

FIGURA 21.- Temperatura del aire dentro del cafetal y en estación, en un día nublado.

## MICROCLIMA

### Cafetal al sol.

Se realizaron medidas de temperatura del aire dentro de cafetales a libre exposición, y se compararon con la temperatura registrada en la estación meteorológica próxima.

En las Figuras 20 y 21 se aprecia el transcurso de la temperatura en dos condiciones de radiación solar; en ambos casos las curvas si-

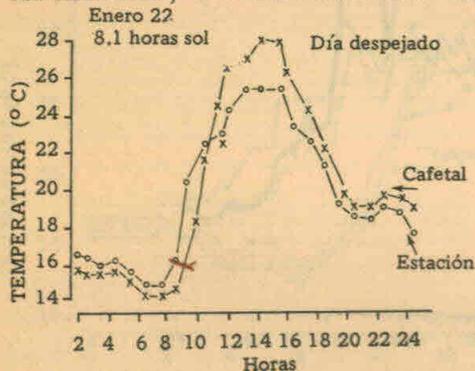


FIGURA 20.- Temperatura del aire dentro del cafetal y en estación, en un día despejado.

guieron la misma tendencia: en las horas meridianas la temperatura fue más alta dentro del cafetal y para las primeras horas de la mañana y durante la noche fueron más bajas, con relación a la estación climatológica. En días nublados las temperaturas dentro del cultivo y en la estación meteorológica presentan diferencias poco notables. La temperatura máxima presentó una diferencia media de 1,2 °C y la temperatura mínima de 0,8 °C, al compararse con la temperatura del aire de la estación meteorológica.

En la Figura 22 se observa la relación estadística entre las temperaturas extremas registradas en un cafetal a libre exposición y la estación meteorológica, para 690 días de observación. Esta relación presenta coeficientes de correlación de 0,87\*\* para la temperatura máxima y 0,84\*\* para la temperatura mínima.

Las diferencias observadas dependen de la cantidad de radiación incidente durante el día y de las pérdidas de calor durante la noche.

La diferencia de temperatura entre el aire circundante y las hojas es función de la radiación neta. Las hojas sombreadas siguen una trayectoria similar a la del aire dentro de la plantación. Las hojas expuestas presentan

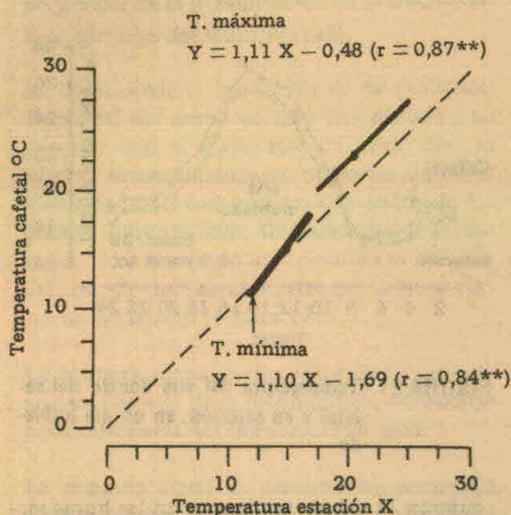


FIGURA 22.- Relación entre la temperatura registrada en estación y la registrada en cafetal, a libre exposición. Albán, Valle.

entre las 11 y las 15 horas temperaturas superiores a las del aire con valores absolutos de 38,5 °C. en la Figura 23 se aprecia el

transcurso de la temperatura en las hojas expuestas, sombreadas y del aire, para un día de alta radiación solar.

Las diferencias entre la temperatura de la hoja y el aire también dependen de la especie y del contenido de agua en el suelo. En *Coffea canephora* las diferencias son mayores que en *Coffea arabica*, y a menor contenido de agua en la hoja mayores serán estas diferencias.

En las Figuras 24 y 25 se aprecia el transcurso diario de las temperaturas foliares en *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, comparadas con las del aire circundante, para dos condiciones diferentes de humedad.

La temperatura registrada en ramas sigue un comportamiento similar al de las hojas expuestas, aunque, en aquellas se observa un calentamiento más retardado (Figura 26). Los frutos presentan un transcurso semejante al de las ramas.

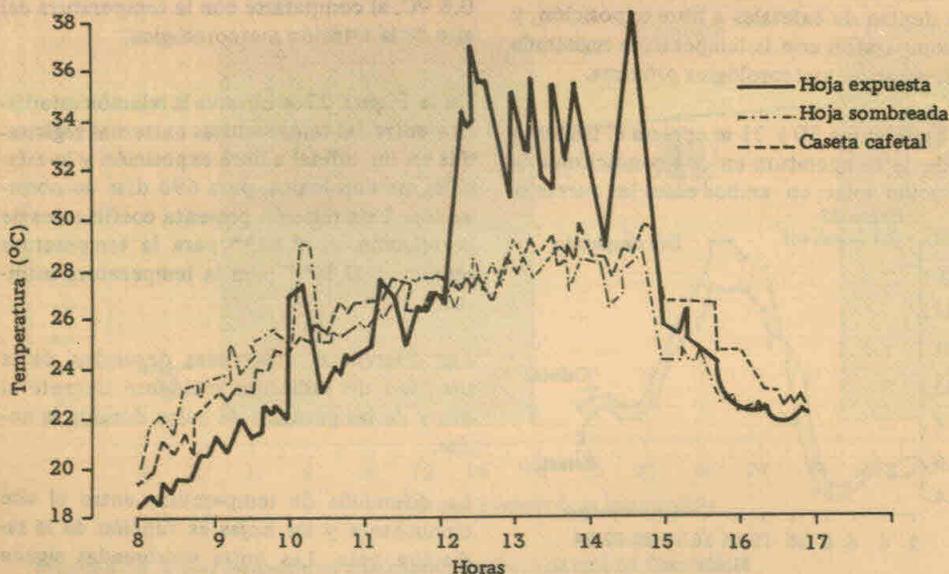


FIGURA 23.- Temperaturas foliares en cafetales. Cenicafé, julio 16/74.

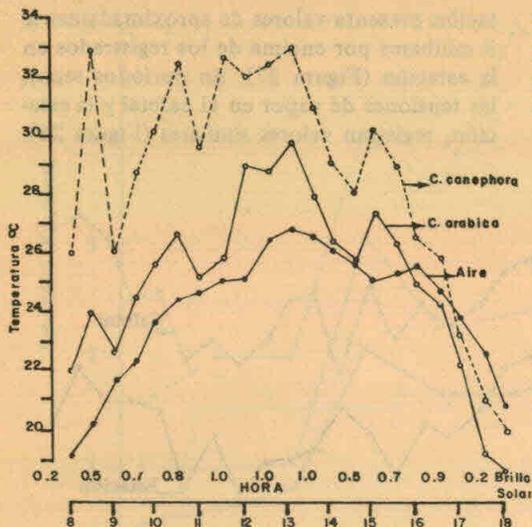


FIGURA 24.- Temperatura de hojas en *C. canephora* y *C. arabica* dejadas de regar durante mes y medio.

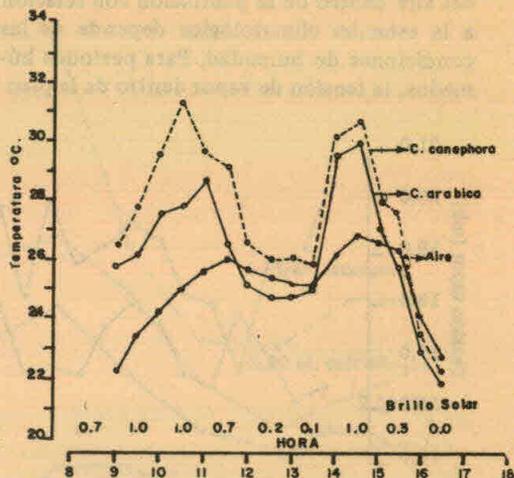


FIGURA 25.- Temperatura de hojas en *C. canephora* y *C. arabica* en plantas con riego.

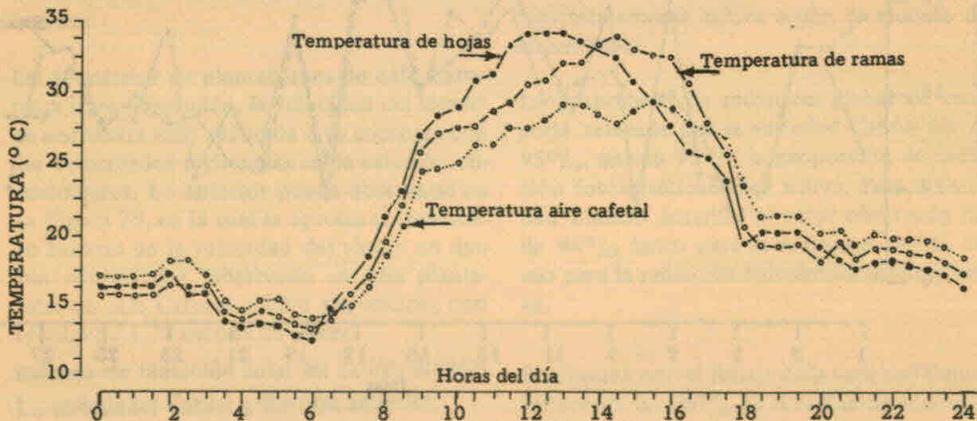
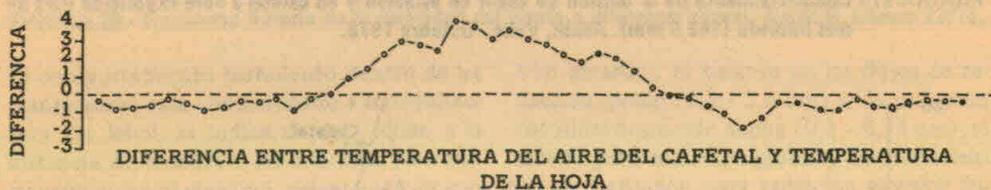


FIGURA 26.- Temperatura de ramas, hojas y aire dentro del cafetal. Cenicafé, agosto 20/1974.

El comportamiento de la tensión de vapor del aire dentro de la plantación con relación a la estación climatológica depende de las condiciones de humedad. Para períodos húmedos, la tensión de vapor dentro de la plan

tación presenta valores de aproximadamente 3 milibares por encima de los registrados en la estación (Figura 27). En períodos secos, las tensiones de vapor en el cafetal y la estación, registran valores similares (Figura 28).

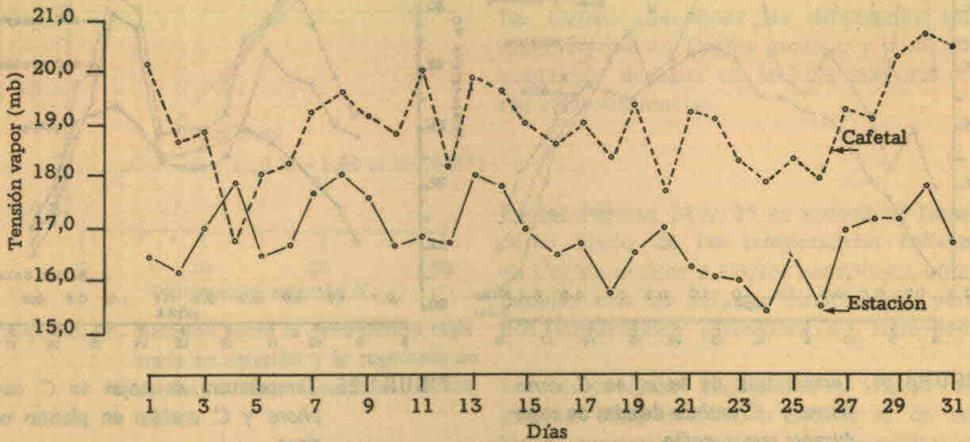


FIGURA 27.- Comportamiento de la tensión de vapor en estación y en cafetal a libre exposición para un mes húmedo (146,9 mm). Albán, Valle - Octubre 1978.

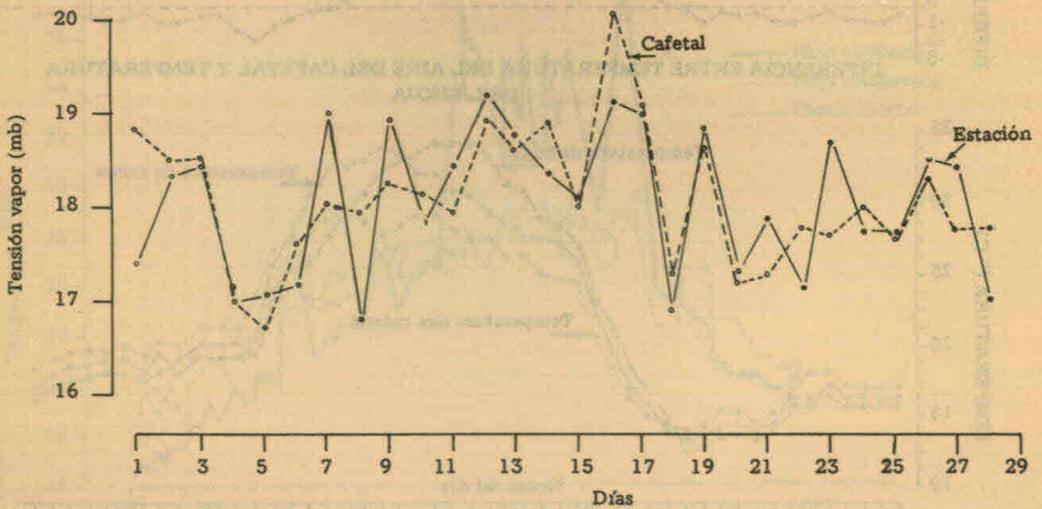


FIGURA 28.- Comportamiento de la tensión de vapor en estación y en cafetal a libre exposición para un mes seco (22,0 mm). Albán, Valle - Febrero 1977.

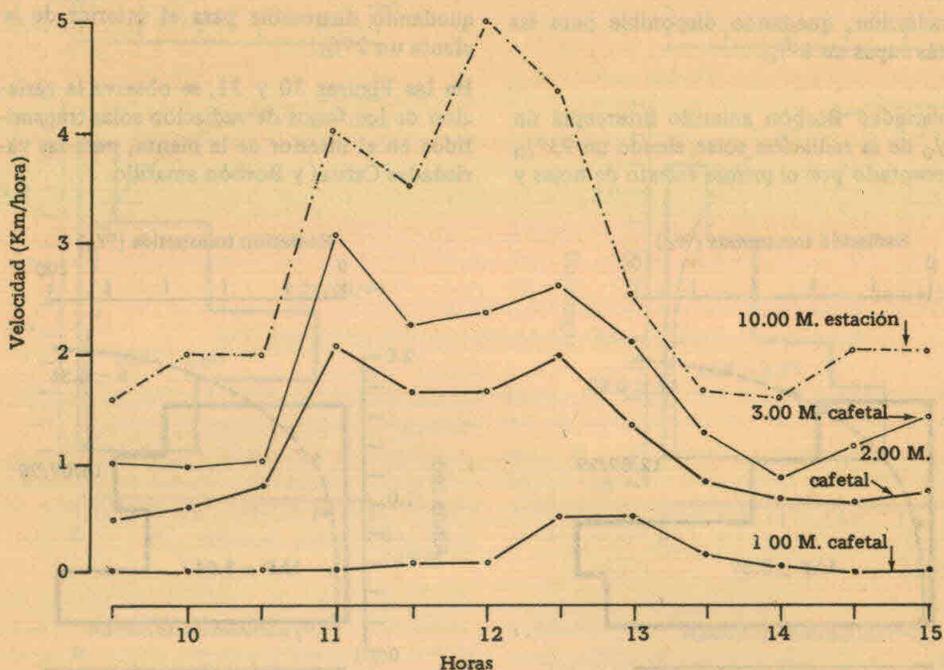


FIGURA 29.- Tránsito horario de la velocidad del viento a diferentes alturas. Naranjal, febrero 27/75.

El comportamiento turbulento dentro de las plantaciones está condicionado a la arquitectura del árbol, al índice de área foliar, a la distancia de siembra y las prácticas de cultivo tales como el sombrero, orientación de surcos, etc.

En el interior de plantaciones de café Caturra a libre exposición, la velocidad del viento se encuentra muy reducida si se compara con las velocidades registradas en la estación climatológica. Lo anterior puede observarse en la Figura 29, en la cual se aprecia el tránsito horario de la velocidad del viento en ambas condiciones, observado en una plantación de café Caturra a libre exposición, con árboles de 1,70 metros de altura.

#### Balace de radiación solar en *Coffea arabica* L., variedades Catuai y Borbón amarillo.

Este estudio tuvo como objetivos conocer en *Coffea arabica* L., variedades Catuai y Bor-

bón amarillo, el balance de los flujos de radiación global (0,3 - 3,0  $\mu$ m) y de radiación fotosintéticamente activa (0,3 - 0,75  $\mu$ m); el albedo para radiación global y los coeficientes de extinción para radiación global y fotosintéticamente activa según el modelo de Monsi-Saeki.

La proporción de radiación global de onda corta retenida por la variedad Catuai fue de 95%, siendo 95% la proporción de radiación fotosintéticamente activa. Para la variedad Borbón amarillo el valor observado fue de 94% tanto para la radiación global, como para la radiación fotosintéticamente activa.

Se observa que el follaje de la variedad Catuai intercepta un 96% de la radiación solar que incide en la parte externa, transmitiendo solamente un 4% a la superficie del suelo. El primer estrato de hojas intercepta 88% de

la radiación, quedando disponible para las demás capas un 8<sup>o</sup>/o.

La variedad Borbón amarillo intercepta un 95<sup>o</sup>/o de la radiación solar, siendo un 93<sup>o</sup>/o interceptado por el primer estrato de hojas y

quedando disponible para el interior de la planta un 2<sup>o</sup>/o.

En las Figuras 30 y 31, se observa la variación de los flujos de radiación solar transmitidos en el interior de la planta, para las variedades Catuaí y Borbón amarillo.

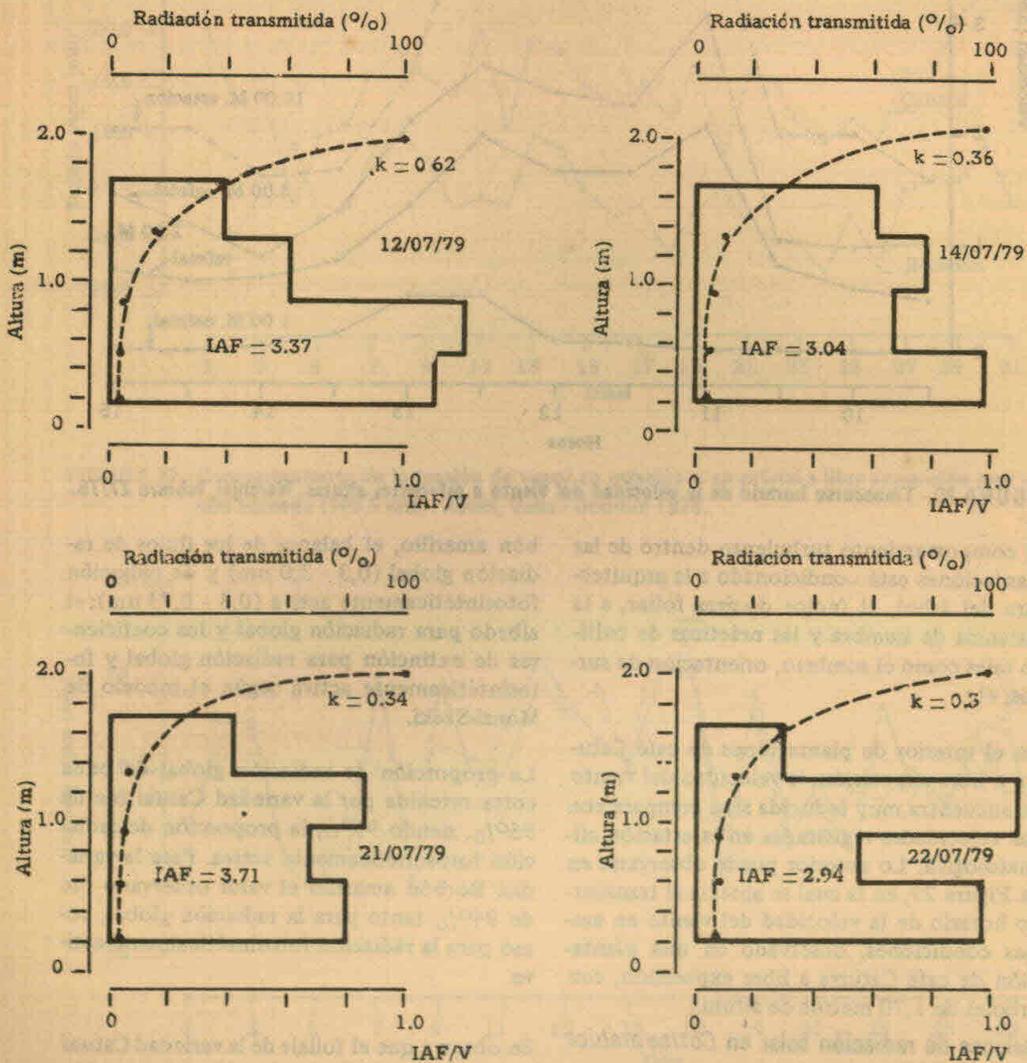


FIGURA 30.- Variación en porcentaje del flujo de radiación solar transmitida en el interior de la planta para la variedad Catuaí.

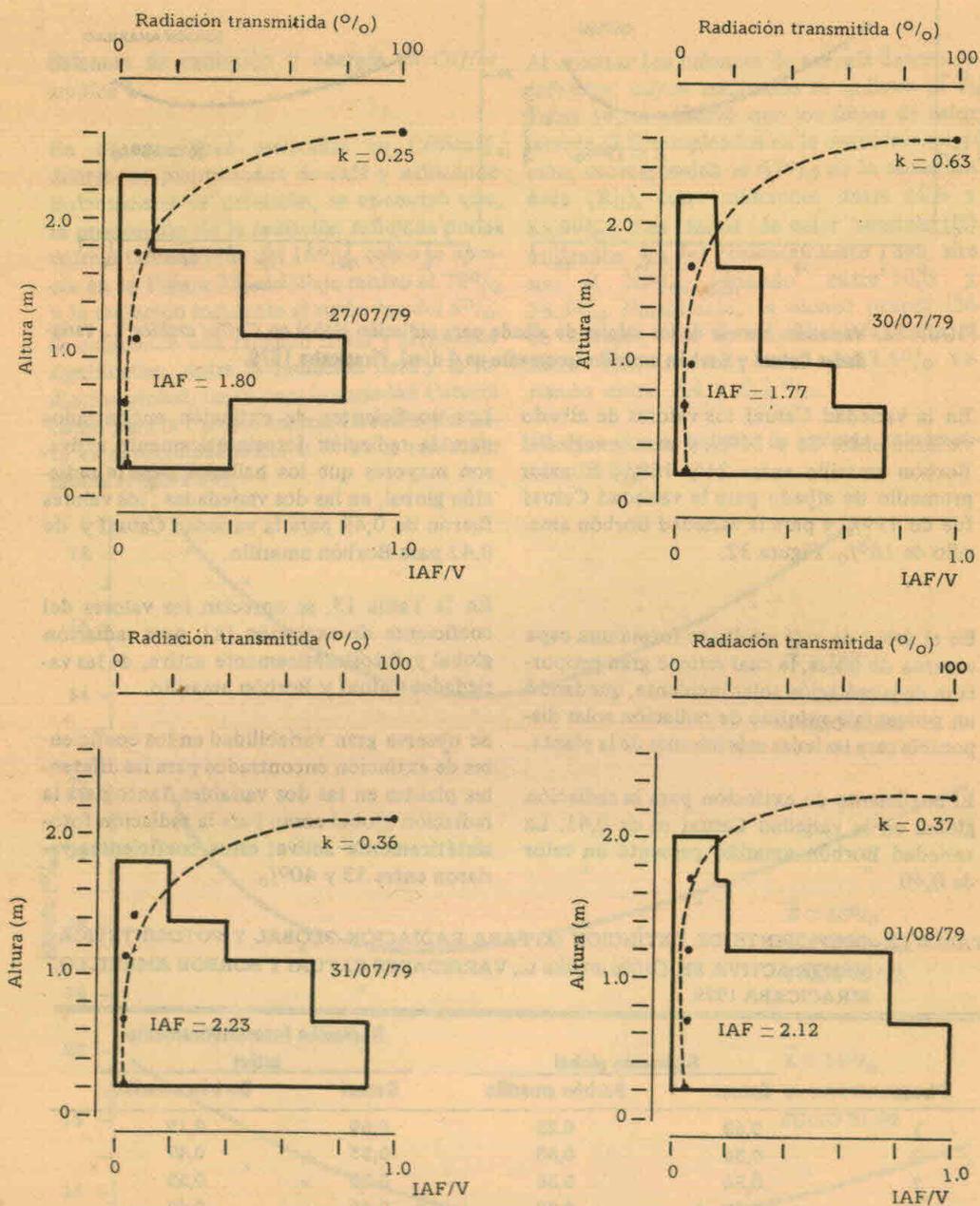
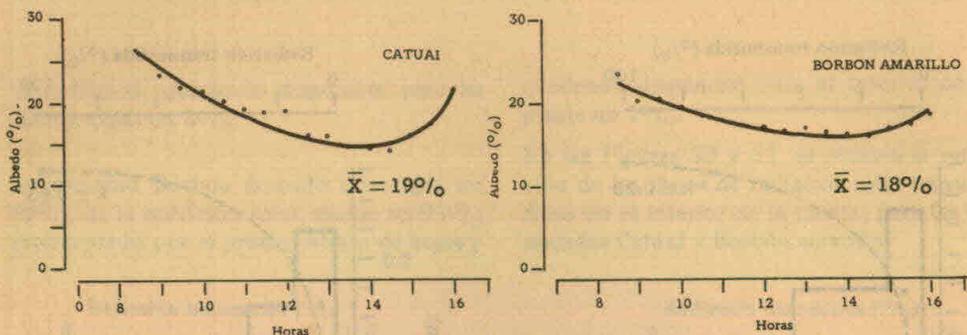


FIGURA 31.- Variación en porcentaje del flujo de radiación solar transmitida en el interior de la planta para la variedad Borbón amarillo.



FIGUR 32.- Variación horaria de los valores de albedo para radiación global en *Coffea arabica* L., variedades Catuaí y Borbón amarillo (promedio de 4 días). Piracicaba 1979.

En la variedad Catuaí los valores de albedo variaron entre 26 y 14<sup>o</sup>/<sub>o</sub> y para la variedad Borbón amarillo entre 24 y 16<sup>o</sup>/<sub>o</sub>. El valor promedio de albedo para la variedad Catuaí fue de 19<sup>o</sup>/<sub>o</sub> y para la variedad Borbón amarillo de 18<sup>o</sup>/<sub>o</sub>. Figura 32.

En el árbol de café adulto se forma una capa externa de hojas, la cual retiene gran proporción de la radiación solar incidente, quedando un porcentaje mínimo de radiación solar disponible para las hojas más internas de la planta.

El coeficiente de extinción para la radiación global en la variedad Catuaí es de 0,41. La variedad Borbón amarillo presentó un valor de 0,40.

Los coeficientes de extinción encontrados para la radiación fotosintéticamente activa, son mayores que los hallados para la radiación global, en las dos variedades; los valores fueron de 0,49 para la variedad Catuaí y de 0,42 para Borbón amarillo.

En la Tabla 13, se aprecian los valores del coeficiente de extinción (k), para radiación global y fotosintéticamente activa, de las variedades Catuaí y Borbón amarillo.

Se observa gran variabilidad en los coeficientes de extinción encontrados para las diferentes plantas en las dos variables, tanto para la radiación global como para la radiación fotosintéticamente activa; estos coeficientes variaron entre 33 y 40<sup>o</sup>/<sub>o</sub>.

TABLA 13.- COEFICIENTE DE EXTINCIÓN (k) PARA RADIACION GLOBAL Y FOTOSINTETICAMENTE ACTIVA EN *Coffea arabica* L., VARIEDADES CATUAI Y BORBÓN AMARILLO, PIRACICABA 1979.

Planta	Radiación global		Radiación fotosintéticamente activa	
	Catuaí	Borbón amarillo	Catuaí	Borbón amarillo
1	0,62	0,25	0,69	0,19
2	0,36	0,63	0,53	0,47
3	0,34	0,36	0,30	0,55
4	0,30	0,37	0,45	0,47
Promedio	0,41	0,40	0,49	0,42
Desvío patrón	0,15	0,16	0,16	0,16
C.V. %	37	40	33	38

**Balances de radiación y energía en *Coffea arabica* L.**

En observaciones realizadas en Cenicafé, dentro de plantaciones de café y utilizando instrumental de precisión, se encontró que, la proporción de la radiación reflejada por el cultivo (albedo) fue del 16%, como se aprecia en la Figura 33; el follaje retuvo el 78% y la radiación incidente al suelo fue del 6%. Se estableció una relación lineal y altamente significativa, entre la radiación neta y la radiación global, tanto para la variedad Caturra como para la Caturra erecta. La radiación neta es aproximadamente 0.74 de la radiación global (Figura 34).

Al analizar los balances de energía dentro de cafetales, cuyos resultados se indican en la Tabla 14, se observó que los flujos de calor latente (LE) empleados en la evapotranspiración, corresponden al 67% de la radiación neta ( $R_n'$ ), con variaciones entre 60.3 y 85.9%. Los flujos de calor sensible (H) utilizados en el calentamiento del aire son el 30%, variando entre 10.0 y 36.5%. Finalmente, la menor proporción de energía, que se emplea en calentar el suelo (G), es del orden del 3.5% variando entre 2.4 y 5.2%.

Un ejemplo de balance de energía, se presenta en la Figura 35.

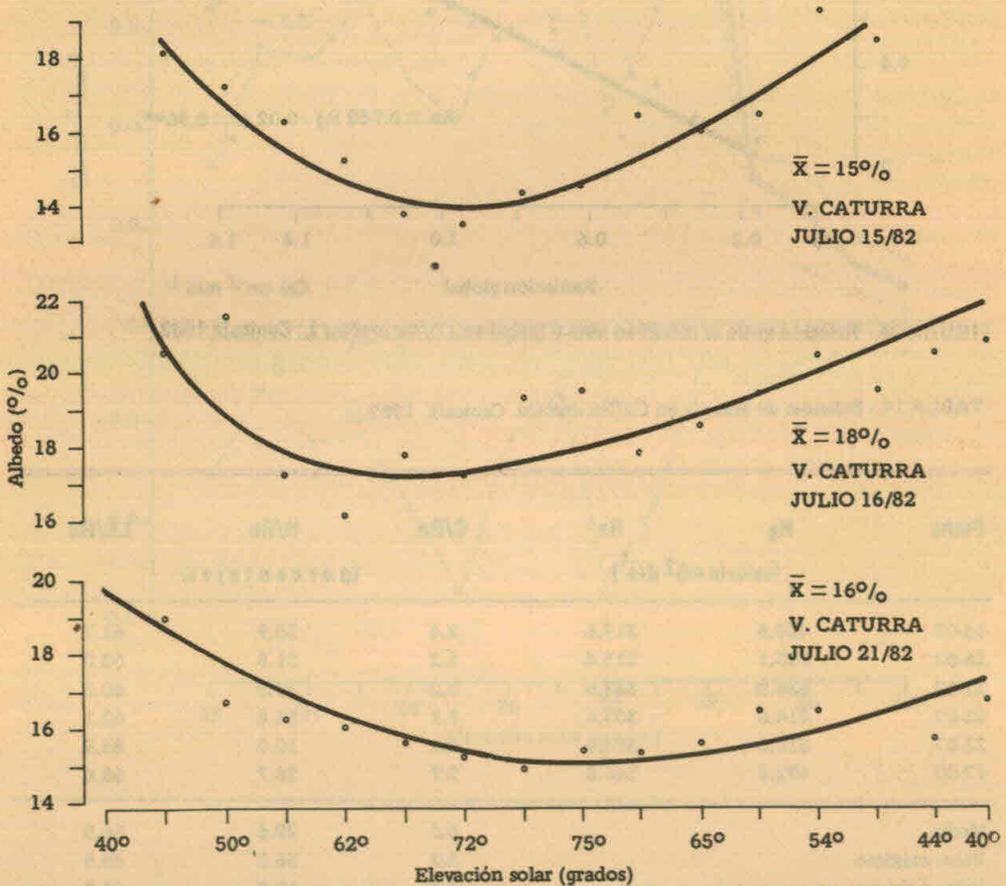


FIGURA 33.- Variación diaria del albedo en *Coffea arabica* variedad Caturra. Cenicafé 1982.

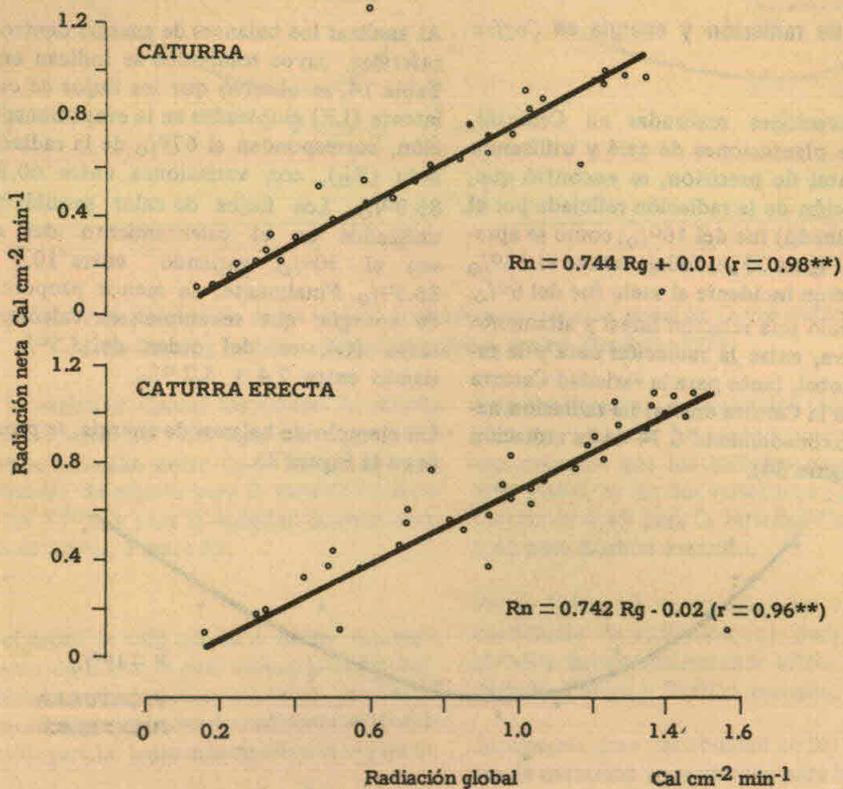


FIGURA 34.- Relación entre la radiación neta y global en *Coffea arabica* L. Cenicafé 1982.

TABLA 14.- Balances de energía en *Coffea arabica*. Cenicafé, 1982.

Fecha	R <sub>g</sub>	R <sub>n</sub>	G/R <sub>n</sub>	H/R <sub>n</sub>	LE/R <sub>n</sub>
	(caloría $\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$ )				
15-07	420.6	319.8	2.4	35.9	61.7
16-07	293.1	215.4	5.2	31.8	63.0
21-07	438.9	333.6	3.2	36.5	60.3
22-07	414.6	303.6	3.1	34.8	62.1
23-07	516.6	373.5	4.1	10.0	85.9
17-08	492.9	346.8	2.7	28.7	68.6
Media			3.5	29.6	66.9
Valor máximo			5.2	36.5	85.9
Valor mínimo			2.4	10.0	60.3

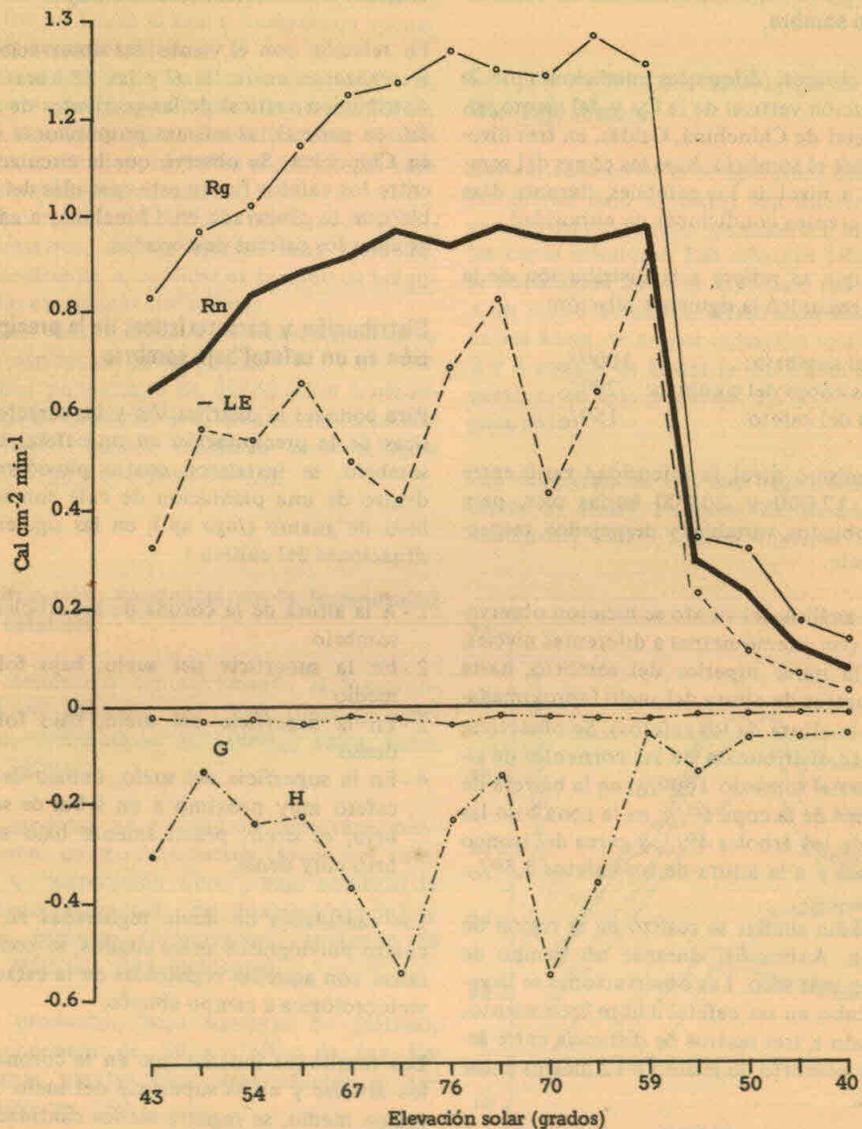


FIGURA 35.- Balance de energía en *Coffea arabica* L. var. Caturra. Cenicafé. Julio 15/82.

## Cafetales Bajo Sombrío

### Distribución de la luz y el viento en un cafetal bajo sombra.

Se efectuaron diferentes mediciones de la distribución vertical de la luz y del viento, en un cafetal de Chinchiná, Caldas, en tres niveles: sobre el sombrío, bajo las copas del sombrío y a nivel de los cafetales, durante días con diferentes condiciones de nubosidad

En lo que se refiere a la distribución de la luz, se encontró la siguiente relación:

Sobre el sombrío:	100 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>
Bajo las copas del sombrío:	20 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>
A nivel del cafeto:	15 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>

A un mismo nivel, la intensidad varió entre 1.900, 12.000 y 20.000 bujías pies, para días nublados, variables y despejados, respectivamente.

Para el análisis del viento se hicieron observaciones con anemómetros a diferentes niveles, desde la parte superior del sombrío, hasta 1,90 metros de altura del suelo (aproximadamente la altura de los cafetos). Se observó la siguiente distribución de las corrientes de aire: sobre el sombrío 100<sup>o</sup>/<sub>o</sub>; en la barrera de las ramas de la copa 5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>; en la zona bajo las copas de los árboles 4<sup>o</sup>/<sub>o</sub>; y cerca del tronco del árbol y a la altura de los cafetos 3,5<sup>o</sup>/<sub>o</sub>.

Un estudio similar se realizó en la región de Venecia, Antioquia, durante un tiempo de carácter más seco. Las observaciones se llevaron a cabo en un cafetal a libre crecimiento, sembrado a tres metros de distancia entre árboles y sombrío de guamo a 12 metros entre árboles.

Las observaciones de luminosidad se hicieron con luz reflejada, a diferencia de las hechas en Chinchiná (luz directa). Según el promedio correspondiente, las relaciones encontradas fueron muy semejantes a las de Chinchiná,

aún cuando con diferencias debidas a las condiciones generales de luminosidad, las cuales fueron mejores en este ensayo.

En relación con el viento, las observaciones se realizaron entre las 6 y las 22 horas. La distribución vertical de las corrientes de aire dió en general las mismas proporciones que en Chinchiná. Se observó que la circulación entre los cafetos fue en este caso más del doble que la observada en Chinchiná, a causa de estar los cafetos descopados.

### Distribución y características de la precipitación en un cafetal bajo sombrío.

Para conocer la distribución y las características de la precipitación en un cafetal bajo sombrío, se instalaron cuatro pluviógrafos dentro de una plantación de café con sombrío de guamo (*Inga* sp.), en las siguientes situaciones del cultivo :

- 1 - A la altura de la corona de los árboles de sombrío
- 2 - En la superficie del suelo, bajo follaje medio
- 3 - En la superficie del suelo, bajo follaje denso
- 4 - En la superficie del suelo, debajo de un cafeto muy próximo a un árbol de sombrío, es decir, prácticamente bajo sombrío muy denso.

Las cantidades de lluvia registradas en los cuatro pluviógrafos antes citados, se compararon con aquellas registradas en la estación meteorológica a campo abierto.

Los resultados indican que en la corona de los árboles y en la superficie del suelo bajo follaje medio, se registra menos cantidad de agua que en la estación meteorológica. En cambio, bajo sombrío denso y debajo del cafeto, las cantidades registradas fueron muy variables, de acuerdo a la intensidad y duración del aguacero.

Se llegó a las siguientes conclusiones :

- Precipitaciones inferiores a 0.3 milímetros no llegan al suelo, humedecen apenas las hojas del árbol.
- Se necesitan de 1 a 2 milímetros de lluvia, para que el agua llegue a la parte inferior.
- Las cantidades de lluvia hasta de 8 milímetros, son mayores sobre el follaje que bajo el sombrío y el café.
- Las cantidades de lluvia mayores de 10 milímetros, causan efectos muy variables, llegándose a duplicar el tamaño de las gotas en algunas situaciones.
- Los vientos influyen notablemente en la distribución de las lluvias.
- Los porcentajes de distribución horizontal de la lluvia en el área fueron sensiblemente iguales (estación meteorológica 100% y el cultivo 98%).

### Distribución horizontal de la luminosidad en cafetales.

Se determinó tentativamente la luminosidad en cafetales bajo tres tipos de sombrío, refiriéndose al 100%, valor fuera del cafetal.

Las medidas se efectuaron simultáneamente con cuatro fotómetros (fuera del cafetal o "exposición libre", bajo sombrío de plátano (*Musacea*), de guamo (*Inga sp*) y palo incienso (*Mimosacea*), tomando la luz reflejada (luz incidente).

En promedio, bajo sombrío de plátano, se encontró de 50 a 75% de luz. En algunas plantas bien desarrolladas se encontró un 25%.

Bajo árboles de *Inga*, el promedio encontrado fue de 25% de luz en relación con el registro tomado fuera del cafetal; cerca de algunos troncos de *Inga* se registró solamente un 12%.

El promedio de luminosidad bajo palo incienso fue del 50%, pero cerca de algunos troncos se encontró únicamente un 25%.

### Condiciones micrometeorológicas en un cafetal bajo sombra.

Las variaciones de la temperatura dentro de un cafetal bajo sombrío, son diferentes según el nivel del suelo: permanecen más frías las capas inferiores. Las mayores diferencias se encuentran entre la superficie del suelo y a un metro de altura, alcanzando hasta 4°C en las horas de mayor radiación solar. Entre 2 y 4 metros de altura la diferencia en temperatura es más pequeña: 1,0 y 1,5 °C (Figura 36).

Las temperaturas del aire registradas a un metro de altura, en medio de los árboles, y dentro del follaje, fueron similares. Sin em-

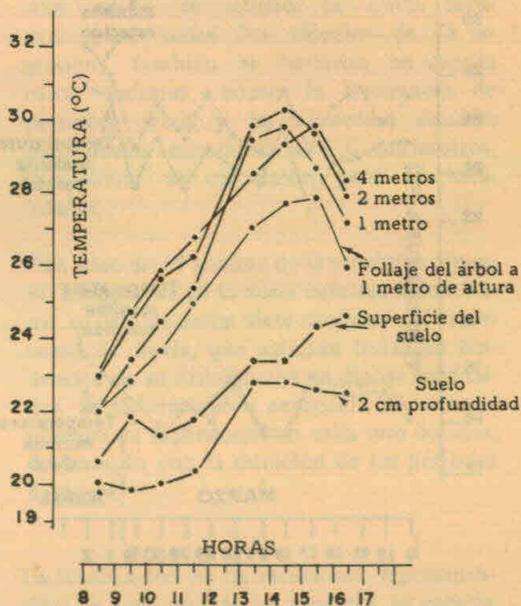


FIGURA 36. Temperatura horaria a diferentes niveles.

bargo, en las horas de mayor radiación, en el interior del follaje la temperatura del aire tiende a ser más baja, que aquella registrada en medio de los árboles.

La temperatura máxima dentro de la plantación fue menor que la registrada a campo abierto, en 1,5 °C aproximadamente y presentó una mayor duración (1 1/2 a 2 horas más, aproximadamente). Lo anterior se explica por la menor radiación solar que recibe bajo sombrío, y en consecuencia, menor circulación del aire (Figura 37).

La temperatura mínima dentro y fuera de la plantación fue sensiblemente igual en magnitud y duración (Figura 37). Los valores más altos de la temperatura mínima ocurrieron en días húmedos y nublados, y los más bajos en días secos y despejados.

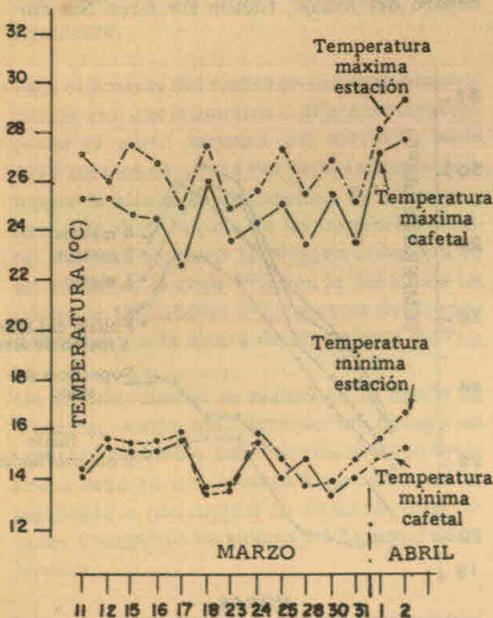


FIGURA 37.- Temperaturas máximas y mínimas dentro del cafetal y en la estación meteorológica.

La menor oscilación de la temperatura del aire dentro de una plantación de café con sombra, se debió solamente a una disminución de la temperatura máxima, ya que la temperatura mínima prácticamente se mantuvo igual.

La evaporación registrada dentro del cultivo bajo sombra fue mucho menor que aquella registrada a campo abierto (Figura 38). Esta menor evaporación podría explicarse por la menor radiación, mayor tensión de vapor y menor velocidad del viento, lo cual generaría una menor pérdida de agua.

La velocidad del viento dentro de la plantación se redujo notablemente, en comparación con lo registrado a campo abierto. En la Figura 39, se aprecia que la velocidad del viento a un metro en campo abierto es comparable con la registrada a cuatro metros dentro de la plantación.

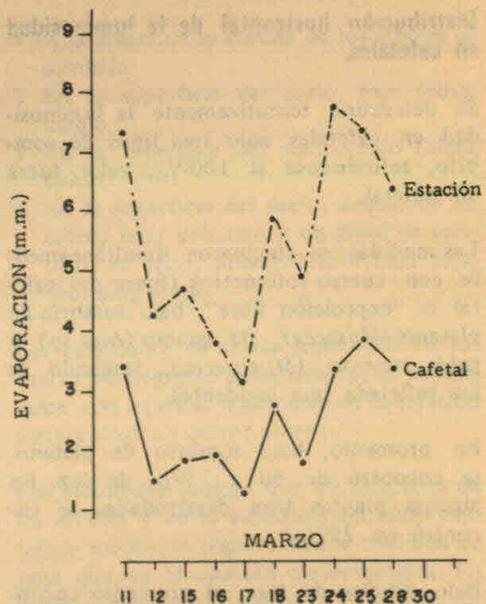


FIGURA 38.- Evaporación en el cafetal y en la estación meteorológica.

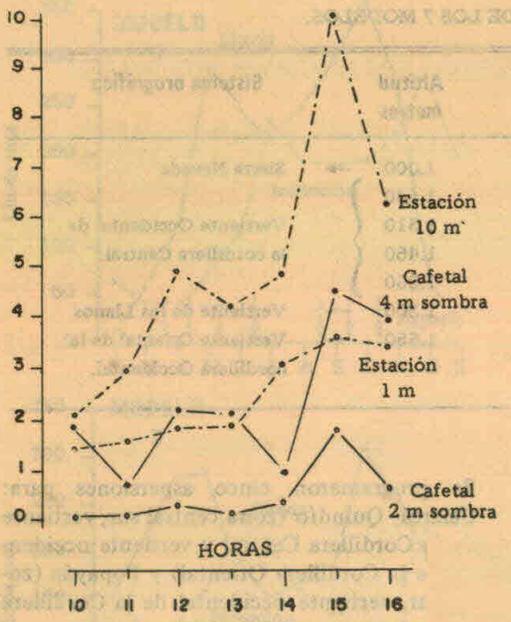


FIGURA 39.- Vientos a diferentes alturas.