

PRODUCTIVIDAD POTENCIAL DEL CAFETO EN COLOMBIA

JAIME ARCILA PULGARIN

Jefe de la Sección de Fitofisiología, CENICAFE

La sección de Fitofisiología de CENICAFE inició labores en el año de 1950. Hasta el presente se han realizado investigaciones sobre la fisiología de la semilla, crecimiento y productividad, comportamiento fenológico, nutrición y reguladores de crecimiento del cafeto. Con ocasión de la celebración de los 50 años del Centro Nacional de Investigaciones de Café "Pedro Uribe Mejía" se presenta a continuación un análisis de los principales factores fisiológicos determinantes de la producción del cafeto en Colombia.

1. INTRODUCCION

El proceso de acumulación de materia seca y por consiguiente la producción, es el resultado de la conversión de energía lumínica en energía química mediante la fotosíntesis y la utilización de esta energía química para la elaboración de las materias primas necesarias en el mismo. El potencial de producción de materia seca es además controlado por la interacción de las características genéticas de la planta ó variedad, es decir su potencial propio, y el ambiente en el cual crece, incluyendo el suelo, el clima y las prácticas culturales.

De los factores ambientales, la disponibilidad de energía y agua, juegan un papel preponderante en la realización del potencial de producción de materia seca y el entendimiento de la manera como estos y otros factores afectan los procesos fisiológicos de la planta, conducentes a la acumulación de la materia seca, de los cuales, la fotosíntesis, es el más importante, permitirá optimizar la productividad y es además conocimiento esencial para los programas de investigación sobre el cultivo.

Esta conferencia está orientada hacia los procesos de fotosíntesis y crecimiento del cafeto y su relación con la capacidad de la planta para utilizar la energía lumínica disponible para la acumulación de materia seca, con especial referencia a las condiciones en que se cultiva el café en Colombia.

2. FACTORES CLIMATICOS Y FISIOLÓGICOS DETERMINANTES DE LA PRODUCTIVIDAD DEL CAFETO EN COLOMBIA.

La zona cafetera colombiana se encuentra localizada en las laderas de las tres cordilleras que atraviesan el país de sur a norte. Comprende desde 1° a 10° de latitud norte y dentro de la faja altitudinal de 1.000 a 2.000 m.s.n.m. Esta faja comprende una variedad de condiciones de radiación solar, hídricas y temperatura, Tabla 1, (19,27) y de suelos, que determinan un comportamiento y un

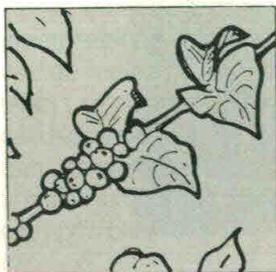


TABLA 1. Características térmicas y de pluviosidad de algunos sitios de la zona cafetera colombiana entre 1 y 10° latitud norte. Adaptado de Jaramillo (27).

| Departamento | Estación | Latitud norte | Longitud oeste | Altitud msnm | Brillo solar horas/día | Radiación observada Wm ⁻² | Radiación fotosintética Activa Wm ⁻² | Temperatura | | | Amplitud térmica |
|--------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|------------------------|--------------------------------------|---|-------------|-------|--------|------------------|
| | | | | | | | | Mínima | Media | Máxima | |
| Nariño | Ospina Pérez | 1°16' | 77°28' | 1.700 | 5.0 | 334 | 157 | 15.0 | 18.9 | 24.6 | 9.6 |
| Cauca | Florida | 2°27' | 76°35' | 1.850 | 4.9 | 332 | 156 | 12.9 | 17.5 | 24.3 | 11.4 |
| Huila | Gigante | 2°22' | 75°33' | 1.500 | 3.6 | 292 | 137 | 16.1 | 19.4 | 23.8 | 7.7 |
| Quindío | La Bella | 4°30' | 75°38' | 1.450 | 3.6 | 346 | 163 | 15.1 | 19.6 | 26.4 | 11.3 |
| Caldas | Cenicafé | 4°59' | 75°35' | 1.310 | 5.3 | 390 | 183 | 16.5 | 20.8 | 27.4 | 10.9 |
| Tolima | Libano | 4°56' | 75°04' | 1.520 | 4.9 | 372 | 175 | 15.0 | 19.0 | 23.4 | 8.5 |
| Antioquia | Rosario | 5°56' | 75°43' | 1.600 | 5.9 | 364 | 171 | 15.9 | 19.7 | 23.4 | 8.5 |
| Norte de Santander | Blonay | 7°35' | 72°36' | 1.235 | 4.4 | 362 | 170 | 15.4 | 19.7 | 26.0 | 10.6 |
| Cesar | Pueblo Bello | 10°22' | 72°38' | 1.000 | 6.7 | 440 | 207 | 15.4 | 20.7 | 27.1 | 11.7 |

| Departamento | Estación | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | | | Evaporación anual mm | |
|--------------------|--------------|--------------------|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|-----------|
| | | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | | Total año |
| Nariño | Ospina Pérez | 51 | 53 | 88 | 110 | 97 | 47 | 21 | 27 | 31 | 114 | 145 | 93 | 1219 | 1040 |
| Cauca | Florida | 72 | 90 | 112 | 129 | 99 | 46 | 11 | 12 | 61 | 210 | 217 | 196 | 1818 | 924 |
| Huila | Gigante | 24 | 38 | 76 | 114 | 101 | 83 | 65 | 54 | 58 | 102 | 97 | 67 | 1168 | 1059 |
| Quindío | La Bella | 56 | 56 | 102 | 196 | 137 | 79 | 22 | 42 | 85 | 219 | 245 | 123 | 1891 | 957 |
| Caldas | Cenicafé | 76 | 70 | 136 | 208 | 207 | 142 | 92 | 97 | 125 | 251 | 202 | 132 | 2287 | 1207 |
| Tolima | Libano | 41 | 67 | 134 | 200 | 169 | 5 | 52 | 82 | 145 | 233 | 169 | 91 | 2007 | 896 |
| Antioquia | Rosario | 49 | 46 | 83 | 196 | 256 | 203 | 88 | 144 | 196 | 263 | 193 | 66 | 2202 | 1169 |
| Norte de Santander | Blonay | 14 | 16 | 19 | 84 | 86 | 61 | 50 | 56 | 78 | 126 | 124 | 25 | 1311 | 1063 |
| Cesar | Pueblo Bello | 10 | 11 | 19 | 168 | 129 | 129 | 82 | 124 | 216 | 250 | 138 | 16 | 1596 | 1135 |

1/ Radiación fotosintéticamente activa se calculó como 47% de la radiación observada

2/ $1Wm^{-2} = 1,433 \times 10^{-3} \text{ calc cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \approx 4.6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

3/ RFA = Radiación fotosintéticamente activa

potencial de producción característicos. A continuación se hace un análisis del potencial de productividad del café en Colombia con especial referencia a la disponibilidad de energía (radiación, temperatura) y la disponibilidad hídrica.

2.1 DISPONIBILIDAD DE ENERGIA

La energía solar es importante para la vida vegetal, por sus efectos térmicos, ya que esta es la mayor forma de intercambio de energía entre la planta y su ambiente; por su papel en el proceso fotosintético en el cual parte de esta energía es usada para la síntesis de compuestos de alta energía y compuestos carbonados; por sus efectos morfogénicos ya que la cantidad y distribución espectral de la radiación de onda corta juega un papel importante en la regulación del crecimiento y el desarrollo y además porque la radiación de longitud de onda muy corta y altamente energética puede tener efectos nocivos sobre la estructura del material genético, causando mutaciones (32).

2.1.1. Radiación solar

A la parte superior de la atmósfera llega una cantidad aproximadamente constante de energía con un valor cercano a 1360 Wm^{-2} denominado constante solar; sin embargo, la cantidad de radiación recibida en la superficie de la tierra sufre modificaciones de acuerdo con la nubosidad, la latitud, la altitud, la orientación de las laderas. De ahí que aproximadamente sólo el 75% de esta radiación llega a 1.800 m.s.n.m y según la nubosidad entre el 24 y 50% alcanza el nivel del mar. Por efectos del relieve hay regiones más expuestas a los rayos del sol que otras (17,32).

Colombia se encuentra cerca de la línea ecuatorial y por lo tanto recibe abundante radiación solar durante todo el año. Los valores máximos que llegan al tope de la atmósfera se presentan en Marzo y Septiembre y están próximos a 864 Wm^{-2} . Los valores mínimos se observan en Diciembre - Enero y están próximos a 765 Wm^{-2} (19,27). En los períodos lluviosos la intensidad de luz es baja y puede ser una limitante para la productividad del café produciendo efectos como una mayor elongación ó menor diferenciación (15,20). Regiones de alta precipitación se asocian generalmente con menor cantidad de radiación incidente debido a la nubosidad. En la tabla 1 se presenta la radiación observada para varias localidades de la zona cafetera colombiana, con valores que oscilan entre 290 - 440 Wm^{-2} . Se presenta entonces una atenuación de 50% o más, con respecto a la radiación posible (19,27).

Esta energía disponible constituye el primer elemento importante en la realización del potencial de producción del café en la zona cafetera colombiana.

2.1.2. Temperatura

Las características térmicas de varias localidades de la zona cafetera se presentan en la Tabla 1. Estas características térmicas son además afectadas por la altitud y la latitud. Al aumentar la altitud, la temperatura desciende; al aumentar la latitud hay una tendencia a disminuir la temperatura para una misma altitud. La longitud influye como orientación de ladera (19,27,35).

Según Jaramillo y Guzmán (29), la temperatura óptima para el crecimiento del café está alrededor de $19-21^{\circ}\text{C}$, con un límite inferior de $13-14^{\circ}\text{C}$ y uno superior de $30-32^{\circ}\text{C}$; fuera de estos límites el crecimiento es casi nulo. En general la temperatura media es muy uniforme a través del año pero hay grandes diferencias entre la temperatura máxima y mínima diarias. Con las temperaturas altas, la planta no puede acumular suficiente materia seca, por aumento de la resistencia interna al flujo de CO_2 , cierre de estomas, déficit hídrico en la hoja, o excesivo consumo de energía en el proceso respiratorio. Además pueden presentarse anomalías florales, como flores estrellas ó secamientos de yemas, lesiones en la base del tallo, lesiones en los cloroplastos (9,36). En las temperaturas bajas el proceso de acumulación de materia seca, y por consiguiente, el crecimiento, es muy lento (35).

2.2 DISPONIBILIDAD DE AGUA

Las zonas cafeteras colombianas más importantes por su producción presentan valores de precipitación entre los 2.000 y 2.500 mm. En estas zonas la tendencia general es la de presentar dos períodos secos y dos lluviosos en el año y volúmenes anuales de evaporación inferiores a los 1.200 mm. No obstante, la zona cafetera presenta altos valores de precipitación anual, hay regiones con limitaciones de agua por una inadecuada distribución de lluvias ó por la alta evaporación (26). Igualmente se presentan limitaciones por exceso de lluvia especialmente en aquellas zonas con suelos con alto poder de retención de agua (26,46).

La disponibilidad de agua es también influenciada por la latitud y la altitud (26, 27). La región norte (10° Lat N) presenta una estación seca pronunciada de Diciembre a Marzo y una estación lluviosa de Mayo a Noviembre. La región central (3 a 6° Lat N) presenta dos períodos

Se ha tratado de establecer la relación del crecimiento con los factores climáticos. No se ha observado relación del crecimiento y la precipitación media (21,45). Se han detectado algunas relaciones con temperatura. Suárez de Castro y Rodríguez (45) encontraron relación entre los máximos y mínimos de crecimiento y la suma de las temperaturas medias horarias. En los meses con más altos totales de temperatura media horaria observaron el mayor crecimiento del café y en los meses con más bajos totales de temperatura media el crecimiento era mínimo.

Según Castillo (14) las mayores variaciones en elementos como brillo solar y temperatura ocurren algunas semanas antes de los máximos crecimientos. Encontró una alta correlación entre el crecimiento y las temperaturas nocturnas superiores a 20°C observadas 3-4 semanas antes; la temperatura máxima no estuvo relacionada con el crecimiento.

Para Jaramillo y Valencia (31) la altura de la planta y el crecimiento de ramas se correlacionaron con 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.

En relación al comportamiento del café con la disponibilidad de agua, Jaramillo y Valencia (31) opinan que en aquellas regiones en donde se presenta un período seco marcado (menos de 100 mm de precipitación mensuales), el comportamiento de la planta estará 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 pronunciados, el comportamiento del café estaría estrechamente relacionado con la disponibilidad de la radiación solar.

Muy poco se conoce acerca del crecimiento estacional de las raíces del café en Colombia.

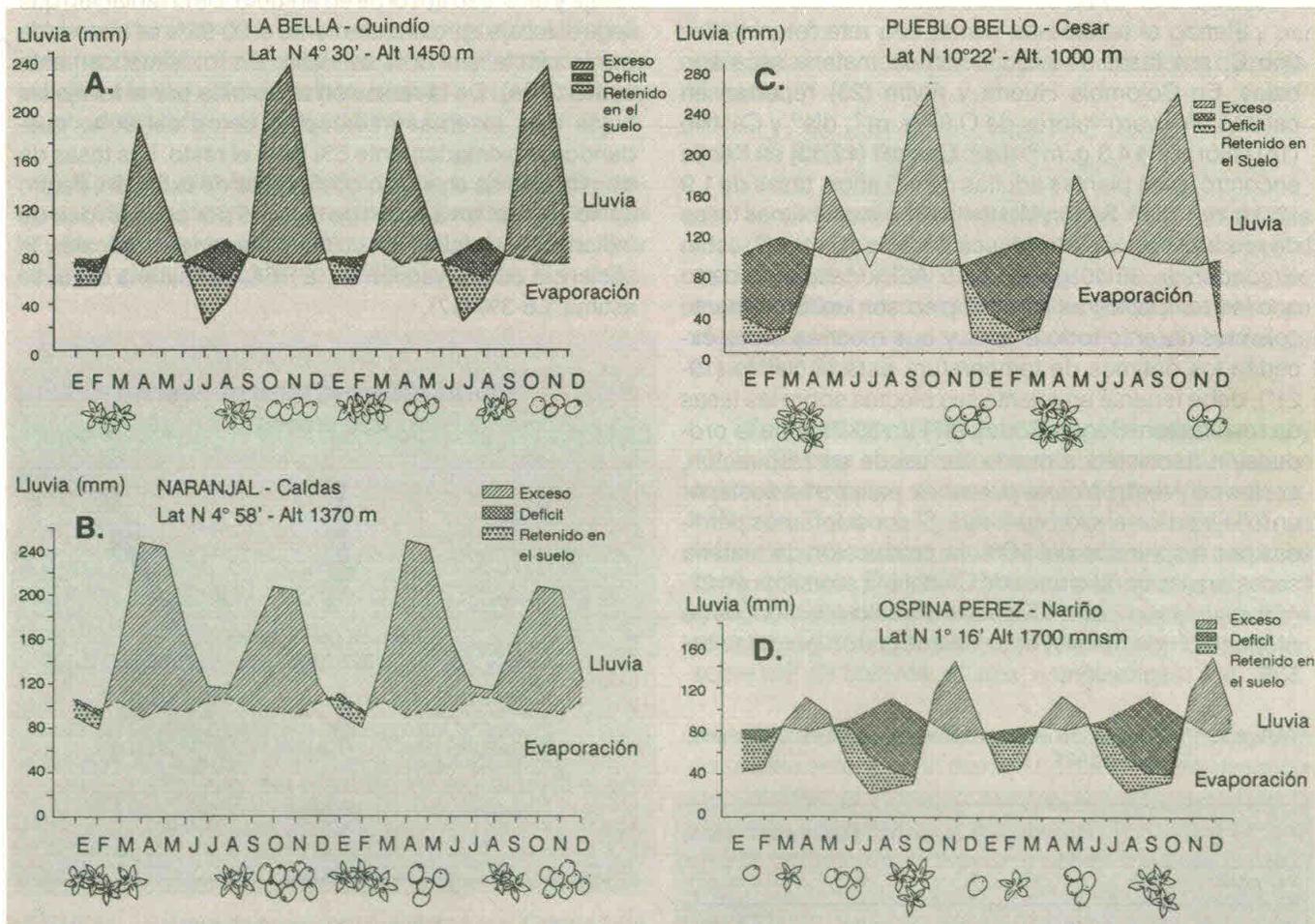


FIGURA 2. Epocas de floración y cosecha en la zona cafetera colombiana según el balance hídrico (1,19,26,47)

3. PRODUCCION DE MATERIA SECA

3.1 Potencial de producción de materia seca de la planta de café.

En las condiciones de disponibilidad energética de la zona cafetera colombiana de 290 - 440 Wm^{-2} y si se considera que el 90-95% de la materia seca consiste de compuestos carbónicos derivados de la fotosíntesis, se ha calculado un potencial de producción de materia seca total, según el método de Loomis y Williams (34) de 90 - 140 toneladas por hectárea y por año; sin embargo, en la práctica, en la zona cafetera central, con *C. arabica* L. variedad caturra, de 5 años de edad y bajo condiciones de máxima intercepción lumínica (10.000 plantas. ha^{-1} , al sol) se han obtenido producciones de materia seca de 15 a 30 toneladas por hectárea y por año, Tabla 2 (1). Estos valores son equivalentes a un 17 -21% del potencial calculado. Lo anterior está indicando una alta ineficiencia de la planta de café en la utilización de la energía disponible, por factores intrínsecos de la planta, ó influencias externas del ambiente.

Siendo el cafeto una planta con ruta fotosintética tipo C_3 sus tasas de producción de materia seca son bajas. En Colombia Huerta y Alvim (23) reportan en cafetos en vivero valores de 0.87 $g. m^{-2}. día^{-1}$ y Castillo (16) valores de 4.3 $g. m^{-2}. día^{-1}$. Cannell (12,13) en Kenya encontró, para plantas adultas de 4-5 años, tasas de 1.9 -2.3 $g. m^{-2}. día^{-1}$. Según Monteith (38), las máximas tasas de producción de materia seca para las plantas C_3 están alrededor de 35-40 $g.m^{-2}. día^{-1}$. Adicionalmente, dado que las temperaturas en el trópico son uniformemente calientes durante todo el año, y que muchas veces exceden los óptimos de temperatura para el cultivo (19-21°), debe tenerse en cuenta sus efectos sobre las tasas de respiración. Según Corley (17) un 50-75% de la producción fotosintética puede ser usada en respiración, por los cultivos tropicales perennes, para poder sostener un follaje en formación continua. Si consideramos pérdidas por respiración del 50%, la producción de materia seca para las condiciones de Chinchiná se estima en 22-45 toneladas $ha^{-1}. año^{-1}$. En nuestros cálculos teóricos de producción de materia seca se adoptaron pérdidas del 50%, por respiración.

TABLA 2. Producción de materia seca del cafeto en Chinchiná, Colombia 1985 (1).

| Variedad | Materia seca (g/planta) según edad (años) | | |
|----------|---|---------|---------|
| | 3 | 4 | 5 |
| Caturra | 1.514,6 | 2.372,1 | 2.952,4 |
| Colombia | 1.475,3 | 2.424,4 | 3.111,6 |

3.2 Determinantes de la producción de materia seca

3.2.1. Uso de la radiación solar por el cafeto

La máxima radiación solar recibida por la superficie terrestre varía entre 46% de la constante solar (1360 Wm^{-2}) en las regiones húmedas y cerca del 80% en regiones áridas. Esta radiación solar que llega, toma las formas de radiación directa y radiación difusa, la suma de las cuales se llama radiación global, radiación incidente o radiación observada y es utilizada en procesos de fotosíntesis, evaporación y calentamiento del aire y del suelo (25, 28, 32).

3.2.1.1. Balance de radiación

De acuerdo con Jaramillo, Escobar y Santos (28), el flujo de radiación para una plantación de *C. arabica* L. variedad caturra sembrada a una distancia de 1 m entre surcos y 1 m entre plantas, Figura 3, muestra que de la radiación global incidente sobre la planta, aproximadamente el 15% es reflejada, el 79% es retenida por el follaje y un 6% se absorbe en el suelo. De la radiación que llega al follaje aproximadamente el 90-95% es absorbida por la planta y el 50% es radiación fotosintéticamente activa (RFA). De la radiación absorbida por el follaje las hojas más externas interceptan cerca del 90%, quedando aproximadamente 5% para el resto. Las tasas de disminución de energía ó coeficientes de extinción, dentro del follaje, varían a razón de 0.4 - 0.5 por cada unidad de índice de área foliar. En cultivos perennes tropicales, la eficiencia de conversión de la RFA, en materia seca, se estima 1.6-3% (17).

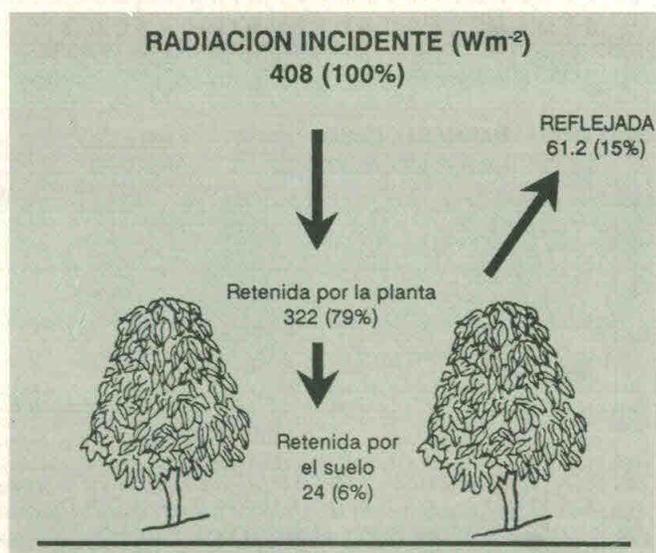


FIGURA 3. Balance de radiación solar en *C. arabica* L. c.v. Caturra 1m x 1m. Cenicafé, 16/07/82, (28)

3.2.1.2. Balance de energía

El balance de energía se refiere al uso de la energía en procesos como calentamiento del aire y del suelo, evapotranspiración y fotosíntesis. En una plantación de *C. arabica* L. variedad caturra sembrada a 1 m x 1 m, al sol, de la radiación neta que llega al follaje, un 62% aproximadamente es usada en el proceso de evapotranspiración, un 36% se consume en calentamiento del aire y un 2% se utiliza en calentamiento del suelo, Figura 4. La evapotranspiración se calculó como $ET (mm) = 0.0084 \times \text{Radiación global} (28)$. En cultivo menos denso la energía empleada en los procesos de calentamiento de suelo y malezas es mayor. En la fotosíntesis solamente se usa de 1 - 3% de la radiación neta (17,28).

3.2.2. Superficie disponible para captación de luz, Fotosíntesis y Biosíntesis.

3.2.2.1. Desarrollo foliar

El hábito perenne del cafeto y las condiciones ambientales de disponibilidad de agua y energía de la zona cafetera permiten un continuo desarrollo del follaje. La cantidad de follaje es además altamente influenciada por la variedad, la distancia de siembra, la fertilización y la edad del cultivo (2,5,15,26,31,36,52).

El desarrollo foliar de *C. arabica* L. variedades caturra (52) y colombia (8), en varias distancias de siembra y para varios años, muestra que a distancias de siembra más amplias, por ejemplo 2.500 plantas ha^{-1} , el desa-

rollo foliar es mayor alcanzando valores cercanos a los 20 m^2 de superficie foliar. A distancias de siembra más cortas por ejemplo 10.000 plantas ha^{-1} , los máximos valores de área foliar están alrededor de 10 m^2 en plantas de 4 años de edad (Figuras 5A y 5B).

En Colombia el mayor desarrollo foliar se presenta inmediatamente después de las floraciones y antes del comienzo de la fase de crecimiento acelerado de los frutos, Figura 1.

Con relación a la luz, según Castillo (15), en plantas en vivero, el área foliar se reduce a partir del 40% de sombra. Al aumentar la intensidad de luz se aumenta el número de hojas. La luz influye además sobre las características morfológicas de la hoja, por ejemplo la longitud disminuye al aumentar la intensidad y las hojas son más delgadas (20).

Con respecto al balance de materia seca de la planta bajo condiciones de alta densidad, las hojas representan el 19-30% de la materia seca total (1). Cannell (13) en Kenya obtuvo valores de 40-45%, es decir, el cafeto presenta una fronda relativamente grande y por consiguiente un buen potencial de producción de materia seca.

3.2.2.2. Índice de área foliar

La producción de materia seca es directamente proporcional a la captación de energía radiante y por tal motivo, para la obtención de cosechas grandes y de buena calidad es esencial un alto grado de cobertura efectiva del terreno, el cual se determina con el índice de área foliar (IAF).

En *C. arabica*, Valencia (52) para variedad caturra y Arcila (8) para variedad colombia encontraron valores máximos de índice de área foliar (IAF) de 8 y 7 respectivamente, Figuras 6A y 6B. Según Valencia (52) con un IAF de 8, en variedad caturra, se obtienen las máximas producciones, Figura 7. Este valor se consigue a los 3 años con una densidad de 10.000 plantas ha^{-1} y a los 4 años con 5.000 plantas ha^{-1} . No se tiene información sobre IAF de cultivos adultos, a la sombra.

Para mantener el índice de área foliar óptimo será necesario entonces un manejo cuidadoso de la distancia de siembra, la poda, la fertilización nitrogenada y la duración del cultivo. Los estudios realizados en Colombia (1,4,48,49,52) indicaron que las mejores posibilidades para obtener estos índices óptimos en variedades de porte bajo y al sol será con densidades de siembra desde 5.000 hasta 10.000 tallos por hectárea, Figura 8.

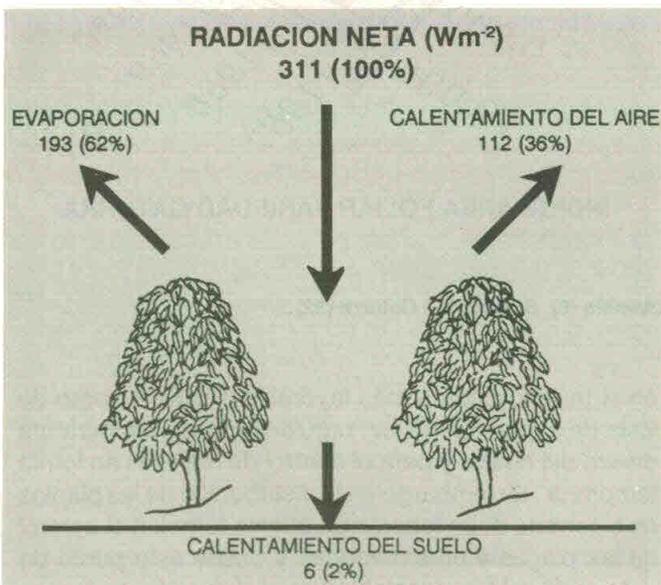
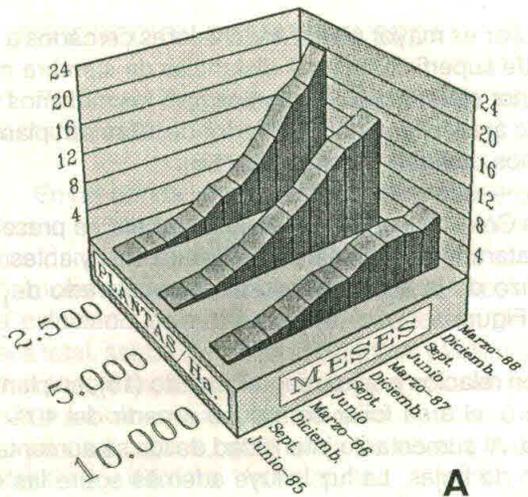
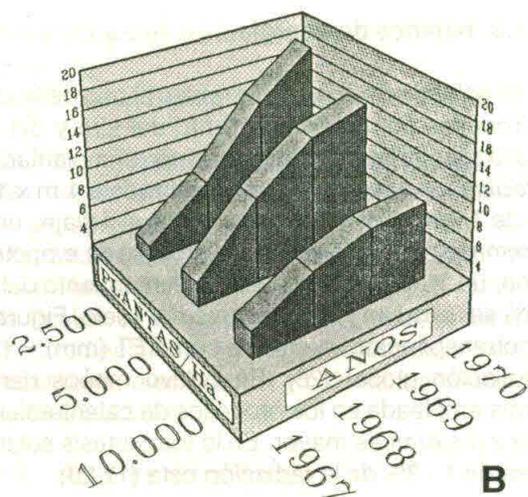


FIGURA4. Balance de energía en *c. arabica* L. c.v. Caturra 1m x 1m. CENICAFE. 16/07/82, (28)

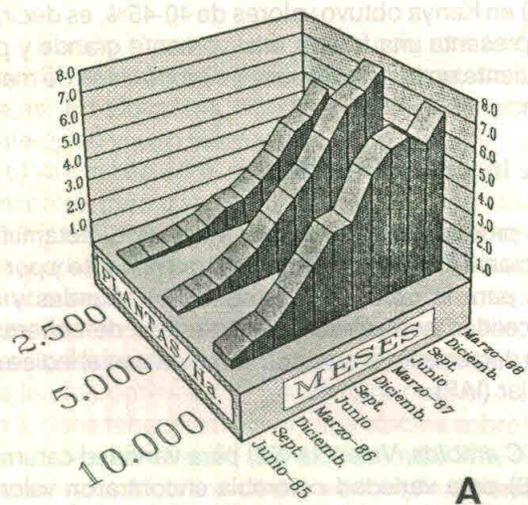


AREA FOLIAR VARIEDAD COLOMBIA

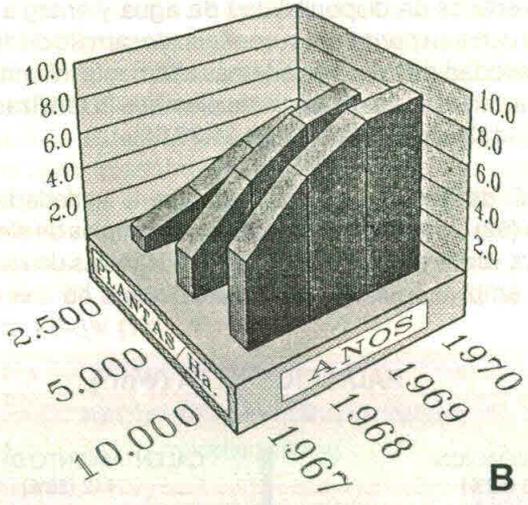


AREA FOLIAR VARIEDAD CATURRA

FIGURA 5. Desarrollo foliar en *C. arabica* L. A: Variedad Colombia (8) B: Variedad Caturra (52)



INDICE AREA FOLIAR VARIEDAD COLOMBIA



INDICE AREA FOLIAR VARIEDAD CATURRA

FIGURA 6. Índice de área foliar (IAF) en *C. arabica* L.; A: Variedad Colombia (8) B: Variedad Caturra (52).

Para máxima captación de luz sería deseable una distribución uniforme del follaje sobre el terreno, lo cual, se logra empleando igual distancia entre plantas y entre surcos. Algunos autores recomiendan surcos de poco espesor con una distancia entre surcos igual a la altura de los mismos (13,25). Uribe y Mestre (49) no encontraron diferencias en producción entre la distribución de las plantas en forma rectangular o en cuadro y para varias densidades de siembra. La distribución uniforme

en el terreno parece más favorable desde el punto de vista de captación de luz, regulación de la temperatura dentro del cultivo y para el control de malezas en forma temprana. Sin embargo en la distribución de las plantas en el terreno debe tenerse en cuenta también el control de las plagas y enfermedades y desde este punto de vista sería más aconsejable una distribución en surcos que facilite la aspersion del cultivo cuando sea necesario.

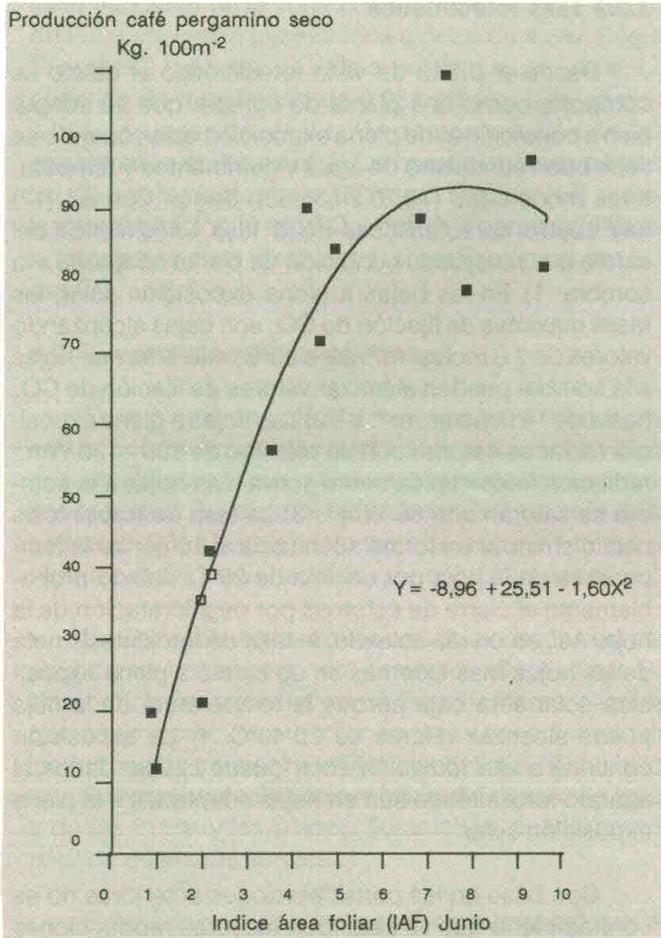


FIGURA 7. Relación entre el IAF y la producción de café en *C. arabica* L. variedad Caturra (52).

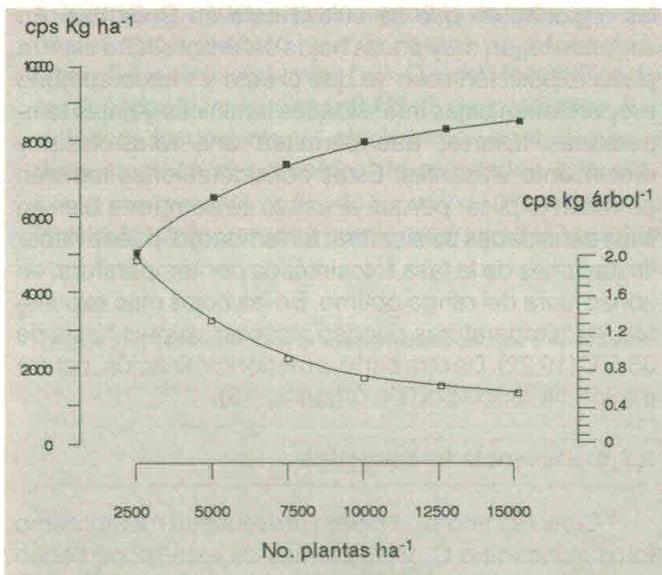


FIGURA 8. Relación entre la densidad de población y producción en *C. arabica* L. variedad Caturra (1)

3.2.2.3. Arquitectura de la planta

En *C. arabica*, a pesar de no existir un estudio detallado de la relación entre la arquitectura de la planta y la producción (37,40,41,43), pueden considerarse, con relación a la disposición de las ramas, básicamente dos tipos de arquitectura que podrían ser de interés desde el punto de vista de producción de materia seca: 1) Tipo planófila, con ramificación predominantemente plagiotrópica, ejemplo variedad caturra, Figura 9A, y 2) Tipo erectófila con ramificación predominantemente ortotrópica, ejemplo la variedad erecta, Figura 9B. En el tipo planófila, las ramas se insertan en un ángulo aproximado de 80-90° con relación al tallo (40) y las hojas también se insertan en ángulo. En el tipo erectófila las ramas se insertan en un ángulo de 30-40° (40) y las hojas son casi horizontales. Con el peso de la cosecha y la edad sin embargo, las ramas se doblan presentándose en la misma planta prácticamente dos tipos de arquitectura: La original inmodificada en la parte superior de la planta y la modificada predominantemente plagiotrópica en la parte inferior de la planta. (Figura 10A. y 10B.) Por prácticas de manejo como la poda, ejemplo eliminación temprana del brote terminal, también se cambia la arquitectura, Figura 10C.

Las plantas tipo planófila son aparentemente más productivas que las plantas tipo erectófila (43). Dados los altos IAF del cafeto en densidades altas, el ángulo de inserción de las ramas, la forma, el tamaño y el ángulo de inserción de la hoja, podrían modificarse para buscar óptima captación de luz.

Los hábitos de crecimiento y producción del cafeto en Colombia así como su arquitectura hacen que la planta presente una conformación especial que afecta su comportamiento y podría hablarse de "regiones fisiológicas" en la planta como se muestra en la Figura 11, así: Zonas de crecimiento vegetativo activo, zonas de crecimiento reproductivo tanto de flores como frutos y zonas de senescencia (5,6). Entre estas zonas las condiciones de luz y temperatura son bastante diferentes (3,19,25,28). En varios estudios (24,53) se ha demostrado que las hojas viejas del cafeto tienen una menor actividad fotosintética que las hojas jóvenes. Esta situación es más crítica en la parte baja de la planta en donde las ramas tienden a desaparecer con el tiempo, debido principalmente a condiciones de baja iluminación, más acentuadas en cultivos densos.

Las anteriores consideraciones deben tenerse en cuenta como factores que afectan la producción de materia seca, especialmente su redistribución.

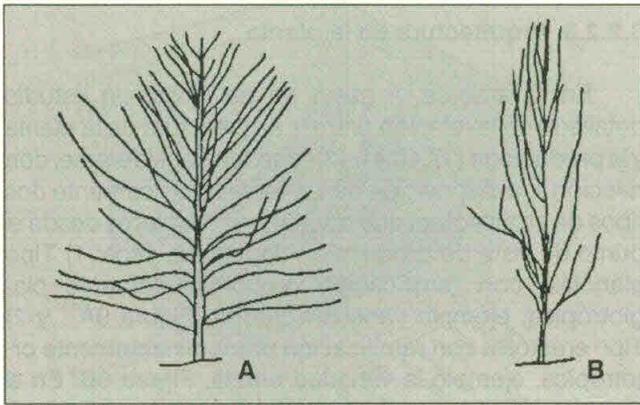


FIGURA 9. Arquitectura de plantas de *C. arabica* L.
A: Tipo planófila (Var. Caturra).
B: Tipo erectófila (Var. Erecta) (4,37,40)

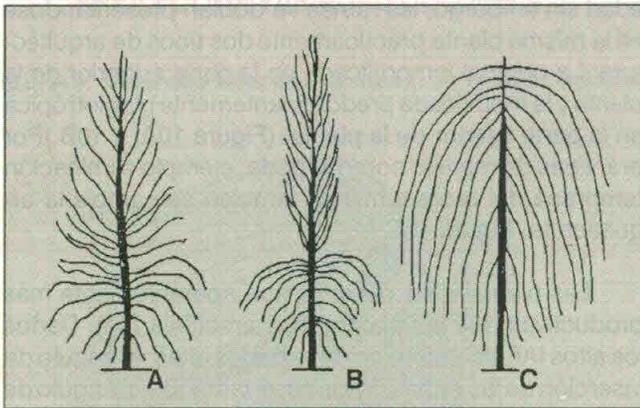


FIGURA 10. Modificaciones de la arquitectura de la planta en *C. arabica* L. A y B: modificaciones con la edad, C: modificación por poda de la yema epical del tallo ortotrópico.

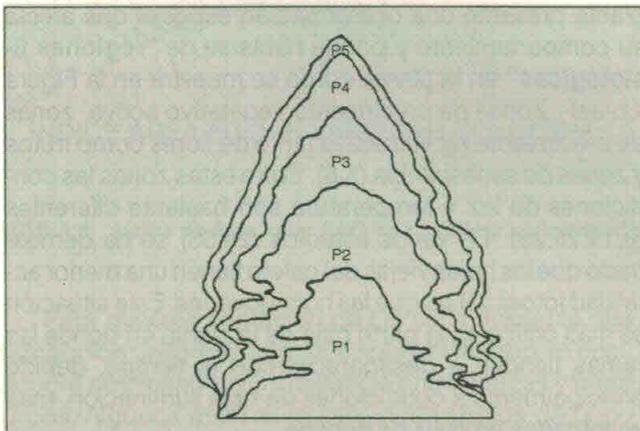


FIGURA 11. Regiones fisiológicas una planta de café de tres años de edad. P1= Zona de Senescencia; P2= Zona de crecimiento activo de frutos; P3= Zona de crecimiento de flores; P4= Zona de crecimiento activo de hojas; P5= Zona meristemática (5,7,8)

3.2.3 Tasa fotosintética

Desde el punto de vista fotosintético el café se comporta como una planta de sombra que se adapta bien a condiciones de plena exposición solar, cuando se tiene buen suministro de agua y nutrimentos y temperaturas moderadas (12,20,29,35,53). Según Cannell (12) hay cuatro características de la tasa fotosintética del café 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 alcanzando valores de 7 u moles. $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, a 20°C ; mientras que hojas a la sombra pueden alcanzar valores de fijación de CO_2 hasta de 14 u moles. $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. 2) Las hojas a plena exposición solar se saturan con un máximo de 109 - 130 Wm^{-2} radiación fotosintéticamente activa. Las hojas a la sombra se saturan con 65 Wm^{-2} . 3) La tasa de fotosíntesis neta disminuye en forma acentuada al aumentar la temperatura de la hoja por encima de 25°C , debido probablemente al cierre de estomas por deshidratación de la hoja. Así, en un día soleado, la tasa de fotosíntesis neta de las hojas más externas en un café a plena exposición solar será baja porque la temperatura de la hoja puede alcanzar valores de $35\text{-}40^\circ\text{C}$. 4) La 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 en cafetos a plena exposición solar que a la sombra. En primer lugar, existe una gran atenuación (50%) de la radiación incidente por la nubosidad casi permanente de las regiones en que se cultiva café en Colombia. En segundo lugar, muy pocas hojas del árbol adulto están a plena exposición solar ya que el auto y mutuo sombrero proporcionan bajas intensidades lumínicas y bajas temperaturas foliares, que permiten una fotosíntesis y crecimiento eficientes. Estas consideraciones también permiten explicar porqué el café se comporta bien en altas densidades de siembra. Sin embargo, puede haber limitaciones de la tasa fotosintética por temperatura, en zonas fuera del rango óptimo. En las hojas más expuestas, las temperaturas pueden alcanzar valores hasta de 38.5°C (19,22). De otra parte, a menor iluminación, ocurre mayor diferenciación de órganos (15).

3.2.4 Eficiencia fotosintética

Como se anotó, el café presenta un metabolismo fotosintético tipo C_3 y las plantas de este grupo tienen una baja eficiencia fotosintética (12,17,20,38,39). Las hojas tienen un contenido de clorofila alrededor de $2.7 \mu\text{g mg}^{-1}$, peso fresco (44). De acuerdo a la radiación

solar incidente en la zona cafetera colombiana, se tendría una eficiencia fotosintética teórica de 4.6%. Según Friend (20) las hojas de café al sol tienen una eficiencia cuántica de fotosíntesis de 0.034 y hojas a la sombra 0.055. Las tasas de respiración como evolución de CO₂ se estimaron en 0.1 umol. m⁻². s⁻¹ para plantas con 5% de luz y 0.3 para plantas bajo 100% luz. Sondhal (44) estimó la fotorespiración (2 mg CO₂ . dm⁻² h⁻¹) como un 37% de la fotosíntesis neta y 2.8 veces la respiración oscura (0.7 mg CO₂ . dm⁻². h⁻¹).

3.2.5 Repartición de asimilados

En la planta de café el crecimiento del follaje y las ramas ocurre simultáneamente con el desarrollo de la cosecha (Figura 1) por lo tanto se presenta competencia por recursos. Así el suministro dependerá no solo de la actividad de la fuente sino también de la manera como se reparten entre los vertederos que compitan por ellos.

En Colombia, en las zonas donde la cosecha es más abundante en el segundo semestre (Septiembre-Diciembre), la floración ocurre de Enero a Marzo, seguida por máximo crecimiento foliar en abril y por el llenado de los frutos que comienza en Abril y continúa hasta Julio.

Por competencia entre el inicio del desarrollo foliar y de los frutos y las últimas floraciones, puede ocurrir pérdida de yemas florales.

El llenado de frutos es un período durante el cual es grande la competencia de asimilados por los frutos en desarrollo, lo cual a su vez se refleja aparentemente en menores tasas de crecimiento en Junio -Julio (5,6,14). Estos frutos pueden atraer asimilados de todas las hojas de una rama, excepto las más tiernas y también de las hojas de las ramas laterales (13). Cuando la fructificación es abundante, y la disponibilidad de productos fotosintéticos insuficiente, el crecimiento vegetativo se reduce, también el suministro de asimilados a la raíz y como consecuencia puede ocurrir la muerte de los terminales de las ramas o puede producirse el "paloteo"

(42,50). Además se acentúa el fenómeno de fructificación bienal.

Estudios sobre el efecto de la defoliación en plantas en producción, en Colombia, (3), indican que durante el período comprendido desde dos meses después de las floraciones hasta un mes antes de iniciar la cosecha, por ejemplo Abril-Agosto en Chinchiná, es importante la presencia de una buena cantidad de follaje, con alta capacidad fotosintética para satisfacer las demandas de asimilados de la cosecha en formación. En Francia (10,24) se estudió el efecto de la defoliación artificial sobre la actividad fotosintética de plantas en estado vegetativo. La pérdida de hojas viejas no tuvo un efecto marcado en la fotosíntesis, mientras que la remoción de hojas jóvenes, especialmente las periféricas, tuvo un efecto severo en la fotosíntesis.

En la Tabla 3 se muestra, para altas densidades (10.000 plantas. ha⁻¹) como la planta de café distribuye la materia seca entre sus partes en proporciones muy específicas. En estas condiciones, la parte aérea constituye entre el 80 y 85% del peso seco total de la planta, y las raíces aproximadamente el 15%. Las hojas representan el 19-30% y el índice de cosecha varía de 5-15% (1).

La aparición de la roya del cafeto en Colombia, ha alterado aparentemente este equilibrio de la planta, en su relación fuente-vertedero, limitando de una parte la fuente por pérdida de superficie foliar y alteración del metabolismo fotosintético y de otra, alterando el vertedero, el cual se incrementa. El resultado es similar al de el exceso de fructificación descrito.

El fenómeno de "agotamiento" de los cafetos observado en algunos países cafeteros (42) puede mirarse básicamente como un desequilibrio en la relación fuente-vertedero por una alta concentración de la cosecha y limitación del crecimiento de raíces. En Colombia este fenómeno es de rara ocurrencia, debido a una menor concentración de la cosecha, continua forma-

TABLA 3. Distribución de la materia seca en cinco variedades de *C. arabica* L. CENICAFE 1985 (1)

| Parte de la planta | % DEL PESO SECO TOTAL DE LA PLANTA | | | | |
|--------------------|------------------------------------|----------|--------|--------|-------------|
| | Caturra | Colombia | Catuai | Erecta | Cat. x 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 |

ción y mayor duración del follaje, condiciones físicas del suelo favorables para un buen desarrollo de raíces y disponibilidad de agua casi permanente.

Un aspecto de gran interés en la repartición de asimilados en la planta de café es la ocurrencia de fotosíntesis en los frutos en desarrollo y según Cannell (12) ellos pueden representar entre 2 y 30% de la superficie fotosintética total en árboles con cosecha abundante.

En Colombia, en algunas zonas sujetas a deficiencias hídricas severas es frecuente el fenómeno de grano negro (51), el cual además de una deficiencia hídrica en la fase de crecimiento acelerado de los frutos, podría estar asociado también a problemas de limitación de la fuente.

4. MODELO DE PRODUCCION POTENCIAL DE BIOMASA

Con base en los componentes de clima y los procesos fisiológicos básicos de la planta, Jaramillo, Larsen y Arcila (30) han adaptado para café, un modelo para estimar la productividad potencial de los cultivos (18).

Como elementos básicos del clima se tienen en cuenta la disponibilidad de agua en el suelo calculada a partir del balance hídrico y la disponibilidad de energía expresada por la radiación solar y la temperatura. Como procesos fisiológicos de la planta intervienen la producción fotosintética en relación con la disponibilidad de agua, radiación y temperatura y un gasto respiratorio según la temperatura, Figura 12. De esta manera se determina una Biomasa-global máxima y una Biomasa neta. Se estableció un índice entre la Biomasa decadal y la Biomasa máxima, según el cual, hay períodos de

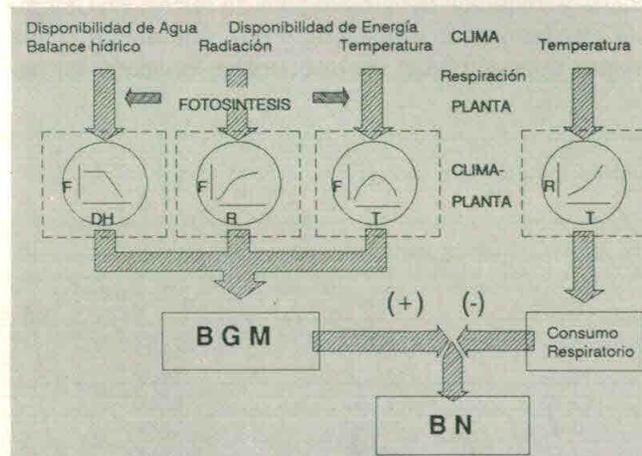


FIGURA 12. Modelo Clima - Planta para *C. arabica* (30)

mayor o menor productividad, aparentemente asociados a efectos climáticos.

5. RECURSOS PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD

Los incrementos de la producción cafetera colombiana han sido el resultado, principalmente, de incrementos en el índice de área foliar y de la fertilización, acompañados de unas condiciones ambientales y de suelo, relativamente favorables.

A pesar de existir en la zona cafetera colombiana una buena disponibilidad de agua y energía para un alto potencial de producción de materia seca, este no se alcanza por las limitantes discutidas anteriormente relacionadas con la captación de luz, temperatura, eficiencia fotosintética, tasa de producción de materia seca e índice de cosecha.

Para mejorar la captación de luz es necesario conocer más profundamente la arquitectura de la planta de café y determinar cual sería la fronda más conveniente, para una mejor eficiencia de la planta de café. tanto desde el punto de vista de la disposición de las ramas, como de las hojas. Una mayor eficiencia en el uso de la energía solar y el agua disponibles en la zona cafetera se lograría además buscando una mayor duración del área foliar, racionalizando la fertilización nitrogenada para procurar un desarrollo apropiado de la fronda ó mediante mayor eficiencia en el uso de nutrientes; solo así se tendrán mejores bases para el manejo del índice de área foliar; a través de la poda y otras prácticas culturales. Igualmente podrían definirse claramente los sistemas de cultivo que permitan la utilización eficiente de la luz.

Con relación al mejoramiento de la eficiencia fotosintética, siendo la planta de café una especie con el metabolismo fotosintético tipo C_3 , es de interés buscar la reducción de las altas tasas de respiración para lo cual es importante ubicar el cultivo en zonas con temperaturas moderadas. Además es conveniente evitar el excesivo sombrero. La posibilidad de seleccionar variedades con mejor eficiencia fotosintética ha sido un recurso poco explorado en café. Poco se conoce de los mecanismos bioquímicos de la fotosíntesis en café. Mediante la biotecnología será posible explorar más profundamente estos mecanismos fotosintéticos del cafeto.

No todas las flores se convierten en fruto, además no todos los frutos completan su desarrollo hasta la maduración. El aumento de los índices de cuajamiento es así, un factor importante para el mejoramiento de la productividad del cafeto en Colombia, también deberá

darse gran importancia a las relaciones fuente-vertedero para buscar que los asimilados se dirijan a las partes donde se necesitan prioritariamente y determinar si la limitante es la fuente o el vertedero y en qué épocas estas limitaciones son más acentuadas.

Dada la casi permanente disponibilidad hídrica en la zona cafetera, sería de interés conocer los mecanismos que tiene la planta para adaptar su sistema radical a estas condiciones y determinar si este factor es una limitante para la realización del potencial de producción.

6. CONCLUSIONES

Una parte muy representativa de la zona cafetera colombiana presenta condiciones de disponibilidad de agua y energía que permitirían la realización de un alto potencial de producción de materia seca por la planta de café, sin embargo, existen limitaciones, unas de tipo ambiental, por ejemplo la excesiva nubosidad, lluvia ó temperaturas, y otras inherentes a la planta, como la baja eficiencia fotosintética, altas tasas de fotorespiración, poca adaptabilidad a las temperaturas altas, que no permiten conseguirlo. En general, en el mundo, se ha desarrollado bastante el conocimiento sobre el proceso de intercambio gaseoso de la fotosíntesis pero se desconocen aspectos fundamentales del metabolismo y del aparato fotosintético así como también de los procesos de regulación. Poco se conoce acerca de la arquitectura de la planta más eficiente en captación de luz. Las condiciones favorables de disponibilidad de agua y energía de la zona cafetera colombiana permiten un continuo desarrollo vegetativo y reproductivo del cafeto, lo cual dificulta el manejo del índice de área foliar óptimo para la producción y la determinación de limitaciones por fuente ó vertedero.

BIBLIOGRAFIA

1. ARCILA P., J. Aspectos fisiológicos de la producción de café *Coffea arabica* L. In: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. CENICAFE. CHINCHINA (COLOMBIA). Tecnología del Cultivo del café. Chinchiná (Colombia). CENICAFE. 1987. p. 59-111.
2. ARCILA P., J. El desarrollo foliar del cafeto. Chinchiná (Colombia). CENICAFE. 1983. 9 p.

3. ARCILA P. J. Desarrollo foliar y producción del cafeto. CONGRESO Anual Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal COMALFI. 20. Ibagué (Colombia), Febrero 7-9 de 1990. Resúmenes.
4. ARCILA P. J. Consideraciones sobre aspectos fisiológicos en el manejo de cafetales. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1987. 17 p. (mecanografiado).
5. ARCILA P. J. Fenología y su relación con el manejo de cultivos. In: SEMINARIO de actualización en Fisiología de Cultivos Perennes de clima medio. Manizales (Colombia) 22-24 Noviembre de 1989. Chinchiná (Colombia), CENICAFE 1989.
6. ARCILA P. J. Observaciones fenológicas en café. In: SEMINARIO de actualización en Fisiología de Cultivos Perennes de clima medio. Manizales (Colombia), 22-24 Noviembre 1989. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1989.
7. ARCILA P. J. Retención y duración de las hojas de café. In: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. CENICAFE. CHINCHINA (COLOMBIA). Informe anual de labores de la Sección de Fitofisiología 1987.1988. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1988. (Mecanografiado).
8. ARCILA P. J. Proyecto FIS 0702. Análisis de crecimiento del cafeto. Ensayo FF-14B. Desarrollo foliar y otros componentes de producción de la variedad Colombia. In: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. CENICAFE. CHINCHINA (COLOMBIA). Informe anual de labores de la Sección de Fitofisiología 1988-1989. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1989. p. 42-44.
9. BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Floracão do cafe, uma revisao. Revista Ceres (Brasil) 25(141):467-479. 1978.
10. BERRY, D.; BIEYSSE, D.; ANDRADE, M.; MULLER, R.A. Photosynthese et photorespiration du caféier *Coffea arabica* L.: effets d'une attaque de rouille *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. In: COLLOQUE Scientifique International sur le Cafe. 12. Montreux (Suiza), 29 juin-3 juillet, 1987. París (Francia). ASIC, 1988. p. 600-613.

11. BROWNING, G. Environmental control of flower bud development in *Coffea arabica* L, In: LANDSBERG, J.J.; CUTTING, C.V. (eds). Environmental effects on crop physiology. Londres (Inglaterra), Academic Press, 1977. p. 321-331.
12. CANNELL, M.G.R. In: CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. West Port (Estados Unidos) AVI Publishing Company, 1985. p. 108-134.
13. CANNELL, M.G.R. Primary production; fruit production and assimilate partition in arabica coffee: a review. In: COFFEE RESEARCH FOUNDATION - CRF RUIRU (KENYA). Annual report 1971-1972. Ruiru (Kenya), CRF, 1972. p. 6-24.
14. CASTILLO Z., J. Observaciones sobre la relación del crecimiento del café y temperatura en condiciones de campo. CENICAFE (Colombia) 8(10):305-313. 1957.
15. CASTILLO Z., J.; LOPEZ A., R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del café. CENICAFE (Colombia) 17(2):5 1-60. 1966.
16. CASTILLO Z. J. Ensayo de análisis del crecimiento en café. CENICAFE (Colombia) 12(1): 1-16. 1961.
17. CORLEY, R.H.V. Potential productivity of Tropical perennial crops. Experimental agriculture (Inglaterra) 19(3):217-237. 1983.
18. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION - FAO - ROMA, ITALIA. Report on the Agro-Ecological zones Proyect. Methodology and Results for South and Central America. Roma (Italia), FAO, 1981. V.3. 251p.
19. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. CENICAFE. CHINCHINA (COLOMBIA). 40 años de investigación en CENICAFE; Clima. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1983. V.2 56p.
20. FRIEND, D.J.C. Shade adaptation of photosynthesis in *Coffea arabica*. Photosynthesis Research (Holanda) 5(4):325-334. 1984.
21. GOMEZ, G.L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del café. CENICAFE (Colombia) 28(1):3-17. 1977.
22. GOMEZ G.,L.; JARAMILLO, R.A. Temperatura de árboles de café al sol. CENICAFE (Colombia) 25(2):61-62. 1974.
23. HUERTA S.,A.; ALVIM, P. de T. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del café. CENICAFE (Colombia) 13(2):75-84. 1962.
24. INSTITUT DE RECHERCHES DU CAFE ET DU CADAU. IRCC. MONTPELLIER (FRANCIA). La rouille orangée; son influence sur la physiologie du cafeier. In: CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONNES EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPMENT. CIRAD. PARIS (FRANCIA) Images de la Recherche. Paris (Francia), CIRAD, 1989. p.62-64.
25. JACKSON, J.E.; PALMER, J.W. Light interception and utilization in orchard Systems. Horticultural Reviews (Estados Unidos) 2:208-267. 1980.
26. JARAMILLO R.,A. Balance hídrico de la zona cafetera colombiana. CENICAFE (Colombia) 33(1):15-34. 1982.
27. JARAMILLO R.,A. Características climáticas de la zona cafetera colombiana. In: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. CENICAFE. CHINCHINA. COLOMBIA. Tecnología del cultivo del café. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1986. p. 7-55.
28. JARAMILLO R.,A. Flujos de radiación solar y de energía en cafetales. Atmósfera (Colombia). N° 11:13-24. 1986.
29. JARAMILLO R.,A.; GUZMAN M., O. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L. variedad caturra. CENICAFE (Colombia) 35(3):57-65. 1984.
30. JARAMILLO R.,A.; LARSEN, L.; ARCILA P.,J. Un modelo para evaluar la influencia del clima en la producción de café. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1989. 7p. (mecanografiado).
31. JARAMILLO R.,A.; VALENCIA A.,G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L. en

- Chinchiná (Colombia), CENICAFE (Colombia) 31(4):127-143. 1980.
32. JONES, H.G. Plants and Microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge (Inglaterra), Cambridge University Press, 1989. 323p.
 33. KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L.; a review. Kenya Coffee (Kenya) 44(519):9-47. 1979.
 34. LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity; an estimate. Crop Science (Estados Unidos) 3(1):67-72. 1963.
 35. LOPEZ C., F.J.; NARANJO J., O.; VILLEGAS E., M.; VALENCIA A., G. Influencia de la altitud en el desarrollo de plantas de café en almacigo. Cenicafé (Colombia) 23(4):87-97. 1972.
 36. MAESTRI, M.; BARROS, R. Ecophysiology in coffee. In: ALVIN, P. de T.; KOSLOUSKI, T.T. (eds). Ecophysiology of Tropical Crops. New York (Estados Unidos), Academic Press, 1977. p.249-278.
 37. MONACO, L.C. Contribuicao dos estudos fisiológicos da producao ao melhoramento. Ciencia e Cultura (Brasil) 25(3):226-229. 1973.
 38. MONTEITH, J.L. Reassessment of maximum growth rates for C₃ and C₄ Crops. Experimental agriculture (Inglaterra) 14(1):1-5. 1978.
 39. OROZCO C., J.F.; CASALET, D.C. Características anatómicas de las hojas y su relación con el posible ciclo fotosintético en café, CENICAFE (Colombia) 25(4):104-112. 1974.
 40. OROZCO C., J.F. Estudio genético del carácter erecta en plantas de la variedad caturra *C. arabica* L. CENICAFE (Colombia) 28(3):75-81. 1977.
 41. REFFYE, P. de; SNOECK, J. Modéle Mathématique de Base pour l'étude et la simulation de la croissance et de l'architecture du *Coffea Robusta*. Café, Cacao. Thé (Francia) 20(1):11-32. 1976.
 42. RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiología do cafeiro. Informe Agropecuario (Brasil) 11(126):26-40. 1985.
 43. SALAZAR A., J.N.; OROZCO C., F.J.; CLAVIJO P., J. Características morfológicas productivas y componentes del rendimiento de dos variedades de café; colombia y caturra. CENICAFE (Colombia) 39(2):43-60. 1988.
 44. SONDAHL, M.R.; CROCOMO, O.J.; SOPEK, L. Measurements of 14_c incorporation by illuminated intact leaves of coffee plants from gas mixtures containing 14 CO₂. Journal of experimental Botany (Inglaterra) 27(101):1187-1195. 1976.
 45. SUAREZ de C., F.; RODRIGUEZ G., A. Relaciones entre el crecimiento del cafeto y algunos factores climáticos. Boletín Técnico Cenicafé (Colombia) 2(16):1-31. 1956.
 46. SUAREZ V., S. Suelos pesados de la zona cafetera. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) N° 71. 1977. 4p.
 47. TROJER, H. The phenological equator for coffee planting in Colombia. In: AGROCLIMATOLOGICAL Methods Proceedings of the Reading Symposium. París (Francia), UNESCO, 1968. Vol. 7, p. 107-117.
 48. URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto de la densidad de población y su sistema de manejo sobre la producción de café. CENICAFE (Colombia) 31(1):29-51. 1980.
 49. URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto de la densidad de población y de la disposición de los árboles en la producción de café. CENICAFE (Colombia) 39(2):31-42. 1988.
 50. VALENCIA A., G. El paloteo del cafeto. Avances Técnicos, CENICAFE (Colombia) N° 82. 1978. 2p.
 51. VALENCIA A., G. Factores que inciden en la formación de granos y caída de frutos verdes de café. CENICAFE (Colombia) 24(2):47-55. 1973.
 52. VALENCIA A., G. Relaciones entre el índice de área foliar (IAF) y la productividad del cafeto. CENICAFE (Colombia) 24(4):79-89. 1973.
 53. YAMAGUCHI, T.; FRIEND, D.J.C. Effect of leaf age and irradiance on photosynthesis of *Coffea arabica* L. Photosynthetica. 13:271-278. 1979.