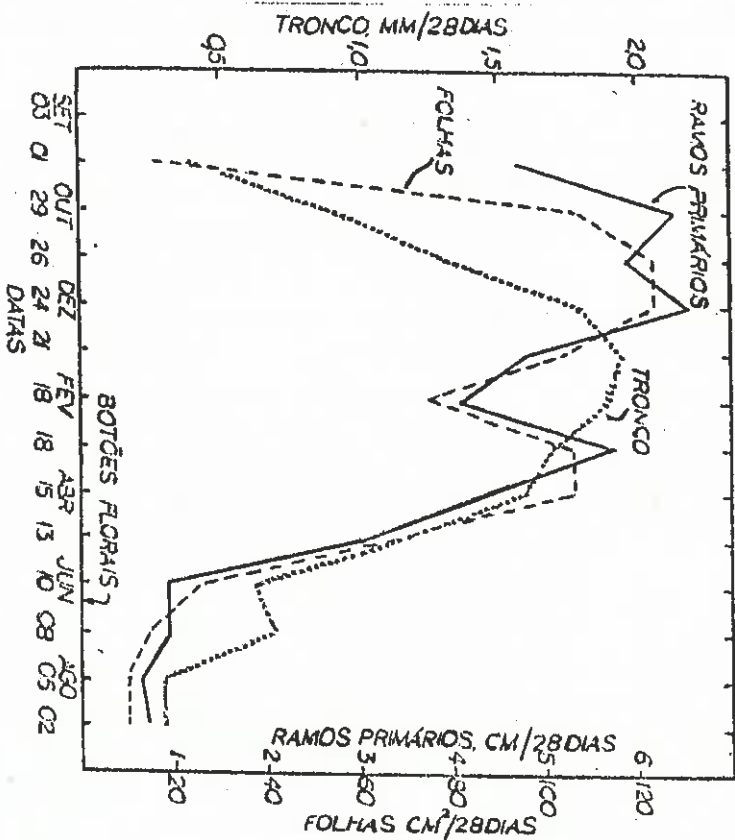


Fig. 2.—Taxas de crescimento do tronco do café (média de 24 troncos) comparadas a taxas de crescimento dos ramos primários e da área foliar surgida sobre os últimos (média de 49 ramos).

Cuadro 5.7. Contenido de nutrimentos en 30 fanegas* de café en cereza (*C. arabica*) [20]

Elemento	Cantidad (kg)
N	43.33
P ₂ O ₅	8.36
K ₂ O	48.07
CaO	11.24
MgO	4.67
S	2.33
Fe ₂ O ₃	0.31
Mn ₂ O ₃	0.030
B ₂ O ₃	0.097

* 1 fanega = 238 kg (café en fruta, maduro)

CARVAJAL; Cafeto, cultivo y fertilización. 1984

Table 41-5. Chemical composition of harvested ripe coffee beans (*C. arabica* L.) (Carvajal, 1959).†

Fruit	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B
Grain	16.7	1.3	11.7	2.5	1.2	0.8	81	8	10
Pulp	15.6	1.6	24.3	4.5	0.7	1.1	89	8	17

† For specific data regarding Catuai, Mundo Novo, and Catimor, see Garcia (1980).

Quadro 1.—Macro e micronutrientes no café. (Médias de três variedades, três locais).

Elemento	Grão	Casca	Gramas por	
			60 kg grãos	30 kg casca
	%	%		
Nitrogênio (N)	1.71	1.78	996	525
Fósforo (P)	0.10	0.14	66	42
Potássio (K)	1.53	3.75	918	1.123
Cálcio (Ca)	0.27	0.41	168	126
Magnésio (Mg)	0.15	0.13	96	36
Enxôfre (S)	0.12	0.15	78	48
	p.p.m.	p.p.m.		
Boro (B)	16	34	0.96	1.02
Cobre (Cu)	15	18	0.80	0.54
Ferro (Fe)	60	150	3.60	4.50
Manganês (Mn)	20	29	1.20	0.87
Molibdênio (Mo)	0.05	0.07	0.003	0.002
Zinco (Zn)	12	70	0.72	2.10

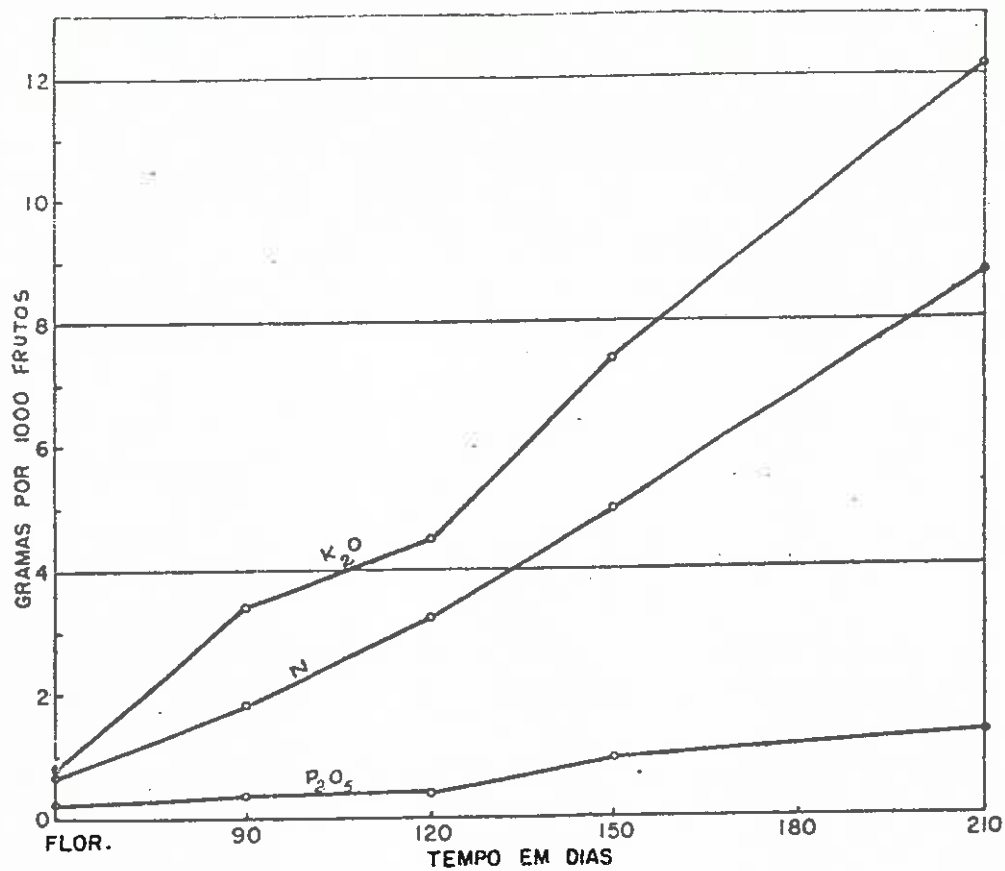


FIGURA 1. — Dosagem de nitrogênio, fósforo e potássio assimilada por 1000 frutos de café, durante sua formação.

PUPO DE MORAES Y CATANI. *Bragantia*. 23:331-336. 1964

TABELA 1. Quantidades (g/cova) de macronutrientes acumuladas pelos frutos do cafeeiro e percentagem do total absorvido durante o desenvolvimento.

Época*	Macronutrientes											
	N		P		K		Ca		Mg		S	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
21	0,55	0,6	0,03	0,7	0,55	0,4	0,12	1,2	0,06	0,7	0,02	0,3
42	24,63	26,4	1,45	33,2	25,42	19,9	4,29	42,1	2,28	25,6	1,23	17,6
63	41,95	44,9	2,42	55,5	44,57	35,0	5,73	56,2	3,44	38,6	2,29	32,8
84	55,05	58,9	3,06	70,2	61,04	47,9	6,22	61,0	4,15	46,5	3,22	46,1
105	65,74	70,4	3,47	79,6	76,36	59,9	6,31	61,9	4,88	54,7	3,73	53,0
126	74,83	80,1	3,74	85,8	90,86	71,3	6,68	65,5	6,01	67,4	4,01	57,0
147	82,43	88,2	3,90	89,4	104,34	81,9	7,80	76,5	7,05	79,0	4,08	58,0
168	88,53	94,8	3,99	91,5	115,66	90,8	8,77	86,0	7,98	89,5	3,99	57,1
189	92,48	99,0	4,08	93,6	123,73	97,1	9,58	94,0	8,75	98,1	4,16	59,6
210	93,42	100,0	4,16	95,4	127,39	100,0	10,19	100,0	8,92	100,0	4,67	66,8
231	90,50		4,27	97,9	124,76		9,30		8,03		5,50	78,7
252	83,12		4,36	100,0	115,62		6,99		6,17		6,99	100,0

* Dias após o início da formação do fruto.

CHAVES Y SARRUGE. *Pesq. Agropec.* 19:427-432. 1984

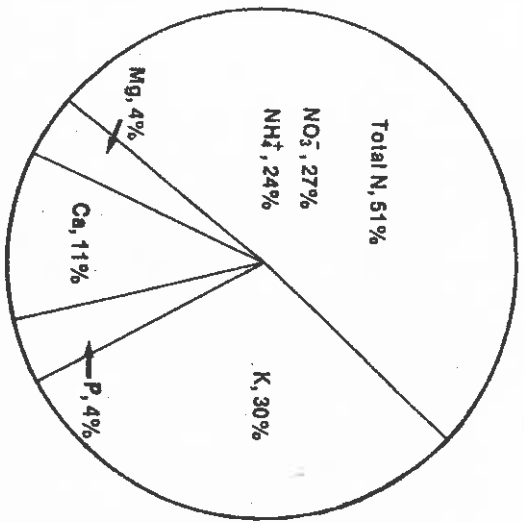


Fig. 41-4. Yearly nutrient uptake by a single 3- to 4-year-old coffee tree via root system growing in nutrient solution (Carvajal et al., 1969).

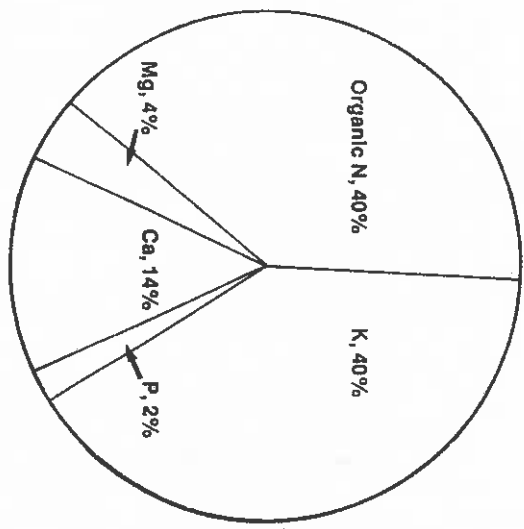


Fig. 41-5. Schematic representation of the approximate yearly absorption by a mature coffee tree in the natural habitat (Channell & Kimenu, 1971).

CARVAJAL ET AL.; Turrialba. 19:13-20. 1969
 CANNELL Y KIMENU; Ann. Appl. Biol. 68:213-230. 1971

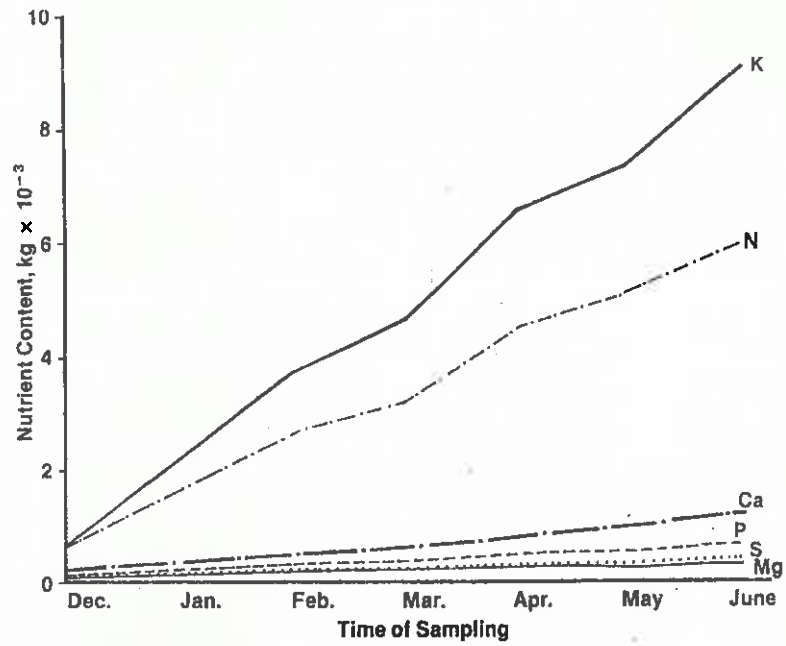


Fig. 41-7. Macronutrient content in 1000 coffee berries during fruit enlargement (Catani et al., 1967).

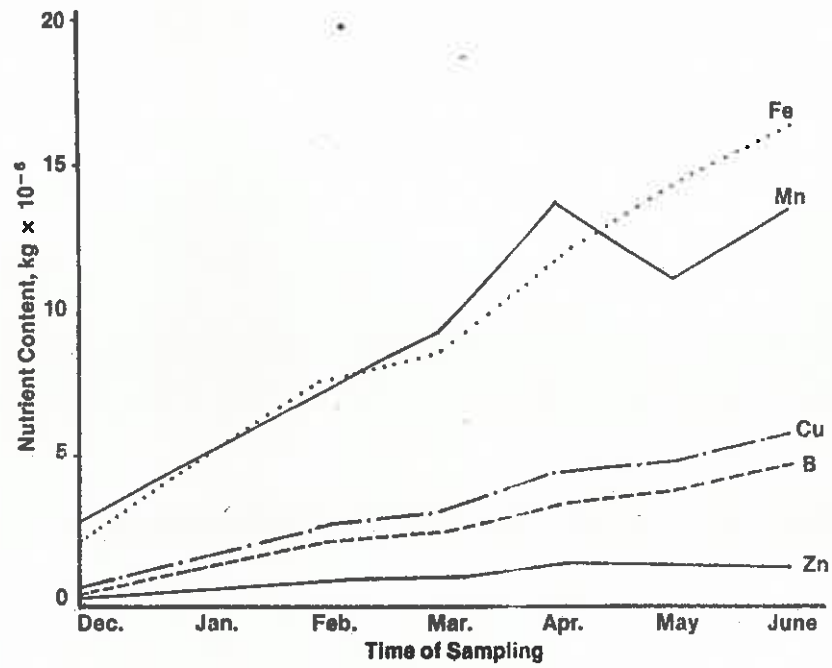


Fig. 41-8. Micronutrient content in 1000 coffee berries during fruit enlargement (Catani et al., 1967).

ZONIFICACION CAFETALERA DE COSTA RICA

Cleves, S. R. 1975

TIPOS DE CAFE	SUB-TIPO DE CAFE	ALTITUD (m)	PRECIPITACION (mm) TOTAL DIAS		TEMP. MEDIA ANUAL (oc)
STRICTLY HARD BEAN (S.H.B.)	A) S.H.B. NORTE	1200-1600	3000	155	19,0
	B) S.H.B. CENTRAL	1200-1650	2250	155	19,0
	C) S.H.B. SUR	1200-1700	2000	155	19,0
GOOD HARD BEAN (G.H.B)		1000-1200	2250	160	21,5
HARD BEAN (H.B)	A) H.B. ZONA ALTA	1000-1200	2750	158	20,5
	B) H.B. ZONA BAJA	800-1000	2000 2600	158	23,0
MEDIUM HARD BEAN (M.H.B)	M.H.B. COTO BRUS	800-1000	3750	200	21,5
HIGH GROW ATLANTIC (H.G.A)	A) H.G.A JIMENEZ	900-1000	2250	210	20,5
	B) H.G.A TURRIALBA NORTE	900-1000	3250	210	20,5
MEDIUM GROW ATLANTIC (M.G.A)	A) M.G.A. TURRIALBA	600-900	3000	245	22,0
	B) M.G.A. CIMARRON	600-900	3750	245	22,0
LOW GROW ATLANTIC (L.G.A)	A) L.G.A. ZONA ALTA	350-600	4000	245	24,5
	B) L.G.A. ZONA BAJA	200-350	4000	245	24,5
PACIFIC (P)		300-1000	2250	145	24,0

TIPOS DE CAFE REGIONES-MADURACION	SUBTIPOS Y ZONAS DE PRODUCCION	CARACTERISTICAS DEL GRANO Y TAZA
<p>STRICTLY HARD BEAN (S.H.B.) Vertiente del Pacifico Estación húmeda y seca bien definida y maduración tardía (ESTRICTAMENTE DE ALTURA)</p>	<p>A. S.H.B. Norte Alajuela y Heredia, Coto Brus, El General. 1200-1600 m.s.n.m. B. S.H.B. Central. Centro Valle Central Moravia, Tres Rios, etc. 1200-1650 m.s.n.m. C. S.H.B. Sur Sur de San José y Cartago Aserri, Dota, Tarrazú, etc. 1200-1700 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Duro físicamente -Fisura cerrada <u>Taza</u> -Alta acidez -Buen cuerpo -Buen aroma</p>
<p>GOOD HARD BEAN (G.H.B.) Vertiente del Pacifico Valle Central Occ. Estación húmeda y seca bien definida maduración tardía (MESETAS SUPERIORES)</p>	<p>Naranjo, Palmares, San Ramón Diferenciándose de otros del Valle Central por su maduración tardía 1000-1200 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Buena dureza <u>Taza</u> -Marcada acidez -Buen cuerpo -Algunos con excelente aroma</p>
<p>HARD BEAN (H.B.) Vertiente del Pacifico Valle Central Occ. Estación húmeda y seca bien definida Maduración media, excepto el subtipo producido en zona lluviosa (MESETAS)</p>	<p>A. H.B. Zona Alta franja inmediata inferior a S.H.B. en San José, Heredia, Alajuela 1000-1200 m.s.n.m. B. H.B. Zona baja o lluviosa Zonas cálidas de Alajuela y otras de maduración temprana: Puriscal, Acosta, Grecia 800-1000 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Duro -Buen cuerpo -Buen aroma -Acidez inferior a las anteriores</p>
<p>MEDIUM HARD BEAN (M.H.B.) Pacifico húmedo (sur) Estación húmeda y seca definida, pero con nivel de precipitación más alta que las anteriores Coto Brus: maduración media El General: Temprana</p>	<p>A. M.H.B. Coto Brus Sabalito a Río Negro y zonas adyacentes 800-1200 m.s.n.m. Campos 2 y 3 Agua Buena, Cañas Gordas, etc, hasta San Vito 800-1200 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Dureza media <u>Taza</u> mediana acidez mediano cuerpo mediano aroma El General tiene un sabor dulce caracte rístico</p>

ESTADÍSTICAS DEL CAFFERO DE COSTA RICA

Claves, S. R. 1975

TIPOS DE CAFE REGIONES-MADURACION	SUBTIPOS Y ZONAS DE PRODUCCION	CARACTERISTICAS DEL GRANO Y TAZA
<p>HIGH GROW ATLANTIC (H.G.A.) Vertiente Atlántica, Valle Central Occ. Estación lluviosa más prolongada que en el Pacífico y estación seca no definida Maduración tardía (ATLANTICOS Re.- ALTURA)</p>	<p>A. H.G.A. Paraiso y Jiménez Palomo, Ujarrás, Cachi, Santiago, Juan Viñas, etc. 900-1200 m.sn.m.</p> <p>B. H.G.A. Turrialba Norte: zona de alta pluviosidad al Norte de Turrialba (Aquiáres) 900-1200 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Duro -Buen Tamaño</p> <p><u>Taza</u> -Menos cuerpo y aroma que tipo Meseta El mejor de los ti- pos Atlántico</p>
<p>MEDIUM GROW ATLANTIC (M.G.A.) Vertiente Atlántica, Valle Central Occ. Estación lluviosa más prolongada que el tipo anterior (ATLANTICO MEDIO)</p>	<p>A. M.G.A. Turrialba Valle del Turrialba y estribaciones montañosas, Sarapiquí 600-900 m.s.n.m.</p> <p>B. M.G.A. CIMARRON: Cimarrón de Peralta con más altos niveles de precipitación 600-900 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Menor dureza -Buen tamaño -fisura algo abierta</p> <p><u>Taza</u> -Condiciones limi- tadas de acidez, cuerpo y aroma -Sabor "Grassy" (Todos los Atlán- tico)</p>
<p>LOW GROW ATLANTIC (L.G.A.) Sub-vertiente Norte y Atlántico, Zona de Alta precipitación, sin de- finición de estaciones Maduración temprana (ATLANTICOS DE BAJURA)</p>	<p>A. L.G.A. Zona Alta: franja inmediata inferior a M.G.A. San Carlos y algunas zonas Atlánticos 350-600 m.s.n.m.</p> <p>B. L.G.A. Baja: San Carlos, Sarapiquí, etc 200-350 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Suave -Fisura abierta</p> <p><u>Taza</u> -Pobre aroma y cuer- El de más baja, calidad del país</p>
<p>PACIFIC (P) Pacífico Seco (Norte) Estación húmeda y Seca muy definidos con un mínimos de días con lluvia verano prolongado Maduración Media (PACIFICOS)</p>	<p>Puntarenas, Guanacaste y Alajuela Cultivo muy disperso que abarca pequeñas zonas de estas tres provincias 300-1000 m.s.n.m.</p>	<p><u>Grano</u> -Duro -Pequeño</p> <p><u>Taza</u> -Semejante H.B. Algunos ricos en cuerpo y aroma</p>

**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

**✓ FERTILIDAD E INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS
Y PLANTAS PARA CAFE**

**Floria ✓ Bertsch
Ana C. Chavarría
Carlos R. Henriquez**

**CURSO IMPARTIDO PARA EL VIII CURSO FUNDAMENTOS DE
CAFICULTURA MODERNA**

TURRIALBA, COSTA RICA

JULIO, 1990

FERTILIDAD E INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS Y PLANTAS PARA CAFE¹

Ing. Agr. Floria Bertsch *
Ing. Agr. Ana C. Chavarría *
Ing. Agr. Carlos R. Henríquez *

. GENERALIDADES

El suelo es un sistema natural, que ocupa un espacio con límites relativamente definidos (concepto de pedón y polipedón), ya que tiene superficie (ancho y largo) y profundidad, ocupando un espacio tridimensional. Está constituido de una mezcla de materiales minerales y orgánicos, aire y agua. Su formación está relacionada a procesos volutivos y dinámicos que derivan del efecto integral del clima y los organismos sobre un material de origen condicionado por el relieve, a través del tiempo.

Junto a la planta y el clima, el suelo forma parte del sistema de producción agrícola y la interacción de ellos, a través del manejo, determina la producción y no las características aisladas de cada uno u otro.

Idealmente se estima que el suelo está compuesto en partes iguales por materiales sólidos y espacio poroso, donde los materiales sólidos son minerales (45%) y una pequeña parte de materiales orgánicos (5%). El espacio poroso lo ocupan el agua y el aire en proporciones variadas. Todo lo anterior define la presencia de tres fases en el suelo (sólida, líquida y gaseosa). La alta diversidad de suelos y su variación a corta distancia es producto de la acción diferencial de uno o más de los cinco factores formadores de suelo (material parental, relieve, clima, organismos, tiempo).

Entre los minerales existe una diversidad de compuestos y su frecuencia es variable, cambiando con la evolución del suelo. En las zonas templadas existe más silicio (muy soluble) y en las tropicales aluminio y hierro (por lavado del silicio). Los materiales orgánicos están en contenidos variables (0-20%) y si poseen más del 30% son suelos orgánicos.

El espacio poroso del suelo es esencial para el desarrollo de plantas, el agua, para fotosíntesis, disolución y transporte de nutrimentos dentro de la planta y para su absorción, transpiración del cultivo e intercambio de gases suelo - atmósfera.

¹ Curso impartido para PROMECAFE, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1-2 agosto, 1990.

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Algunas propiedades fácilmente observables y que brindan información importante sobre el comportamiento de los suelos son:

*** TEXTURA:**

Es la proporción relativa entre los contenidos de arena, limo y arcilla que posee un suelo; la cual se relaciona con la fertilidad potencial de los suelos (su capacidad por retener nutrimentos y con el movimiento y retención de agua).

En términos generales, entre más fina la textura, más pequeños los poros y más superficie cargada, por lo tanto la retención de agua y nutrimentos es mayor.

Sin embargo, no todas las arcillas son iguales, y por ejemplo, las 1:1 (caolinitas) que están presentes en los suelos rojos, se agrupan y forman partículas grandes que drenan como arenas (pseudoarenas) y tienen una capacidad de intercambio muy baja.

Por otro lado, no todos los suelos arenosos son pobres en nutrimentos. Si son rejuvenecidos frecuentemente por los desbordamientos de los ríos y fluctuaciones periódicas de la tabla de agua que impide un lavado muy severo, los suelos aluviales arenosos y limosos pueden ser muy fértiles.

Otras características relacionadas con la textura y que se modifican de acuerdo a ella son la estructura que influye sobre la permeabilidad, percolación, lixiviación, aireación, penetración radical; plasticidad, cohesividad, pegajosidad, erosión eólica, facilidad de labranza, y el intercambio iónico, entre otras (Cuadro I.1)

Cuadro I.1 Algunas características relacionadas con la textura

Característica	suelo arenoso	suelo arcilloso
superficie específica	-	+
retención de nutrimentos	-	+
"fertilidad potencial"	-	+
retención de humedad	-	+
permeabilidad	+	-
percolación	+	-
lixiviación	+	-
aireación	+	-
penetración radical	+	-
facilidad de labranza	+	-
platicidad	-	+
cohesividad	-	+
erosión eólica	-	+

*** ESTRUCTURA:**

Es una propiedad muy útil de poderla distinguir claramente, pues está asociada con el espacio poroso existente y la organización que

Los materiales sólidos tienen en el suelo (definida por la densidad aparente y la superficie específica), por lo tanto, habla mucho del comportamiento del agua y de condiciones generales del suelo. Sin embargo, no resulta una característica fácil de visualizar debido a que, en general los muestreos se hacen con barreno y éste comprime el suelo destruyendo la condición estructural natural.

Lo más fácil es la observación de perfiles expuestos como son los cortes de carretera o los lados de los canales de drenaje, donde se encuentran estructuras poco desarrolladas como la masiva, o la de grano simple y saber distinguirlas de estructuras más desarrolladas y estables como la granular y la de bloques, que obviamente favorecerán la entrada y movimiento del agua y del aire.

La estructura define la relación aire/agua de un suelo, la proporción espacio poroso/sólidos y la superficie real activa del suelo. Algunos tipos de estructura son granular, masivo, bloques, migajoso, etc.

* PROFUNDIDAD:

Está definida por la cantidad de centímetros hasta donde sea posible observar suelo formado. Los suelos problemáticos son los delgados o superficiales.

Determina el volumen de suelo contenido y lo que explorarán las raíces de las plantas. No existe una profundidad ideal, lo importante es conocerla y por lo menos tener certeza que supera las exigencias de desarrollo radical del cultivo a sembrar.

Los límites de profundidad de un perfil pueden ser identificados por:

- la presencia de un material rocoso sólido o semitriturado, que corresponde al horizonte C o roca madre.
- el hallazgo de la tabla de agua.

* COLOR:

No es una propiedad definitiva pero indica principalmente las condiciones de aireación de los suelos por los cambios en oxidación-reducción (REDOX) del Fe y Mn. Condiciones anaeróbicas, de mal drenaje, que por lo general, afectan negativamente a los cultivos, dan coloraciones grisáceas porque el Fe presente se reduce. Condiciones de buena aireación, si hay Fe presente, dan coloraciones rojizas y si el suelo permanece hidratado, sin excesos, las tonalidades del Fe son amarillentas.

El moteado gris/rojo en un horizonte del perfil, es una señal clara del nivel en el que fluctúa el nivel freático en esas condiciones porque implica oxidaciones y reducciones alternas.

También las tonalidades rojizas, en general se asocian a suelos viejos, muy desarrollados y por lo tanto ácidos y pobres, aunque esto no es estricto como sucede en algunos Alfisoles.

La materia orgánica casi siempre da coloraciones oscuras y es

muy claro observar la profundidad a que llega ésta en el perfil, sin embargo, la ausencia de color no implica la ausencia de materia orgánica ni se puede generalizar que a más oscuro el suelo más materia orgánica. Hay excepciones, por ejemplo, los Vertisoles.

* CONSISTENCIA:

Esta característica es la que se refiere principalmente a la pegajosidad (capacidad de adherirse a los objetos externos) y a la plasticidad (capacidad de moldearse) de los suelos.

Tiene mucho que ver con la facilidad que presentará el suelo para el uso de maquinaria y se asocia principalmente al tipo de arcilla presente y al contenido de humedad.

Son las arcillas 2:1 (montmorillonita y vermiculita) las que tienen la propiedad de expanderse e incorporar agua entre sus láminas y por lo tanto expresar características pegajosas y plásticas con gran facilidad. En presencia de éstas la movilidad vertical del agua es difícil y la utilización de maquinaria se complica, siendo necesario mayor caballaje y una elección más precisa del momento de labranza.

Las caolinitas (arcillas 1:1) y los sesquióxidos (óxidos e hidróxidos de Fe y Al) dominantes en suelos rojos, aunque pueden llegar a ser moldeables e incluso pegajosos, requieren de mucho más agua y laboreo para expresar estas propiedades. En condiciones naturales estos coloides tienen una consistencia más fácilmente manejable.

pH Y ACIDEZ:

Es importante conocer el tipo de reacción que el suelo presenta, pues de ella dependerán una serie de características del mismo. El pH del suelo ejerce influencia sobre propiedades químicas (disponibilidad de nutrimentos, absorción de elementos, solubilización de compuestos, % saturación de bases, % saturación de acidez y generación de cargas variables), propiedades biológicas (tipo de organismos presentes, nitrificación y amonificación y desarrollo vegetal) y propiedades físicas (estructura: estabilidad de agregados).

La acidez del suelo es causada por la pérdida de bases debido al proceso de lixiviación en el suelo y a la producción de iones ácidos (H, Mn, Al, Fe) que se incorporan a la solución del suelo. Entre las principales fuentes de acidez de los suelos se tienen: 1) La producción de H intercambiables provenientes de exudados radicales, ionización de OH terminales en arcillas, M.O. por ionización de OH terminales y por la aplicación intensiva de fertilizantes (principalmente nitrogenados) y 2) La presencia de Al intercambiable.

Las principales razones de la baja fertilidad de los suelos ácidos de regiones tropicales son:

- * Toxicidad de aluminio: > 60% de saturación de Al que correlaciona con > 1 µg/ml de Al en la solución del suelo, provocan daño radical y disminución en la absorción de Ca y P.
- * Deficiencias de Ca y Mg.
- * Toxicidad de manganeso.

Al mismo tiempo, bajo condiciones de acidez, se favorece la fijación del fósforo, por cuanto ocurre precipitación con el Fe y Al intercambiable; se presenta también reacción con óxidos e hidróxidos de Fe y Al y adsorción con arcillas silicáticas con carga +, alofana y óxidos de Fe y Al.

DINAMICA DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO:

Cada nutrimento tiene su dinámica particular. El conocimiento cualitativo y la estimación cuantitativa de las fracciones y procesos predominantes en cada caso, es lo que permite su manejo eficiente.

A continuación se resumen las principales características del ciclo de cada nutrimento, con el propósito de brindar un marco adecuado para poder conocer cuales procesos o componentes son más susceptibles de un mejor manejo.

NITROGENO:

Presenta un ciclo complejo, con muchas interacciones internas, entradas y salidas (Figura I.1).

Es el único elemento que se presenta en el suelo en dos formas nutricionales importantes, una catiónica NH_4^+ y otra aniónica, NO_3^- , ambas absorbibles por las plantas, y que se transforman de una a otra mediante el proceso de nitrificación ($\text{NH}_4 + \text{O}_2 = \text{NO}_3 + \text{H}$), que de paso, es una reacción natural, de gran trascendencia en el suelo, pues genera acidez.

Posee una fracción orgánica grande, cuya transformación resulta de gran relevancia en la disponibilidad de este elemento para las plantas. Las tasas de mineralización, amonificación e inmovilización determinan, en parte, las necesidades de abonamiento.

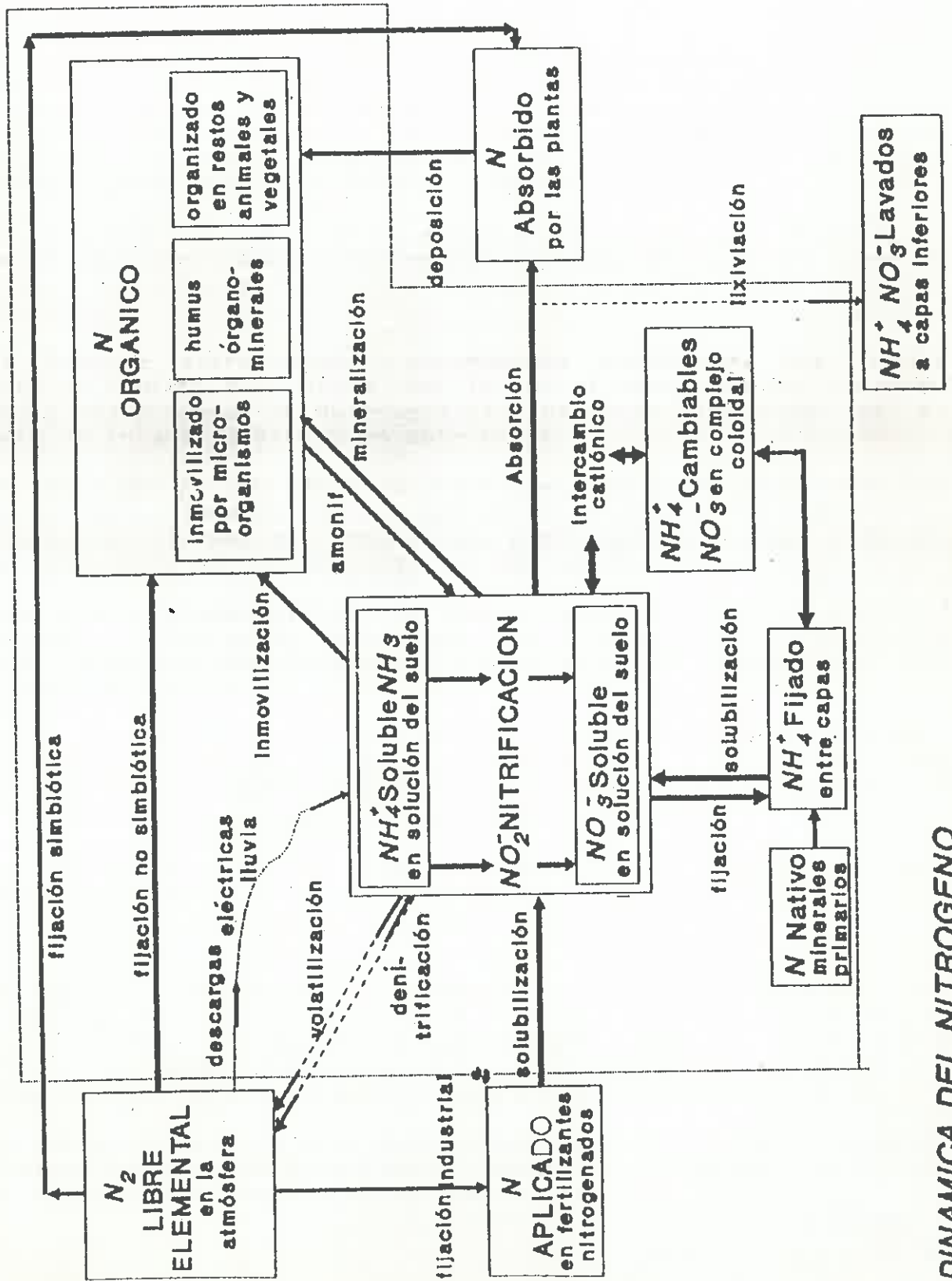
Otra característica importante de este nutrimento es que puede ser fijado por medios simbióticos o no simbióticos a partir de la atmósfera.

En todos los fenómenos anteriormente descritos resulta de fundamental importancia la participación de microorganismos (principalmente bacterias).

El punto débil de este ciclo son sus abundantes salidas, o pérdidas. El nitrógeno se lixivia abundantemente en sus dos formas, como amonio y como nitrato, y vuelve a la atmósfera por volatilización del NH_3 y por desnitrificación del NO_3 . La minimización de las condiciones que favorecen estas pérdidas constituye la principal alternativa de manejo de este ciclo.

Es, junto con el K, el elemento más absorbido por las plantas y juega dentro de éstas un papel estructural a nivel proteico.

En forma práctica, se asume que nunca hay suficiente en el suelo, por lo tanto, siempre se aplica. Sus dosis de aplicación se definen con base en los requerimientos específicos de las plantas y las posibilidades de pérdida del producto aplicado.



DINAMICA DEL NITROGENO

Modificado por Bertsch y Henríquez, 1988

FOSFORO:

Este nutrimento posee el ciclo más estable de todos (Figura I.2).

Está constituido por una fracción inorgánica grande, que presenta diversidad de formas (P-Ca, P-Al, P-Fe, P-ocluídos), con diferente grado de solubilidad.

El principal proceso del ciclo es la fijación. Cualquier producto fosfatado aplicado al suelo tiende a buscar un grado de estabilidad mayor en detrimento de la disponibilidad del elemento hacia la planta. Dificultar la ocurrencia de las reacciones de fijación, o al menos tomarlas muy en cuenta son criterios fundamentales en el manejo de este nutrimento.

La fracción presente en la solución del suelo es pequeña, y mantiene un equilibrio poco dinámico con la fase iónica, pues luego de adsorberse, los aniones fosfóricos tienden a presentar reacciones de precipitación.

El fósforo estructurado orgánicamente representa una fuente importante de fósforo disponible, por lo que el manejo de los factores asociados a los procesos de descomposición de materiales orgánicos es un aspecto de interés práctico en este ciclo.

El ciclo del P, en términos prácticos, se puede considerar que no tiene salidas. Todo el fósforo que entra al suelo, se transforma, generalmente en formas más insolubles, pero permanece ahí, como en reserva, aumentando el factor capacidad del suelo.

Una buena disponibilidad de fósforo depende de una adecuada solubilización. Cualquier mecanismo que disminuya la fijación y favorezca la solubilización conducirá a un mejor aprovechamiento del fósforo por las plantas.

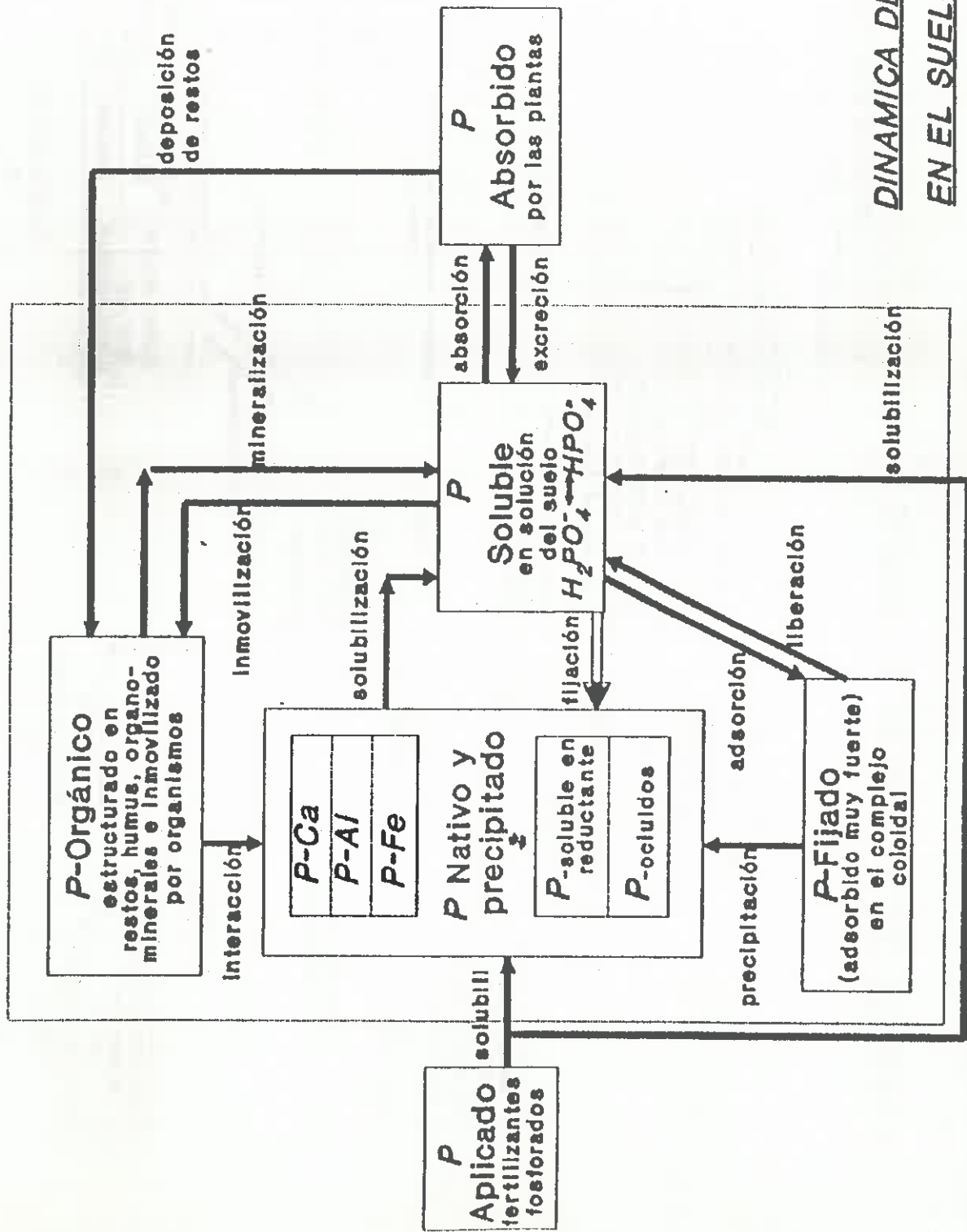
Es un elemento que se acostumbra aplicar en grandes cantidades, sin embargo, si se aplica mucho, es porque se fija en el suelo, no porque las plantas absorban mucho. Los requisitos nutricionales de fósforo de la mayoría de los cultivos son muy bajos.

En Costa Rica, es sin tomar en cuenta el N, el elemento más generalizadamente deficiente y limitante para los cultivos.

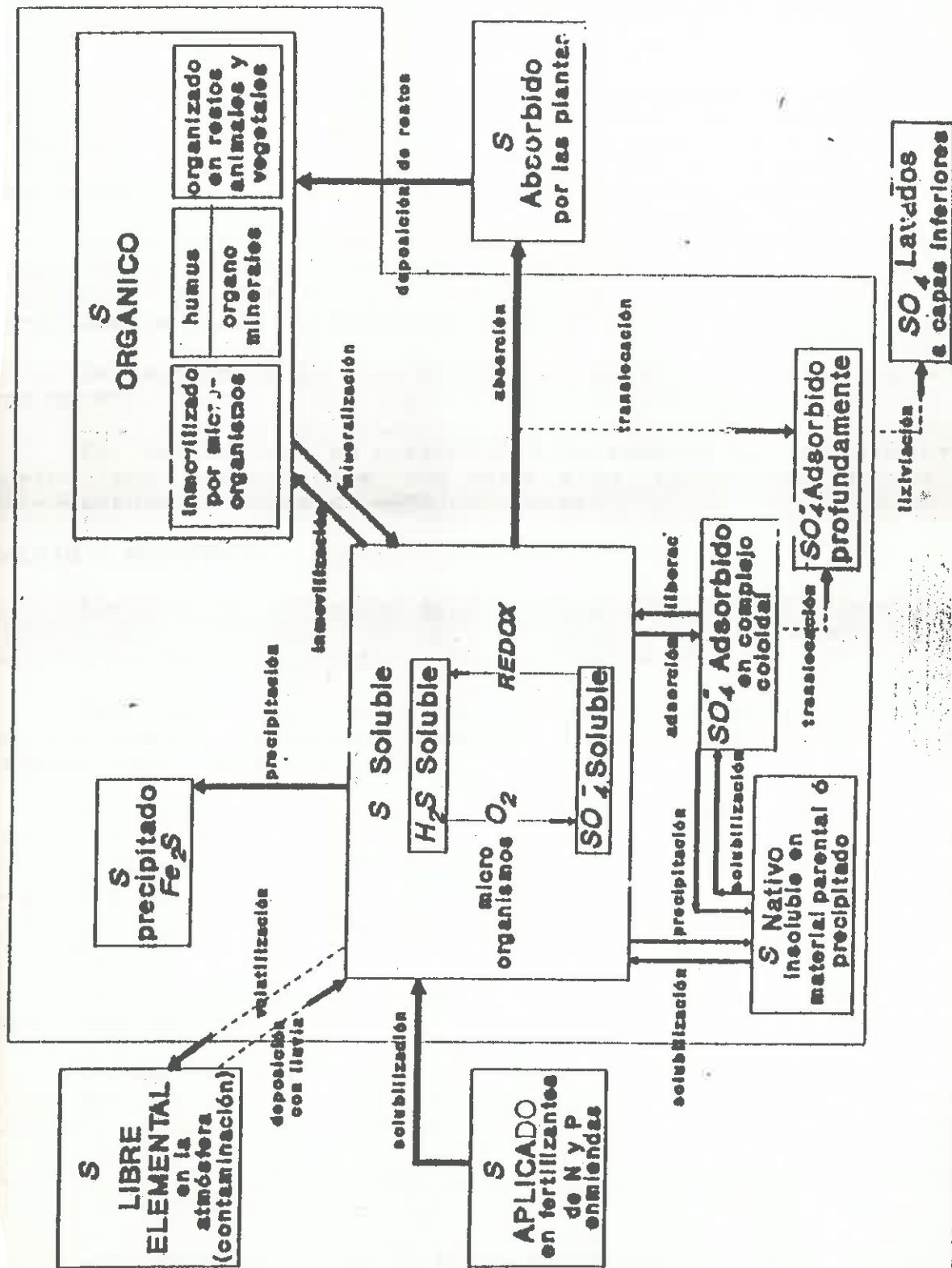
AZUFRE:

El ciclo de este nutrimento puede considerarse de características intermedias entre el N y el P. El SO_4 es un anión más fuerte que el NO_3 pero más débil que el H_2PO_4 , por lo tanto sufre reacciones de fijación pero no tan acentuadas como el P, y se lava y se pierde, pero no en una forma tan severa como el N (Figura I.3).

La retención de este nutrimento puede caracterizarse a través de los modelos típicos de intercambio (adsorción y desadsorción) de aniones, más que como reacciones de precipitación.



DINAMICA DEL P
EN EL SUELO



DINAMICA DEL AZUFRE EN EL SUELO

Modificado por Bertsch y Henríquez, 1988

Por otro lado, en cuanto al lavado, lo que principalmente ocurre es una translocación hacia capas inferiores, en especial, cuando se realizan aplicaciones fuertes de fertilizantes fosfatados al horizonte superficial. Esto ocasiona que algunas veces se presenten deficiencias de S en los primeros estados de desarrollo de las plantas, que poco a poco, conforme el cultivo va explorando un volumen de suelo más profundo, son superadas.

Es más sensible que el N a los cambios REDOX, y mediante acción microbial, sufre transformaciones dentro del suelo. La forma absorbible, SO_4 , se presenta en condiciones de buena aireación. En suelos inundados o reducidos el sulfuro (S) tiende a formar un compuesto insoluble con el Fe denominado pirita (FeS).

La fracción orgánica también juega un papel importante en el suplemento de este nutrimento para las plantas, por lo que las prácticas de manejo que afectan la mineralización, incidirán directamente sobre la disponibilidad de S.

Es absorbido por las plantas en bajas cantidades, similares a las de P.

En Costa Rica se presentan problemas de S, principalmente en suelos muy fertilizados con materiales fosfóricos o con fuentes nitrogenadas carentes de este nutrimento.

CALCIO Y MAGNESIO:

Constituyen junto con el K, los principales cationes o bases de cambio del complejo coloidal, y su abundancia determina en gran medida, la fertilidad natural de los suelos (Figura I.4).

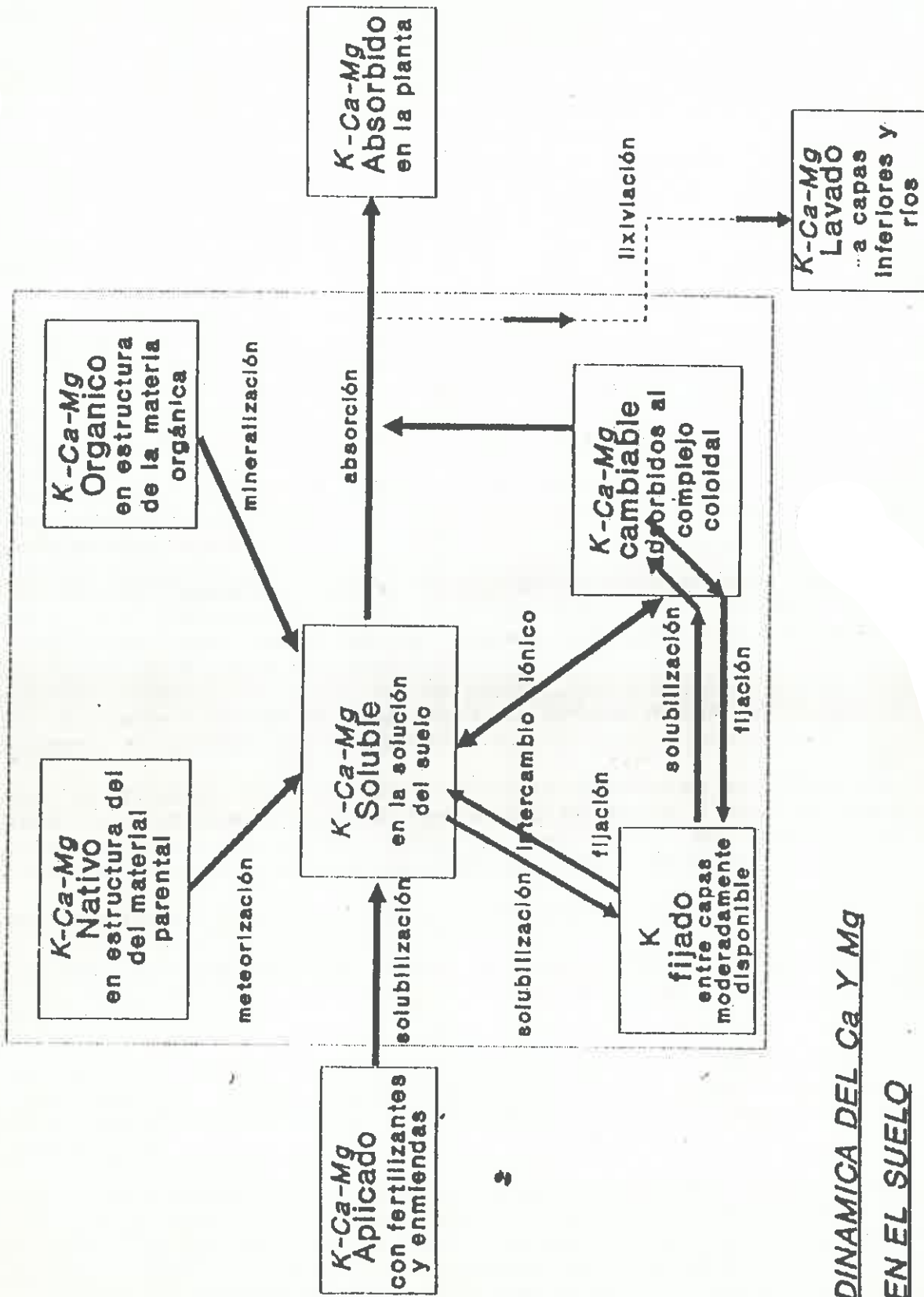
Como ambos son divalentes, tienen un comportamiento muy similar en los suelos, aunque en todas las fracciones el Ca se presenta en mayores cantidades que el Mg.

Su disponibilidad para las plantas está definida por la interacción del complejo coloidal con la solución del suelo, esto es, por el intercambio catiónico. La cantidad de cationes que está adsorbida a los coloides es lo que determina su suplemento a corto plazo. De las otras fuentes, la orgánica ha sido poco estudiada y la descomposición de material parental requiere de largos periodos.

En términos generales, se les considera nutrimentos de comportamiento muy mineral.

Además de la absorción por parte de las plantas, el Ca y el Mg salen del suelo en grandes cantidades por lixiviación. Este fenómeno natural, conduce a la disminución de estos nutrimentos y al incremento de la acidez, por lo tanto la práctica de enmienda para compensar este efecto, el encalado, y las fertilizaciones magnésicas representan el manejo clave de estos ciclos.

Los requerimientos de estos elementos por parte de las plantas son de moderados a bajos.



DINAMICA DEL Ca Y Mg
EN EL SUELO

Modificado por Bertsch y Henriquez, 1988

En Costa Rica se considera que en los suelos agrícolas los problemas por deficiencias de Ca y Mg son más frecuentes que los problemas de excesos de Al.

POTASIO:

En muchos aspectos se comporta muy semejante al Ca y al Mg, e incluso establece una serie de equilibrios antagónicos y sinérgicos entre ellos que intervienen en los procesos de absorción que la planta realice (Figura I.4).

Junto con el N, es el nutrimento que es requerido en mayores cantidades por los cultivos.

Igual que para el Ca y el Mg, el intercambio iónico es un proceso determinante en su disponibilidad, sin embargo, por ser monovalente y de determinado radio iónico puede también encontrarse en otra fracción de disponibilidad moderada que se ubica entre las capas de arcillas 2:1 expandibles del complejo coloidal. Esta fracción de K fijado le confiere al ciclo una dinámica particular, en la cual, al absorberse un ion de la solución del suelo el equilibrio puede restablecerse por medio del intercambio iónico, y éste, a su vez, puede ser repuesto por medio de la solubilización o liberación de un ion fijado entre capas.

En cierta manera, esta fracción moderadamente disponible representa una reserva (o capacidad) adicional del elemento en el suelo que debe ser considerada cuando se pretende manejar la disponibilidad de K para las plantas.

El K puede lavarse en abundancia, aunque puede protegerse de este fenómeno fijándose entre capas.

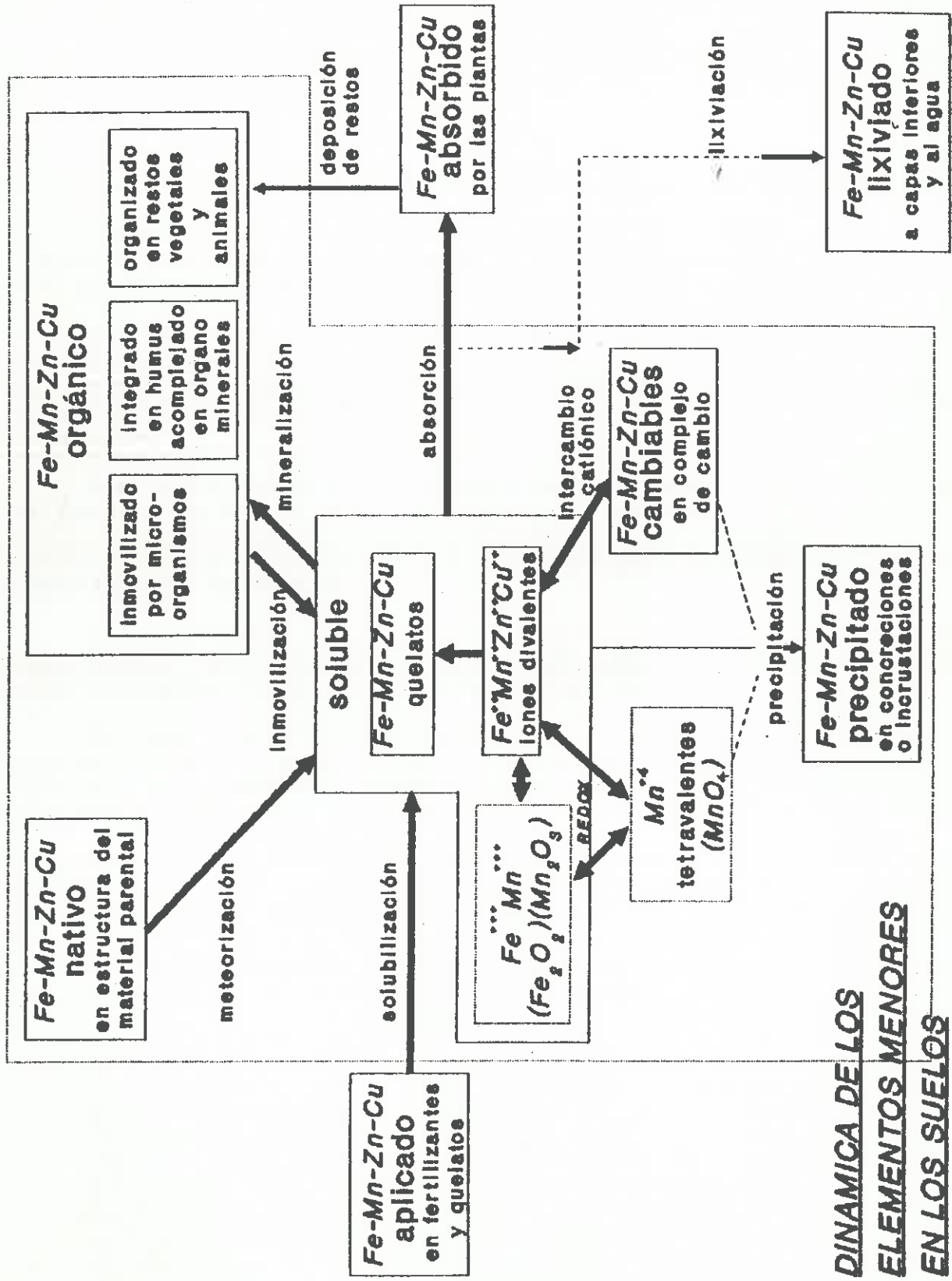
Los problemas de K en Costa Rica se presentan en lugares muy diferentes a los que presentan deficiencias de Ca y Mg, y para su corrección se hace uso de las fórmulas completas, en las cuales le corresponde el tercer número y se expresa como % de K_2O .

ELEMENTOS MENORES:

Existen oligoelementos tanto aniónicos (BO_4 , MoO_4 , Cl) como catiónicos (Mn, Zn, Cu, Fe), que se requieren en muy pocas cantidades (Figura I.5).

Dentro de los catiónicos la fracción soluble está constituida tanto por iones, en estado divalente, como por quelatos, que son compuestos orgánicos solubles que encierran a un ion metálico dentro de su estructura.

Las fracciones que abastecen esta solución del suelo son la orgánica y la nativa. Materiales parentales pobres en algún microelemento originan suelos deficientes; suelos recientemente rejuvenecidos por lo general son capaces de completar los pequeños requerimientos de elementos menores a las plantas. De igual manera, cantidades moderadas de materia orgánica pueden encargarse de complementar las necesidades de oligoelementos.



**DINAMICA DE LOS
ELEMENTOS MENORES
EN LOS SUELOS**

En los micronutrientos catiónicos el intercambio iónico juega un papel fundamental. En los aniones, las reacciones de fijación son más importantes.

Para dos elementos, específicamente Fe y Mn, las reacciones REDOX son muy comunes. El Mn se intercambia en tres estados de oxidación (+2, +3, +4) y el Fe en dos, que ejercen una fuerte influencia sobre la coloración de los suelos.

La lixiviación es un proceso de pérdida importante.

Además de su aplicación al suelo en forma de fertilizante químico o quelatos, es frecuente la utilización del abonamiento foliar para solucionar problemas de elementos menores a corto plazo.

El micronutriente más problemático en Costa Rica, por deficiencia es el B, seguido por el Zn. La deficiencia de Mn no es muy severa pero puede encontrarse en cualquier sitio. La de Fe se localiza principalmente en los suelos básicos de la Península de Guanacaste.

Por toxicidad pueden encontrarse problemas de Cu, en la zona sur del país, y de B en ciertos cultivos muy sensibles.

CLASIFICACION DE SUELOS

El propósito de clasificar los suelos no es ponerles nombres complicados, sino hacer grupos que permitan recordar mejor sus características y por lo tanto facilitar su manejo.

Es más fácil tratar de ubicar un suelo en uno de 11 grupos u órdenes y de ahí deducir sus características generales, para luego hacerlas específicas, que tratar de definir cada suelo como un ente totalmente individual (sistema USDA).

Además, los órdenes pueden acomodarse según su grado de desarrollo y poseen características bien particulares que permiten su, relativamente fácil, identificación.

De los 11 órdenes de la taxonomía de suelos, 9 existen en Costa Rica, pero sólo 6 son los más importantes.

Los órdenes son:	en C. R. existen:	y son importantes:
ENTISOL	ENTISOL	ENTISOL
INCEPTISOL	INCEPTISOL	INCEPTISOL
VERTISOL	VERTISOL	VERTISOL
MOLLISOL	MOLLISOL	
ESPODOSOL	ESPODOSOL	
ALFISOL	ALFISOL	ALFISOL
ULTISOL	ULTISOL	ULTISOL
OXISOL		
ARIDISOL		
HISTOSOL	HISTOSOL	
ANDISOL	ANDISOL	ANDISOL

Una de las ventajas de este sistema de clasificación es la nomenclatura, que aunque utiliza nombres que aparentan ser extraños, resultan mucho más claros y descriptivos que los de otros sistemas. El nombre de cada suelo se forma de partículas que corresponden a cada categoría y que tienen un significado ligado a las características presentes a ese nivel.

Por ejemplo, Typic Tropohumult indica que el suelo pertenece a:

Orden: Ultisol (suelo viejo, rojo, ácido)
Suborden: humult (con contenidos altos de materia orgánica)
Gran grupo: tropohumult (característico del trópico)
Sub grupo: typic (el más común).

Entre las características más importantes de los principales órdenes para Costa Rica, se encuentran:

Andisoles: suelos derivados de cenizas y materiales volcánicos, altos en materia orgánica y de coloración oscura; tienen buenas condiciones físicas, de texturas gruesas o livianas, y buena permeabilidad. Dependiendo del material volcánico, por lo general son bajos en fertilidad, y pH que tienden a ligeramente ácidos; su principal problema es el fósforo el cual puede alcanzar valores de fijación mayores a 90%. La cantidad de cultivos en estos suelos es muy grande; tradicionalmente el cultivo de café ha sido el preferencial, pero también se apuntan caña de azúcar, hortalizas, ornamentales, fresa, flores, frutales, etc.

Inceptisoles: suelos de desarrollo moderado, originados de muy diversas formas, por lo que son en realidad un grupo muy heterogéneo; el grupo más significativo son los originados por depósitos de inundación de ríos. Condiciones físicas y químicas muy variables y dependen del tipo de material del que fueron originados, aunque por lo general son buenas. Entre los cultivos más importantes se encuentran: banano, raíces y tubérculos, cacao, pejíbaye, frutales, etc.

Vertisoles: suelos grises o negros, muy arcillosos e inundables en invierno y grietas en verano, poseen muy malas condiciones físicas y su mecanización tanto en invierno como en verano puede ser muy difícil (predominan arcillas 2:1). Tienen muy buena fertilidad ya que son altos en bases y pH, pero pueden presentarse posibles deficiencias de fósforo y potasio. En Costa Rica, son utilizados principalmente para el cultivo del arroz.

Ultisoles: suelos rojos, muy meteorizados y bien desarrollados. Poseen muy buena estructuración por lo que sus características físicas son excelentes. Son suelos poco fértiles y tienen problemas de acidez (principalmente por Al), por lo que su problema principal es el manejo del encalado y de la fertilización con fósforo. Los principales cultivos son aquellos tolerantes (piña, café), aunque si son bien acondicionados pueden ser utilizados para muchos otros.

Alfisoles: al igual que los Ultisoles, son suelos rojos, con un horizonte argílico, bien desarrollados y con muy buenas características físicas. La diferencia con los anteriores, es que su porcentaje

de saturación de bases tiene que ser mayor a un 35%, y sin evidencias de eluviación de arcillas, por lo que son suelos mucho más fértiles que los anteriores. Los principales cultivos son sorgo, maíz, frutales, forestales, etc..

Entisoles: son los suelos de menor desarrollo, y con evidencia de formación de horizontes casi nula. Por lo general hay afloraciones del material parental las cuales son visibles. La agricultura en estos suelos está muy restringida a la fertilidad del material parental y la posibilidad del manejo agronómico.

II-EVALUACION Y MEJORAMIENTO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS Y EL ESTADO NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS

Cualquier estudio que tenga como objetivo principal, determinar el grado de fertilidad de un suelo, o bien el estado de nutrición actual de cualquier cultivo, está incluido dentro de un sistema de evaluación y mejoramiento de estas características.

En términos generales, se puede decir que para cualquier cultivo bajo cualquier condición, se cumple que la "ecuación de la productividad" es la siguiente:

$$Y = f(\text{SUELO} + \text{CLIMA} + \text{MANEJO} + \text{CULTIVO})$$

en donde:

Y= productividad de cualquier cultivo.

f= función o dependencia

A pesar de que el suelo es uno más de los factores que determinan la productividad de cualquier cultivo, es uno de los más importantes, pues de él depende directamente la nutrición de las plantas. En este factor se incluyen variables de fertilidad, física de suelos, riego y drenajes, topografía, microbiología, génesis y clasificación, etc. (Figura II-1)

Entre los aspectos generales que se deben tomar en cuenta para mejorar la fertilidad de los suelos respecto a un cultivo en especial se tienen:

- a) Tipo de suelo
- b) Concentración actual de los nutrimentos en el suelo.
- c) Dinámica de los elementos en el suelo.
- ch) La necesidad de nutrimentos específica por los cultivos por rendimiento esperado en condiciones específicas.
- d) Valor beneficio-costeo.

La teoría del mínimo o de Liebig, postula que el crecimiento de un ser vivo, está definido por el factor que está en menor cantidad. Para los suelos de Costa Rica, el principal factor limitante después del nitrógeno (el cual es aplicado en forma normativa), se encuentra el P, luego el Ca y Mg, problemas de Al, deficiencias de K, el Zn (facultativamente según el tipo de suelo), el Mn, Fe y por último el Cu (Figura II-2). Como se verá más adelante, al corregir en algunos suelos el problema de la acidez por Aluminio -aunque está en un cuarto factor en orden de prioridades-, se mejoran simultáneamente los dos factores que lo anteceden.

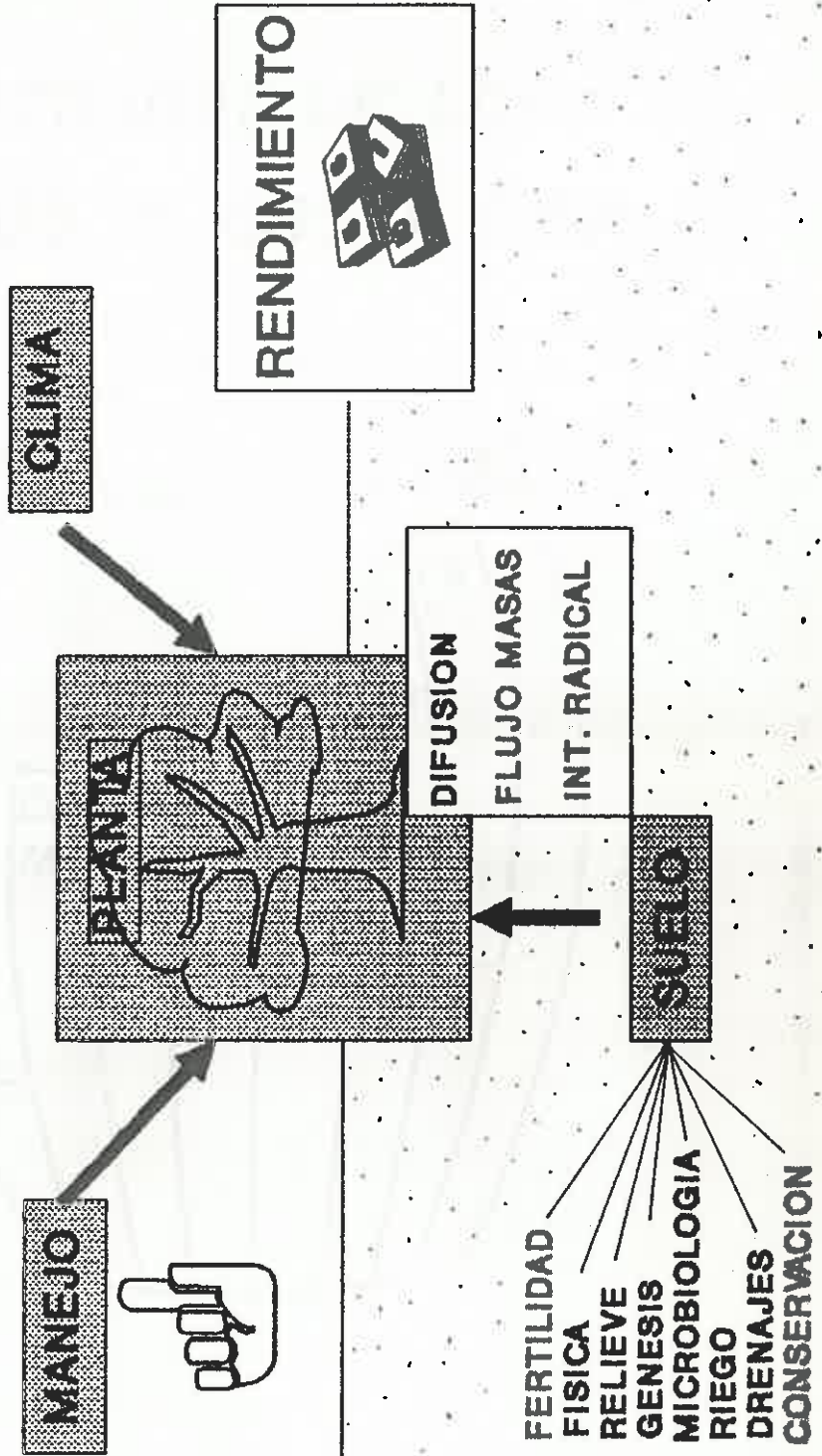
EL SUELO COMO UN MEDIO QUE SUPLE NUTRIMENTOS

Aún con el desarrollo alcanzado en cultivos hidropónicos, el suelo sigue siendo el sustrato más importante, sobre el cual se sustentan los requerimientos de alimentación del mundo.

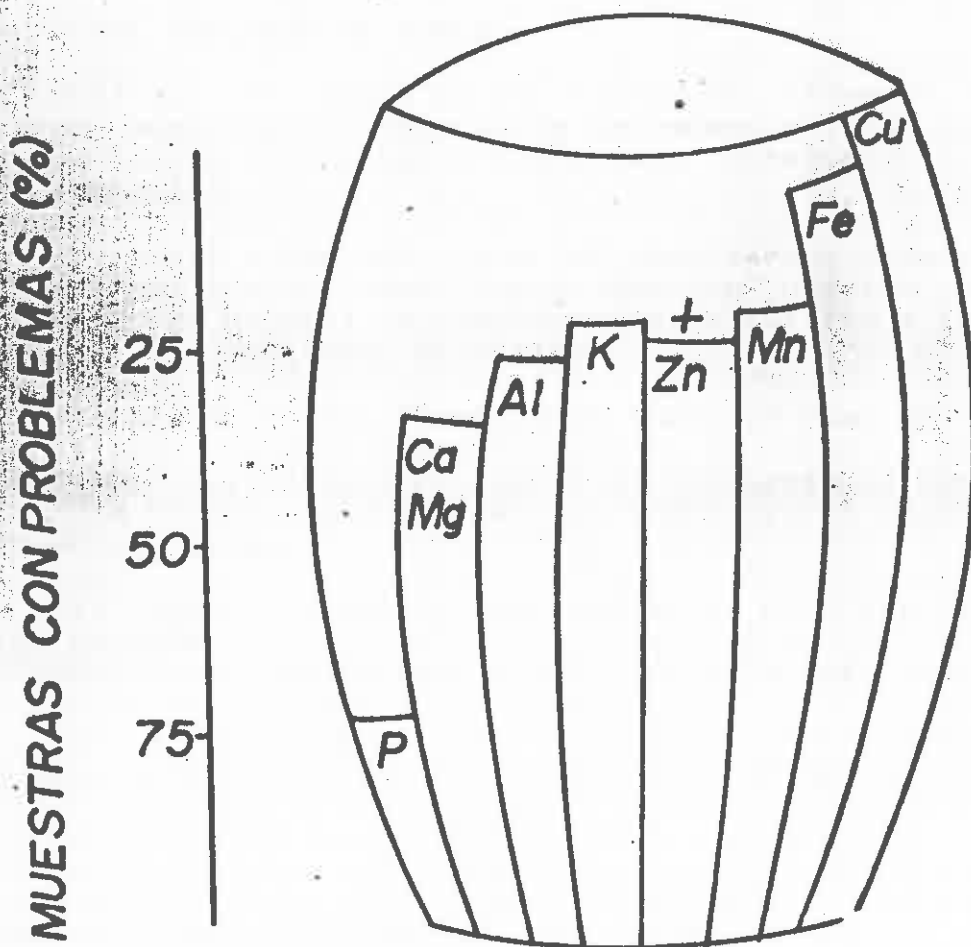
De esta forma se convierte en el medio por el cual los nutrimentos pasan de la solución del suelo hasta la planta; esto ocurre principalmente por tres procesos:

ECUACION DE LA PRODUCTIVIDAD

$$Y = f(\text{SUELO} \cdot \text{CLIMA} \cdot \text{MANEJO} \cdot \text{CULTIVO})$$



FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE COSTA RICA



- 1- Difusión: el paso de solutos a partir de gradientes de concentración en la solución (P, K)
- 2- Flujo de masas: el movimiento de nutrientes juntamente con la absorción de agua (N, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Cu, Fe, B, Mo)
- 3- Intercepción radical: la acción de la raíz que llega a los nutrimentos (Ca, P e indirectamente a todos los otros).

EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO

Cualquier evaluación de la fertilidad de una finca, de una zona, cantón etc., tiene como objetivo básico diagnosticar la fertilidad actual del suelo y las necesidades de nutrimentos por los cultivos con base en datos obtenidos en un análisis de suelo.

IMPORTANCIA DEL ANALISIS DE SUELO

El análisis de suelo es por tanto un elemento básico para conocer los aspectos más limitantes del suelo y para hacer un uso racional de los fertilizantes y enmiendas, obteniendo de esta forma beneficio económico.

Es de vital importancia que los resultados obtenidos en los laboratorios de suelos, sean comparados con niveles críticos que indiquen en forma precisa la respuesta de un cultivo a la aplicación de fertilizantes y enmiendas al suelo.

La interpretación del análisis de suelo se basa en una tabla de niveles críticos, la cual tiene fundamento en estudios de **CORRELACION** y **CALIBRACION**; estos toman en cuenta la respuesta de los cultivos a diferentes cantidades de cualquier nutrimento en el suelo y fijan un valor óptimo ó crítico.

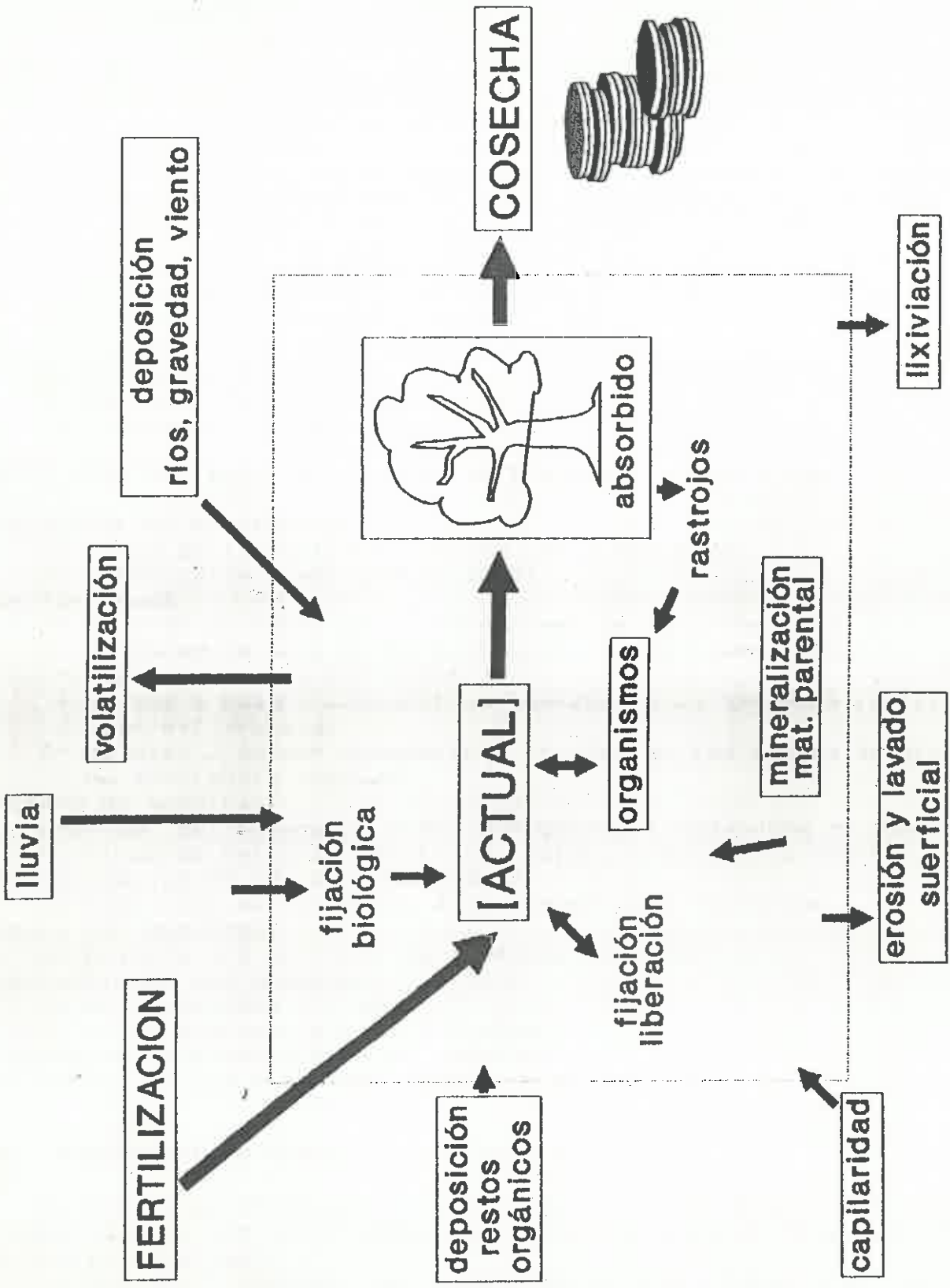
De esta forma un análisis bien calibrado para las condiciones de Costa Rica permite:

- 1- Identificar el estado de suficiencia ó deficiencia de uno o varios nutrimentos en el suelo.
- 2- Cuantificar en forma aproximada las cantidades necesarias para solventar tales deficiencias (si existen).

Sin embargo, se debe tomar en cuenta, que el valor determinado en el laboratorio, es una concentración actual del elemento en el suelo, y que ésta puede estar siendo modificada en una forma dinámica por muchos factores dentro del sistema (Figura II-3)

Las fases a seguir para una evaluación de la fertilidad del suelo son:

- 1- Muestreo
- 2- Análisis de las muestras en el laboratorio
 - a) métodos de extracción adecuados
 - b) calibración y correlación de los análisis
- 3- Interpretación de los resultados
- 4- Recomendación agronómica
- 5- Transferencia de tecnología



Principales factores que afectan la concentración actual de los elementos en el suelo (Henríquez, 1990).

1- Muestreo de suelos

Corresponde a uno de los factores más importantes pero al que menos se le presta atención. Se debe tomar en cuenta que la muestra que se lleva al laboratorio está representando hasta una billonésima parte del volumen total muestreado -5 g utilizados en el laboratorio para 2.5 ha a una profundidad de 20 cm por ejemplo-; de esta forma el muestreo puede convertirse en la principal fuente de error de los resultados obtenidos si no se hace adecuadamente. Entre los factores a tomar en cuenta en un muestreo de suelos son:

- 1- Localización del muestreo
- 2- Profundidad del muestreo
- 3- Número de submuestra por muestra
- 4- Número de muestras por finca
- 5- Tamaño máximo de un área homogénea
- 6- Época del muestreo
- 7- Periodicidad del muestreo
- 8- Tamaño de la muestra para enviar al laboratorio

Para el caso del cultivo del café se tiene por ejemplo que:

- a) localizar el muestreo en:
 - 1- banda de fertilización (cada uno ó dos años)
 - 2- entre calle (cada cuatro años)
- b) profundidad:
 - 1- de 0-20 cm tanto en la banda como en la entrecalle
 - 2- de 20-60 cm solo en la entrecalle (cada cuatro años)
- c) número de submuestras por muestra:
 - 1- de dos a cuatro submuestras tomadas en la banda de fertilización del arbusto.
 - 2- de diez a quince submuestras tomadas en las bandas de plantas de apariencia similar.
- d) número de muestras:

depende del número de áreas homogéneas y basándose en características de textura, pendiente, color, crecimiento vegetal, etc.
- e) tamaño máximo de una área homogénea
se toma como máximo de un área homogénea 5 hectáreas.
- f) época del muestreo:

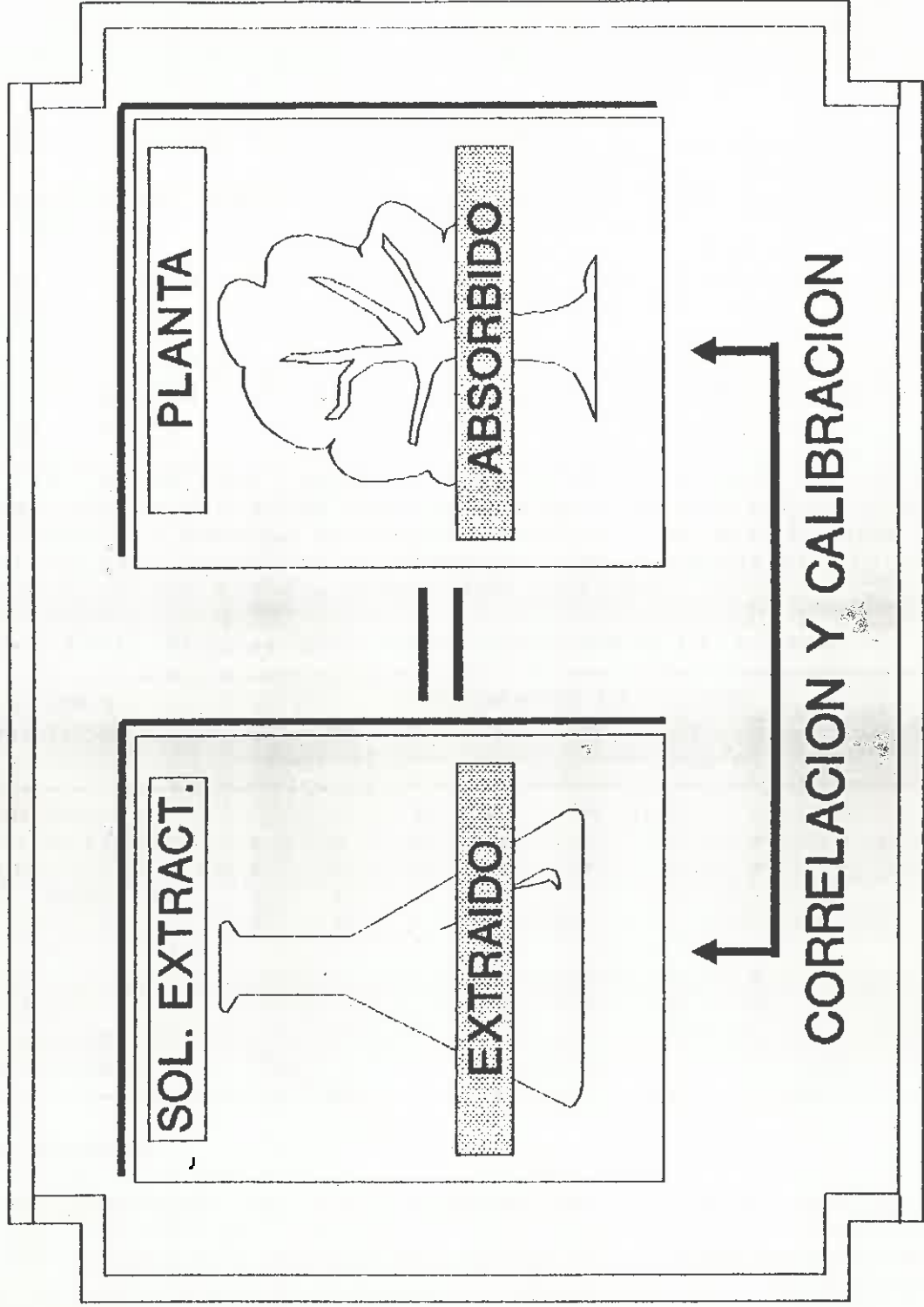
al principio ó al final de la época lluviosa.
- g) periodicidad del muestreo:
 - 1- en banda cada 1-2 años
 - 2- en la entrecalle cada 4-5 años
- h) tamaño de la muestra para el laboratorio:

0.5 kg es una buena cantidad para el laboratorio

2- EL LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y PLANTAS:

De sus características y funcionamiento depende la viabilidad y confiabilidad de los resultados. Las principales características de un laboratorio deben ser:

- 1- Rapidez: depende del número de laboratoristas y el uso de unidades de análisis múltiple.
- 2- Precisión: de conformidad con el tipo de aparatos y las metodologías utilizadas.



CORRELACION Y CALIBRACION: comparación entre los datos de laboratorio y el factor planta (Henríquez, 1990).

3- Bajo Costo: la realización de los análisis debe estar al alcance de los agricultores.

Se dice también que el % de variación en las muestras de suelo y el grado de precisión de un laboratorio cualquiera, disminuye y aumenta respectivamente, conforme aumenta el número de muestras con las que el laboratorio trabaje.

CARACTERISTICAS DE UNA SOLUCION EXTRACTORA

1-Debe extraer todas o gran parte de las formas de nutrimentos en el suelo, que estan disponibles para la planta.

2-Las cantidades extraídas por la solución usada, deben tener una buena correlación con la absorción en la planta y el crecimiento vegetal.

3-El método de laboratorio que involucre a esta solución, debe ser rápido, preciso y con un costo de ejecución bajo (Figura II-4).

En la actualidad existen una gran cantidad de soluciones extractoras que bajo ciertas condiciones cumplen con estos requisitos (Cuadro II-1), sin embargo es difícil encontrar un extractante universal que sirva para todos los nutrimentos y en diversas condiciones de clima y suelo, y que asemeje diferentes cultivos.

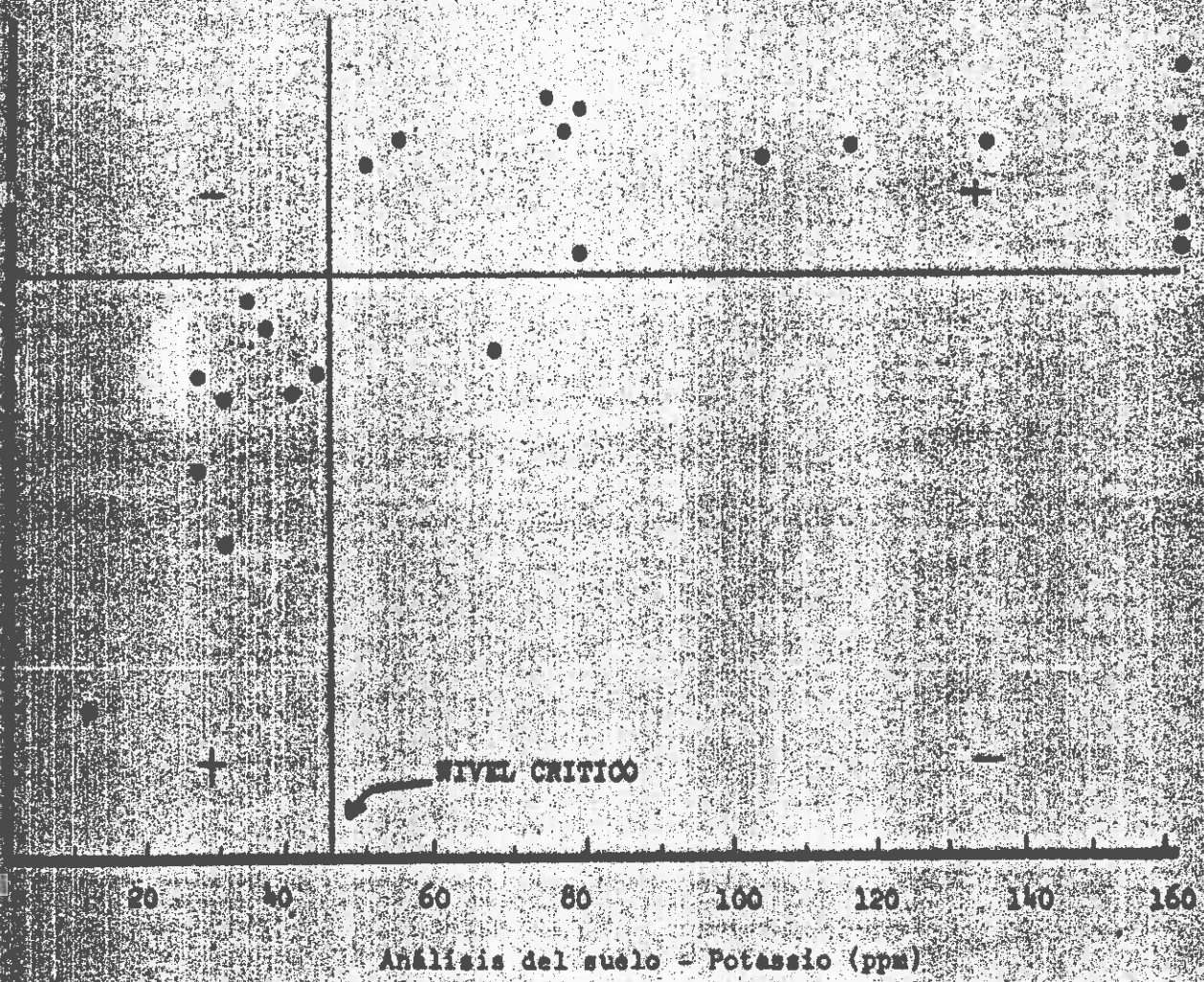
Cuadro II-1. Algunas soluciones extractoras utilizadas.

SOLUCIONES EXTRACTORAS	ELEMENTOS EXTRAIDOS								
	Ca	Mg	K	Cu	Mn	Zn	Fe	P	S
	--cmol (+)/l--			-----ug/ml-----					
Olsen Modif.			*	*	*	*	*	*	
Mehlich III	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Morgan	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Acet. Amon. 1N	*	*	*						
KCl 1N	*	*							
Acid. Nítri. 1N			*						
DTPA				*	*	*	*		
HCl 0.1N				*	*	*	*		
Fosfato de Ca									*
Fosfato de K									*

CONCEPTOS BASICOS

NIVEL CRITICO: Es la concentración o valor mínimo de un determinado nutrimento, superior al cual no hay respuesta al rendimiento estudiado y que por el contrario inferior a este valor son altas las posibilidades de respuesta a ese elemento. Este valor varía de acuerdo a cuatro factores que son:

- a) tipo de extractante
- b) habilidad del cultivo de extraer nutrimentos
- c) tipo de suelo
- ch) nivel de otros nutrimentos



Nivel crítico determinado mediante la construcción de celdas para maximizar el valor computado de J_i al cuadrado para probar la hipótesis nula de que la distribución total es al azar. Los datos están en correlación entre el K del suelo y la respuesta de la planta.

SOLUCION EXTRACTORA: Solución que al poseer ciertas características químicas, permite asemejar en condiciones de laboratorio el comportamiento de las plantas en cuanto a su absorción de nutrimentos a nivel radical.

CORRELACION: Es la simple asociación o relación entre el nutrimento extraído por la solución extractora y el realmente asimilado por la planta, obtenido con base en resultados experimentales realizados en invernadero y/o campo. Los parámetros utilizados para medir el grado de correlación entre dos variables son el coeficiente de correlación (r) y el coeficiente de asociación (r²); entre más cercanos a uno sean estos, mayor es la correlación.

CALIBRACION: Es la acción de dar una interpretación al valor del análisis de suelos y plantas, con relación a la variable de rendimiento (tanto en su valor absoluto como en su valor relativo). La técnica más utilizada para determinar un nivel crítico en los proyectos de calibración, es la técnica de Cate y Nelson; ésta consiste en distribuir el 80% de los puntos obtenidos en rendimiento (eje de las Y) en los cuadrantes opuestos, según la Figura II-5, en donde la línea perpendicular al eje de las X, determinará el nivel crítico encontrado.

RENDIMIENTO RELATIVO: Es una variable de rendimiento que ayuda a disminuir las variaciones producidas en las mediciones bruscas de rendimiento absoluto. Corresponde a la comparación entre:

$$\% RR = \frac{\text{Rendimiento sin nutrimento}}{\text{Rendimiento con nutrimento}} \times 100$$

- INTERPRETACION DE RESULTADOS

Significa que los datos obtenidos en los laboratorios de análisis de suelo, sean interpretados con base en tablas que definan niveles bajos, medios y altos del elemento y niveles críticos precisos, usando soluciones extractoras conocidas y funcionales para esos niveles críticos.

Es importante señalar que existen niveles críticos para cada elemento y para cada solución extractora. No es posible comparar resultados de laboratorios que utilicen soluciones extractoras diferentes, si no se cuenta con los niveles críticos en cuestión.

También es bueno observar que a nivel nacional existen por desgracia tablas de niveles críticos para suelo, que son utilizadas para todas las condiciones de suelo y clima y para todos los cultivos, cosa en realidad indebida. Actualmente se trabaja en los laboratorios de la Universidad de Costa Rica, para determinar dichos niveles críticos a nivel de grupos de suelos, y pasar luego a la etapa de campo trabajando con los principales cultivos en esas zonas.

- RECOMENDACION AGRONOMICA

Actualmente existen muchos procedimientos para definir las etapas a seguir en una recomendación de fertilizantes y/o enmiendas. Sin embargo el criterio del Ingeniero Agrónomo es de vital importancia

en esta etapa, para utilizar la mejor estrategia de recomendación.

Es muy importante que dentro de las estrategias a seguir, se tomen en cuenta factores como:

- 1- Tipo de cultivo, manejo, lo que extrae/rendimiento esperado.
- 2- La cantidad de nutrimentos en el suelo
- 3- Características del suelo, clima y topografía de la finca
- 4- Fuentes de fertilizantes disponibles en la zona
- 5- Aplicar un factor de eficiencia de aplicación de fertilizantes y enmiendas de acuerdo a condiciones de clima y topografía.

5- TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

Es el último pilar de esta cadena, el que condiciona el éxito de todos los demás pasos, y con el cual se logra unir una serie de aspectos meramente teóricos con la práctica en el campo. Corresponde básicamente a una labor de extensión agrícola, en donde las pautas a seguir luego, dependen del consenso entre Agricultor-Ingeniero Agrónomo, tomando en consideración los resultados obtenidos y las opciones más viables para la zona y el cultivo.

EVALUACION DEL ESTADO NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS

Los objetivos básicos de un muestreo de plantas, son:

- 1- Diagnosticar deficiencias minerales en la planta.
- 2- Guía de asociación con el análisis de suelos.
- 3- Definir antagonismos de nutrimentos en la planta.
- 4- Verificar la respuesta a los fertilizantes aplicados.
- 5- Establecer correlaciones entre la producción efectiva y el estado nutricional del cultivo.

Los pasos a seguir son iguales al de evaluación de la fertilidad de suelos:

- 1- Muestreo
- 2- Análisis de las muestras en el laboratorio
 - a) métodos de extracción adecuados
 - b) calibración y correlación de los análisis
- 3- Interpretación de los resultados
- 4- Recomendación agronómica
- 5- Transferencia de tecnología

Especial importancia requiere el muestreo, debido a que cada cultivo puede ser muestreado de diferente forma, en diferentes épocas del año o en diferentes etapas de su ciclo fenológico. las pautas a seguir dependen de la literatura existente para cada cultivo. En el caso de la interpretación de los análisis, se requieren que estos sean comparados con tablas específicas de cada cultivo; cualquier recomendación aportada, debe tener un fundamento en experiencias previas en ese cultivo, para ello debe haber un proceso de calibración y correlación que respalde estos valores.

En café se recomienda que los muestreos sean realizados

especialmente en dos épocas:

- 1- 50 días después de aplicado cualquier fertilizante
- 2- en la etapa de premaduración de la cosecha (para N, K y Mg) además que el muestreo sea llevado a cabo en horas tempranas de la mañana o bien en las últimas horas de la tarde.

ABSORCION DE NUTRIMENTOS EN CAFE.

El orden de acúmulo de nutrimentos para la mayoría de las especies sigue aproximadamente el siguiente orden:

N(50-56%) > K(19-29%) > Ca(5-14%) > P(4-5%) > Mg(3-4%) > S(3%).

El cafeto sigue una tendencia similar.

En su ciclo periódico de crecimiento, el café presenta dos picos máximos de absorción de nutrimentos. Para el caso de Costa Rica, estos se han definido en las siguientes épocas:

- 1) enero-marzo-abril (siendo mayor en marzo)
- 2) mayo-junio-julio (siendo mayor en junio y julio).

El período de menor crecimiento se presenta desde agosto hasta mediados de enero y se encuentra asociado con un período de temperaturas más bajas, menor fotoperíodo y coincide con el período de reproducción (llenado de frutos y expansión final).

Respecto a la variación en la absorción de nutrimentos, se puede señalar lo siguiente:

a. Ocurren altas tasas de absorción de NO_3 en los períodos previo a la antesis, al inicio del crecimiento vegetativo (2 picos) y en la maduración de frutos.

b. La absorción de K es opuesta a la del nitrógeno, donde la mayor absorción coincide con las menores temperaturas y la etapa de reproducción.

c. La absorción de Ca es fuerte después de la primera floración y luego permanece constante a través del ciclo de crecimiento.

ch. La mayor absorción de Mg ocurre luego del período floral.

Los frutos absorben grandes cantidades de minerales, excepto Ca en dos períodos definidos:

1. Una fuerte absorción inicial, pero no total
2. Todos los nutrimentos, excepto el Ca son acumulados en los frutos.

Este comportamiento corresponde al proceso de crecimiento del fruto, donde la rápida expansión inicial requiere principalmente K y Ca para la edificación celular, siendo el Ca el elemento menos requerido en la segunda etapa. En esta misma etapa se ha determinado

que el K se acumula en el pericarpo.

Durante el proceso de llenado de frutos se ha encontrado baja concentración de N, P y K, mientras que los contenidos de Ca y Mg son altos.

Es importante señalar que el P es el elemento que se almacena, principalmente en las ramas y luego es removilizado en la planta.

Respecto al azufre, este presenta una variación cíclica, presentando dos picos de acumulación:

1. en prefloración (marzo-abril)
2. pre-maduración del grano (noviembre-diciembre)

La concentración del S disminuye en los periodos de floración y cosecha.

K- Ca- Mg EN EL SISTEMA SUELO-CAFE:

Se ha estimado que 1000 kg café/ha de C. canephora extraen: 33.4 N, 6.1 P, 44 K, 5.4 Ca y 4.2 Mg.

Potasio:

La mayor concentración se encuentra en partes vegetativas y frutos. La mayor exigencia se da cuando la planta se acerca a la madurez. Se ha determinado correlación positiva entre el tenor de K en la hoja y el contenido de almidón, de tal manera que cuando el contenido de K disminuye, baja la concentración de almidón y por lo tanto se observa menor crecimiento de la planta, menor aparición de bandolas nuevas y hojas nuevas y consecuentemente, disminuye la cosecha.

Por otra parte, altas concentraciones de K coinciden con la aparición de una mayor cantidad de frutos vanos.

El nivel de K alcanza su máximo en la hoja durante la estación lluviosa. En época seca, el tenor de K disminuye debido a un efecto combinado de falta de humedad y de la remoción que hace la cereza.

Se aumenta la absorción de K cuando hay N y disminuye cuando la humedad del suelo es menor al 50% de la capacidad de campo. Existe una interacción N/K la cual favorece la resistencia del cafeto a la sequía.

Se ha encontrado que dosis muy altas de K están relacionadas con una mayor incidencia de la roya.

Un exceso de K provoca mayor caída de frutos y además se induce deficiencia de Mg y en menor grado de Ca.

Calcio:

Los contenidos de Ca son similares a los de K en raíces, troncos

y ramas. En las hojas es de aproximadamente la mitad y en los frutos hay 4 veces más K que Ca.

El calcio es fundamental para el crecimiento de raíces. Aumentos en el contenido de Ca se ha determinado al inicio del período seco por efecto de la cosecha.

Las deficiencias de K y Ca afectan la actividad de la reductasa del NO_3^- , provocando un descenso en la acumulación de nitratos en el tejido foliar.

Existe un antagonismo entre Ca y B, donde a mayor concentración de B se disminuye el contenido de Ca.

Magnesio:

El café consume aproximadamente 4 veces más Ca que Mg. En frutos se ha establecido una relación 1:1. A través de un año el nivel de Mg permanece constante por haber mayor translocación dentro de la planta. En época seca, por falta de agua, se presentan deficiencias de este elemento.

Factores que determinan la disponibilidad de K, Ca, Mg:

* niveles absolutos: en Costa Rica, se han establecido los siguientes niveles críticos: 4 cmol(+)Ca, 1 cmol(+)Mg, 0,21 cmol(+)K.

* % de saturación: existe mayor disponibilidad de bases cuando el % de saturación de acidez es menor. El café presenta una tolerancia a la saturación de aluminio >40%. El encañado como fuente de Ca, ha correlacionado con altas producciones por efecto del aumento en el pH, de tal manera que se puede establecer una distribución como la siguiente:

75% plantaciones altamente productivas ==> pH 6.0-7.1
medianamente productivas ==> pH 5.1-6.0
con baja producción ==> pH 5.1-4.6.

* equilibrios: se pueden establecer antagonismos, cuando el exceso de un catión reduce la absorción neta de otros cationes, manteniendo la suma de bases constante. Entre los factores que afectan, se citan:

- tiempo: mayor inhibición al inicio por baja tasa de flujo de K.
- época de muestreo y condiciones ambientales: afectan la concentración de K.
- especies y variedades: selectividad genética.

En el Cuadro II.2 se resumen algunos valores encontrados para las relaciones entre bases.

* restitución de K: depende del tipo de mineral que predomine en el complejo de cambio (principalmente arcillas 2:1).

CUADRO II.2 Valores para las relaciones catiónicas encontrados para cafeto.

RELACION	NORMAL	AMBITO	CON RESPUESTA
Ca + Mg / K	9	2.2 - 23.5	44 - 53
Mg / K	3	1 - 8	16.5 - 18
Ca / K	6	2 - 17	26.5 - 36
100 K / Ca + Mg + K	10	4 - 29	< 2.5

ELEMENTOS MENORES:

BORO:

Este elemento presenta problemas frecuentes en caficultura, en general por su deficiencia, pero el manejo descuidado puede inducir toxicidades. Generalmente se presentan deficiencias en suelos de textura gruesa con poca materia orgánica y con percolación fuerte. La materia orgánica retiene fuertemente al B.

La concentración de B disponible varía de 0,01 - 5 mg/kg.

Niveles normales para C. arabica se han determinado entre 60 - 100 mg/kg.

Importante es considerar la relación Ca/B pues se presentan con frecuencia problemas de toxicidad de B en suelos bajos en Ca.

La corrección de la toxicidad se realiza mediante un encalado.

Cuando se presentan deficiencias se realizan aplicaciones foliares con poliboro a razón de 1,3 - 2,5 kg/ha.

CLORO:

No se presentan problemas de deficiencia. Puede haber toxicidad cuando los niveles son superiores a 2000 mg/kg.

MOLIBDENO:

Es el microelemento que se requiere en menor cantidad. El contenido normal foliar es de 4 mg/kg. La corrección de la deficiencia se realiza aplicando molibdato de sodio mezclados con abonos fosfatados.

COBRE:

En suelos cafetaleros de Costa Rica los niveles varían de 8-38 mg/kg. Los niveles foliares se consideran bajos con valores de 10 mg/kg y normales cuando los valores se encuentran entre 10-30 mg/kg.

El problema más frecuente es la toxicidad con este micronutriente.

HIERRO:

Con frecuencia se observa deficiencia de Fe en los cafetales, las cuales pueden estar asociadas con problemas de drenaje.

Los niveles foliares normales en el tercer par de hojas adultas varían entre 70-150 mg/kg.

Cuando se presenta deficiencia se puede corregir ésta con aplicaciones al suelo a razón de 25 g Fe como quelato de EDTA.

MANGANESO:

Los niveles normales encontrados varían entre 50-150 mg/kg para Típica y Borbón y son superiores para Caturra y Catuai.

Cuando se presentan deficiencias, se realizan aplicaciones foliares a razón de 2-4 kg/ha.

ZINC:

Se presentan deficiencias en suelos tropicales fuertemente lavados.

Los niveles normales son superiores a 10 mg/kg. La corrección de las deficiencias se pueden realizar al suelo cuando los niveles nativos son bajos o bien vía foliar a razón de 2-4 mg/kg.

Es importante considerar que altos niveles de fósforo implican problemas en la absorción de Zn. Esto no ocurre en suelos con alta fijación de P.

III. INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS

Para valorar la fertilidad de un suelo dado, el análisis químico del suelo es el método más rápido, sin embargo, hay que recordar que este procedimiento consiste en una simulación de lo que hacen las raíces de las plantas por medio de soluciones químicas, por lo tanto, para que sean confiables, los métodos de análisis que se usen deben tener una investigación de respaldo que asocie su comportamiento en los diferentes suelos, con el comportamiento de las plantas. Producto de estos estudios de calibración y correlación es que surgen las Tablas de Niveles Críticos, contra las cuales se efectúan las interpretaciones de los datos de análisis de suelos, y que según sean las características de detalle y especificidad de estos estudios así será la precisión con que se pueda interpretar el análisis. Los niveles críticos varían según la solución extractora, el tipo de suelo y el cultivo, por lo tanto, antes de realizar una interpretación hay que tomar en cuenta con que soluciones se hizo el análisis, y con que Tabla de Niveles Críticos se cuenta.

Por nivel crítico de suelo se entiende aquella concentración extraída del suelo por encima de la cual, las posibilidades de encontrar respuesta a la fertilización son bajas, y por debajo de la cual, muy probablemente los rendimientos serán pobres.

En los siguientes cuadros se presenta la metodología y la Tabla de Niveles Críticos asociada a esa metodología, que se usan en el MAG y UCR. Esta tabla no establece diferencias por grupo de suelos ni cultivo (Cuadro III.1).

También hay que recordar que en el país, actualmente, existen muchos otros laboratorios de análisis de suelo (CIA-UCR, CATIE, FERTICA, CAFESA, CORBANA), por lo tanto, si se van a interpretar análisis provenientes de ellos, hay que asesorarse sobre los dos aspectos mencionados.

Otra consideración importante que hay que hacer en los análisis de suelos es sobre las unidades en que están expresados. La expresión de contenidos de nutrimentos por volumen de suelo podría considerarse una medida menos variable y más comparable entre suelos, porque el volumen de 1 ha a una determinada profundidad (0,20 cm) no varía (siempre es 2000000 de litros), mientras que, el peso cambia según la densidad aparente. Sin embargo, son unidades transformables de una a otra (concentración/peso * d.a. = concentración/volumen). Si las determinaciones se hacen en peso (3 cmol(+)Ca/kg, por ejemplo), en suelos con densidades menores de 1 (0,8 kg/L, por ejemplo), significa que esa cantidad estará distribuida en un volumen mayor, por lo tanto, al expresarla por litro, la cantidad será menor (2,4 cmol(+)Ca/L), mientras que en suelos con densidades mayores de 1 (1,3 kg/L, por ejemplo), al convertir a volumen, dará valores mayores (3,9 cmol(+)Ca/L). El problema algunas veces es que el análisis se hace en peso, pero la tabla de niveles está en volumen, y no se cuenta con la d.a. para transformar. Sin embargo, en general, como las densidades aparentes son mayores de 1, salvo en suelos de origen volcánico, las determinaciones en peso subestiman las cantidades presentes, por lo tanto al interpretarlas con niveles de volumen, se sobreestiman los

Cuadro 2. Guía para interpretación de análisis de suelo utilizada por el M.A.G.

		BAJO	OPTIMO	ALTO
meq/100 ml	pH	5.0	5.5 - 6.5	7.0
	Al		0.5	1.5
	Ca	4.0	5 - 20	20
	Mg	1	1 - 10	10
	K	0.2	0.2 - 1.5	1.5
ug/ml	P	10	10 - 16	40
	Mn	5	5 - 50	50
	Zn	3	3 - 15	15
	Cu	1	1 - 20	20
	Fe	10	10 - 50	50
		desbalance	balance	desbalance
	Ca/Mg	2	2 - 5	5
	Mg/K	2.5	2.5 - 15	15
	Ca+Mg/K	10	10 - 40	40
	Ca/K	5	5 - 25	25

pH determinado en H₂O, 1:25

Al, Ca y Mg extraídos con KCl 1N, 1:10

K, P, Mn, Zn, Cu, Fe extraídos con Oisen Modificado, 1:10

FUENTE: MAG, Laboratorio de Suelos, 1982.

Cuadro 1. Metodología para el análisis de suelo usada en los Laboratorios del MAG y del CATIE.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	METODOLOGIA EXTRACCION ^{1/}	DETERMINACION
$pH_{H_2O} - pH_{KCl}$		10:25 H ₂ O & KCl 1N	POTENCIOMÉTRICA
acidez extraíble	meq/100 ml	^{2/} 2.5:25 KCl 1N	TITULACION NaOH 0.01N
Ca ⁺⁺ Mg	meq/100 ml	2.5:25 KCl 1N	ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA
K	meq/100 ml	2.5:25 Olsen Modificado ^{3/}	ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA
P	ug/ml ^{4/}	2.5:25 Olsen Modificado	COLORIMÉTRICA ^{5/} AZUL DE MOLIBDENO
Mn-Pb-Fs-Cu	ug/ml	2.5:25 Olsen Modificado	ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA
N	ug/ml ^{6/}	2.5:25 Ca H ₄ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	TURBIDIMÉTRICA ^{7/} BaCl ₂ ·2H ₂ O + PVP K30
S	ug/ml	2.5:25 CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	COLORIMÉTRICA ^{8/} CURCUMINA
matéria orgánica ^{1/}		R ₂ Cr ₂ O ₇ 1N	TITULACION Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ ·6H ₂ O

- ^{1/} Las relaciones de extracción están expresadas como ml de suelo, ml de solución extractora. Una relación 2.5:25 puede también expresarse como 1:10.
- ^{2/} Unidad de concentración que significa miliequivalentes de elemento por 100 mililitros de suelo.
- ^{3/} La solución Olsen Modificado contiene NaHCO₃ 0.5N, EDTA disódica 0.01M y Superfloc 127.
- ^{4/} Unidad de concentración que significa microgramos del elemento por mililitro de suelo.
- ^{5/} Para desarrollar el color azul se utiliza (NH₄)₂ MoO₄ ácido y SnCl₂.
- ^{6/} Para desarrollar la turbidez se utiliza además una solución de HNO₃ y HOAc.
- ^{7/} La curcumina va disuelta en HOAc y se requiere además H₂SO₄ (c) y Metanol.
- ^{8/} Método Walkley y Black. JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos. Barcelona, España, Omega, 1970. pp. 300-303.

FUENTE: DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. pp. 9-11, 15-27.

problemas, que como alternativa tal vez no sea la más barata, pero es la menos riesgosa.

Con una comparación entre el análisis y la Tabla de Niveles Críticos la mayor parte de la interpretación parece estar resuelta, ya que se puede predecir cuales problemas tiene ese suelo, que es hasta donde precisamente se puede concluir con un análisis de suelos, sin embargo, en el tanto en que se trate de entender la causa de esos problemas, será posible mejorar las decisiones para subsanarlos.

SECUENCIA DE INTERPRETACION DE UN ANALISIS DE SUELO

Una secuencia lógica para realizar una interpretación de un análisis de suelos es la siguiente:

1. Identificación de problemas de acidez. Causas. Observación del pH, la acidez, el Al, las bases. Cálculo del % de saturación de acidez. Consideración de la tolerancia del cultivo a la acidez.
2. Decisión de encalado. Cálculo de dosis. Definición de época, método y fuente. Consideración de efectos primarios y secundarios del encalado.
3. Cálculo de las relaciones entre las bases Ca-Mg-K. Estimación de posibles desequilibrios y efectos del encalado sobre ellas.
4. Identificación de todos los otros nutrimentos deficientes. Establecimiento de causas.
5. Estimación del comportamiento del N y el S, con base en M.O., condiciones climáticas, otras características del suelo, posibilidades de que ocurra mineralización, etc.
6. Elaboración de una síntesis o conclusión, en la que se ordenen jerárquicamente, según su importancia de atenderlos, los problemas diagnosticados en ese suelo.

ENCALADO

Existen una serie de parámetros que se pueden utilizar para definir cuando hay problemas de acidez. Entre ellos, los más usados son:

- a. $\text{pH} < 5,5$
- b. acidez intercambiable $> 0,5 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$
- c. CICE $< 5 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$
- ch. % saturación de aluminio $> 20\%$.

En el caso de que las condiciones del suelo sean ácidas, entonces se recomienda la aplicación del encalado.

La ventaja al recomendar esta enmienda radica en que, en términos generales, mientras la dosis no sea exagerada, siempre resulta beneficiosa y barata.

El encalado constituye el manejo más convencional para contrarrestar el efecto de la acidez; representa una enmienda para ese

sistema y consiste en la aplicación masiva de sales básicas, comúnmente Ca, y en forma preferencial CaCO_3 .

El propósito del encalado, más que subir el pH, debe ser disminuir el % de saturación de aluminio (o acidez) hasta niveles tolerables por el cultivo. Esta reducción del Al se consigue al encalar porque el Ca del CaCO_3 sustituye por acción de masas el Al adsorbido a los coloides, y de esta forma, al disociarse el agua, se forma un precipitado de $\text{Al}(\text{OH})_3$, insoluble a pH mayores de 5,5. El H del agua se mezcla con el carbonato, formando H_2CO_3 que luego se disocia en H_2O y CO_2 gaseoso.

La reacción debía ser equivalente, de uno de Ca por uno de Al, pero por características del material usado, condiciones del suelo, e incluso por reacciones secundarias que se propician al encalar, es conveniente considerar un margen de eficiencia. Recordar que:

1 cmol(+)Al/kg se logra neutralizar con 2 cmol(+)Ca/kg, es una estimación útil y de resultados prácticos razonables en el cálculo de dosis.

Las decisiones o factores a considerar en relación a esta enmienda son:

1. La cantidad necesaria de cal para disminuir, según el cultivo o la variedad usada, el efecto nocivo del Al = DOSIS.
2. La calidad del material o cal = FUENTE.
3. El METODO de aplicación.
4. La EPOCA y frecuencia de aplicación.

1. DOSIS:

Se han realizado gran cantidad de esfuerzos para encontrar métodos de estimar las necesidades de cal en los suelos de los trópicos. El primer criterio que se usó, basándose en las ideas aplicadas a las zonas templadas, fue la elevación del pH hasta la neutralidad. Se realizaban curvas de titulación en el suelo mediante adiciones crecientes de CaCO_3 hasta alcanzar la dosis que llevará el pH a valores de 6 ó 7. Este procedimiento resulta efectivo cuando la acidez se debe principalmente a H, como sucede en los sistemas de aluminosilicatos laminares, de carga permanente, comunes en zonas templadas. En los suelos de los trópicos, como los sistemas que dominan son los óxidos o los aluminosilicatos recubiertos por óxidos, en donde la carga es variable, la acidez se debe al Al, y se desarrolla un alto poder buffer, este procedimiento no resulta eficiente y conduce a la sobredosificación de cal, con todos sus correspondientes problemas agronómicos y económicos.

El criterio que surgió en los trópicos para reemplazar el anterior y que en términos generales ofrecía mejores resultados, consiste en basar las recomendaciones de encalado en la CANTIDAD DE Al o ACIDEZ INTERCAMBIABLE presente en la capa arable.

Según este procedimiento, las dosis de cal se calculan multiplicando los $\text{cmol}(+) \text{Al/kg}$ por un factor que puede fluctuar entre 1 y 3 para obtener los $\text{cmol}(+) \text{Ca/kg}$ que deben ser agregados al suelo como cal. Muchos autores sugieren usar como factor 1,5, en suelos con contenidos normales de materia orgánica, sin embargo, un valor promedio, más sencillo de recordar y calcular, y que además garantizará una neutralización eficiente es 2. Los $\text{cmol}(+) \text{Ca/kg}$ deben transformarse a CaCO_3 y ésta es la dosis recomendable ($1 \text{ cmol}(+) \text{Ca/kg} = 1 \text{ ton CaCO}_3/\text{ha}$).

Las dosis de cal calculadas por este método neutralizan del 85 al 90% del Al intercambiable en suelos con 2 al 7% de M.O. En suelos con más materia orgánica, el factor tiene que subirse a 2,5 ó 3 debido a la presencia de H intercambiable, y a que es probable que exista mucho más Al intercambiable que el que se determina, que está acomplejado por la materia orgánica.

Esta técnica definitivamente es más útil que basarse en el pH, sin embargo, dos suelos pueden tener la misma cantidad de Al intercambiable y muy diferente magnitud del problema de acidez, y muy diferente respuesta al encalado, por la presencia de mayor o menor cantidad de bases ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$), o de capacidad de intercambio de cationes efectiva ($\text{CICE} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{acidez}$).

El parámetro que resulta más útil para tomar una mejor decisión sobre el encalado que se va a realizar es el porcentaje de saturación de acidez o Al presente en el suelo $(\text{Al}/\text{CICE}) \times 100$. No es lo mismo un suelo con 2 $\text{cmol}(+) \text{Al}$ y 20 $\text{cmol}(+) \text{CICE}$ (10% de saturación de Al), que un suelo con 2 $\text{cmol}(+) \text{Al}$ y 4 $\text{cmol}(+) \text{CICE}$ (50% de saturación de Al). Indudablemente el problema de acidez y la necesidad de encalado de estos dos suelos serán muy diferentes, pese a tener la misma cantidad de Al, e incluso variará la dosis según lo que pueda tolerar la variedad o cultivo específico que se vaya a sembrar.

De acuerdo al nivel de tolerancia del cultivo, alta o baja, se debe pensar en llevar a cabo una neutralización parcial o total, respectivamente. De aquí que conocer esos niveles de tolerancia de cada cultivo y contar con una lista de ellos, se vuelve un instrumento útil en la toma de decisión.

Los cultivos desarrollados originalmente en suelos calcáreos, como el algodón, sorgo y alfalfa, son susceptibles a niveles del 10 al 20% de saturación aluminica. Para ellos el encalamiento deberá tener como meta cero saturación de Al, para que la aplicación dure por varios años y las respuestas sean óptimas.

El maíz, es susceptible al 30-50% de saturación de Al. Aunque encalar hasta conseguir cero de saturación aluminica sería beneficioso, bajar la saturación a niveles de 20-30%, resultaría más económico y suficiente para obtener respuestas satisfactorias.

El café, la piña y algunas especies de pastos, soportan vivir en suelos con alta saturación de Al (más del 60%), aunque por lo general, si se les encala, manifiestan alguna respuesta favorable. A veces, el encalamiento puede ser necesario a manera de fertilización (con dosis bajas) para contrarrestar deficiencias de Ca o de Mg.

En resumen, se puede generalizar que casi ningún cultivo tolera niveles de saturación de Al mayores al 60%, y casi ningún cultivo presenta problemas a niveles inferiores del 10%. Si no se conoce la tolerancia del cultivo a la acidez, debe ofrecérsele un suelo con menos del 20% (Cuadro III.2).

Con esta base y utilizando el % de saturación de acidez como criterio fundamental para decidir un encalado, las dosis se pueden calcular por alguno de los métodos expresados en el cuadro III.3.

2. FUENTE:

Los aspectos de mayor importancia a considerar aquí son la PUREZA y FINEZA del material.

El CaCO_3 , que es la fuente más usada y más apropiada para encalar se obtiene directamente al moler rocas calizas, que se extraen de canteras en diferentes puntos del país (Cuadro III.4)

Existen materiales primarios dolomíticos que proporcionan un producto muy adecuado, constituido por carbonatos de Ca y Mg. El uso de dolomita proporciona un mejor balance en el suelo, sin embargo, en el país no existen yacimientos y debe ser importada de Guatemala.

También se puede usar CaO , o cal viva, que es un producto muy concentrado y de reacción rápida, pero que presenta graves dificultades de aplicación por provocar efectos cáusticos en la piel. Se obtiene al calcinar rocas de CaCO_3 . El óxido se "apaga" al reaccionar con agua aplicada o ambiental y se convierte en Ca(OH)_2 . Este material es muy reactivo, de acción rápida, por lo que sus efectos residuales son más cortos. La alternativa para una mejor utilización de esta cal hidratada es usar dosis de aplicación más pequeñas y más frecuentes (Cuadro III.5).

Los materiales de los trópicos, en general, son bastante impuros.

La fineza debe adecuarse a las condiciones, y se evalúa a través del tamaño de malla por la que pase el producto. Si la cal pasa por un tamiz:

- # 20 reacciona muy poco
- # 30-60 reacciona de 10-18 meses después de aplicada
- # 80 muy fina, reacciona en un mes
- # 100 reacciona demasiado rápido.

En zonas templadas se habla de que lo mejor es la más fina, sin embargo, en el trópico hay que considerar que llueve más y hay más temperatura y tampoco es muy conveniente que la reacción ocurra demasiado rápido porque igualmente el efecto pasará muy rápido. Debe haber balance, sin embargo, existe poca evidencia de campo al respecto. Se dice que el material ideal para encalamiento en los trópicos debe pasar en un 100% por un tamiz #10 y en un 50% por un tamiz #100. Las fuentes muy gruesas rara vez producen las respuestas deseadas en los rendimientos del primer cultivo debido a que reaccionan muy lentamente.

Cuadro 23. Grado de tolerancia de algunos cultivos y plantas al ALUMINIO en suelos ácidos.

% saturación acidez:	ALTO (> 60%)	MEDIO (60-40%)	BAJO (30-20-10%)
Leguminosas			
Caupi	X		
gandul	X		
soya		X	10% ²
frijol negro			X
frijol blanco			X ¹
<i>Stylosanthes</i>	X		
<i>Desmodium</i>	X		
<i>Centrosema</i>	X		
kudú	X		
<i>Catopogonium</i>	X		
alfalfa			X
mení		40% ³	
Gramíneas			
arroz (porte alto)	X	X ³	
maíz		40%	30% ³
sergo			18%
trigo			10% ³
Frutas y hortalizas			
mango	X		
cítricos	X		
marañón	X		
piña	X		
plátano		X	
camote			30% ³
Otros			
café	X		
té	X		
caucho	X		
yuca		75% ³	

X¹

menor tolerancia que el frijol negro.

1. SANCHEZ, P. Suelos del trópico. San José, IICA, 1981. pp. 236-246. Todas las referencias sin número corresponden al (1).
2. MUZILLI, O. Análise do solos. Londrina, Brasil, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1978. p. 25 (circular (APAR No. 9)
3. TROPISOILS. An expert system to determine lime requirements for soils of the humid tropics. Honolulu, University of Hawaii, NCSU. 1987. pp. 4-5.

CALCULO DE LA NECESIDAD DE CAL

1. Kamprath: $\text{ton CaCO}_3 / \text{ha} = \text{cmol}(+) \text{ acidez/kg} \times \text{factor}$
factor = 1-3

2. Cochrane, Salinas, Sánchez:
 $\text{ton CaCO}_3 / \text{ha} = 1.8 (\text{Al} - \text{RAS}) (\text{CICE}) / 100$

Al = % sat. Al presente en el suelo

RAS = % sat. Al deseado

CICE = capacidad intercambio catiónico
efectiva

3. Van Raij:

$\text{ton CaCO}_3 / \text{ha} = [(V_2 - V_1) (\text{CICE}) / 100] \times f$

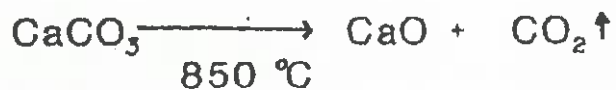
V_2 = % sat. bases deseada

V_1 = % sat. bases que presenta el suelo

$f = 100/\text{PRNT} = \text{poder relativo neutralizació}$
de la cal.

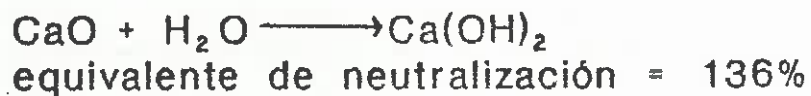
FUENTES

OXIDO DE CALCIO:



> velocidad de reacción que CaCO_3
equivalente de neutralización = 179%

HIDROXIDO DE CALCIO:



CARBONATO DE CALCIO:

es la fuente más común
se obtiene de la molienda de la roca caliza
su valor como material de encalado depende del gr
de pureza y fineza.

DOLOMITA: 11.7 - 13% de Mg.

ESCORIAS BASICAS: subproductos fabricación acero y
procesamiento Fe

3. METODO:

El mejor método para aplicar la cal es incorporándola en el terreno antes de la siembra para que el contacto sea mayor; sin embargo, cuando esto no es posible porque el cultivo es perenne, se debe distribuir homogéneamente sobre toda la superficie. Muchas veces, el cultivo y sus otras prácticas de manejo son los que imponen las pautas a seguir.

4. EPOCA:

Es importante señalar que la cal reacciona sólo en presencia de agua, por lo tanto aunque por comodidad muchas veces las aplicaciones se hacen en verano, la reacción no empieza hasta que ocurran las lluvias. Un momento adecuado de aplicación podría ser con las últimas lluvias del año para permitir la reacción durante todo el verano, sin embargo, debe evitarse la aplicación durante altas precipitaciones que fomenten su lavado rápido. Además, si el ambiente es muy húmedo, la distribución manual o mecánica del material se dificulta.

Hay que recordar que la cal se aplica en dosis varias veces mayores (ton/ha) que los fertilizantes, por lo tanto, si se aplican juntos, la cal gana la competencia, ocupa todas las posiciones de intercambio y propicia la pérdida total por lavado de los fertilizantes aplicados. Entre el encalado y la aplicación de fertilizantes debe mediar al menos un mes.

Los efectos primarios del encalado son la eliminación de la toxicidad del Al, y en algunos casos de Mn, el aumento en el contenido de Ca y la modificación de las relaciones entre cationes. También, en forma secundaria, se modifica la disponibilidad de P, Fe, Zn y Mo, se favorece la mineralización y otros procesos microbiológicos y puede aumentarse la carga negativa de los coloides, o sea, la capacidad de retención de nutrimentos en el suelo.

Un sobreencalado puede definirse como el encalamiento con dosis mayores de las necesarias para neutralizar el Al intercambiable o eliminar la toxicidad de Mn. Entre las consecuencias de un sobreencalado se tienen:

- a. reducción del rendimiento por afectarse otras funciones del suelo y de la planta.
- b. disminución en la disponibilidad de algunos nutrimentos:
 - P: debido a que se favorece la formación de fosfatos insolubles de Ca (P-Ca).
 - B: las condiciones básicas favorecen el fenómeno de adsorción de B en suelos con capacidad de sorción de aniones.
 - Zn: disminuye su solubilidad cuando sus pH se acercan a niveles 6 - 7.
 - Mn: en pH superiores a 6,2 el Mn tiende a precipitar en presencia de óxidos de Fe y Al.
- c. deterioro de la estructura: al subir el pH, el Fe se transforma y su efecto agregante disminuye, por lo tanto se forman agregados más pequeños, que reduen la tasa de infiltración y pueden favorecer la erosión. Esto también puede deberse a un aumento de la actividad microbiana que degrada los agentes

cementantes de tipo orgánico.

Las relaciones de equilibrio entre los cationes Ca-Mg-K es un fenómeno frecuentemente señalado en teoría de suelos como una limitante para la absorción de estos nutrimentos por las plantas, sin embargo, hay pocas evidencias prácticas del efecto real de estos desequilibrios sobre los rendimientos de los cultivos. Los rangos óptimos que se sugieren en la Tabla de Niveles Críticos fueron deducidos a partir de experiencias en café y han sido poco verificados. Además, si se usan estos valores como criterio para ajustar los equilibrios, las dosificaciones resultan demasiado altas. Por estas razones, las relaciones de bases deben interpretarse con cautela, considerándose como índices importantes cuando el valor que ofrecen se aleja demasiado en una dirección o en otra del rango óptimo. Deben tomarse como guía de posibles problemas, no como hechos definitivos.

Después de estimar una dosis de encalado es conveniente recalcular las relaciones (considerando los $\text{cmol}(+)\text{Ca}/\text{kg}$ agregados) para ver la alteración que sufren y estimar los posibles problemas, principalmente de Mg, que se pueden presentar.

Imaginarse el comportamiento del N y el S provenientes de la materia orgánica del suelo que se está evaluando resulta el único mecanismo real de juzgar estos elementos, pues los análisis de N, además de que casi nunca se informan, resultan poco confiables. Los factores que más influyen sobre la mineralización de la materia orgánica son: la cantidad de restos existentes, el tipo de suelo, las condiciones de humedad y temperatura y sobre todo la intermitencia del fenómeno, el pH del medio y el contenido de bases. A mayor magnitud de cualquiera de estas condiciones, mayor podrá ser la liberación de N y S e incluso de P, a partir de la materia orgánica.

Efectuar una síntesis de los problemas analizados en un suelo permite definir lo que hay que atacar primero. En el suelo, como en todo, mientras no se eliminen los problemas más grandes, no será posible ver la mejoría que ocasiona corregir los problemas pequeños. Este criterio responde al principio que la producción nunca puede ir más allá de lo que el factor más limitante lo permita. Descubrir cual es éste, representa la mitad del éxito.

Otro aspecto importante es la transformación de los datos de un análisis de suelos a kg/ha , pues permite relacionar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo con los requerimientos de un cultivo, que en general se expresan también en kg/ha .

Las unidades de concentración comúnmente usadas en los análisis de suelos son:

$$\begin{aligned} \text{cmol}(+)/\text{L} \text{ ó } \text{kg} &= \text{meq}/100 \text{ ml} \text{ ó } \text{g} \\ \text{mg}/\text{L} \text{ ó } \text{kg} &= \mu\text{g}/\text{ml} \text{ ó } \text{g} \\ &\% \end{aligned}$$

Suponiendo 1 ha, en volumen, a 20 cm con 2000000 L, las transformaciones de datos determinados en volumen se realizan a través de los siguientes factores:

cmol(+)Ca/L * 400 = kg/ha
 cmol(+)Mg/L * 240 = kg/ha
 cmol(+) K/L * 780 = kg/ha
 mg/L * 2 = kg/ha
 % * 10000 = mg/L (ppm).

TIPOS DE SUELOS ASOCIADOS CON DEFICIENCIAS

NITROGENO:

Si no se fertiliza con N, todos los suelos agrícolas, tarde o temprano llegan a ser deficientes en este elemento. A pesar de ello, ciertas clases de suelos muestran una mayor incidencia de déficit de N o, por lo menos desarrollan una baja disponibilidad con mayor rapidez, debido a sus particulares características (textura, reserva de materia orgánica, pH, constitución mineralógica y condiciones de drenaje) asociadas con condiciones climáticas (precipitación pluvial, temperatura). Tales tipos o clases de suelos se podrían agrupar así:

- * suelos arenosos o de texturas gruesas bajo altas precipitaciones durante la estación lluviosa provocan la lixiviación de nitratos.
- * suelos con muy bajo contenido de materia orgánica no liberan suficiente N por mineralización.
- * suelos con carbonatos de calcio libre o con pH altos, tienen alto potencial de pérdida de amonio por volatilización.
- * suelos ricos en arcillas 2:1 propician la fijación de amonio.
- * suelos volcánicos cuya fracción coloidal está dominada por alofana (pH en NaF mayor de 10,6) forman complejos organominerales que estabilizan las formas orgánicas de N.
- * suelos con drenaje impedido en las épocas lluviosas causan denitrificación a partir de formas nítricas.
- * en suelos ácidos con pH menor de 5 se restringe la actividad microbiana, incluyendo la nitrificación.

FOSFORO:

La deficiencia de P es casi común denominador en los suelos del trópico. Sin embargo, existen clases de suelos donde la deficiencia se presenta con mayor intensidad:

- * suelos volcánicos, ricos en alofana, por la adsorción y formación de complejos con este material.
- * suelos altamente intemperizados, ácidos, ricos en sesquióxidos y Fe y Al libre, por la formación de P-Fe y P-Al.
- * suelos calcáreos o de pH altos, por la formación de P-Ca.
- * suelos pobres en materia orgánica, por la falta de suplemento a partir de esta fracción.
- * suelos con materia orgánica pero con condiciones que limitan la mineralización (bajas temperaturas, bajo pH, baja humedad, desbalances nutricionales).

POTASIO:

Las clases de suelos donde con mayor frecuencia se evidencian problemas de déficit de K para los cultivos son:

- * suelos viejos, Oxisoles y Ultisoles de baja CICE y muy lavados,

- especialmente en zonas de alta precipitación.
- * suelos arenosos o de texturas gruesa, con baja capacidad de retener cationes de cambio.
 - * suelos ácidos, con abundancia de Al en su complejo de cambio.
 - * suelos con bajo contenido de arcillas 2:1, fijadoras de K, por lo tanto, sin capacidad para almacenar K moderadamente disponible.
 - * suelos con muchas arcillas 2:1 y poco K total, por lo tanto, el que hay, está metido entre capas, en forma no disponible para las plantas.
 - * suelos demasiado altos en Ca y Mg, por desbalance de la relación Ca/K o Mg/K.
 - * suelos con materiales parentales pobres en este elemento.
 - * suelos con condiciones de baja humedad que favorecen la fijación entre capas del elemento.
 - * suelos ricos en alofana, que fijan K entre sus intersticios.

CALCIO Y MAGNESIO:

Entre los tipos de suelos asociados con probabilidades de deficiencias de estos elementos están:

- * suelos ácidos, con pH inferior a 5,5 en los que el Al se ha solubilizado, ha desplazado las bases y ocupa las posiciones de intercambio.
- * suelos viejos, Oxisoles y Ultisoles muy lavados y de muy baja CICE, que no tienen gran superficie para retener bases.
- * suelos volcánicos derivados de cenizas pobres en bases, como las riolitas.
- * suelos de texturas gruesas de regiones húmedas y bien drenados.
- * suelos orgánicos fuertemente ácidos con presencia de H intercambiable.
- * suelos con nivel freático alto con aguas subterráneas ricas en Na.
- * suelos derivados de materiales parentales naturalmente pobres en estos elementos.

ELEMENTOS MENORES:

Existen algunas condiciones generales de los suelos que afectan la disponibilidad de todos los elementos menores, como son:

- * suelos con bajo nivel total del elemento debido a la composición propia de su material parental.
- * suelos muy viejos, sin influencia de materiales rejuvenecedores como las cenizas o los aluviones.
- * suelos minerales con bajos tenores de materia orgánica susceptible de descomponerse pues ésta es una fuente importante de elementos menores.
- * suelos muy arenosos o de muy baja superficie que tienen baja capacidad para retener un ion cualquiera, especialmente en condiciones de alta precipitación.
- * suelos con temperaturas bajas causan una disminución en la disponibilidad de todos los microelementos.
- * suelos orgánicos o muy ricos en materia orgánica, pues tienden a acomplejarlos, especialmente al Cu.

Y otras condiciones en que se presentan deficiencias

particulares de unos u otros son:

- * suelos de pH alto, incluyendo calcáreos, alcalinos y neutros, son escasos en Fe, Zn y Mn pues en ese medio disminuye su solubilidad.
- * en suelos básicos el proceso de fijación del anión B se ve favorecido, por lo tanto, disminuye su disponibilidad.
- * suelos ácidos, ricos en óxidos de Fe y Al, son escasos en Mo.
- * en suelos ácidos, muy lixiviados, sometidos a fuerte precipitación, el Zn y el Mn pueden estar deficientes, pues se solubilizan en exceso y se lavan.
- * en suelos reducidos que sufren procesos de oxidación se puede disminuir la disponibilidad de Mn y de Fe.
- * suelos formados a partir de rocas ígneas ácidas o de rocas sedimentarias en agua dulce, son bajos en B.
- * en suelos bajo condiciones de sequía se manifiestan deficiencias de B y Zn.
- * suelos alofánicos acomplejan Cu, Zn y Mn, reduciendo su disponibilidad.

LITERATURA CONSULTADA

- BERTSCH, F. 1988. Potasio, calcio y magnesio en el sistema suelo-café. In Curso regional sobre nutrición mineral del café. IICA (PROMECAFE), San José, Costa Rica. pp 83-98.
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica. 82 p.
- CARVAJAL, J.F. 1984. Cafeto-Cultivo y Fertilización. 2 ed. Berna, Instituto Internacional de la Potasa.
- CORDERO, A. 1988. Evaluación y mejoramiento de la fertilidad de suelos y medición de las necesidades del cafeto. In Curso regional sobre nutrición mineral del café. IICA (PROMECAFE), San José, Costa Rica. pp 109-134.
- FASSBENDER, H.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de Suelos. 2a. ed. IICA, San José, Costa Rica. 420 p.
- GUERRERO, R. 1984. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. In Fertilidad de Suelos, diagnóstico y control. 2a. ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia. pp 141-199.
- GUEVARA, E. 1988. Periodicidad de la absorción de nutrientes y su efecto sobre el desarrollo y la productividad del cafeto. In Curso regional sobre nutrición mineral del café. IICA (PROMECAFE), San José, Costa Rica. pp 39-54.
- HENRIQUEZ, C.; CABALCETA, G.; MOLINA, E.; GADEA, A. 1990. Correlación y calibración de soluciones extractoras en cuatro grupos de suelos de Costa Rica (Andisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Ultisoles). In Taller Latinoamericano de Manejo de Suelos Tropicales (Memorias. 2. San José, Costa Rica).