

MICROCLIMA EN CAFETALES A LIBRE EXPOSICION SOLAR Y BAJO SOMBRÍO

Alvaro Jaramillo-Robledo, Lucía Gómez-Gómez*

RESUMEN

Jaramillo R., A.; Gómez G., L. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. *Cenicafé (Colombia)* 40(3): 65 - 79. 1989

En Cenicafé, Chinchiná (Caldas) y en Albán (Valle) se realizaron observaciones microclimáticas en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.), en variedad Caturra a libre exposición solar y en las variedades Caturra y Bourbon bajo sombrío. Se estimaron los balances de radiación y se determinó el albedo (15%), la radiación retenida por la planta (88%) y la radiación incidente en el suelo (12%). Se encontró una relación altamente significativa entre la radiación neta y la radiación global ($R = 0,98$). Del total de la radiación neta el 67% se emplea en evaporación, el 30% en calentamiento del aire y el 3% en el calentamiento del suelo. Se plantea como expresión para el cálculo de la evapotranspiración diaria (ET) la ecuación $ET = 0,0084 \times \text{Radiación global (cal.cm}^{-2} \text{ día}^{-1})$. Se determinó la temperatura de las hojas, ramas y frutos. La temperatura de las hojas puede estar hasta 10,0°C por encima de la temperatura del aire circundante; estos valores varían según la especie y con el grado de hidratación de las hojas. Existe una alta correlación de las temperaturas extremas registradas en plantaciones a libre exposición y las de la estación climática próxima. Se registraron las modificaciones que presentan la humedad atmosférica, las tasas de evaporación y el viento.

Palabras claves: Colombia, clima, *Coffea arabica*, ambiente atmosférico, libre exposición solar, sombrío, variedad Caturra, variedad Bourbon.

ABSTRACT

In Cenicafé, Chinchiná (Caldas) and in Albán (Valle) observations on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) have been made. Variety Caturra grown under full sun (i.e. without shade) and varieties Caturra and Bourbon grown under shade were investigated. Radiation balances were estimated and the albedo (15%), radiation retained by the plant (88%) and radiation incident on the soil (12%) were determined. A highly significant relationship between net radiation and global radiation was found ($R = 0.98$). Of the total net radiation, 67% was used in evaporation, 30% in heating the air and 3% in heating the soil. An equation to calculate the daily evapotranspiration rate has been established: $ET = 0.0084 \times \text{global radiation (cal. cm}^{-2} \text{ day}^{-1})$. The temperatures of the leaves, the branches and the fruits were determined. The temperature of the leaves was up to 10°C higher than the surrounding air; these values vary with the species and with the degree of hydration of the leaves. There exists a high correlation between the extreme temperatures registered in plantations without shade and those of the nearby meteorological stations. The changes due to atmospheric humidity rates of evaporation and the wind were recorded.

Keywords: Colombia, climate, *Coffea arabica*, Caturra variety, Bourbon variety, atmospheric environment, full sun exposition, shade.

* Investigador Científico II e Investigador Científico III, respectivamente. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFÉ, Chinchiná, Caldas, Colombia.

La información registrada en las estaciones climáticas permite determinar bajo condiciones normalizadas las condiciones medias del ambiente atmosférico de una región y facilita la comparación de grandes áreas.

Dentro del cultivo, el clima se encuentra modificado debido a las propiedades ópticas del follaje, a la arquitectura de la planta y a la disposición de las plantas sobre la superficie del terreno; o sea, cada cultivo maneja los balances de radiación, de energía e hídricos de manera diferente.

Uno de los primeros trabajos sobre el microclima en cafetales, lo realizó Kirkpatrick (21), en Kenia, en el cual se comparan las condiciones climáticas de los cafetales con relación a medidas realizadas en estaciones meteorológicas próximas.

Para estimar las condiciones climáticas de la zona cafetera de Colombia se pueden citar los estudios microclimáticos de Bonilla (3, 4), Escobar y Jaramillo (9), Gómez y Jaramillo (11), Guzmán y Gómez (12), Jaramillo (16, 17, 18), Orozco y Jaramillo (25), Schroeder (31, 32) y Trojer (36, 37), en los que se analizan los balances de radiación, balances de energía, temperatura de las hojas, ramas y frutos de las plantas, temperatura del aire, duración del agua líquida sobre las hojas, humedad atmosférica, evaporación y viento dentro de las plantaciones.

El presente estudio recopila una serie de trabajos sobre observaciones microclimáticas realizadas por CENICAFE en plantaciones de café a libre exposición solar y bajo sombrío. Se presenta información sobre los balances de radiación, balances de energía, temperatura en diferentes órganos de la planta, temperatura en el interior del cultivo, humedad del aire, evaporación y viento.

MATERIALES Y METODOS

Las medidas dentro de las plantaciones y a campo abierto se realizaron en las localidades de Cenicafe, Chinchiná, Caldas y en Albán, El Cairo, Valle.

El Centro Nacional de Investigaciones de Café se encuentra localizado a 04° 59' Norte, 75° 36' Oeste y 1.310 m de altitud. Albán se encuentra a 04° 46' Norte, 76° 13' Oeste y 1.500 m de altitud.

Las condiciones climáticas medias de Cenicafe, son: precipitación 2.520 mm, evaporación 1.200 mm, temperatura media 20,7°C, temperatura máxima 27,5°C, temperatura mínima 16,5°C, brillo solar 1.963 horas y no ocurren deficiencias hídricas durante el año.

Albán presenta como condiciones climáticas medias una precipitación de 1.384 mm, evaporación de 1.084 mm, con deficiencias hídricas en enero, febrero y marzo; temperatura media de 19,6°C, temperatura máxima de 25,0°C, temperatura mínima de 15,4°C y brillo solar de 1.425 horas.

Las plantaciones de café, en Cenicafe, correspondieron a la variedad Caturra, sembrada a 2,0 x 2,0 m; 1,0 m x 1,0 m, a libre exposición y de la variedad Borbón a 2,0 x 2,0 m bajo sombrío de guamo (*Inga* sp) a 12,0 x 12,0 m de distancia entre plantas. En Albán se trabajó en una plantación de variedad Caturra a 1,0 x 1,0 m con sombrío de guamo.

Para medir las condiciones climáticas y microclimáticas se utilizaron tanto equipos convencionales como equipos de precisión; para registrar la radiación se utilizaron piranómetros espectrales de precisión Eppley, radiómetros netos de la Middleton Instruments y placas de flujo Middleton. Para la

temperatura se utilizaron termómetros de máxima, mínima, psicrómetros con termómetros de mercurio y alcohol y termopares de cobre constantan. Para medir la temperatura y la humedad atmosférica se usaron termohigrógrafos con anillo bimetalico y haz de cabellos como elementos sensibles. Las respuestas de los equipos de precisión se detectaron por medio de un potenciómetro milivoltímetro Leeds-Northrup.

Los balances de radiación de onda corta se estimaron con la siguiente expresión:

$$K^* = K \downarrow - K \uparrow$$

Donde:

K^* = balance de radiación de onda corta

$K \downarrow$ = radiación incidente en la parte superior del cultivo

$K \uparrow$ = radiación reflejada por el cultivo

La proporción de radiación reflejada por el cultivo (Albedo) se obtiene por la relación:

$$\alpha = \frac{K \uparrow}{K \downarrow}$$

Esta fracción no es utilizada en los procesos de fotosíntesis y transpiración.

La radiación absorbida por el follaje (K_{af}) se obtiene de la diferencia del balance de radiación (K^*) menos la radiación incidente en la superficie del suelo (K_{ss}).

$$K_{af} = K^* - K_{ss}$$

La ecuación del balance de energía está dada por la expresión:

$$R_n = K^* + L^*$$

R_n = radiación neta

K^* = balance de radiación de onda corta

L^* = balance de radiación termal

La radiación neta es disipada como flujo de calor latente (LE) empleado en la evapotranspiración, flujo de calor sensible (H) empleado en el calentamiento del aire, flujo de calor en el suelo (G) empleado en el calentamiento del suelo y otros flujos de energía (W) como los utilizados en la fotosíntesis y en el calentamiento de la planta, en resumen: $R_n = LE + H + G + W$.

Para el cálculo de esta expresión se utilizó la relación de Bowen; esta metodología fue empleada en un estudio sobre balance de energía en cafetales por Jaramillo y Escobar (18).

RESULTADOS Y DISCUSION

Cafetales a libre exposición solar. Balance de radiación. En la Tabla 1 se presentan las medidas de los diferentes componentes del balance de radiación solar en *Coffea arabica* realizadas en una plantación de la variedad Caturra a 1,0 x 1,0 m. Los valores diarios de albedo presentan un promedio de 15% con valores absolutos extremos próximos a 22% y 14%.

Jaramillo (17) encontró en las variedades Catuaí y Borbón amarillo un valor próximo al 18%; ésto para una latitud sur de 22° con una declinación solar próxima a + 20° lo cual condicionó elevaciones solares muy bajas en la época de estudio (invierno) y por lo tanto los valores de albedo tienden a ser un poco mayores a los encontrados en este estudio, realizado a 4° de latitud norte y con elevación solar próxima a 75°.

TABLA 1. Balance de radiación solar en *Coffea arabica* L. var. Caturra (Cal. cm⁻² día⁻¹) CENICAFE. 1982.

Día	K ↓	K ↑	K*	Kss	Kaf
07-16	421	63	358	25	333
07-21	439	68	371	22	349
07-22	415	62	353	57	296
07-23	627	80	437	71	366
08-17	423	59	364	50	314
Valor medio	443	66	377	45	332

$$\text{Albedo } K \uparrow / K \downarrow = 15\% \quad K_{ss} / K^* = 12\% \quad \frac{K_{af}}{K^*} = 88\%$$

Los valores de albedo en *Coffea arabica* variedad Caturra dependen de la elevación solar y se observa que a mayor elevación solar los valores son inferiores; así se halló que para 40° de elevación solar, el albedo tuvo un valor promedio de 19% y para 75° (al medio día), este valor disminuyó a 16%. Es de esperarse que esta diferencia aumente aproximadamente a un 10% para los ángulos de elevación que se presentan en las primeras horas del día y las últimas de la tarde. Rauner (27) encontró valores comparables a los de este estudio, cuando el bosque presentaba la cobertura máxima.

Los valores de albedo hallados en el presente trabajo, están ubicados dentro de los rangos encontrados en centeno, papa, pasto y caña de azúcar citados por Monteith (24) o los medidos en bosques por Landsberg *et al.* (23) y Stanhill *et al.* (33) los cuales se hallan entre el 10% y el 20%.

Proctor *et al.* (26), encontraron un valor de albedo de 17% en manzano; Jarvis *et al.* (19),

dan un valor comprendido entre 15% y 20% para forestales; Jaramillo (17) para café da un valor de 18% y Stanhill *et al.* (33), para cítricos, un valor aproximado a 17%.

La radiación incidente en la superficie del suelo presentó un valor medio de 12% del balance de radiación durante el presente ensayo (Tabla 1), con valores extremos comprendidos entre 6 y 16%.

Los valores de radiación incidente en la superficie del suelo son muy bajos, con valores que están entre 0,1 y 0,2 Cal. cm⁻² min⁻¹ según el grado de cobertura del follaje sobre el terreno. Este valor concuerda con el obtenido por Sellers (29), el cual manifiesta que la radiación incidente en la superficie del suelo raras veces supera el valor de 0,3 cal cm⁻² min⁻¹.

La relación entre la radiación incidente en la superficie del suelo (K_{ss}) y el balance de radiación (K*) para valores diarios fue de 12%. Estas diferencias están asociadas al índice de área foliar (IAF), ya que para un valor mayor de IAF, la proporción de radiación global retenida por la planta es mayor y por tanto la radiación disponible en la superficie del suelo es menor.

La proporción de energía retenida por los árboles de café presentó durante el ensayo un valor promedio de 88% del balance de radiación para valores diarios (Tabla 1). El valor anterior coincide con la interceptación de la radiación solar encontrada en otros cultivos. En especies perennes como el cacao se conoce una interceptación de radiación que varía entre el 90% y el 97% (1); Kumar (22) registró en café valores superiores al 95% para densidades de siembra por encima de 12.700 plantas por hectárea, para las condiciones de Kenia.

Los valores de transmisividad e interceptación de la radiación solar están modificados por las ramas y frutos existentes en el árbol de café, los cuales retienen una proporción de la radiación que aún no se conoce. Palmer y Jackson citados por Jackson (15) reportan en manzano una interceptación en árboles defoliados entre 10% y 20%; los porcentajes de interceptación están modificados por el grado de defoliación, el estado vegetativo, el desarrollo de la planta, la disposición de las hojas y ramas, y la distancia de siembra.

Balace de energía. El flujo de radiación neta puede relacionarse empíricamente con el flujo de radiación global mediante una ecuación lineal. Las constantes a y b resultantes al correlacionar linealmente la radiación global y la radiación neta, están determinadas por la interacción entre la estructura del follaje y el intercambio de radiación.

En *Coffea arabica* L. variedad Caturra, la relación entre la radiación global y la radiación neta se presenta en la Figura 1. La relación lineal entre las dos variables presentó un coeficiente de correlación altamente significativo con un $r = 0,98^{**}$ y con un coeficiente de regresión (b) igual a 0,744.

Van Bavel y Fristschen (38) obtuvieron un valor de $b = 0,73$ como un promedio de

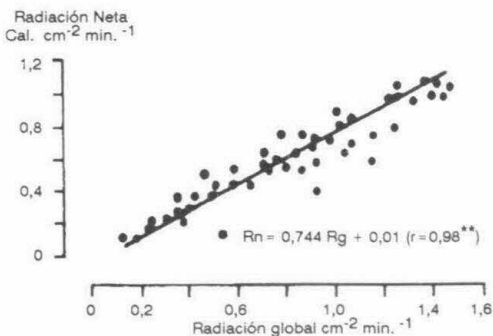


Figura 1. Relación entre la radiación neta y global en *Coffea arabica* L. var. Caturra. CENICAFE.

muchos cultivos. Para forestales de acuerdo con Jarvis *et al.* (19), los valores más frecuentes están entre 0,70 y 0,90 con un valor medio de 0,80. Kalma y Fucks (20) encontraron en cítricos una relación de 0,80.

Fucks (10) y Jarvis *et al.* (19) asocian los mayores valores de b con bajos valores de albedo y la absorción termal de la superficie. A menor valor de albedo la radiación neta es mayor debido a que hay más energía disponible para la evaporación y por tanto evaporará más agua.

Davies (8) encontró una relación lineal y altamente significativa entre R_n y R_g , con coeficientes de regresión (b) que variaron entre 0,35 y 0,69 para albedos que variaron entre 20% y 25%. El valor de 0,744 encontrado para *Coffea arabica* L., está asociado a valores de albedo que varían entre 15% y 16% determinados para la misma plantación de café.

El coeficiente de regresión (b) entre la radiación neta y la radiación global varía además con las condiciones de nubosidad, con las diferentes elevaciones solares, la temperatura de la planta, emisión de nuevas hojas y la especie (17).

Los valores de radiación neta siempre fueron inferiores a los valores de radiación global, lo cual estaría indicando una ausencia de procesos advectivos durante el ensayo, éstos es, fuentes adicionales de energía en el cultivo, diferentes a la suministrada por la energía solar. En caso de presentarse procesos advectivos, los flujos de calor latente empleados en la evaporación son superiores a los de la radiación neta.

Un resumen de los balances de energía diarios se presenta en la Tabla 2. La mayor proporción de la energía se invirtió en los

TABLA 2. Balance de energía en *Coffea arabica* L. var. Caturra. CENICAFE. 1982.

Fecha	Radiación global	Radiación neta	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
	Cal cm ⁻² día ⁻¹		(%)		
07-15	293	215	63	32	5
07-16	421	320	62	36	2
07-21	439	334	60	37	3
07-22	415	304	62	35	3
07-23	517	374	86	10	4
08-17	493	347	69	29	3
Valor promedio	430	316	67	30	3
Valor máximo	517	374	86	37	5
Valor mínimo	293	215	60	10	2

flujos de calor latente (evaporación) con un porcentaje promedio de 67% y un rango de variación entre 60% y 86%.

Rijks, citado por Sellers (29), para las condiciones de Uganda obtuvo una relación de LE sobre Rn igual a 0,70 la cual es comparable con el valor de 0,67 encontrado para *Coffea arabica*.

Para Tanner y Lemon (35), los factores que influyen la cantidad de radiación neta que es convertida en evaporación son: la humedad del suelo y su capilaridad, la cobertura de la planta, la extensión de las raíces y la advección de calor sensible.

Se ha demostrado que la relación LE/Rn presenta modificaciones estacionales; la mayoría de los días estudiados en la época de verano presentan valores menores a 1,0 lo cual indicaría la ausencia de procesos advectivos.

Rosenberg (28) y Tanner y Lemon (35) al estudiar la energía empleada en evapotranspiración, verificaron que la mayor fracción del balance de energía es distribuida entre el calor latente empleado en evaporar el agua y

el calor sensible destinado a calentar el aire. La distribución de estos valores está condicionada a la disponibilidad de agua para evaporar, de tal manera que cuando la superficie está húmeda, la mayor proporción de la energía es empleada en evaporación.

Los balances de energía realizados en los trópicos durante las estaciones cálidas y húmedas indican que el 80% a 90% de la energía se emplea en evaporación. Schubart y Salati (30), anotan que para la región amazónica se invierte un 60% de la radiación neta en evaporación.

Hanks y Aschcroft (13), anotan que los valores de LE/Rn dependen de las condiciones de humedad del suelo; para suelos secos determinaron un valor de 16% mientras que para suelos húmedos este valor era del 97%.

Los valores hallados en el presente trabajo indican una situación de ambiente húmedo, sin limitaciones de agua en el suelo durante los días en que se hicieron las observaciones, puesto que como se relacionó atrás, en condiciones de humedad, la relación LE/Rn se eleva hasta el 86% y aún más.

La energía empleada en los flujos de calor sensible (calentamiento del aire) es del 30% con valores que varían entre 36% y 10%.

Una proporción mínima del 3,0% se empleó en el calentamiento del suelo, con valores que variaron entre 5% y 2%.

De las relaciones anteriores se observa que la mayor proporción de radiación neta se empleó en el proceso evaporativo (LE). Una proporción inferior a la anterior se empleó en el calentamiento del aire (H) y los menores valores de la radiación neta se utilizaron en el calentamiento del suelo (G). Esta situación sucede cuando la evaporación no está limitada y el mayor consumo de energía de la radiación neta es empleada en evaporación.

Las proporciones de cada uno de los componentes que integran el balance de radiación estarán modificadas por el macroclima y la cobertura del follaje en la superficie del suelo; a una menor cobertura la proporción de energía empleada en calentar el suelo será mayor; para Sellers (29), los flujos de calor sensible en el suelo son frecuentemente pequeños en los cultivos y presentan valores que varían entre el 5 y el 15% de la radiación neta en suelo cubierto, y de 25 a 30% en el suelo desnudo.

En el presente estudio los flujos de calor en el suelo son inferiores al 5% con valores frecuentes alrededor del 3% de la radiación neta, lo cual era de esperarse debido a un cubrimiento total de la superficie del suelo por el cultivo. Su magnitud pocas veces excede de $0,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ en las horas de mayor radiación, valor que coincide con los flujos de calor en el suelo medidos en el presente estudio, cuyos valores más frecuentes están alrededor de $0,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

El flujo de calor sensible en el suelo (G) es una función de la temperatura de la superficie y de la composición del suelo. Los flujos se incrementan o disminuyen con la variación de la temperatura y el contenido de humedad del suelo (29).

Conocidas las proporciones de $R_n/R_g = 0,74$ y de $LE/R_n = 0,67$, se puede deducir como una primera aproximación de la evapotranspiración de *Coffea arabica* var. Caturra, la expresión $ET \text{ mm/día} = 0,0084 R_g \text{ (cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1})$; esta aproximación debe correlacionarse en futuros estudios con las tasas de pérdida de humedad de suelo ya que solamente tiene validez para aquellas condiciones en donde no existe limitación de agua tal como ocurrió durante el ensayo.

Temperatura de la planta. Como una consecuencia de los balances de radiación y de energía en las plantaciones se presentan diferencias térmicas entre la planta y el aire circundante. En la Figura 2 se presenta el

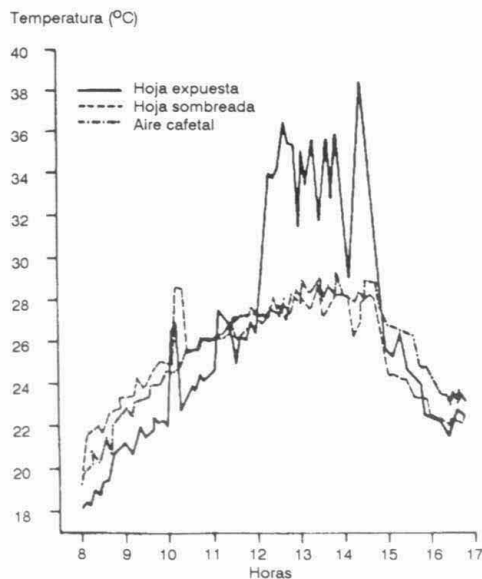


Figura 2. Temperatura foliar y del aire en cafetal a libre exposición solar. CENICAFE.

transcurso diario de la temperatura de una hoja expuesta, una hoja sombreada y el aire del cafetal.

Los resultados indican que las diferencias de temperatura entre el aire del cultivo y la hoja dependen en primer lugar de la cantidad de radiación incidente durante el día y ocurren mayores diferencias en tiempo cálido y seco. En tiempo lluvioso y frío las temperaturas tienden a igualarse.

Las temperaturas foliares hacia el amanecer y en las primeras horas del día son iguales o inferiores a la temperatura de aire en 1,0 ó 2,0°C, para valores individuales y entre 0,65°C y 1,2°C para valores promedios. Al aumentar la radiación, las hojas externas elevan su temperatura y alcanzan valores promedios entre las 11 y las 17 horas de 2,4°C en la parte alta, 2,1°C en la parte media y 0,7°C en la parte baja de la planta por encima de los valores registrados en caseta dentro de la plantación. Hacia el atardecer las temperaturas foliares, tanto en hojas externas como internas, vuelven a estar por debajo de la temperatura registrada en caseta.

Se presentan diferencias entre la temperatura del aire del cafetal de una hoja alta expuesta a radiación directa hasta de 10,2°C. Las hojas sombreadas presentan temperaturas similares a la temperatura del aire próximo.

Las fluctuaciones de temperatura de una hoja expuesta a radiación son bastante grandes, a causa de la variación en la radiación originada por la nubosidad y el cambio en la tasa de calentamiento debido al movimiento del aire.

La nubosidad baja bruscamente los valores de temperatura de hojas expuestas a valores similares a los de hojas autosombradas. Se observa también que las hojas autosombradas tardan en reaccionar a los cambios en la

energía térmica si se comparan con hojas expuestas. La temperatura foliar para hojas altas y medias expuestas a insolación son aproximadamente iguales y muestran tendencia a un mayor calentamiento en las superiores.

Orozco y Jaramillo (25) encontraron que las diferencias entre la temperatura de la hoja y la del aire dependen de la especie y el contenido de agua de la hoja. En *Coffea canephora* las diferencias son mayores que en *Coffea arabica* y a menor contenido de agua en la hoja, estas diferencias son mayores (Figura 3). La temperatura de las hojas fue en general mayor en *C. canephora* especialmente cuando hubo mayor brillo solar. Durante los primeros cinco días estudiados la diferencia máxima alcanzada entre las plantas con riego de estas dos especies, estuvo alrededor de 5°C y las diferencias promedio fluctuaron entre 1 y 3°C.

En plantas sin riego, las diferencias fueron similares pero los valores absolutos fueron más altos; las máximas estuvieron cercanas a 5°C con promedios que variaron entre 0,9 y 2,3°C dependiendo de la variedad, del brillo solar y de los días sin riego.

En las plantas de *C. arabica*, las diferencias fueron menores pero las tendencias fueron similares, a medida que aumentaron los días sin riego la diferencia de temperatura entre plantas regadas y no regadas fue mayor, desde 1,4 hasta 3,1°C en los promedios, con una diferencia máxima de 5,9°C. La máxima diferencia alcanzada por las plantas de *C. arabica* sin riego fue de 8,9°C.

Aún cuando hubo diferencia en el comportamiento de las plantas con diferente grado de marchitez, no fue posible establecer una relación clara entre el grado de marchitez y la temperatura de las hojas debido a que intervienen otros factores tales como la variación

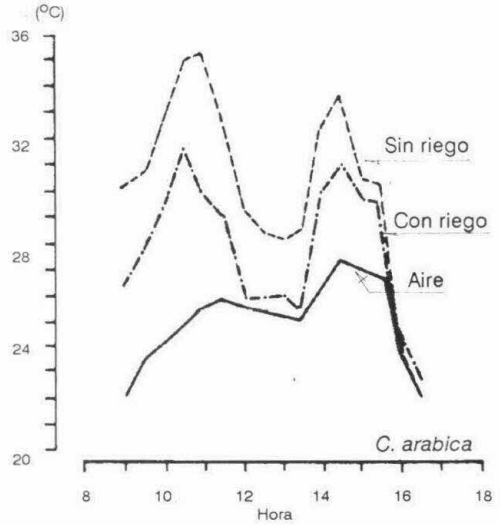
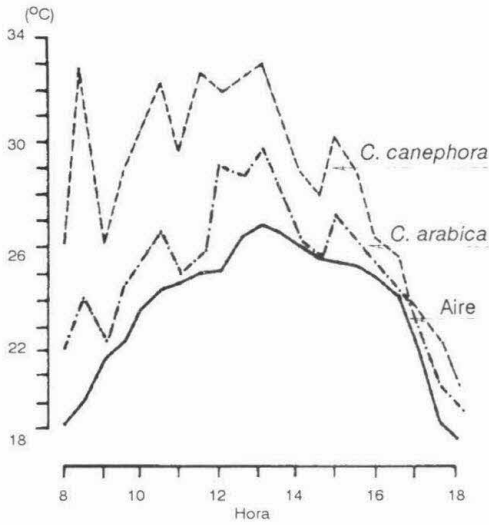


Figura 3. Variación de la temperatura foliar según la especie (*Coffea canephora* ó *Coffea arabica*) y el contenido de agua en el suelo. CENICAFE.

genética entre árboles de una Introducción. Es necesario ampliar los estudios en este aspecto para poder definir la relación grado de marchitez-temperatura.

Las diferencias de temperatura de las hojas, entre especies y entre variedades pueden explicarse por diferencias morfológicas, anatómicas y fisiológicas entre los tipos de hojas, tales como el área foliar, el grosor de la lámina, el contenido de clorofila, la cantidad de radiación recibida, la tasa de transpiración, la cantidad de agua en la hoja y el intercambio de calor dependiente del transporte de agua en la planta (40).

Las ramas siguen durante el día un comportamiento semejante al de las hojas pero permanecen calientes un mayor número de horas que las hojas. Las ramas presentan una temperatura máxima más alta que las hojas y un enfriamiento más lento.

Tanto las ramas como las hojas están más calientes durante el día y más frías durante la

noche, que el aire de la plantación; la temperatura mínima del aire se presenta después de la temperatura mínima de las hojas y de las ramas (aproximadamente 15 minutos).

Las ramas presentan un calentamiento y un enfriamiento intermedio entre las hojas y el aire dentro de la plantación. La temperatura de los frutos fue similar a la registrada en ramas (Figura 4).

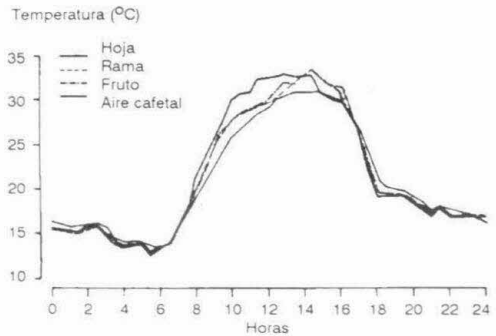


Figura 4. Temperatura de ramas, hojas y frutos expuestos a radiación solar y aire en un cafetal a libre exposición. *Coffea arabica* var. Caturra. CENICAFE.

Temperatura del aire dentro del cultivo. Debido a los intercambios energéticos entre el cultivo y el aire adyacente, la temperatura de éste también sufre modificaciones.

Si se comparan los registros de termógrafo de la temperatura del aire dentro de plantaciones de café a libre exposición solar con la temperatura del aire en la estación climatológica próxima, se observa que:

En días de alta insolación, la temperatura del aire dentro de la plantación es mayor que la registrada en la estación climatológica entre las 10 de la mañana y las 4 de la tarde y alcanzan diferencias hasta de 2°C. Durante la noche la temperatura de la plantación es más baja que a campo abierto, con diferencias hasta de 1°C. Resultados similares han sido anotados por otros autores en cafetales (2, 6, 21).

En días de alta nubosidad, el transcurso de la temperatura en el cafetal y en la estación climatológica es similar. Las diferencias al medio día son muy bajas o no existen.

Las diferencias en la temperatura del aire ocurridas en el cultivo con respecto a la estación climatológica dependen por lo tanto de las condiciones de radiación incidente.

En datos obtenidos en la Subestación de Albán-Valle, se encontró que la relación estadística entre la temperatura máxima del aire registrado en cafetales a libre exposición con respecto a la estación climatológica es altamente significativa. La relación es la siguiente:

Temperatura máxima cafetal = 1,11 temperatura máxima estación X - 0,48 ($r = 0,87^{**}$)

La relación para la temperatura mínima es la siguiente:

Temperatura mínima cafetal = 1,10 temperatura mínima estación X - 1,69 ($r = 0,84^{**}$)

En la Figura 5, se compara la temperatura máxima y mínima registrada en un cafetal a libre exposición solar y en la estación climatológica.

La cantidad de vapor de agua que hay en el aire determina su grado de humedad; una de las maneras de expresarla es por medio de la presión que ejerce el vapor de agua. En la Figura 6 se presenta la curva de presión de vapor medida en un cafetal a libre exposición con respecto a lo que sucede en campo abierto. Se observa que dentro del cafetal hay mayor tensión de vapor, o sea, condiciones de más humedad.

La humedad del aire expresada como tensión de vapor presenta dos condiciones: para períodos secos no se encontró diferencia entre las condiciones de humedad del aire registrado en la estación climatológica con respecto al cafetal a libre exposición solar. Para períodos lluviosos la tensión de vapor dentro de la plantación presenta valores de aproximadamente 3 milibares por encima de los registros en la estación climatológica.

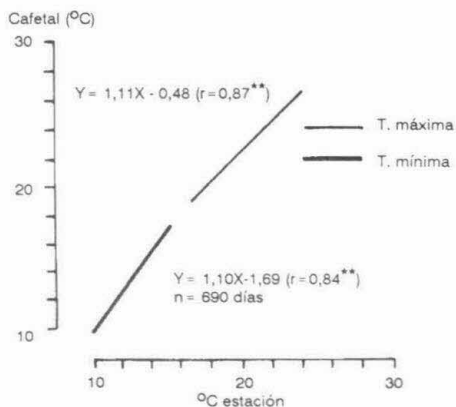


Figura 5. Relación entre la temperatura registrada en estación y en cafetal a libre exposición. *Coffea arabica* var. Caturra. Albán (Valle), de 1974 a 1976.

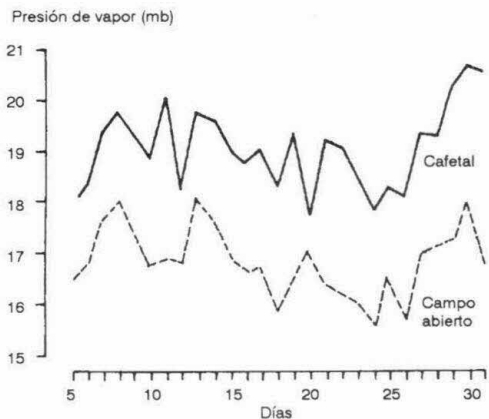


Figura 6. Presión de vapor en un cafetal a libre exposición y en campo abierto. *Coffea arabica* var. Caturra. Albán (Valle), Octubre 1978.

Tasas de evaporación. Debido a los bajos niveles de radiación y menor velocidad del viento dentro de las plantaciones, y por lo tanto a un menor calentamiento dentro del cultivo, se originan menores tasas de evaporación. En la Figura 7 se observa que las tasas de evaporación en campo abierto son mayores, cuando se comparan con la medida dentro de un cafetal a libre exposición.

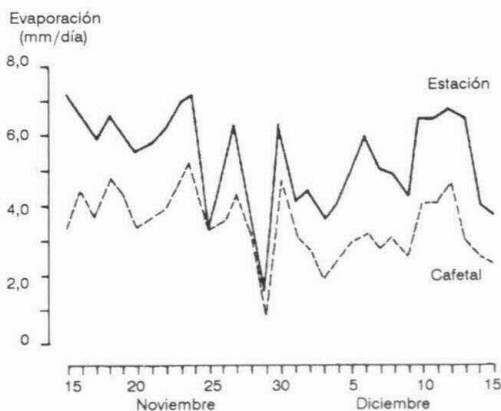


Figura 7. Evaporación medida con evaporímetro de Piche en un cafetal a libre exposición solar de *Coffea arabica* var. Caturra en la estación climatológica. Albán (Valle).

Viento. El comportamiento turbulento dentro de las plantaciones está determinado por la arquitectura del árbol, el índice de área foliar, la distancia de siembra y las prácticas de cultivo tales como el sombrío, la orientación de los surcos y otras. La velocidad del viento tiende a aumentar con la altura en forma logarítmica debido a la disminución de la rugosidad de la superficie y por menor fricción.

En el interior de plantaciones de *Coffea arabica* var. Caturra a libre exposición solar la velocidad del viento se encuentra muy reducida al compararse con las velocidades registradas en la estación climatológica. Un ejemplo de esta situación se puede apreciar en la Figura 8.

Cafetales bajo sombrío. Los autores como Boyer (5), Coste (7), Huxley y Turk (14), Suarez de Castro (34) y Waller (39) han estudiado el microclima en cafetales bajo sombrío; algunos de estos estudios los relacionan con el crecimiento de la planta (34) o con la presencia de enfermedades (14, 39).

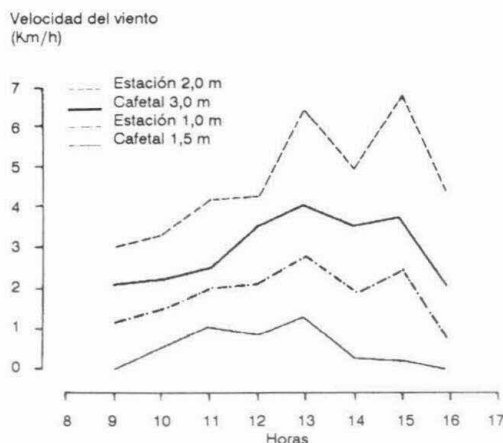


Figura 8. Velocidad del viento medida en un cafetal a libre exposición solar y en una estación meteorológica. CENICAFE.

Radiación. En Cenicafé las medidas de radiación solar en cafetales bajo sombrío fueron realizadas por Bonilla (3, 4), Schroeder (31, 32) y Trojer (36, 37) en la década de los años cincuenta.

Schroeder realizó mediciones de la distribución de la luminosidad en tres niveles (sobre el sombrío, bajo las copas del sombrío y a nivel de los cafetos) y en días con diferentes condiciones de luminosidad. En observaciones realizadas en Chinchiná se encontró la siguiente relación: sobre el sombrío 100%, debajo de las copas 20% y a nivel del cafeto 15%.

Bajo el sombrío de plátano, Trojer (36) encontró un 25% de la radiación registrada en la parte externa y en promedio encontró valores que variaron 50% y 75% para toda la plantación. Bajo sombrío de guamo (*Inga sp.*) el valor de radiación fue de 25% para la plantación y del 12% junto al tronco del guamo.

Temperatura del aire. En observaciones de temperatura del aire realizadas entre la superficie del suelo y 15 metros de altura se encontró que los valores más altos se presentan en las copas de los árboles de sombrío y son semejantes a los observados en la estación meteorológica. La temperatura disminuye debajo de las copas de los árboles y en la parte baja de los cafetos, y es más alta en la zona correspondiente a los troncos. Las diferencias son, sin embargo, poco apreciables, tanto para la temperatura mínima como para la temperatura media. La mayor variación se observa en el perfil de la temperatura máxima (4).

Como se observa en la Figura 9, las variaciones de la temperatura del aire en el interior de un cafetal bajo sombrío difieren con la altura sobre el nivel del suelo y permanecen más frías las capas interiores. Las mayores diferencias se encuentran entre la superficie

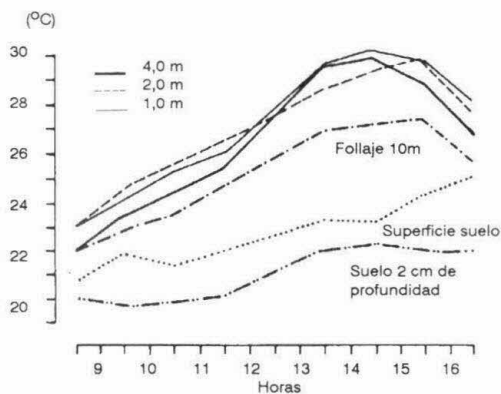


Figura 9. Temperatura a diferentes niveles en una plantación de café bajo sombrío. CENICAFE.

del suelo y un metro de altura; estas diferencias son hasta de 4°C en las horas de mayor radiación solar. Entre 2 y 4 metros de altura las diferencias en temperatura son más pequeñas que 1,0°C y 1,5°C (16).

La temperatura del aire registrada a un metro de altura en medio de los árboles y dentro del follaje es similar, aunque en las horas de mayor radiación en el interior del follaje la temperatura del aire tiende a ser más baja (16).

La temperatura máxima dentro de la plantación fue menor que la registrada a campo abierto en 1,5°C aproximadamente y presenta una mayor duración de 1,5 a 2,0 horas más; lo anterior se explicará por la menor radiación solar que recibe la plantación de café bajo sombrío.

La temperatura mínima dentro y fuera de la plantación es sensiblemente igual en magnitud y duración. Los valores más altos de la temperatura media ocurren en días húmedos y nublados y los más bajos en días secos y despejados. La menor amplitud de la temperatura del aire dentro de una plantación de café bajo sombra se debe a una disminución

de la temperatura mínima prácticamente igual a la registrada en la estación climatológica.

Los registros de temperatura tomados a 1,20 metros de altura son muy representativos de los niveles desde la superficie del suelo hasta 4 metros de altura.

Evaporación. La evaporación registrada en la plantación bajo sombra, fue inferior a la registrada en la estación meteorológica en un 50% (Figura 10).

La poca variación registrada en un cafetal a la sombra implicaría una mayor duración tanto de la película de agua en las hojas como de la humedad dentro de la plantación.

Dentro de la plantación bajo sombra se observó agua líquida en las malezas y hojas inferiores del árbol, condición que no se observó en los niveles superiores del cultivo, con excepción de los árboles situados en los bordes en donde ocurrió condensación hasta el nivel medio.

Viento. La velocidad del viento dentro de la plantación se redujo notablemente, en

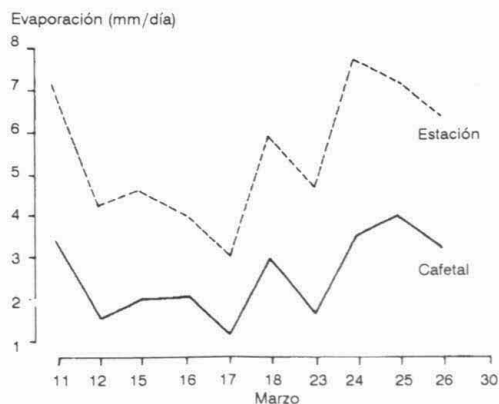


Figura 10. Comparación de la evaporación registrada en el evaporímetro de Piche en un cafetal bajo sombra y en la estación meteorológica. CENICAFE.

comparación con la registrada a campo abierto. La velocidad del viento registrada a 4 metros dentro de la plantación es comparable con la registrada a un metro de la estación meteorológica (Figura 11).

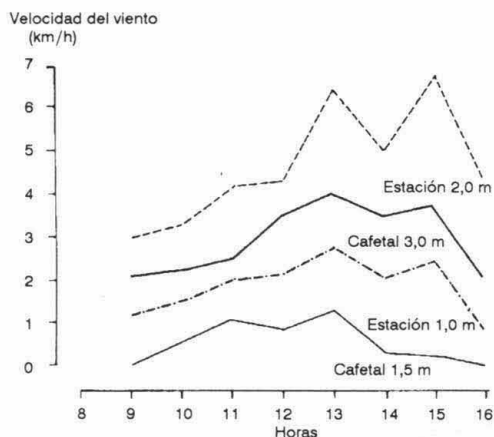


Figura 11. Velocidad del viento observada en la estación climatológica y en un cafetal bajo sombrío. CENICAFE.

LITERATURA CITADA

1. ALVIM, P.T. Ecophysiology of Cacao. In: ALVIM P.T. and KOSLOWISKI, T.T. (eds). Ecophysiology of tropical crops. New York. Academy Press, 1977. pp. 279-313.
2. BARRADAS, V.L.; L. FANJUL. Microclimate characterization of shade and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. Agricultural and Forest Meteorology (Estados Unidos) 38(1-3):101-112. 1986.
3. BONILLA, E. Estudio comparativo de la distribución de la luz y el viento en dos regiones cafeteras (Caldas y Antioquia). Cenicafé (Colombia) 3(25):29-35. 1952.
4. BONILLA, E. Estudio de la distribución vertical de la humedad relativa, de la temperatura del aire y del suelo, en una plantación de café. Boletín Informativo de Cenicafé (Colombia) 3(34):19-37. 1952.

5. BOYER, J. Etude des principales composantes du microclimat d'une cacaoyere au Camerun; importance ecologique des variations spatiales et saisonnieres. *Cafe, Cacao, Thé (Francia)* 15(4):275-300. 1971.
6. CAMARGO, A.P. de. Microclima em cafezal adensado e espaçado. Sao Paulo (Brasil) Sociedad Brasileira de Agrometeorologia, 1987. 12 p. (Boletín Técnico Nro. 8).
7. COSTE, R. Cafetos y cafes en el mundo. I. Los cafetos. París (Francia) Maisonneuve-Larose. 1954. 459 p.
8. DAVIES, J.A. A note on the relationship between net radiation and solar radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society (Inglaterra)* 93(395):109-115. 1967.
9. ESCOBAR, E.B.; JARAMILLO R., A. Balance de radiación solar en *Coffea arabica* L. *Cenicafé (Colombia)* 34(3):98-106. 1983.
10. FUCKS, M. Water transfer from soil to atmosphere. In: YARON, B.; DANFORS, E. and VAADIA, Y. (Eds.) *Irrigation in arid zones*. Stockholm (Suecia) Department of Land Improvement and Drainage. 1973. p.v.
11. GOMEZ G., L.; JARAMILLO R., A. Temperatura de árboles de café al sol. *Cenicafé (Colombia)* 25(2):61-62. 1974.
12. GUZMAN M., O.; GOMEZ G., L. Película de agua sobre las hojas de los cafetos. *Cenicafé (Colombia)* 35(4):94-101. 1984.
13. HANKS, R.J.; ASHCROFT, G.L. *Applied soil physics; soil water and temperatura applications*. Berlín (Alemania), Springer-Verlag, 1980. 159 p.
14. HUXLEY P. A.; TURK, A. Berry wetness and the incidence of coffee berry disease. *Kenya Coffee (Kenia)* 24(287): 451-453. 1959.
15. JACKSON, J.E. Light interception and utilization by orchard systems. *Horticultural Reviews (Estados Unidos)* 2:208-267. 1980.
16. JARAMILLO R., A. Condiciones micro-meteorológicas en un cafetal bajo sombrero. *Cenicafé (Colombia)* 27(4):180-184. 1976.
17. JARAMILLO R., A. Flujos de radiación solar y de energía en *Coffea arabica* L. *Cenicafé (Colombia)* 34(4):115-126. 1984.
18. JARAMILLO R., A.; ESCOBARE., B. Balance de energía en *Coffea arabica* L. *Cenicafé (Colombia)* 34(4): 115-126. 1984.
19. JARVIS, P.G.; JAMES G.B.; LANDSBERG, J.J. *Coniferous Forest*. In: MONTEITH, J.L: (Ed). *Vegetation and the atmosphere*. London, (Inglaterra) Academy Press, 1976. Vol 2. p. 171-240.
20. KALMA, J.D.; FUCKS, M. Citrus orchards. In: MONTEITH J:L: (Ed). *Vegetation and the atmosphere*. London, (Inglaterra) Academy Press, 1976. Vol 2. p. 309-328.
21. KIRKPATRICK, T.W. *Studies on the ecology of coffee plantations in east Africa. I. The climate and eco-climates of coffee plantations. Amani (Tanganika)*. East African Agricultural Research Station, 1935. 90 p.
22. KUMAR, D. Investigation into some physiological aspects of high density plantings of coffee (*Coffea arabica* L.). *Kenya Coffee (Kenia)* 44(519):97-47. 1979.
23. LANDSBERG, J.J.; JARVIS, P.G.; SLATER, M.B. The radiation regime of a spruce forest. In: SLATYER R.O. (Ed.). *Plant response to climate factors*. Paris, (Francia) UNESCO, 1973. pp. 411-418.
24. MONTEITH, J.L. Light interception and radiative exchange in crop stands. In: EASTIN J:D: et al.(Eds.). *Physiological aspects of crop yield*. Madison (Estados Unidos), American Society of Agronomy, 1969. pp. 89-111.
25. OROZCO C., F.J.; JARAMILLO R., A. Efecto del déficit de humedad en el suelo sobre la temperatura del suelo y de las hojas en plantas de *Coffea canephora* y *C. arabica*. *Cenicafé (Colombia)* 29(4):121-134. 1978.
26. PROCTOR, J.T.A.; KYLE W.J.; DAVIES J.A. The radiation balance of an apple tree. *Canadian Journal of Botany (Canadá)* 50(5):1731-1740. 1972.
27. RAUNER, J.L. *Deciduous Forests*. In: MONTEITH J.L: (Ed.). *Vegetation and the atmosphere*. London, (Inglaterra) Academy Press, 1976. Vol 2. pp. 241-264.

28. ROSENBERG N.J. Microclimate: The biological environment. New York (Estados Unidos), John Wiley and Sons, 1974. 315 p.
29. SELLERS, W.D. Physical climatology. Chicago (Estados Unidos), The University Press. 1965. 272 p.
30. SCHUBART, H.O.R.; SALATJE. Natural resources for land use in the Amazonian Region: The natural system. In: HECHT, S.B. (Ed.). Amazonia; Agriculture and Land Research. Cali (Colombia), CIAT, 1982. pp. 211-239.
31. SCHROEDER, R. Resultados obtenidos de una investigación del microclima en un cafetal. Cenicafé (Colombia) 2(18):33-43. 1951.
32. SCHROEDER, R. Distribución de la temperatura en una plantación de café. Cenicafé (Colombia) 2(23):21-30. 1951.
33. STANHILL, G.; HOFSTEDE G.J.; KALMA J.D. Radiation balance of natural and agricultural vegetation. Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society (Inglaterra) 92(391):128-140. 1966.
34. SUAREZ DE C., F.; MONTENEGRO, L.; AHIES P., C.; MORENO M., M.; BOLAÑOS, M. Efecto del sombrero en los primeros años de vida de un cafetal. Café (Costa Rica) 3(10):81-102. 1961.
35. TANNER, C.B.; LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. Agronomy Journal (Estados Unidos) 54(3):207-212. 1972
36. TROJER, H. Distribución horizontal de luminosidad en un cafetal y en almácigos. Cenicafé (Colombia) 4(45):20-32. 1953.
37. TROJER, H. Distribución y características de la precipitación en un cafetal bajo sombrero. Cenicafé (Colombia) 6(67):256-264. 1955.
38. VAN BAVEL, C.H.M.; FRISTSCHEN, L.J. Energy balance of bare surfaces in arid climatic. In: ECKARDT, F.E. Methodology of plant ecophysiology; París, (Francia) 1965. pp. 99-107.
39. WALLER, J.M. The incidence of climatic conditions favourable to coffee berry disease in Kenya. Kenya Coffee (Kenia) 37(446):157-166. 1973.
40. ZAHNER, R. Water deficits and growth of trees. In: KOZLOWISKI T.T. (Ed.). Water deficits and plant growth. New York (Estados Unidos), Academy Press, 1968. Vol. 2 pp. 191-254.