



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
I Z T A C A L A**

**U. N. A. M.**

*Carlos Vazquez Yans*

**“ Efectos de Densidad de Siembra en el Crecimiento  
del Cafeto ( Coffea arabica L. vc. Garnica ) en  
Sistemas de Cultivo a Sol y Sombra, en el  
Centro de Veracruz, México ”.**

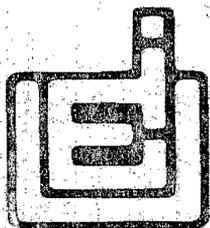


**BIBLIOTECA  
CENTRO DE ECOLOGIA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
BIOLOGO  
PRESENTA**

**MARIA DEL CARMEN RODRIGUEZ HERNANDEZ**



**SAN JUAN IZTACALA, MEX.**

**1985**

*Si hay algo que nos salva en este mundo...  
es la incapacidad de la mente humana  
para correlacionar todos sus contenidos.  
Vivimos en una isla de ignorancia  
en medio de los mares negros del infinito,  
y no estamos hechos para viajar lejos...*

*Anónimo.*

a mis padres: R. R. R. y E. H. de R.  
a mis hermanos: Y. G. y A. R. H.  
a mis tios: E. S. A. † y S. H. Vda. de S.  
a mis padrinos: M. G. P. y F. D. de P.  
a mis amigos: A. Z. S. y V. L. B. M.

#### AGREDECIMIENTOS

Deseo agradecer profundamente a todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización de este trabajo.

A mi director de Tesis, Dr. Luis Fanjul Peña.

Al In. Agr. Antonio López Martínez por su asesoría y colaboración en el trabajo de campo.

Al L.C.A. Victor L. Barradas Miranda por las facilidades prestadas en la obtención de equipo y de datos del microclima.

Al personal del Proyecto de Computación del Programa Servicios de Apoyo a la Investigación del INIREB, por su asesoría en el manejo estadístico de datos.

Al Programa Formación Académica del INIREB por las facilidades prestadas en la realización de este trabajo.

A los propietarios de los terrenos, Sra. Juana Ruiz y Sr. Antonio López Martínez, por la oportunidad brindada para laborar en su predio.

A todo el personal de campo que contribuyó en las labores de cultivo y manejo de los cafetales.

A mis sinodales: Biól. Jaime Angeles Angeles, Biól. Jonathan Franco L., Biól. José Luis Andrade T. y Biól. Alberto Arriaga F., por la cuidadosa revisión de este trabajo.

ESTE TRABAJO SE REALIZO EN EL PROGRAMA  
AGROECOLOGIA DEL INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS BIOTICOS,  
XALAPA, VER., BAJO LA DIRECCION DEL DR.  
LUIS FANJUL PEÑA.

## INDICE

### RESUMEN

#### CAPITULO 1

1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos de la Tesis	6
1.3 Objetivos del Proyecto de Investigación a largo palzo	6

#### CAPITULO 2

##### REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes	
2.1.1 Origen y dispersión del café	7
2.1.2 Descripción de la especie	7
2.1.3 Formación de la variedad Garnica	9
2.1.4 Ciclo de crecimiento	10
2.2 Agroecología	
2.2.1 Fisiología del cafeto	12
2.2.2 Ecología del agroecosistema cafetalero	15
2.3 Investigaciones precedentes sobre el cultivo de café bajo sombra y a pleno sol	
2.3.1 Observaciones a favor del cultivo bajo sombra	16
2.3.2 Observaciones a favor del cultivo a pleno sol	17

#### CAPITULO 3

##### MATERIALES Y METODOS

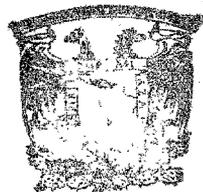
3.1 Localización del área de estudio	19
3.2 Clima	19
3.3 Duración del Proyecto	19
3.4 Diseño experimental	24
3.5 Material utilizado	27
3.6 Practicas culturales	
3.6.1 Preparación del terreno	27
3.6.2 Siembra	28
3.6.3 Limpias y fertilizaciones	29
3.7 Parámetros estudiados	
3.7.1 Parámetros microclimáticos	29
3.7.2 Análisis de suelos	30
3.7.3 Parámetros de crecimiento	31
3.7.4 Análisis de productividad	32
3.7.5 Análisis de clorofila	33
3.7.6 Análisis foliar	34
3.8 Análisis estadístico	
3.8.1 Análisis de crecimiento	34
3.8.2 Análisis de productividad	35
3.8.3 Análisis de suelos	35
3.8.4 Análisis de clorofila y foliar	35

#### CAPITULO 4

##### RESULTADOS

4.1 Análisis microclimático	
4.1.1 Temperatura del aire	36

4.1.2	Temperatura del suelo	36
4.1.3	Evaporación Piche	36
4.1.4	Humedad relativa	36
4.1.5	Radiación solar	40
4.1.6	Humedad del suelo	40
4.2	Análisis químico del suelo	
4.2.1	pH	42
4.2.2	Materia orgánica	42
4.2.3	Fósforo	42
4.2.4	Potasio y nitrógeno	42
4.3	Análisis de crecimiento vegetativo	
4.3.1	Altura de la planta, número y longitud de ramas primarias	43
4.3.2	Diámetro, cobertura, número de hojas, área foliar por hoja, área foliar por planta e índice de área foliar	47
4.3.3	Número de hojas perdidas	55
4.3.4	Número de nudos de ramas primarias	55
4.3.5	Número de nudos del tallo	58
4.3.6	Longitud de entrenudos de ramas primarias	58
4.3.7	Longitud de entrenudos del tallo	60
4.3.8	Producción de ramas secundarias	63
4.4	Análisis de crecimiento reproductivo	63
4.5	Análisis de productividad	
4.5.1	Análisis de biomasa	67
4.5.2	Tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento relativo	69
4.5.3	Área foliar específica	71
4.5.4	Peso específico de la hoja	71
4.6	Análisis de clorofila	74
4.7	Análisis foliar	74
CAPITULO 5		
DISCUSION		
5.1	Análisis del microclima	75
5.2	Análisis químico de suelos	76
5.3	Análisis de crecimiento	78
5.4	Análisis de productividad	82
DISCUSION GENERAL		84
CONCLUSIONES		93
APENDICE		94
LITERATURA CITADA		108



## RESUMEN

## BIBLIOTECA CENTRO DE ECOLOGÍA

La producción de café es de gran importancia en el mercado internacional y en la economía nacional. Sin embargo, en México su cultivo se encuentra en una situación crítica, ya que se enfrenta a problemas tales como la baja productividad y el peligro de la diseminación de la roya entre otros.

En algunos países el café se cultiva bajo sombra, en otros se está cultivando en exposición directa al sol. Sin embargo, no se sabe a ciencia cierta cuál de los 2 sistemas de cultivo es más productivo en determinadas condiciones ecológicas.

Se realizó un estudio comparativo de crecimiento y productividad de *Coffea arabica* L. cv. Garnica cultivada a pleno sol y bajo sombra a una densidad de 6172 plantas por hectárea en la región central de Veracruz.

Se analizaron las variaciones microclimáticas y las condiciones edáficas en los 2 sistemas de cultivo; el crecimiento vegetativo y reproductivo sobre medidas biométricas de los cafetos durante un año; la producción y el porcentaje de distribución de biomasa; las tasas de asimilación neta y de crecimiento relativo; el contenido de clorofila y de nitrógeno foliar total en los cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

Se encontró que en general, el crecimiento vegetativo y reproductivo fue mayor en los cafetos bajo sombra; la producción de biomasa y las tasas de asimilación neta y de crecimiento relativo fueron mayores en los cafetos bajo sombra durante la mayor parte del tiempo; durante el último muestreo los cafetos a pleno sol presentaron una mayor producción de biomasa y mayores tasas de asimilación neta y de crecimiento relativo debido a la aparición de una gran cantidad de ramas secundarias; el mayor porcentaje de distribución de biomasa correspondió a las hojas.

Las condiciones microclimáticas determinaron el ritmo de crecimiento en los cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

Los cafetos bajo sombra exhiben un mejor crecimiento y un mayor nivel de adaptación morfológica y fisiológica en condiciones de sombra que en plena exposición al sol. El cultivo bajo sombra ofrece al café un sistema ecológico más estable.

## CAPITULO 1

### 1.1 INTRODUCCION

La cafeticultura constituye una de las ocupaciones agrícolas más importantes a nivel mundial y sobre ésta se basa la economía de más de 50 países productores. El café es el producto agrícola más importante en el comercio internacional y ocupa el segundo lugar entre los productos de exportación (Castro, 1982).

El cultivo de café es de gran importancia para la economía nacional, ya que representa el primer producto de exportación agrícola y la tercera fuente generadora de divisas después del petróleo y el turismo. La exportación de café en el período 1982-1983 se estimó en 276 000 toneladas, cifra que representó un costo aproximado de 489 millones de dólares (INMECAFE, 1983).

La producción de café es también importante fuente de impuestos, tanto para los Estados productores, como para la Federación (Villaseñor-Luque, 1982). El cultivo se desarrolla comercialmente en 420 000 ha, localizadas en 12 Estados (PROMECAFE, 1982), sin embargo, la producción anual de café en México ha incrementado lentamente (Figura 1).

Considerado a nivel social, el café es el cultivo más importante por 3 razones (PROMECAFE, 1980):

1) Captación de mano de obra (PROMECAFE, 1980): cifras estadísticas del INMECAFE demuestran que la cafeticultura ha incrementado la ocupación rural (Villaseñor-Luque, 1982).

2) Número de propietarios de fincas cafetaleras (PROMECAFE, 1980): la cafeticultura es el medio de vida de 120 000 productores (PROMECAFE, 1982).

3) Casi la totalidad del proceso de cultivo está en manos mexicanas (PROMECAFE, 1980): alrededor de 2 millones de personas están relacionadas con la economía del café, de los cuales 0.5 millones dependen directamente del cultivo y 1.5 millones participan en el proceso de corte y beneficio (Villaseñor-Luque, 1982).

A pesar de su importancia en la economía mexicana, la cafeticultura atraviesa por una situación crítica debido principalmente a las siguientes razones:

1) La baja productividad de los cafetales en relación con las formas tradicionales de producción (Cifuentes, 1979).

2) Cultivo de variedades poco productivas.

3) Baja densidad de siembra.

4) En 1982 en el Estado de Chiapas (primer Estado productor) la erupción del volcán el "Chichónal" afectó seriamente 42 municipios con un total de 60 500 ha y la economía de 30 000 productores (INMECAFE, 1982a).

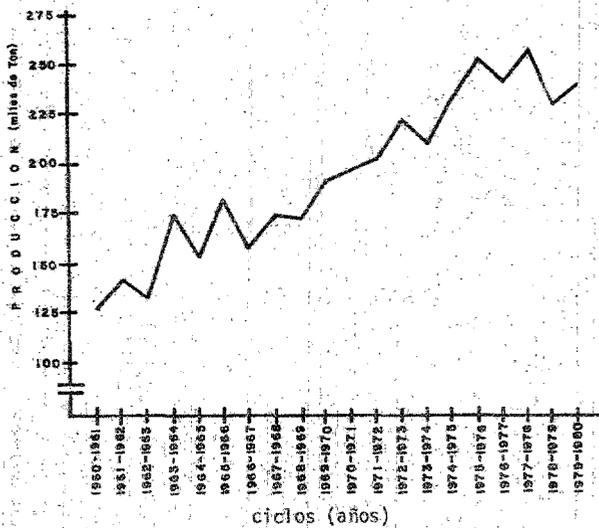


Figura 1. Producción anual de café en México. Tomado de Marco general de la Caficultura en México, INMECAFE (1981).

5) El peligro de la diseminación de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* - Berk y Br) localizada por el momento en la parte sur del Estado de Chiapas.

La roya del cafeto es la enfermedad más grave del cultivo. En los países en que ha hecho su aparición ha originado trastornos serios en su economía (Villaseñor-Luque, 1979b).

Hoy en día se observa que la roya del cafeto es la preocupación principal del cafeticultor, ya que se está extendiendo rápidamente (debido a las características propias del patógeno), sobre todo en los cultivos bajo sombra, donde se presentan las condiciones propicias para su desarrollo.

*Coffea arabica* L. originalmente se desarrolló bajo sombra en los bosques tropicales de Etiopía. Gradualmente esta especie está siendo cultivada a sol abierto en Brasil, Hawaii, Kenya y otros países. No obstante en Colombia, México y otros se sigue cultivando bajo sombra.

A partir de estos sistemas de cultivo (sol y sombra) se ha generado el interés de los investigadores por conocer cuál de ellos es más adecuado a las condiciones ecológicas que presenta una región, para obtener un mejor manejo y producción (Jimenez-Avila, 1979b).

El cultivo de café bajo sombra se ha realizado por tradición a través de los siglos (Guiscafre-Arrillaga *et al.*, 1955). Su comportamiento aparente ante la luz ha hecho que durante mucho tiempo se le considere como una planta umbrofila (de sombra). Sin embargo, la práctica del sombreado está a punto de ser abandonada -- por muchos cafeticultores (Coste, 1969).

Este aspecto se ha estudiado en diversos países, sin embargo, en cada caso los resultados han sido diferentes e incluso contradictorios.

Las investigaciones que se han realizado hasta el presente, demuestran que una serie de investigadores apoyan con resultados comprobados que el cultivo bajo sombra, ofrece una productividad mayor que el cultivo a pleno sol (Nutman, 1937a; Rainer, 1942; Machado, 1946; Montealegre-Carazo, 1955; Coen, 1957; Alvim, 1967; Huxley, 1967; Nunes *et al.*, 1968; Bran, 1980 y Kumar y Tieszen, 1980a).

En la actualidad se dispone de numerosa información de indiscutible valor sobre el cultivo a pleno sol. En Brasil (el mayor productor de café del mundo), casi todas las plantaciones se mantienen a plena exposición solar. También se han realizado comprobaciones favorables en otros países: En El Salvador, Suárez de Castro *et al.* (1961); en Puerto Rico, Abruña *et al.* (1965); y en Colombia, Castiello (1961) y Jaramillo-Robledo (1976).

También en Hawaii, Angola, Costa de Marfil, Camerún y Madagascar numerosos productores y especialmente en plantaciones industriales se ha suprimido el som-

breado basándose solamente en experiencias personales (Coste, 1969).

En general, hoy en día la experiencia empírica indica que intensificando las prácticas de cultivo (fertilización, poda, control de plagas, etc.) el café puede ser cultivado exitosamente sin sombra en cualquier área productora. No obstante, desde el punto de vista económico no es posible asegurar si el aumento en rendimiento que se obtiene al cultivar a plena exposición justifica los gastos adicionales correspondientes a las prácticas de cultivo intensificado (Alvim, 1967).

Sin embargo, es necesario hacer notar que hasta ahora, "no hay evidencia experimental irrefutable" que demuestre, sin dejar dudas, que el café crece y produce mejor bajo sombra o a plena exposición (Guiscafre-Arrillaga et al., 1955). La información de que se dispone es aislada, sobre algún aspecto particular del café y de ninguna manera da una respuesta concreta sobre el particular. Además, la evidencia que se obtuviera en lo futuro podría ser aplicable a determinadas regiones solamente (Guiscafre-Arrillaga et al., 1955).

Tomando en cuenta lo anterior, se observa que algunos productores del Estado de Veracruz tienden a modificar el agroecosistema, por una parte, cambiando el café por otros cultivos v.g. caña de azúcar y por otra parte están cortando los árboles de sombra característicos del café como una práctica destinada a prevenir la incidencia de la roya. En muchos casos, las nuevas plantaciones se están realizando a pleno sol (v.g. en las Congregaciones Consolapan y La Orduña, municipios de Coatepec, Ver.).

Aparentemente esta actividad se realiza por imitación de otros países, como Brasil y Hawái, ya que en México esta práctica carece de bases experimentales -- convincentes.

Es posible que debido a las características climáticas y ecológicas del área cafetalera mexicana, no sea conveniente realizar el cultivo de café sin sombra -- (Jimenez-Avila, 1979a).

Todas estas consideraciones señalan muy claramente la necesidad de estudiar este aspecto regionalmente, para que a través de la obtención de datos experimentales comparativos se puedan reemplazar las opiniones hipotéticas por hechos comprobados (Suárez de Castro et al., 1961).

Otro problema al que se enfrenta el cafeticultor, es la elección de la densidad de siembra adecuada. En los últimos tiempos los cafeticultores se encaminan a disminuir las distancias de siembra con el fin de incrementar la productividad -- (Basagoitia, 1981). En una densidad de siembra mayor a la densidad convencional -- (3000 - 5000 plantas por hectárea) la competencia entre plantas es tan grande que la productividad por planta disminuye. Sin embargo, debe considerarse que este --

descenso en la productividad por planta puede ser compensado (solo durante cierto tiempo) por la producción total por hectárea. No obstante, la ventaja obtenida en las primeras cosechas no parece superar los inconvenientes y los gastos adicionales obligatorios en una densidad convencional (Coste, 1969).

## 1.2 OBJETIVOS DE LA TESIS

El objetivo principal de este trabajo es el de establecer la comparación --- cuantitativa de crecimiento y productividad de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivada a pleno sol y bajo sombra, a una densidad de 6172 plantas por hectárea.

- a) Determinar la diferencia en la eficiencia fotosintética y la eficiencia de crecimiento entre los 2 sistemas de cultivo.
- b) Estudiar las adaptaciones morfológicas y fisiológicas de las plantas a las condiciones de radiación en ambos sistemas de cultivo.
- c) Estudiar la influencia del microclima en las tasas de crecimiento del café en los 2 sistemas de cultivo.
- d) Analizar la diferencia en la productividad de los cafetos en los 2 sistemas de cultivo.
- e) Si el cultivo de café a plena exposición solar es más productivo que el cultivo tradicional a la sombra, proponer alternativas para: 1) tratar de aumentar la productividad en tales condiciones en la región central de Veracruz y 2) disminuir las probabilidades de ataque de la roya del café en condiciones de exposición al sol.

## 1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACION A LARGO PLAZO

- a) Hacer un análisis comparativo de crecimiento, productividad y rendimiento de las vcs Caturra y Garnica cultivadas a pleno sol y bajo sombra, bajo dos densidades de siembra (3085 y 6172 plantas por hectárea).
- b) Estudiar la dinámica de crecimiento del café en la región central de Veracruz durante un período no menor de 5 años, en ambos sistemas de cultivo, para determinar las épocas más adecuadas para realizar las prácticas de cultivo correspondientes.
- c) Establecer en base a las dos densidades de siembra empleadas, cuál es el índice de área foliar (IAF) más adecuado para obtener mejores cosechas.
- d) Establecer si el cultivo de café a plena exposición solar es económicamente rentable como para extender su manejo a las demás áreas cafetaleras del Estado de Veracruz.

## CAPITULO 2

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

##### 2.1.1 ORIGEN Y DISPERSION DEL CAFE

*Coffea arabica* L. no se originó en Arabia. No hay informes de que esta especie se haya encontrado en estado silvestre en el país que le dió su nombre (Haarer, 1964). Se reporta como originaria del continente africano, en Abisinia, Etiopía, en los bosques tropicales localizados entre los 6° y 9° latitud N y 34° y -- 40° longitud E, a altitudes entre 1600 y 1800 msnm (Coste, 1969; Maestri y Barros, 1981).

Del continente africano se propagó a Yemen, en Arabia, donde se realizaron los primeros cultivos, aproximadamente entre los siglos XIV y XV (Figura 2). De Yemen se llevó a Costa de Malabar en la India, a fines del siglo XVII. De aquí, se propagó a Ceilán e Indonesia (Java). En el siglo XVIII se llevó semilla a los jardines de Amsterdam y París. De Francia se llevó a la Martinica y de ahí al continente americano (Haarer, 1964; Alvarez, 1978).

La llegada del café a México se calcula a mediados del siglo XVIII. El café era totalmente desconocido en México en la época prehispánica. La Nueva España lo consumió como bebida exótica y lo tenían como una planta de ornato ó como especie rara. A fines del siglo XVIII comenzó a cultivarse en forma comercial en Cuernavaca, sin embargo, no fué sino hasta el siglo XIX que se extendió a los Estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Michoacán (Alvarez, 1978).

##### 2.1.2 DESCRIPCION DE LA ESPECIE

Antoine de Jussieu en 1713 consideró al cafeto como un jasmín, llamándolo *Jasminum arabicum laurifolia*. En 1753 Linneo estableció el Género *Coffea* (Haarer, -- 1964). Desde entonces se le conoce como *Coffea arabica* L. y se le clasifica de la siguiente manera: Subdivisión: Angiosperma, Clase: Dicotiledónea, Orden: Rubiales, Familia: Rubiaceae, Género: *Coffea* y Especie: *arabica*.

*Coffea arabica* L. es un arbusto perenne, de tallo liso de 2 a 5 cm de altura; ramas opuestas, flexibles, largas y delgadas. Tiene hojas opuestas, ovaladas, de peciolo corto, con bordes ondulados y superficie brillante, de longitud promedio de 10 a 15 cm y ancho de 4 a 6 cm. Las flores blancas, aromáticas, de 1.0 a 1.5 cm de largo, se presentan en grupos de 2 a 3 cimas (ó glomérulos) en las axilas de los pares de hojas, constituyendo cúmulos de 8 a 15 flores, pentámeras, gamopétalas, -

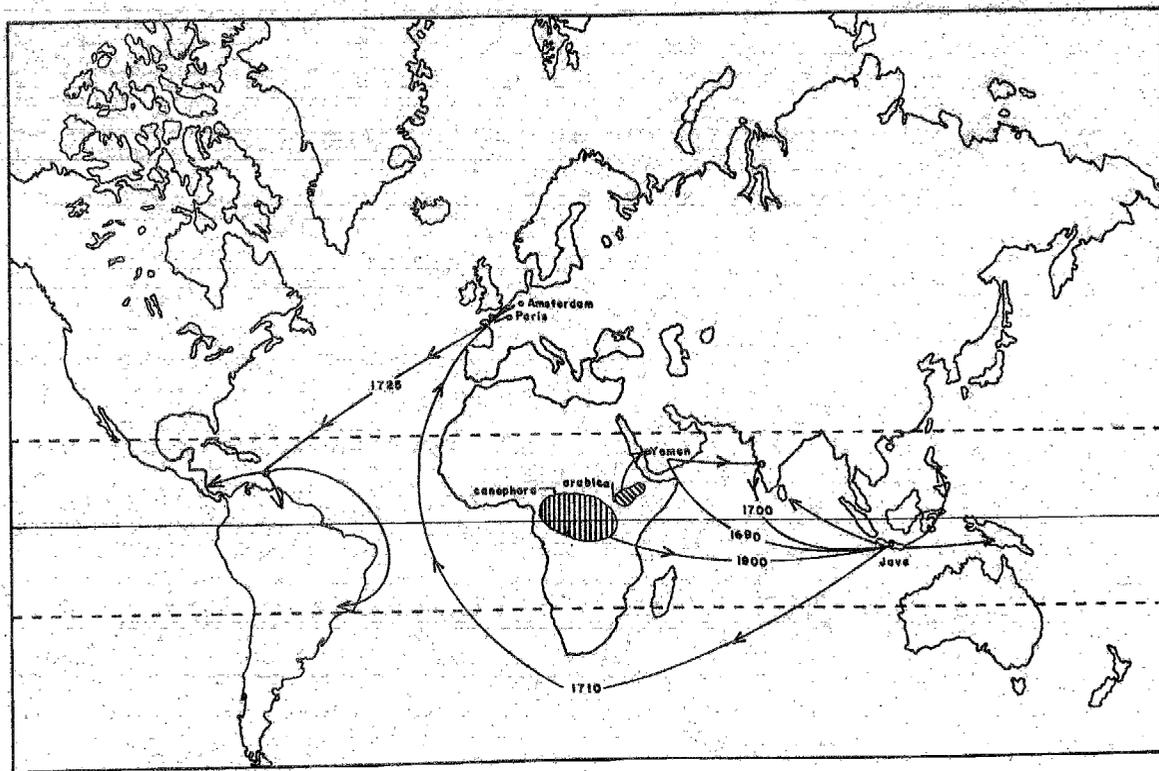


Figura 2. Dispersión del germoplasma de *Coffea arabica* L. Tomado de Jiménez-Avila (1981).

hermafroditas; androceo de 5 estambres fusionados a la corola; ovario infero bicarpelar y bilocular. El fruto (drupa) es elíptico u oval, de 1.6 a 1.8 cm de largo y 1.0 a 1.5 cm de ancho; exocarpio (piel) rojo, y mesocarpio (pulpa) carnosos, blanco amarillento. El endocarpio está constituido por 2 semillas plano-convexas que presentan un surco en la cara interna. Los cotiledones, foliáceos, contienen un alcaloide estimulante del sistema nervioso (cafeína), además de almidón, sustancias grasas, azúcares, taninos, etc. (Coste, 1969; Alvarez, 1978).

La primera cosecha se obtiene cuando la planta alcanza de 3 a 4 años de edad. La producción máxima se alcanza entre los 8 y los 10 años, pero sigue produciendo frutos durante 20 a 50 años más (Alvarez, 1978).

Las 4 especies de café ampliamente cultivadas en el mundo, en orden de importancia comercial son: 1) *Coffea arabica* L., 2) *C. canephora* Pierre ex Froenner, 3) *C. liberica* Bull ex Hiern, y 4) *C. excelsa* A. Chex.

### 2.1.3 FORMACION DE LA VARIEDAD GARNICA

Dentro de la especie *Coffea arabica* sólo las variedades Arabica (6 Typica) y Bourbon son consideradas como variedades botánicas. Los genetistas han demostrado que las demás variedades cultivadas son mutaciones y formas derivadas de éstas -- dos: v.g. Amarella, Angustifolia, Straminea, Semperflorens, Laurina, Maragogipe, Caturra, Mundo Novo y Catuai (Haarer, 1964).

Crear una nueva variedad de café es relativamente fácil, el problema radica en el tiempo que se necesita para ello.

Desde siempre y en forma natural se han formado variedades de café, sin embargo, no todas son convenientes para ser utilizadas por el hombre (baja productividad, tamaño, calidad y sabor del grano, etc.).

En la actualidad se está en condiciones de crear nuevas variedades de café en forma controlada. Basándose en lo anterior el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) consideró conveniente formar una nueva variedad de porte bajo, con capacidad para: producir altas cosechas durante varios años y con buena calidad en el producto final, facilitar el manejo del cafetal, aumentar la población por hectárea y eliminar de ella algunos inconvenientes que presentan las variedades tradicionales Bourbon y Typica (Castillo, 1960).

En 1961 se iniciaron los trabajos para formar una nueva variedad que reuniera estas características. Se escogieron como progenitores los cafetos denominados Mundo Novo 15 y Caturra amarillo 13. En el registro de 8 cosechas se reportaron para estas variedades 10.4 kg y 10.1 kg en promedio de café cereza por café por año respectivamente (Villarreal, 1981).

Se ha reportado que la nueva variedad, denominada "GARNICA", produjo 19.5 kg de café cereza por cafeto por año en promedio de 7 cosechas (INMECAFE, 1982b).

Esta variedad comienza a conocerse en el medio cafetalero, sin embargo, se continúa con los trabajos para determinar la generación F4, cuyos descendientes quedarán en forma definitiva como linajes nuevos.

#### 2.1.4 CICLO DE CRECIMIENTO

El ciclo de crecimiento de *Coffea arabica* L. varía de un país a otro dependiendo tanto de las condiciones climáticas como de los factores intrínsecos.

La vida del cafeto comprende 3 grandes períodos:

- 1) Crecimiento: comienza con la germinación de la semilla y termina con la edad adulta. Varía entre 4 y 7 años.
- 2) Producción: es el período más largo, dura de 15 a 20 años o más.
- 3) Decadencia fisiológica: termina con la muerte de la planta (Coste, 1969).

#### CRECIMIENTO VEGETATIVO

La planta de café exhibe un dimorfismo único en su ciclo de crecimiento vegetativo. Las primeras ramificaciones aparecen a las 4-6 semanas después del nacimiento de la planta (Coste, 1969).

La yema apical da origen a un tallo ortotrópico (que crece verticalmente), con hojas opuestas y decusadas. En la axila de cada hoja hay 2 clases de yemas, una sobre otra (Alvim, 1967). La yema inferior a menudo llamada "yema accesoria" o "brote axilar primario" es latente y sólo se desarrolla dando origen a renuevos ortotrópicos si el tallo es decapitado o doblado (agobiado), o si la planta se expone continuamente a temperaturas arriba de 30°C (Alvim, 1967; Maestri y Barros, 1981).

La yema superior es el brote más largo, da origen a renuevos que producen ramas plagiotrópicas (que crecen en ángulo diferente a la vertical) con hojas opuestas. Las flores y frutos se forman en las yemas axilares de estas ramas, pero sólo en los nudos formados durante el período de crecimiento anterior (Alvim, 1967; Maestri y Barros, 1981).

Las hojas individuales tienen una longevidad o tiempo de vida media de 1 año, pero varía con cambios en los factores climáticos (Cannelli, 1971 y Barros y Maestri, 1972, citados por Maestri y Barros, 1981).

#### CRECIMIENTO REPRODUCTIVO

Los primeros botones florales aparecen generalmente hacia el tercer año (Coste, 1969). Una vez formadas las yemas florales, comienzan a crecer lentamente du-

rante 2 meses, hasta alcanzar un tamaño de 8 mm y luego cesan de crecer por varias semanas y aún meses. Generalmente la lluvia o la irrigación subsiguiente a un período de sequía induce la antesis de las yemas florales en un período de 8 a 10 días. R. Porteres (1956, citado por Alvim, 1967) define el "umbral pluvi floral" como la cantidad de lluvia o de agua recibida por el suelo, capaz de crear y mantener el estado de turgencia necesario para desencadenar la floración. Según Porteres, 3 mm de lluvia son suficientes para causar la apertura de las yemas (Maestri y Barros, 1981).

La floración ocurre justo antes o simultáneamente con los períodos de máximo crecimiento de remuevos laterales (Castillo, 1966). No abarca a todo el conjunto de yemas de un nudo, algunos permanecen en estado latente, evolucionando posteriormente, ya sea en cimas florales, o en ramas secundarias (Coste, 1969).

Inmediatamente después de la fecundación autógama los estambres y la corola se secan y caen, y el pistilo se ensancha enseguida. En promedio transcurren de 2 a 3 días entre la floración y la caída de las piezas florales (Coste, 1969).

Las curvas de crecimiento del fruto muestran una forma sigmoidal doble. Wormer (1964) y Cannell (1971, citado por Maestri y Barros, 1981) dividieron el crecimiento del fruto en 5 períodos: 1) de crecimiento despreciable; 2) de rápido crecimiento; 3) de crecimiento suspendido o lento; 4) llenado del endospermo y 5) maduración.

El primer período que sigue a la fecundación es de crecimiento casi nulo y termina a las 4 semanas. El segundo período muestra un crecimiento acelerado y continuo que va hasta la octava semana. El tercer período es de crecimiento muy lento, corresponde al endurecimiento del endocarpio y la división de los tejidos de la semilla, tarda de 14 a 15 semanas. El cuarto período se inicia con un cambio de color del pericarpio, los frutos aumentan de tamaño rápidamente, este período tarda de 4 a 5 semanas. El quinto período termina con la maduración del fruto (León y Fournier, 1962).

## 2.2 AGROECOLOGIA

### 2.2.1 FISILOGÍA DEL CAFETO

La fotosíntesis, productividad, crecimiento vegetativo y reproductivo son regulados tanto por factores intrínsecos: fotoperíodo y balance hormonal; como por factores climáticos: temperatura, intensidad luminosa, suministro de agua.

#### TEMPERATURA

Blackman (1905, citado por Bidwell, 1979), encontró que la tasa de fotosíntesis en plantas superiores, varió directamente con la temperatura a altas intensidades de luz, pero cuando la intensidad fue baja, la fotosíntesis no fue afectada por la temperatura.

El café según Alegre (1965, citado por Maestri y Barros, 1981), es una especie que no tolera un amplio rango de temperatura. Encontró que las temperaturas óptimas varían entre los 18° y 21°C.

Nunes et al. (1968), estudiaron los efectos de la luz y la temperatura en la fotosíntesis neta del café. Encontraron que la temperatura es uno de los factores que más influyen sobre su crecimiento y su producción. Observaron que las altas temperaturas inhiben el crecimiento, ya que por encima de 24°C comienza a disminuir la tasa de fotosíntesis neta. A esta temperatura, la concentración interna de CO<sub>2</sub> aumenta linealmente a razón de 20 ppm por cada grado centígrado que aumenta la temperatura. Este aumento en la concentración interna de CO<sub>2</sub> en el mesófilo aumenta la resistencia total a la difusión (Kumar y Tieszen 1980a).

Hearth y Orchard (1957, citados por Maestri y Barros, 1981), sugieren que el cierre de los estomas a medio día podría ser un efecto de la temperatura actuando sobre el contenido de CO<sub>2</sub> en los espacios intercelulares.

Kumar y Tieszen (1980a), observaron que un incremento en la radiación causa un incremento en la temperatura de las hojas. Este incremento en la temperatura causa por lo general, un cierre parcial de los estomas en las hojas totalmente expuestas (Nutman, 1937b; Alvim et al., 1954)

Went (1957) y Mes (1958), citados por Alvim (1967), reportaron que a una temperatura relativamente alta (mayor de 30°C), las yemas accesorias del tallo principal crecen espontáneamente originando una planta de tallo múltiple. La temperatura también puede afectar la iniciación en la producción de las yemas florales. Una combinación de 23°C en el día y 17°C en la noche puede inducir la apertura de las yemas en 13 días.

### INTENSIDAD LUMINOSA

Nutman (1937b), determinó la influencia de la intensidad luminosa en la tasa de asimilación neta (TAN) de plantas de café. Encontró que la TAN varía directamente con la intensidad de luz cuando ésta es baja, pero una intensidad luminosa alta reduce la TAN. Al sol, la TAN disminuye durante las horas del medio día (9:00 am a 3:00 pm).

Nunes et al. (1968), suponen que las TAN más bajas encontradas por Nutman pueden atribuirse al aumento en la temperatura de las hojas y por consiguiente al cierre de los estomas (Kumar y Tieszen 1980a).

Muchos autores después de Nutman (Watson, 1952, citado por Alvim, 1967; Sylvain, 1958b; Alvim 1960 y otros), han comprobado que la velocidad de fotosíntesis de la hoja del cafeto considerada aisladamente es mayor a la luz difusa que a plena luz. La TAN probablemente disminuye al aumentar la intensidad luminosa a valores máximos (Alvim, 1954, 1967; Huerta, 1954).

Franco (1940) hace notar que este comportamiento no permite afirmar que el cafeto es una planta umbrófila (Coste, 1969).

No obstante, el cierre parcial de los estomas bajo luz solar directa se ha interpretado como una indicación de que el café es una especie que prefiere la sombra (Alvim, 1967).

Sin embargo, otros autores (Huerta, 1954; Triana, 1957) afirman que el café no se comporta como una especie de sombra en lo que respecta a su reacción a la luz. Ninguna evidencia experimental convincente muestra que la luz solar per se, es dañina al cafeto (Alvim, 1967). (Este aspecto de la intensidad luminosa se discutirá más ampliamente en la sección siguiente).

Castillo (1966) encontró que la floración del cafeto aumenta con el incremento en la intensidad luminosa.

### SUMINISTRO DE AGUA

Desde el punto de vista de Kumar y Tieszen (1980b), la tensión hídrica es uno de los factores más significativos que afectan el desarrollo de la planta. Hsiáo (1937, citado por Kumar y Tieszen, 1980b), concluyó que la tensión hídrica influye en el crecimiento afectando directamente la elongación celular y más indirectamente la absorción mineral y especialmente la fotosíntesis.

El café se considera como una especie de cierta tolerancia a la sequía, aun cuando se sabe que la cosecha se reduce marcadamente cuando el suministro de agua es inadecuado (Alvim, 1967; Levitt, 1972).

Alegre (1959, citado por Maestri y Barros, 1981), sugiere que la precipitación óptima para el cultivo de café oscila entre 1200 y 1800 mm anuales.

Una buena distribución de la lluvia y la existencia de un período seco corto, favorece el crecimiento del cafeto. Mes (1957, citado por Alvim, 1967) postula -- que es predominantemente la carencia de agua la que mantiene a la yema floral en estado latente y cualquier tratamiento que disminuya esta tensión de agua dentro de la yema eliminará el factor inhibitorio. El período seco parece ser importante para el crecimiento de la raíz, la maduración de las ramas formadas en el período lluvioso previo, y la iniciación y maduración de los frutos (Haarer, 1964; Maestri y Barros, 1981).

Por esta razón, la disminución de la cosecha por influencia del agua se manifiesta hasta el año siguiente, como lo puntualiza Alvim (1967).

El exceso de agua produce un gran desarrollo de hojas, disminuye la producción del fruto y el crecimiento, debido a la aireación pobre del suelo, con detrimento en el desarrollo normal de las raíces (Alvarez, 1978).

#### FOTOPERIODO

Franco (1940) y Piringer *et al.* (1955), demostraron que el crecimiento y la floración del cafeto están afectados por la duración del día. La iniciación de la yema floral puede ocurrir aparentemente en cualquier período del año, sin embargo, aun en regiones ecuatoriales (sin variación estacional marcada) la floración exhibe una periodicidad anual (Maestri y Barros, 1981).

El cafeto puede ser considerado como una planta adaptada a días cortos. En su país de origen, así como en los países donde se cultiva, la duración del día varía entre 10.5 y 13.5 horas. Sin embargo, con una iluminación de 14 horas o más no tiene lugar la formación de flores (Piringer *et al.*, 1955; Coste, 1969).

El cafeto es considerado como una planta  $C_3$  y exhibe fotorespiración (Maestri y Barros, 1981).

#### BALANCE HORMONAL

Según se ha reportado para otras plantas, la producción de auxinas por la yema terminal es probablemente la causa inhibitoria del crecimiento de las yemas accesorias. Se cree que la decapitación o el agobio hace disminuir la concentración de esta hormona del crecimiento en el tallo principal a un nivel lo suficientemente bajo como para estimular el crecimiento de las yemas accesorias (Alvim, 1958).

La floración tiene lugar bajo la acción de complejos estímulos: alternancias estacionales, régimen de lluvia y sequía, combinaciones de temperatura diurna y --

nocturna, iluminación, relación C/N<sub>2</sub>, entre otros, pero el control hormonal es uno de los más importantes (Coste, 1969).

Alvim (1958, 1967), sugiere que la floración en el cafeto está gobernada por un mecanismo hormonal y no es causada directamente por un fenómeno físico de absorción de agua. Esta hormona podría ser la giberelina o un compuesto relacionado con el ácido giberélico.

Browning et al. (1970), proponen que el ácido abscísico es el principal responsable en un 75% de la latencia de las yemas florales del cafeto.

### 2.2.2 ECOLOGIA DEL AGROECOSISTEMA CAFETALERO

#### DEFINICION DE AGROECOSISTEMA

Ryzkowski (1974, citado por Jiménez-Avila, 1981) define un agroecosistema de la siguiente manera: "Los campos cultivados son ecosistemas suspendidos o mantenidos por la intervención del hombre en una fase temprana de la sucesión, con una estructura simple, con bajo costo energético en la producción de la biomasa y con ciclos abiertos en la recirculación de los nutrientes. En estos ecosistemas, el costo para el mantenimiento de su estabilidad depende del manejo. El hombre influye prácticamente en todo o casi todo el proceso que se desarrolla en el ecosistema".

#### ECOLOGIA Y DESCRIPCION DEL AGROECOSISTEMA CAFETALERO

El agroecosistema cafetalero es un sistema perenne en donde el cafeticultor busca la manera de mantener la producción de alimentos (generalmente para autoconsumo) asociando al cafetal diversos cultivos, principalmente frutales. Probablemente este manejo integral e intensivo (desarrollado en la parte central de Veracruz), ayuda a sostener la recirculación de los nutrientes en el ecosistema. De esta manera, el hombre ejerce una influencia directa sobre el ordenamiento de los componentes bióticos y abióticos del ecosistema agrícola. Los componentes bióticos comprenden: productores primarios, consumidores y descomponedores (Jiménez-Avila, 1981).

El ordenamiento de los productores primarios y las prácticas agronómicas influyen en la productividad, en el equilibrio de los nutrientes y en el flujo de agua (Jiménez-Avila, 1981). Por lo tanto las condiciones ecológicas que prevalecen en los cultivos están relacionados, en gran parte, por la estructura de los mismos (Jiménez-Avila, 1979a).

Sabemos que básicamente existen 2 tipos de cafetal: 1) con sombra de diver-

dos tipos (*Inga jinicuil*, *I. leptoloba*, *Musa sapientis* y *Citrus cinensis*) y 2) a pleno sol.

En los cafetales a la sombra los productores primarios mantienen un aporte continuo de hojarasca al ecosistema y se distribuyen en el siguiente arreglo:

1) los árboles de sombra, que conforman el estrato superior; 2) el estrato medio, representado por los cafetos y los frutales y 3) el estrato herbáceo, que está de terminado por el manejo de los estratos superiores.

Los consumidores primarios, son diferentes herbívoros que se alimentan tanto de epifitas, como de los árboles de sombra y que contribuyen a la recirculación de los nutrientes mediante la producción de heces fecales.

Los descomponedores constituyen fundamentalmente las asociaciones de "micorizas" que se observan en la hojarasca con diferentes grados de descomposición.

En la Figura 3, se observa un perfil diagramático de un cafetal típico de sombra.

Contrastando con el cafetal a la sombra, la estructura del cafetal al sol es muy simple. Los productores primarios se distribuyen en el siguiente arreglo:

1) El estrato arbustivo, compuesto únicamente por los cafetos y 2) el estrato herbáceo, cuya proliferación se ve favorecida (Jiménez-Avila, 1979a).

En la Figura 4, se observa un perfil diagramático del cultivo de café al sol.

## 2.3 INVESTIGACIONES PRECEDENTES SOBRE EL CULTIVO DE CAFÉ BAJO SOMBRA Y A PLENO SOL

### 2.3.1 OBSERVACIONES A FAVOR DEL CULTIVO A LA SOMBRA

Nutman (1937a), Nunes *et al.* (1968), Huxley (1967) y Kumar y Tieszen (1980a), realizaron determinaciones de fotosíntesis y encontraron que las TAN eran superiores bajo condiciones de radiación moderada (a la sombra) que en exposición total al sol.

Rayner (1942) en Kenia y Montealegre-Carazo (1955) en El Salvador, observaron que cuando el cafeto crece al sol hay mayor fructificación, pero el producto es de mala calidad y hay fluctuación en la producción. La reducción en la variación del ambiente propiciado por la sombra, es el principal responsable de la producción de los llamados cafés suaves y de alta calidad.

Machado (1946), encontró que en Colombia aumentó el tamaño de la hoja y disminuyó el número total de las raíces. El 40% de sombra fue mejor que a pleno sol y que sombra densa.

Haarer (1955), Montealegre-Carazo (1955) en El Salvador; Laines del Cid (1979) y Bran (1980) en Guatemala, mencionan que el cafeto y la sombra se necesi

tan mutuamente para propiciar un ambiente en el cual se favorece la formación de materia orgánica, el microclima y la protección contra la radiación directa y -- contra el viento.

Müller (1959), encontró que en las zonas de Camerún donde se cultiva *Coffea arabica* L., es necesaria la sombra para evitar el "Die-back" (muerte progresiva) que según el autor resulta de la falta de agua y la exposición directa al sol.

Alvim (1967) observó que el cierre parcial de los estomas bajo luz solar directa es una indicación de que el café es una especie que prefiere la sombra.

Rodríguez (1958), encontró que en Colombia el crecimiento es en términos generales mucho más vigoroso a plena exposición solar, sin embargo, se desconoce el comportamiento de la planta en tales condiciones. Por lo tanto es más recomendable utilizar el mejoramiento de las técnicas de cultivo dentro del sistema tradicional de sombra.

Coen (1957) en Costa Rica, observó que la temperatura del suelo es muy importante en el desarrollo de las raíces. Los mejores resultados se obtuvieron con la combinación de 26°C durante el día y 20°C durante la noche en cafetales a la sombra.

En la región central de Veracruz y probablemente para la mayor parte de las regiones cafetaleras mexicanas, el cultivo de café al sol en fajas autosombreadas (Sistema Cowgill) presenta muy pocas ventajas como para recomendarlo (INMECAFÉ, 1960).

Castillo (1966) y López *et al.* (1972) en Colombia, encontraron que el crecimiento, desarrollo y producción fueron mayores bajo sombra que a pleno sol.

### 2.3.2 OBSERVACIONES A FAVOR DEL CULTIVO A PLENO SOL

Triana (1957) en Colombia, observó que el cultivo a pleno sol ha representado un aumento de 153% en producción sobre el cultivo bajo sombra. La ausencia de sombra trae como consecuencia una mayor actividad fisiológica en la planta, debido a que ésta recibe mayor energía solar. Para mantener esta mayor actividad se requiere mayor abastecimiento de nutrientes por medio de la fertilización.

Haarer (1960) opina que en Kenya, el uso de la sombra no es muy conveniente. En Brasil, el café no parece exigir la sombra lo mismo que en Tanganyika.

Alvim (1960) en Perú, Carvalho (1961) en Brasil, Anónimo (inédito) en El Salvador y Jordán Molero (inédito), comparan el desarrollo del crecimiento de las plantulitas de café al sol y bajo sombra. Los datos indican que siempre hubo mayor producción al sol que bajo sombra.

Suárez de Castro *et al.* (1961) en El Salvador, realizó un estudio comparati-

vo donde concluyó: "la cosecha es mayor a plena exposición solar porque exhiben una condición básica más apropiada para sostener una cosecha más abundante.

Abruña et al. (1961) mencionan la aceptación del sistema de cultivo de café al sol en Puerto Rico.

Abruña et al. (1965) estudiaron los rendimientos de nueve variedades de café cultivadas intensivamente a pleno sol y bajo sombra en la zona de Puerto Rico. La producción fué mayor en las plantaciones a sol que bajo 30% de sombra.

Guiscafre-Arrillaga et al. (1955) y Gordon (1956) en El Salvador, reportaron que el método de cultivo del cafeto al sol en barreras autosombreadas provee un medio para evitar la erosión no logrado eficientemente con ninguna otra forma de cultivo.

Castillo (1966) en Colombia, encontró que la TAN fué mayor en plantas a plena exposición solar. Observó mayor crecimiento vegetativo, mayor número de nudos y mayor número de inflorescencias en cada nudo.

García et al. (1972) en Puerto Rico, determinó la productividad de 16 variedades de *Coffea arabica* L., cultivadas intensivamente tanto a pleno sol como bajo 40% de sombra. Algunas variedades produjeron más que otras, pero en general, los rendimientos más elevados se obtuvieron a pleno sol.

Jaramillo-Robledo (1976), reportó que en Colombia la práctica de cultivo bajo sombra repercute en la fisiología del cafeto: se refleja en un desarrollo más lento de los frutos y por lo tanto en un período de cosecha más largo.

## CAPITULO 3

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la zona cafetalera mexicana, en la parte central del Estado de Veracruz (Figura 5).

Para la realización de este trabajo se escogieron 2 terrenos, uno con árboles de sombra característicos del cultivo de café de la región (*Inga jinicuil* e *I. leptoloba*), y otro en condiciones de plena exposición solar.

Ambos terrenos se encuentran ubicados en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz, en el km 2 de la carretera Coatepec-Xalapa vía las ---Trancas (Figura 6). Esta zona se localiza a 19°26' latitud N y 96°56' longitud W, a una altitud de 1500 msnm, con precipitación pluvial de 1975 mm anuales y una temperatura media anual de 18.9°C.

#### 3.2 CLIMA

Según la clasificación de Ktappen modificada por García (1970), el tipo de clima para esta región es (A)c(fm)(w')a(i')g. Se caracteriza por ser un clima tropical lluvioso (A), con una temperatura media anual del mes más frío (enero) de 15.7°C; con más de 40 mm de lluvia c(fm) en el mes más seco (enero y diciembre); presencia de canícula (w'); verano caliente -a-; con una temperatura media del mes más caliente entre 5° y 7°C (i'); y con marcha anual de la temperatura de tipo Ganges -g-.

En la Figura 7 se observa la distribución de la temperatura y la precipitación en la región de Coatepec, Veracruz.

#### 3.3 DURACION DEL PROYECTO

El presente trabajo forma parte de un Proyecto de Investigación más amplio que comprende el análisis comparativo de crecimiento, productividad y rendimiento de *Coffea arabica* L. vs Caturra y Garnica a pleno sol y bajo sombra a 2 densidades de siembra (6172 y 3085 plantas por hectárea).

En un estudio de productividad y rendimiento de una especie perenne como *Coffea arabica* L., es necesario hacer mediciones durante un período de tiempo representativo. Por esta razón, se pretende realizar el Proyecto de Investigación en -

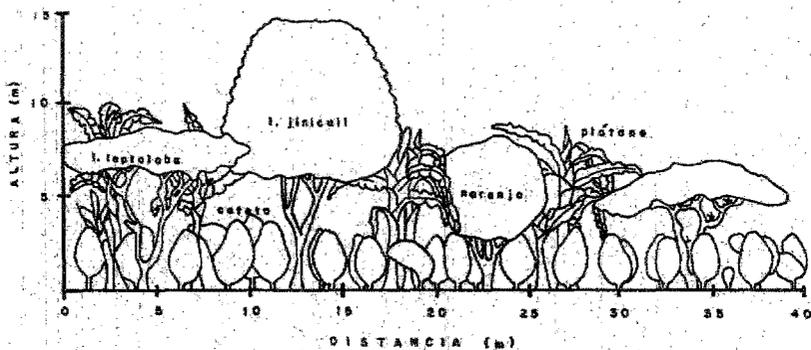


Figura 3. Perfil diagramático de un cultivo de café a la sombra en La Orduña, Coatepec, Ver. Tomado de Jiménez-Avila (1981).



Figura 4. Perfil diagramático de un cultivo de café al sol, en La Orduña, Coatepec, Ver. Tomado de Jiménez-Avila (1981).



BIBLIOTECA  
CENTRO DE ECOLOGIA

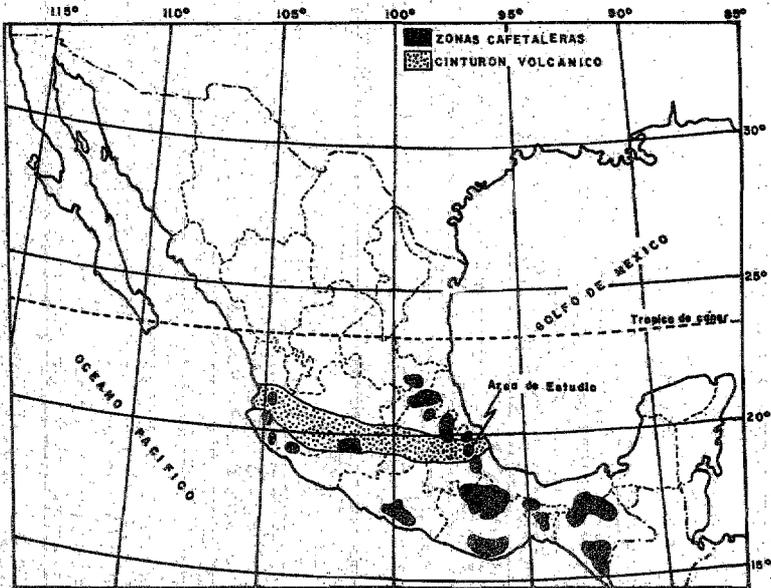


Figura 5. Mapa de localización del área de estudio. En este Mapa se observa la distribución de las zonas cafetaleras de nuestro país. Tomado de Krug y DePoerck (1969).

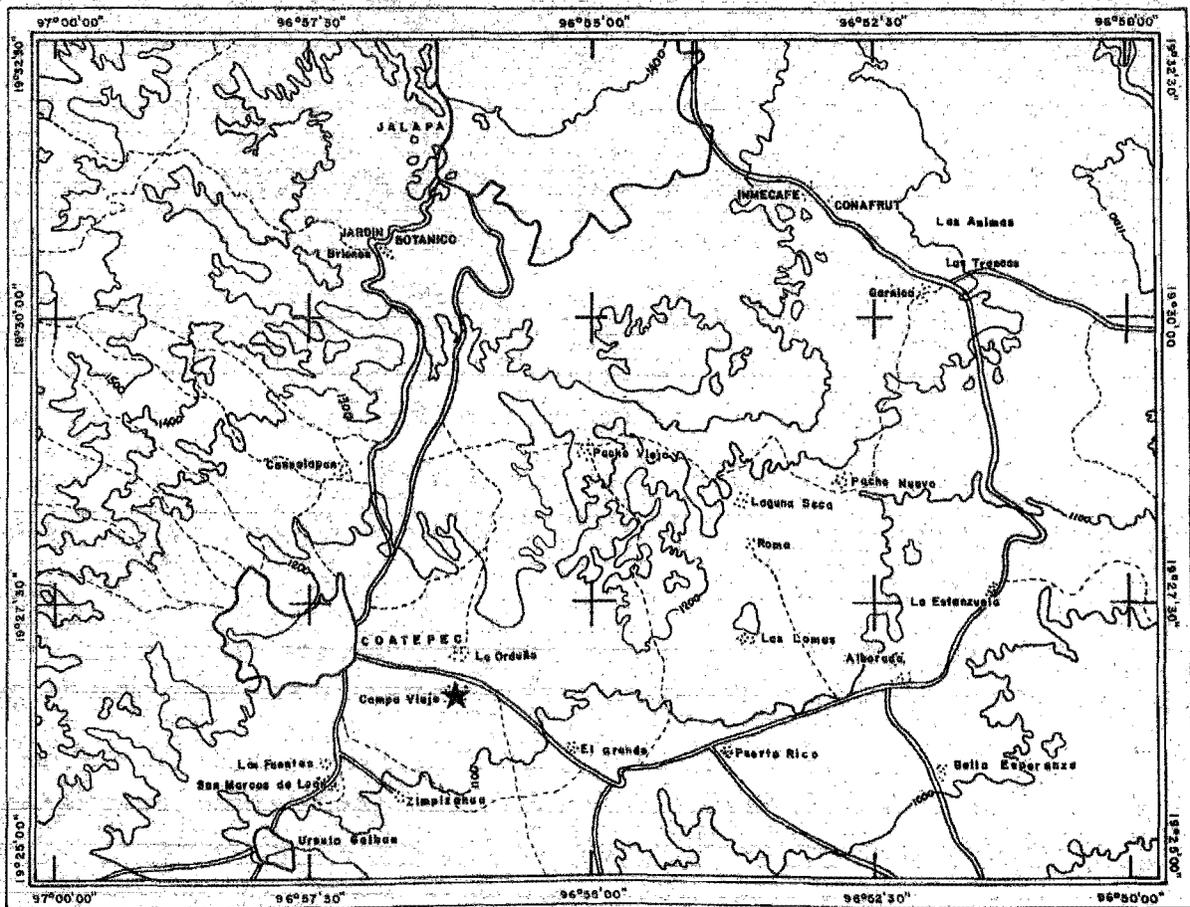


Figura 6. Mapa de localización de la zona de estudio. Se muestra la localización exacta de la Congregación Campo Viejo (★) Municipio de Coatepec, Ver.

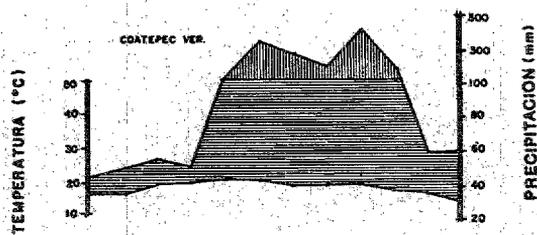


Figura 7. Distribución de la temperatura y la precipitación en la región de Coatepec, Ver. Tomado de García (1970).

un período no menor de 5 años.

### 3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental del Proyecto de Investigación es "Trifactorial con arreglo en parcelas subdivididas y distribución en Cuadro Latino (4 X 4)".

Para cumplir los objetivos del Proyecto de Investigación se destinaron 8 tratamientos con 4 repeticiones (Figura 8):

T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub> = vc. Garnica densidad alta (6172 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

T<sub>2</sub> y T<sub>6</sub> = vc. Caturra densidad baja (3085 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

T<sub>3</sub> y T<sub>7</sub> = vc. Caturra densidad alta (6172 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

T<sub>4</sub> y T<sub>8</sub> = vc. Garnica densidad baja (3085 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

Donde T = Tratamiento.

La superficie total de cada terreno es de 2500 m<sup>2</sup> (50 m X 50 m). Se destinaron 16 parcelas para cada uno, con dimensiones de 12 m por lado.

Las distancias de siembra en las 2 densidades son: 1.8 m entre surcos y 0.9m entre plantas para la densidad alta (6172 pl/ha), y 1.8 m entre surcos y 1.8 m entre plantas para la densidad baja (3085 pl/ha).

Con el propósito de contar con material suficiente para las mediciones de productividad durante los 5 años, se sembraron a la densidad alta las parcelas destinadas a los tratamientos de densidad baja. Ya que de otra manera la "parcela útil" de éstas parcelas tendrían solamente 25 plantas para todo el experimento, un tamaño de muestra pequeño para mediciones de productividad en un proyecto planeado para 5 años (De la Loma, 1966).

A partir del segundo año, se establecerá un aumento en las distancias entre plantas en las parcelas destinadas a los tratamientos T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>8</sub> por medio de "entresacas" en hileras horizontales para lograr la densidad baja (Figura 9).

Una vez establecidos los 8 tratamientos (las 2 densidades), cada año después de la extracción de los individuos para el análisis de productividad, se replantarán en su lugar cafetos de 1 año de edad, para no alterar la densidad de siembra.

En el presente trabajo, se realizó el análisis de crecimiento y productividad de los cafetos de la vc. Garnica cultivados a pleno sol y bajo sombra, sembrados a la densidad alta (6172 pl/ha) (Figura 9). En el terreno a sol, lo mismo que en el de sombra, se analizaron 8 parcelas con un total de 55 plantas por parcela útil en cada una, durante 1 año.

DISEÑO EXPERIMENTAL TRIFACTORIAL CON PARCELAS SUBDIVIDIDAS Y DISTRIBUCION EN CUADRO LATINO (4 X 4)

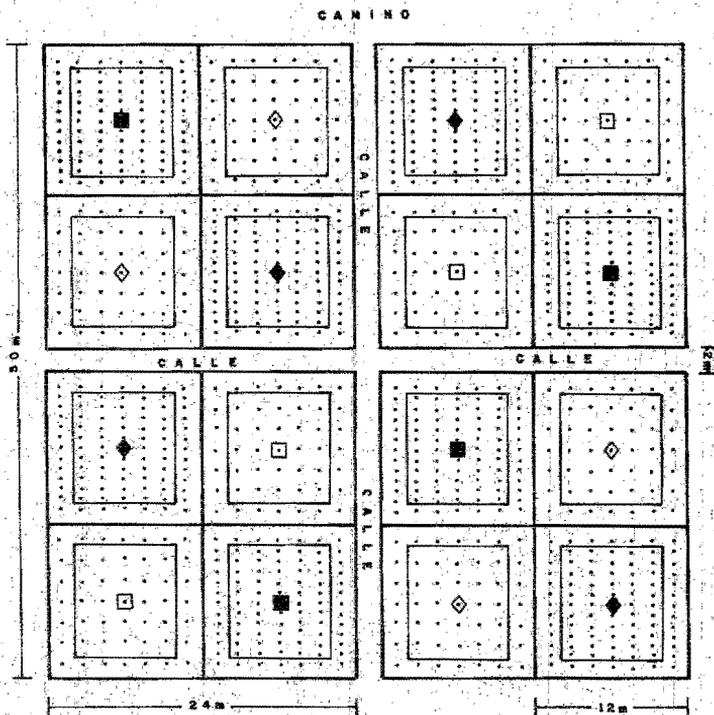
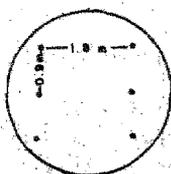


Figura 8. Esquema de distribución de las parcelas experimentales y los sitios de siembra de los cafetos de las vcs Caturra y Garnica a dos densidades de siembra (el mismo esquema de distribución se utilizó en los 2 terrenos).

- T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub> vc. Garnica densidad 6172 pl/ha a pleno sol y bajo sombra respectivamente.
- ◇ T<sub>2</sub> y T<sub>6</sub> vc. Caturra densidad 3085 pl/ha a pleno sol y bajo sombra respectivamente.
- ◆ T<sub>3</sub> y T<sub>7</sub> vc. Caturra densidad 6172 pl/ha a pleno sol y bajo sombra respectivamente.
- T<sub>4</sub> y T<sub>8</sub> vc. Garnica densidad 3085 pl/ha a pleno sol y bajo sombra respectivamente.



DISEÑO EXPERIMENTAL TRIFACTORIAL CON PARCELAS SUB-DIVIDIDAS Y DISTRIBUCION EN CUADRO LATINO (4 X 4).

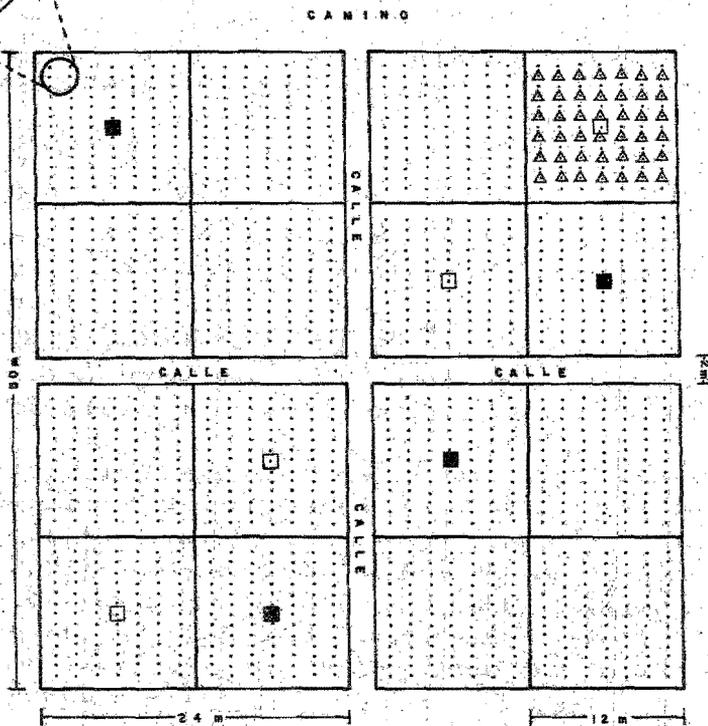


Figura 9. Esquema de distribución de las parcelas experimentales y los sitios de siembra de los cafetos de la vc. Garnica sembrados a la densidad de 6172 pl/ha (■, □). A partir del segundo año se establecerá un aumento en las distancias entre plantas en las parcelas destinadas a la densidad baja (□) por medio de entresacas (Δ) (eliminación de los individuos marcados) en hileras horizontales.

### 3.5 MATERIAL UTILIZADO

El material utilizado en este trabajo consistió de plántulas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica de 1 año de edad. Este material fué extraído de almácigos (o --planteles) establecidos a la sombra.

Estas plántulas se adquirieron en los planteles propiedad del INMECAFE, ubicados en El Encero, Municipio de Emiliano Zapata, Ver.

### 3.6 PRACTICAS CULTURALES

#### 3.6.1 PREPARACION DEL TERRENO

A pesar de que los 2 terrenos se encuentran ubicados en el mismo sitio, las condiciones originales de cada uno eran diferentes. Por esta razón recibieron una preparación distinta.

##### PREPARACION DEL TERRENO EN CONDICIONES DE SOMBRA

El agroecosistema original era un cafetal con sombra mixta, compuesta por -- las especies *Inga jinicuil*, *I. leptoloba*, *Musa sapientis*, *Citrus cinensis* y *Coffea arabica* L. vc. Typica.

Se desmontó el terreno, eliminando las especies *Musa sapientis*, *Citrus cinensis* y *Coffea arabica* L. vc. Typica. Para ello se utilizó un tractor Caterpillar de 10 toneladas, procurando no dañar las raíces de los árboles de sombra *I. jinicuil* e *I. leptoloba* y dañar lo menos posible las condiciones del suelo. Por esta razón, el Caterpillar sólo excavó en los sitios donde estaban sembradas las plantas de las especies mencionadas. Esta práctica se inició el 11 de abril de 1983.

Fué necesario escombrar el terreno manualmente sacando los restos de troncos y raíces, el 21 del mismo mes.

Para voltear las capas del suelo sin dañar las raíces de los árboles se utilizó un arado con tracción animal ("yunta").

Se quemó el rastrojo para reintegrar los nutrientes al suelo.

Después de realizar estas prácticas, el terreno quedó en condiciones adecuadas para la siembra.

##### PREPARACION DEL TERRENO EN CONDICIONES DE EXPOSICION AL SOL

Este terreno sostenía un cultivo de plátano (*M. sapientis*) en completo abandono.

El 12 de abril del mismo año se realizó el desmonte total del terreno utilizando la misma maquinaria que en el terreno en condiciones de sombra.

De la misma manera que en el terreno de sombra, el Caterpillar solamente excavó en los sitios donde había plátano y el escombro se realizó manualmente.

Los propietarios del terreno informaron que éste no había recibido ninguna práctica agrícola durante 5 años. Por esta razón, se rompieron las capas del suelo a una profundidad de 1 m, utilizando el Caterpillar con arado profundo el 30 de abril.

Para remover las capas superficiales del suelo se utilizó un tractor con arado de 3 discos.

Debido a que el suelo presentaba una pendiente de 5 grados, fue necesario hacer una nivelación con el mismo tractor.

Después de realizada esta práctica, el terreno quedó listo para la siembra.

### 3.6.2 SIEMBRA

Se delimitaron las parcelas en ambos terrenos con estacas y cordón. Dentro de las mismas se marcaron los sitios de siembra de los cafetos a las distancias de 1.8 m entre surcos y 0.9 m entre plantas.

En los sitios marcados se excavaron hoyos de 40 cm de diámetro por 40 cm de profundidad. Cada hoyo recibió 100 g de cal agrícola para reducir la población de *Lumbricus terrestris* (lombrices de tierra). Estas prácticas se realizaron del 27 de mayo al 5 de junio.

Los hoyos se dejaron al descubierto hasta que recibieron las primeras lluvias. Cuando se consideró que habían recibido suficiente agua, se taparon con el mismo suelo sin compactarlo. Esta actividad se llevó a cabo del 27 de junio al 2 de julio.

Estas prácticas de excavación y tapado de hoyos se realizaron con el propósito de proporcionar porosidad y humedad al suelo (Anónimo, 1980).

Las plántulas de 1 año de edad se transplantaron de los almácigos a Campo Viejo. Al momento de extraer las plántulas, se envolvieron en hojas de plátano para evitar la excesiva transpiración y deshidratación. Se transportaron lo más rápidamente posible a las parcelas para su siembra.

Las plántulas se sembraron haciendo un pequeño hoyo con la mano en los sitios previamente excavados. Se colocaron en éstos, se extendieron las raíces y se cubrieron con suelo, presionándolo bien.

### 3.6.3 LIMPIAS Y FERTILIZACIONES

Se denomina "limpias de un cultivo" a la práctica de eliminar las especies herbáceas (maleza) que proliferan en él. Esta práctica se realiza con la finalidad de evitar la competencia por nutrientes y agua entre la maleza y el cultivo.

La limpia de los cafetales a pleno sol y bajo sombra se efectuó cada 3 meses utilizando azadón y machete. Se realizaron 5 limpias a partir de la siembra. Las fechas fueron las siguientes:

	cultivo bajo sombra:	cultivo a pleno sol:
1 <sup>a</sup> limpia	28 de julio 1983	30 de julio 1983
2 <sup>a</sup> limpia	6 de octubre 1983	10 de octubre 1983
3 <sup>a</sup> limpia	13 de enero 1984	9 de enero 1984
4 <sup>a</sup> limpia	9 de abril 1984	4 de abril 1984
5 <sup>a</sup> limpia	3 de julio 1984	15 de julio 1984

Los cafetos en los 2 sistemas de cultivo recibieron el mismo tratamiento de fertilización. La fórmula que se utilizó fue la comercial 18-12-6 (N-P-K) (com. per.)

La dosis aplicada fue de 100 g de fertilizante por planta. Las fechas de las 4 fertilizaciones fueron las siguientes:

	cultivo bajo sombra:	cultivo a pleno sol:
1 <sup>a</sup> fertilización	1 de agosto 1983	29 de julio 1983
2 <sup>a</sup> fertilización	13 de octubre 1983	12 de octubre 1983
3 <sup>a</sup> fertilización	4 de febrero 1984	2 de febrero 1984
4 <sup>a</sup> fertilización	26 de mayo 1984	25 de mayo 1984

### 3.7 PARAMETROS ESTUDIADOS

Los resultados de experimentos bajo condiciones semicomerciales o en parcelas de agricultores suelen ser variables entre un año y otro, debido a la variación de los factores de la producción, como la heterogeneidad del suelo, el clima y el manejo (Turrent, 1980). Es por esto que la descripción de las condiciones experimentales, debe ser acompañada de una descripción concienzuda de los factores que afectan el desarrollo del cultivo que se estudia. En el presente trabajo los parámetros que se analizaron fueron los que a continuación se enumeran.

#### 3.7.1 PARAMETROS MICROCLIMATICOS

Por razones diversas, no se contó con el equipo necesario para hacer las determinaciones microclimáticas en La Congregación Campo Viejo. Sin embargo, con el fin de ilustrar la magnitud de las diferencias entre los tratamientos a sol y a

sombra se tomaron datos microclimáticos registrados en la Congregación La Orduña, correspondientes a un estudio de caracterización microclimática, cuyo objetivo era el de explicar las diferencias en radiación, temperatura y humedad entre plantaciones a pleno sol y bajo sombra durante el período 1982-1983 (Barradas y Fanjul, 1984).

Si bien las condiciones microclimáticas de Campo Viejo y La Orduña podrían ser diferentes, estos datos permiten ilustrar la magnitud de las diferencias entre los tratamientos de sol y de sombra a lo largo del año. Esto se asume como hipótesis de trabajo, debido a que las condiciones agroecológicas de los cafetales de La Orduña y Campo Viejo son similares y se localizan a una distancia de 2 km - aproximadamente. Sin embargo, es necesario advertir que lo anterior no es absoluto.

Los parámetros que se registraron en La Orduña fueron los siguientes:

- Temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) máxima, media y mínima (Termopares).
- Temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 y 15 cm de profundidad (Geotermómetro).
- Humedad relativa (%) (Higrómetro).
- Evaporación Piche ( $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$ ) (Evaporímetro Piche).

Estos parámetros se registraron diariamente y se estimaron los promedios mensuales.

La radiación solar se registró en Campo Viejo con un Piranómetro. Las mediciones se hicieron en los 2 tratamientos, colocandol Piranómetro a la altura del ápice de las plantas de café. Estas mediciones se realizaron mensualmente, en días despejados.

### 3.7.2 ANALISIS DE SUELOS

#### HUMEDAD

Se analizó el contenido de humedad del suelo ( $H_s$ ) por el método gravimétrico. Se tomaron 2 muestras por parcela en cada terreno cada 30 días.

#### ANALISIS QUIMICO

Se realizaron 3 muestreos: 1) al inicio del experimento (julio 1983), para conocer el contenido de nutrientes al establecer la plantación; 2) a mitad del experimento, después de la tercera fertilización; y 3) al final del experimento, para conocer el contenido de nutrientes después de sostener al cultivo durante 1 año.

En cada muestreo se tomaron 4 muestras compuestas en cada tratamiento, una por cuadrante (Figura 10).

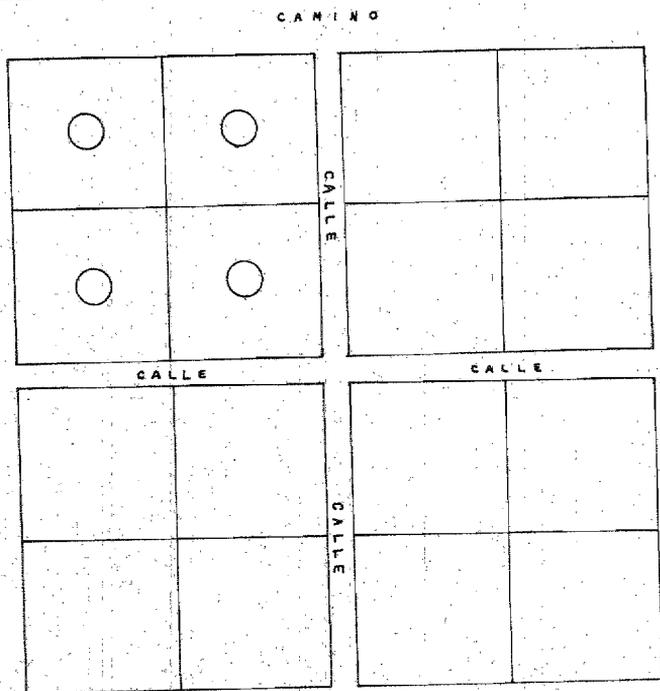


Figura 10. Esquema que representa la forma en que se tomaron las muestras de suelo. En cada parcela se tomó una muestra y se mezcló con muestras de las parcelas vecinas en un cuadrante, constituyendo una muestra compuesta.

Se realizaron los siguientes análisis:

- pH, en agua 1:25 (método potenciométrico).
- % de materia orgánica (método Walkley-Black).
- % de nitrógeno (método Kjeldahl).
- Fósforo disponible (ppm) (método Bray I).
- Potasio (meq/100 g) (método de Espectrofotometría de Flama).

### 3.7.3 PARAMETROS DE CRECIMIENTO

Para el análisis de crecimiento se marcaron 3 individuos en cada parcela (24 individuos por tratamiento) con etiquetas enceradas. Se registraron mensualmente los parámetros de crecimiento vegetativo y reproductivo en estos individuos.

#### CRECIMIENTO VEGETATIVO

Los parámetros de crecimiento vegetativo estudiados fueron los siguientes:

- Altura de la planta (cm): desde la base del tallo hasta el ápice.
- Cobertura de la planta ( $m^2$ ): se estimó tomando 2 mediciones en cruz del diámetro de la copa. Con estos datos se obtuvo un promedio de diámetro y se calculó la cobertura con la fórmula del área de un círculo.
- Diámetro del tallo (cm): se midió con Vernier.
- Número de nudos del tallo: se contaron a partir del primer nudo ortotrópico hasta el apical, incluyendo los nudos defoliados y carentes de ramas.
- Longitud de entrenudos del tallo (cm): se midió la distancia de entrenudos desde el primer nudo ortotrópico hasta el apical.
- Número de ramas: se contó el número de ramas primarias y secundarias.
- Longitud de ramas (cm): se midió la longitud de cada rama.
- Número de nudos por rama: se contó el número de nudos en cada rama.
- Longitud de entrenudos por rama (cm).
- Número de hojas por planta.
- Número de hojas perdidas por planta: se contó el número de hojas perdidas considerando los nudos defoliados y semidefoliados (con una sola hoja).
- Área foliar (AF) ( $m^2$ ): el AF se calculó a partir de los datos del largo y el ancho de las hojas, utilizando el método descrito por Rodríguez-Hernández *et al.* (1984). Se midió el área de las hojas de la mitad de cada rama (en sentido longitudinal) y se multiplicó por 2, ya que según Awatramani y Gopalakrishna (1965) y Huerta (1962) en el café el área foliar de la mitad de una rama es sin mucho error ( $\leq 5\%$ ) igual al de la mitad correspondiente.

índice de área foliar (IAF): el IAF es el AF por unidad de superficie ( $m^2/m^2$ ) por lo tanto no tiene unidades. La importancia de medir el IAF radica en que la producción de materia seca depende en gran parte del IAF (Valencia, 1973).

#### CRECIMIENTO REPRODUCTIVO

Los parámetros de crecimiento reproductivo fueron los siguientes:

- Número de yemas florales por planta.
- Número de flores por planta.
- % de abortos florales.
- Número de frutos por planta.
- Peso seco total de frutos por planta.

#### 3.7.4 ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD

##### PORCENTAJE Y DISTRIBUCION DE BIOMASA

Se muestrearon cada 4 meses 2 individuos por parcela y se llevaron al laboratorio. Se dividieron en partes: ramas primarias, ramas secundarias, hojas de ramas primarias, hojas de ramas secundarias, tallo principal, tallos secundarias, hojas de tallos secundarios, frutos y raíz.

Cada una de las partes se empaquetó en bolsas de papel etiquetadas, se secaron a  $90^\circ C$  durante 48 horas hasta peso constante.

##### TASA DE ASIMILACION NETA (TAN)

La acumulación de materia seca de la planta es un índice satisfactorio para estimar indirectamente la velocidad de fotosíntesis, incluyendo las pérdidas ocasionadas por la respiración, por lo tanto estima la fotosíntesis aparente (fotosíntesis aparente = fotosíntesis real - respiración).

La TAN equivale al aumento en peso seco de la planta por unidad de AF por unidad de tiempo ( $g \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$ ), y se calcula de la siguiente manera:

$$TAN = \frac{(W_2 - W_1)}{(AF_2 - AF_1)} \cdot \frac{(\ln AF_2 - \ln AF_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Donde  $W_1$  y  $W_2$  son los pesos secos totales en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ ;  $AF_1$  y  $AF_2$  representan los valores de AF a los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ ; y la segunda parte de la expresión es el AF promedio en el período comprendido entre las 2 fechas, suponiendo que el AF aumenta en el tiempo (Causton y Venus, 1981). El tiempo  $t_1 - t_2$  equivale a 120 días.

### TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO (TCR)

La tasa de crecimiento relativo mide la eficiencia media de la producción de materia seca. Se calcula de la siguiente manera:

$$TCR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{g} \cdot \text{día}^{-1})$$

Donde  $W_1$  y  $W_2$  son los pesos secos totales a los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  (Causton y Venus, 1981).

### AREA FOLIAR ESPECIFICA (AFe)

El área foliar específica indica el grado de esclerosis de la hoja. Un AFe alta indica hojas delgadas de área relativamente grande, mientras que un AFe baja indica hojas gruesas de área relativamente pequeña.

El AFe se calcula de la siguiente manera:

$$AFe = \frac{Lw}{W} \cdot \frac{AF}{Lw}$$

Donde  $Lw$  es el peso seco de las hojas;  $AF$  representa el área foliar total;  $W$  es el peso seco total;  $Lw/W$  es la proporción del peso seco foliar y muestra qué proporción del total de saimilados es retenido por el follaje; y  $AF/Lw$  es la proporción del  $AF$  con respecto al peso seco foliar, sus unidades son  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .

### PESO ESPECIFICO DE LA HOJA

Para determinar el peso específico ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) se cortaron 5 círculos de hojas, de  $1 \text{ cm}^2$  en cada una de las parcelas. Se llevaron al laboratorio en viales perfectamente cerrados para evitar la deshidratación. Se determinó el peso seco por unidad de área.

#### 3.7.5. ANALISIS DE CLOROFILA

Se analizó el contenido de clorofilas a, b y total ( $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) en 3 muestras de 50 g de hojas en los 2 tratamientos.

El procedimiento para la determinación de clorofila se basa en la absorción de la luz, por extractos de clorofila con solventes. Las concentraciones de clorofilas a y b se determinaron midiendo la densidad de los extractos de clorofila en acetona al 80% con un espectrofotómetro a 663 y 645 nm de longitud de onda ( $\lambda$ ) - respectivamente y utilizando ecuaciones simultáneas (Arnon, 1949).

Para la determinación de clorofila total, se graficaron los datos de absorción de luz para clorofila a y b. Las curvas se intersectaron en  $\lambda = 625$  nm, longitud de onda a la cual se determinó la concentración de clorofila total.

### 3.7.6 ANALISIS FOLIAR

Se determinó el contenido de nitrógeno total en los 2 tratamientos. El muestreo se realizó según el método reportado por Huerta (1964). En cada parcela se tomó una muestra compuesta, de 40 hojas.

### 3.8 ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando una computadora VAX modelo 111 780. Esta computadora cuenta con un paquete estadístico estándar conocido como BIOMED.

#### 3.8.1 ANALISIS DE CRECIMIENTO

Como se mencionó anteriormente (ver página 31), el tamaño de muestra para registrar los parámetros de crecimiento fue de 24 cafetos por tratamiento, con estimaciones mensuales durante 1 año.

Se calcularon las medias de cada parámetro por tratamiento, es decir, se obtuvieron 12 medias por tratamiento.

Las pruebas estadísticas se realizaron de manera independiente para cada parámetro de crecimiento, utilizando el programa P3D del paquete BIOMED. El programa P3D incluye la prueba de  $T^2$  de Hotelling y la prueba t de Student (varianzas mancomunadas). La prueba de  $T^2$  se utiliza para probar igualdad de medias entre 2 grupos (Tratamientos). Esta prueba puede transformarse a la prueba estadística de Fisher por medio de la fórmula:

$$F = \frac{T^2(N_1 + N_2 - V - 1)}{V(N_1 + N_2 - 2)}$$

donde V es el número de variables del análisis;  $N_1$  y  $N_2$  el tamaño de muestra de los grupos. Esta distribución F fue la que se utilizó para probar igualdad de medias entre tratamientos, con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  y 12 y 35 grados de libertad del numerador y del denominador respectivamente ( $F_{0.05(2)12,35}$ ).

La prueba de t se utilizó para probar igualdad entre pares de medias (diferencias mensuales entre tratamientos) asumiendo que las varianzas de la población eran iguales en los 2 grupos. Se aplicó un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  y ---

$(N_1 + N_2) - 2$  grados de libertad ( $t_{05(2)46}$ ).

Se graficaron las curvas de crecimiento de cada parámetro, se aplicaron regresiones exponenciales y se calcularon los coeficientes de determinación ( $r^2$ ).

Se determinaron las tasas de crecimiento mensual y los coeficientes de correlación simple ( $r$ ) entre los parámetros.

### 3.8.2 ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD

En cada muestreo se separaron los cafetos en partes (hojas, ramas, tallos, raíces y fruto). Se aplicaron las pruebas estadísticas antes mencionadas (F y t) - analizando cada parte de la planta por separado. Se calcularon la producción y los porcentajes de distribución del peso seco por planta en partes y se graficaron. También se calcularon las TAN, TCR, AFe, y el peso específico de la hoja.

### 3.8.3 ANALISIS DE SUELOS

En el análisis químico de suelos se aplicó la prueba de t para cada elemento analizado en los 3 muestreos, utilizando el programa P3D.

La humedad del suelo se analizó de igual manera que los parámetros de crecimiento.

### 3.8.4 ANALISIS DE CLOROFILA Y ANALISIS FOLIAR

Estas determinaciones se realizaron en una sola ocasión (en marzo de 1984), sin embargo, las repeticiones realizadas en cada caso permitieron realizar la prueba de t y probar diferencias entre tratamientos.

## CAPITULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1 ANALISIS MICROCLIMATICO

##### 4.1.1 TEMPERATURA DEL AIRE

Las gráficas que muestran la variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima en cafetal bajo sombra y a pleno sol en La Orduña, se presentan en la Figura 11 (ver Tabla 3 del apéndice).

Podemos observar que las temperaturas más bajas se presentan en los meses de diciembre a febrero y las más altas en mayo y junio.

Es evidente que las temperaturas media y máxima son mayores en el cafetal a pleno sol, mientras que la temperatura mínima es menor que en cafetal bajo sombra, lo cual implica una mayor amplitud térmica en el cafetal a pleno sol.

##### 4.1.2 TEMPERATURA DEL SUELO

En las Figuras 12a y 12b se muestran las gráficas de la temperatura del suelo a 5 y 15 cm de profundidad respectivamente, en cafetal bajo sombra y a pleno sol en La Orduña.

Como se puede observar, la variación en la temperatura del suelo se comporta de manera similar en los 2 estratos considerados. Las temperaturas más bajas se presentan en los meses de enero a marzo y las más altas en mayo y junio.

Las temperaturas del suelo en cafetal a pleno sol son mayores que las temperaturas en cafetal bajo sombra a lo largo del año.

##### 4.1.3 EVAPORACION PICHE

Las gráficas que describen el comportamiento de la evaporación Piche en los 2 sistemas de cultivo se presentan en la Figura 13. La máxima evaporación registrada en los cafetales se presenta en los meses de marzo a mayo y la mínima de octubre a diciembre.

En el cafetal a pleno sol, la evaporación es mayor que en el cafetal bajo sombra.

##### 4.1.4 HUMEDAD RELATIVA

En la Figura 14 se muestran las gráficas de humedad relativa en los 2 siste-

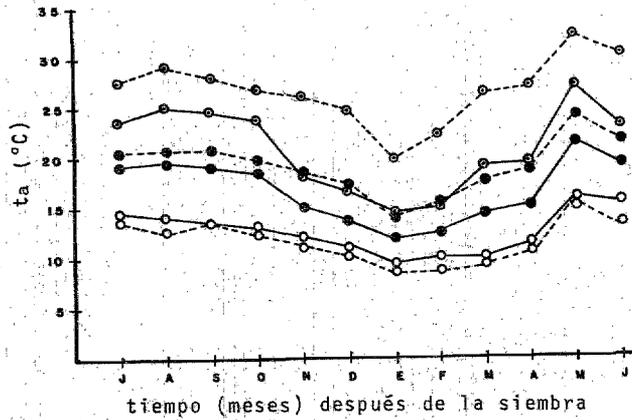


Figura 11. Variación mensual de la temperatura del aire ( $t_a$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ ), media (●), máxima (○) y mínima (○) en cafetales bajo sombra (—) y a pleno sol (---) en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

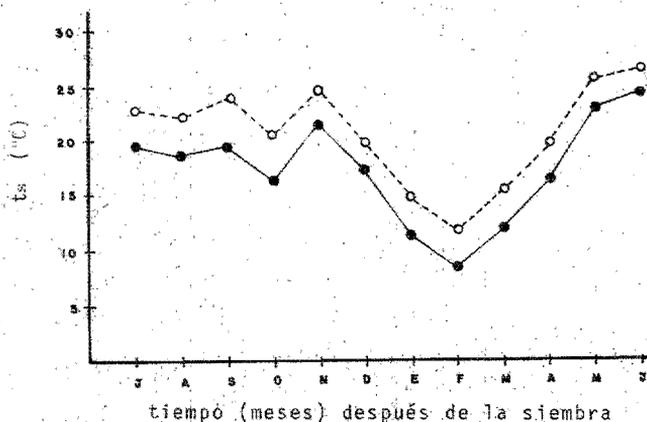


Figura 12a. Variación mensual de la temperatura del suelo ( $t_s$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 5 cm de profundidad, en cafetales bajo sombra (—) y a pleno sol (---), en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

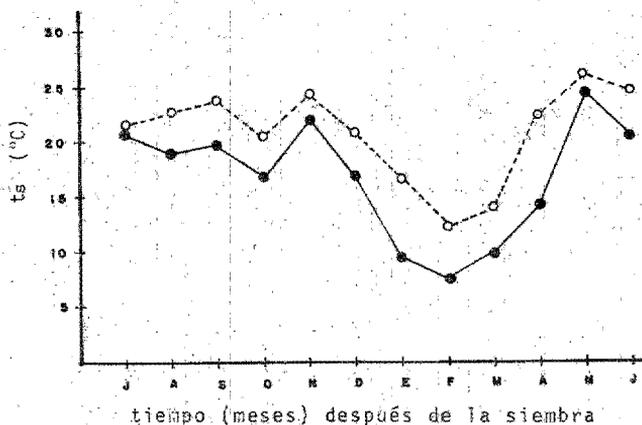


Figura 12b. Variación mensual de la temperatura del suelo ( $t_s$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ ) a 15 cm de profundidad en cafetales bajo sombra (—) y a pleno sol (---), en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

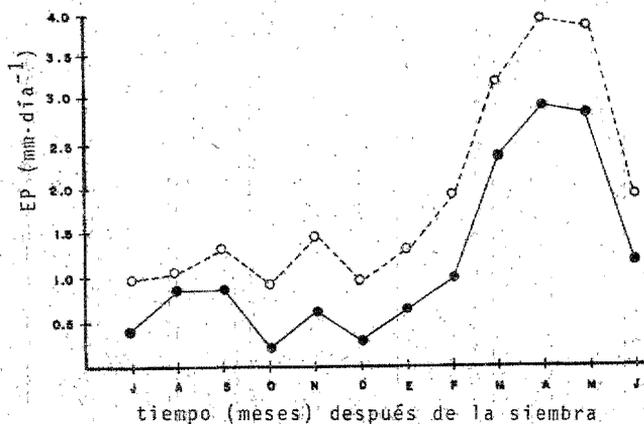


Figura 13. Variación mensual de la evaporación Piche (EP) (mm·día<sup>-1</sup>) en cafetales bajo sombra (—) y a pleno sol (---), en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

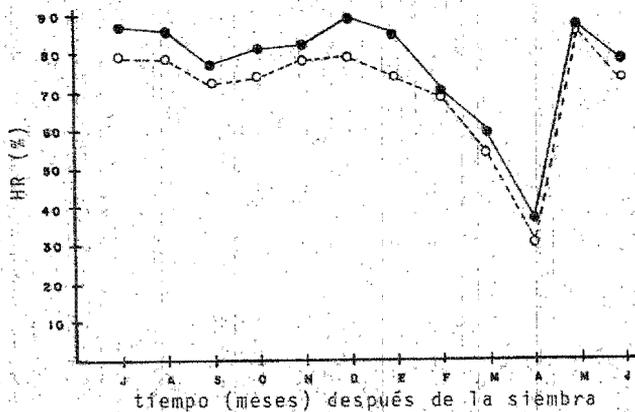


Figura 14. Variación mensual de la humedad relativa (HR) (%) en cafetales bajo sombra (—) y a pleno sol (---), en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

mas de cultivo en La Orduña.

En los meses de marzo y abril se observa una marcada disminución en la humedad relativa, mientras que en el resto del año se mantiene relativamente alta.

#### 4.1.5 RADIACION SOLAR

En la Figura 15 se muestran las gráficas que describen el comportamiento de la radiación solar incidente en los tratamientos de sol y sombra en Campo Viejo.

Se observa una disminución gradual en la radiación solar en los meses de septiembre a enero, presentándose las radiaciones más bajas de noviembre a enero. A partir de febrero comienza a incrementarse, encontrándose las radiaciones más elevadas en los meses de abril a junio. En el tratamiento de sol la radiación solar es mayor que en el tratamiento de sombra.

(Por razones técnicas no fué posible cuantificar la radiación solar en los meses de julio y agosto).

#### 4.1.6 HUMEDAD DEL SUELO

En la Figura 16 se presentan las gráficas de humedad del suelo en los 2 tratamientos. Se puede apreciar que la humedad del suelo presentó un comportamiento semejante al de la humedad del aire en los cafetales de La Orduña. Es decir, la humedad se mantiene relativamente alta durante 10 meses del año, observándose una marcada disminución en marzo y abril.

La humedad del suelo fué mayor en el tratamiento de sombra que en el tratamiento de sol.

#### 4.2 ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

Los resultados del análisis químico de suelos en los 2 tratamientos se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1: RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DE SUELOS EN CAFETALES A PLENO SOL Y BAJO SOMBRA EN CAMPO VIEJO.

	JULIO 1983			MARZO 1984			JULIO 1984		
	SOMBRA	SOL		SOMBRA	SOL		SOMBRA	SOL	
pH	4.73	5.26	*	4.29	4.53	ns	4.23	4.68	*
M. O. (%)	4.95	7.33	*	7.00	6.52	ns	6.62	7.85	*
N. (%)	0.34	0.42	*	0.39	0.34	ns	0.29	0.35	*
P. (ppm)	120.60	77.30	*	90.50	51.90	*	75.4	39.20	*
K (meq/100g)	0.229	0.667	*	0.390	0.347	ns	0.321	0.399	ns

Cada valor representa la media de 4 observaciones.

\* nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

ns no significativo.

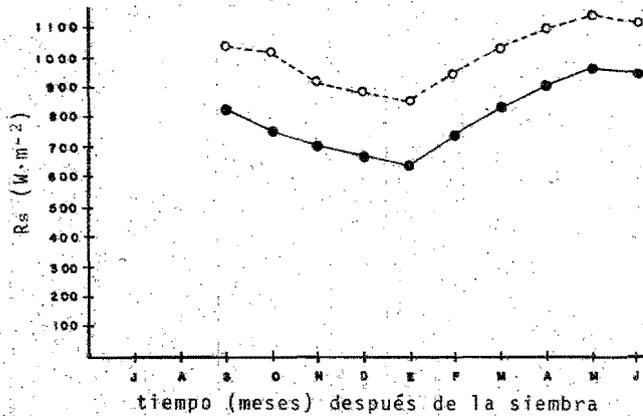


Figura 15. Variación mensual de la radiación solar (Rs) (W·m<sup>-2</sup>) en cafetales bajo sombra (—) y a pleno sol (---), en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

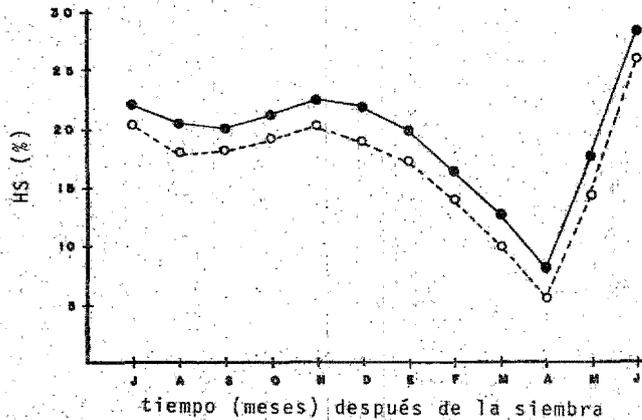


Figura 16. Variación mensual de la humedad del suelo (HS) (%) en cafetales bajo sombra (—) y a pleno sol (---), en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Ver.

#### 4.2.1 pH

El pH del suelo fué ligeramente más ácido en el tratamiento de sombra en los 3 muestreos. El análisis estadístico (prueba de t) mostró diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) en el primer y tercer muestreos, como se observa en la Tabla 1.

En los 2 tratamientos el pH tendió a acidificarse con el tiempo, sin embargo, se mantuvo siempre ligeramente más ácido bajo sombra.

Es necesario recordar que el segundo y tercer muestros de suelos se realizaron después de la aplicación de fertilizante. Probablemente la disminución del pH se debió a la aplicación del fertilizante (ver discusión).

#### 4.2.2 MATERIA ORGANICA

El contenido de materia orgánica en el suelo en los 2 tratamientos varió de 5.0 a 7.9%. Estos valores se consideran extremadamente altos, según la clasificación de Velazco (1983).

Existe una marcada variación en el comportamiento de los valores de materia orgánica a lo largo del experimento. En el primer muestreo, al inicio del experimento, el porcentaje fué mayor en el tratamiento de sol (7.33%) que en el tratamiento de sombra (4.95%). Las pruebas estadísticas mostraron diferencias significativas (ver Tabla 1).

En el segundo muestreo (marzo 1984), el porcentaje aumentó en el tratamiento bajo sombra (7.0%) y disminuyó en el tratamiento de sol (6.52%). Sin embargo, las diferencias no fueron significativas.

En el último muestreo (julio 1984), se observó el mismo fenómeno que en el primero: el porcentaje de materia orgánica fué mayor a pleno sol (7.85%) que bajo sombra (6.62%). Las pruebas estadísticas mostraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 4.2.3 FOSFORO

En el tratamiento bajo sombra, los niveles de fósforo fueron marcadamente mayores que en el tratamiento de sol. Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) en los 3 muestreos. En la Tabla 1 se observa que estos niveles de fósforo disminuyeron con el tiempo en los 2 tratamientos.

#### 4.2.4 POTASIO Y NITROGENO

Los niveles de potasio se consideran pobres en los 2 tratamientos, según la clasificación de Velazco (1983).

El comportamiento de los niveles de potasio y nitrógeno es inverso en los 2 tratamientos. Es decir, en el primer muestreo se encontró mayor cantidad de éstos nutrientes en el tratamiento de sol. En el segundo muestreo el nivel de éstos aumentó en cafetal bajo sombra y disminuyó a pleno sol. En el tercer muestreo, aumentó en el tratamiento de sol y disminuyó en el tratamiento de sombra. Aunque solamente se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) en el primer muestreo (Tabla 1).

#### 4.3 ANALISIS DE CRECIMIENTO VEGETATIVO

##### 4.3.1 ALTURA DE LA PLANTA, NUMERO Y LONGITUD DE RAMAS PRIMARIAS

Las curvas de crecimiento de los parámetros altura de la planta, y número y longitud de ramas primarias en cafetos bajo sombra y a pleno sol presentaron un comportamiento parecido, como se observa en las Figuras 17a a 17c.

Esto se comprueba estadísticamente por los altos coeficientes de correlación encontrados entre estos parámetros ( $r = .99$ ).

Al comparar las curvas de crecimiento de los tratamientos de sol y sombra se observó que durante el período comprendido entre julio 1983 y marzo 1984, estos parámetros alcanzaron valores más altos en el tratamiento de sol. Sin embargo, a partir de abril 1984 y hasta el final del experimento (junio 1984), los valores fueron superiores en el tratamiento de sombra.

Aparentemente en los primeros 9 meses los cafetos al sol crecieron más que los cafetos bajo sombra, como se observa en las curvas de crecimiento. Sin embargo, las tasas de crecimiento mensual indicaron que entre julio y diciembre de 1983 existe una alternancia en las tasas de crecimiento entre los tratamientos bajo sombra y a pleno sol (Figuras 18a-c).

De diciembre a enero 1983-1984 las tasas de crecimiento mensual fueron muy bajas en los 2 tratamientos, sin embargo a partir de febrero 1984 fueron mayores en el tratamiento de sombra.

Al final del experimento, después de 1 año de establecida la plantación, los cafetos bajo sombra mostraron una mayor altura, mayor número y longitud de ramas primarias que los cafetos a pleno sol.

Se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos para estos 3 parámetros (prueba de F). Sin embargo, al comparar las medias mensuales entre tratamientos por medio de la prueba de t se encontraron los siguientes resultados: en altura sólo se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) en los

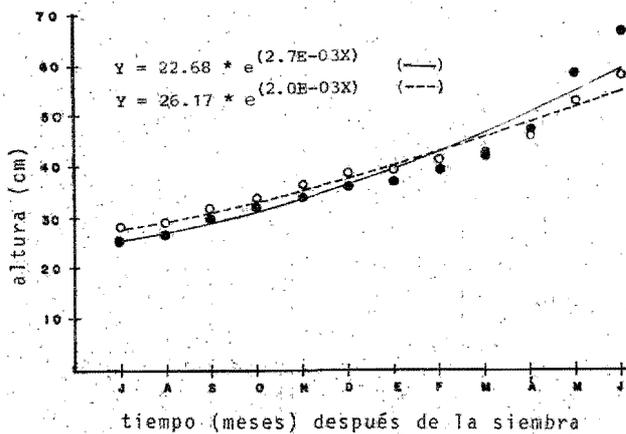


Figura 17a. Curvas de crecimiento en altura (cm) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

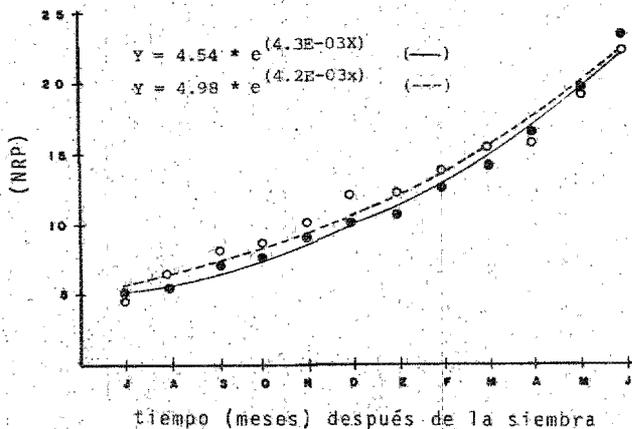


Figura 17b. Curvas de crecimiento en número de ramas primarias (NRP) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

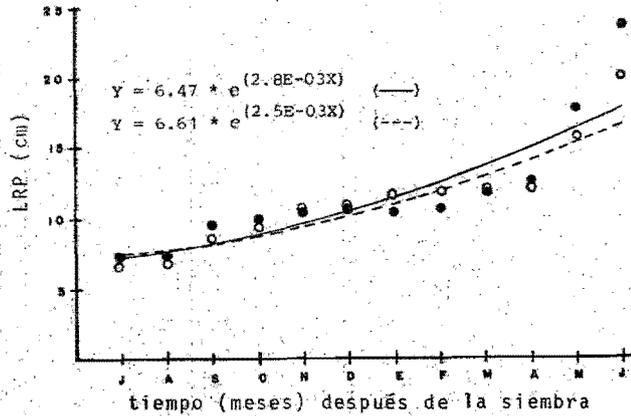


Figura 17c. Curvas de crecimiento en longitud de ramas primarias (LRP) (cm) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

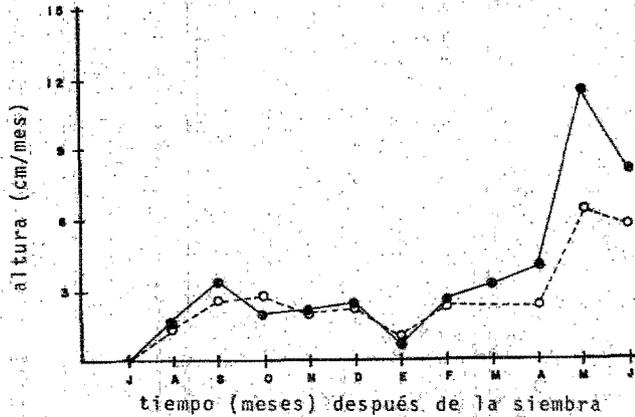


Figura 18a. Tasas de crecimiento mensual en altura (cm/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

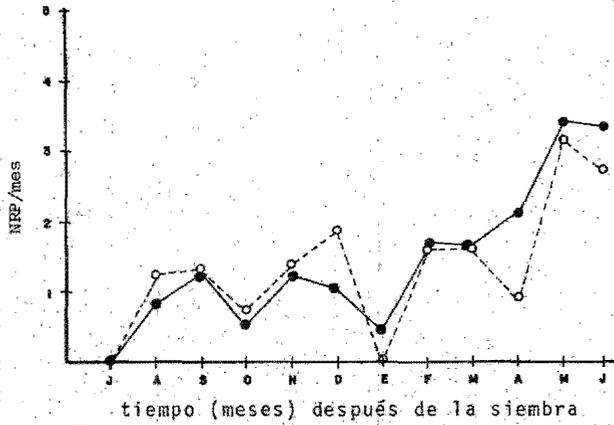


Figura 18b. Tasas de crecimiento mensual en número de ramas primarias (NRP/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

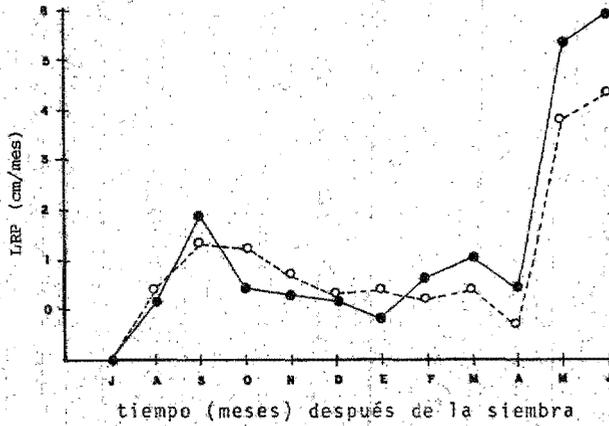


Figura 18c. Tasas de crecimiento mensual en longitud de ramas primarias (LRP) (cm/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

meses de julio y agosto de 1983 a favor del tratamiento de sol y en mayo y junio de 1984 a favor del tratamiento de sombra. En número de ramas primarias las diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) se observaron en los meses de agosto de 1983 a febrero de 1984 a favor del tratamiento de sol y en mayo y junio de 1984 a favor del tratamiento de sombra. Por último, en longitud de ramas primarias las diferencias significativas se encontraron en mayo y junio de 1984 a favor del tratamiento de sombra. (ver Tablas 8 a 10 del apéndice).

Las curvas de crecimiento de estos parámetros se comportan de manera exponencial en los 2 tratamientos. Esto se comprobó por los altos coeficientes de determinación ( $r^2$ ) encontrados al aplicar la regresión exponencial.

Al comparar estadísticamente los valores de altura de la planta, número y longitud de ramas primarias con los parámetros del microclima (ver páginas 29 y 30), se encontró que la radiación solar, la temperatura del aire y la temperatura del suelo fueron los parámetros microclimáticos que mayor influencia tuvieron sobre estos parámetros de crecimiento, con valores de  $r$  positivos. La evaporación Piche y la humedad del suelo también afectaron a estos parámetros pero con valores de  $r$  negativos.

Esto podría sugerir que las mayores tasas de crecimiento en altura, número y longitud de ramas se observan cuando ocurren los máximos valores de radiación solar, temperatura del aire y temperatura del suelo, mientras que las menores tasas de crecimiento se observan cuando ocurren los mínimos valores de estos parámetros del microclima en los 2 tratamientos.

#### 4.3.2 DIAMETRO, COBERTURA, NUMERO DE HOJAS, AREA FOLIAR POR HOJA, AREA FOLIAR POR PLANTA E INDICE DE AREA FOLIAR

Las curvas de crecimiento de los parámetros diámetro del tallo, cobertura de la planta, número de hojas por planta, AF por hoja, AF por planta e IAF en los 2 tratamientos presentaron un comportamiento parecido, como se observa en las Figuras 19a-f.

Esto se comprueba estadísticamente por los altos coeficientes de correlación encontrados entre estos parámetros (Tabla 2).

Al comparar las curvas de crecimiento de los tratamientos se observa que los valores promedio encontrados en estos parámetros son mayores en el tratamiento de sombra a lo largo del experimento.

Aparentemente los cafetos bajo sombra presentaron un mayor crecimiento en su primer año en campo (el transplante se hizo cuando las plantas tenían 1 año de --

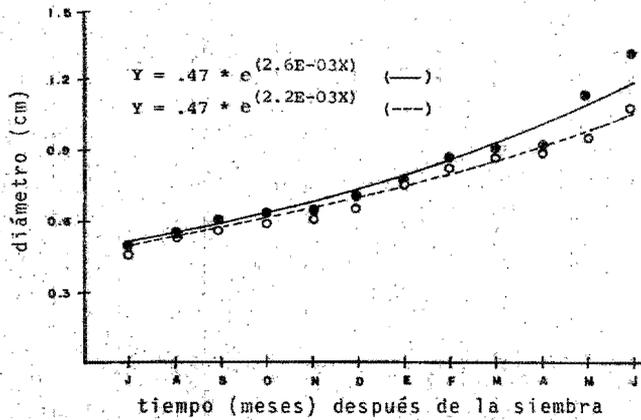


Figura 19a. Curvas de crecimiento en diámetro del tallo (cm) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

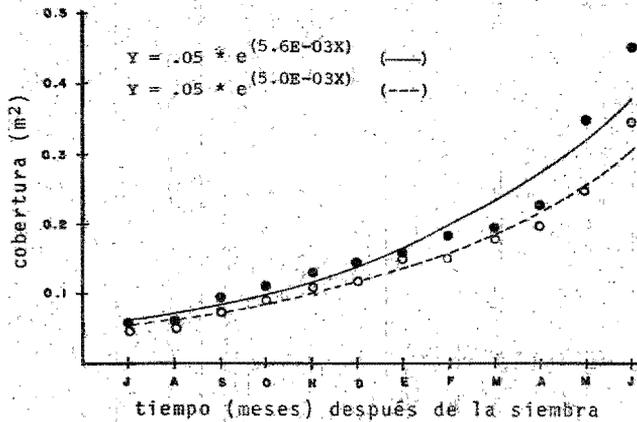


Figura 19b. Curvas de crecimiento en cobertura de la planta (m<sup>2</sup>) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

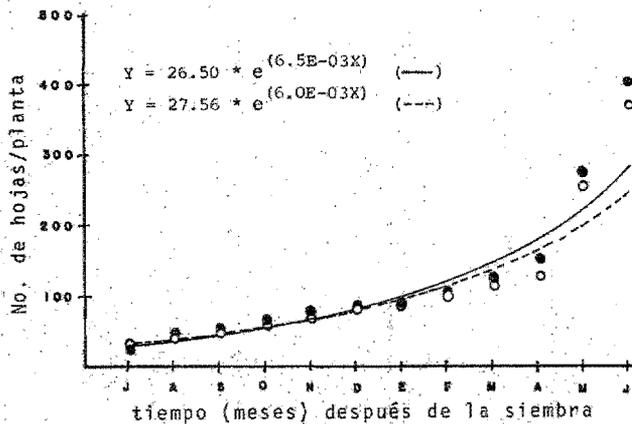


Figura 19c. Curvas de crescimento em número de folhas por planta em *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivada a pleno sol (---) e baixo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

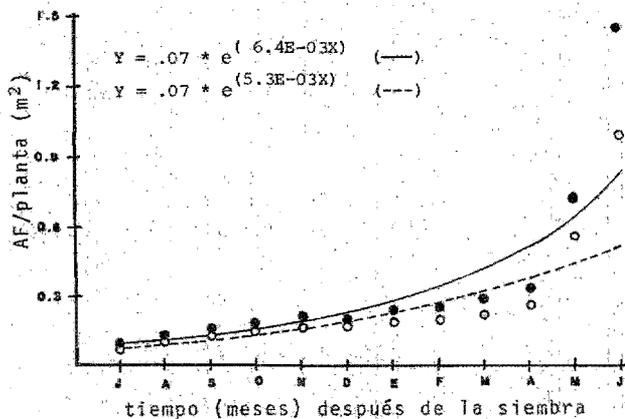


Figura 19d. Curvas de crecimiento en área foliar por planta (AF/planta) (m²) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

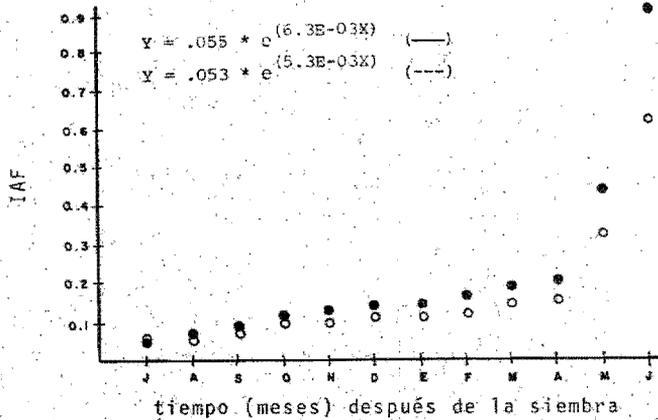


Figura 19e. Curvas de crecimiento del índice de área foliar (IAF) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

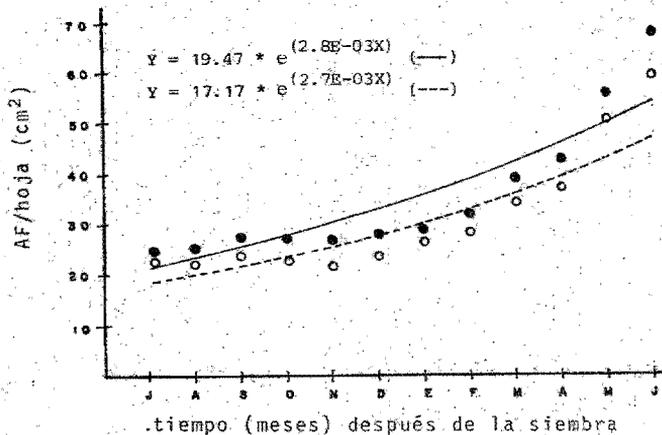


Figura 19f. Curvas de crecimiento del área foliar por hoja (AF/hoja) (cm²) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

edad). Sin embargo, al analizar las tasas de crecimiento mensual observamos, al igual que en los parámetros anteriores, que existe una alternancia en las tasas de crecimiento mensual entre los 2 tratamientos (Figuras 20a-f). No obstante, de manera general se observa una disminución en las tasas de crecimiento en los meses de noviembre de 1983 a enero de 1984 y en marzo y abril de 1984, en los 2 tratamientos. En los meses de mayo y junio de 1984 se observa un marcado incremento en las tasas de crecimiento en el tratamiento de sombra. Podemos observar que este aumento coincide con la presencia de la estación lluviosa.

Se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos en estos parámetros (prueba de F). Sin embargo, al comparar las medias mensuales entre tratamientos por medio de la prueba de t se encontraron diferencias significativas únicamente en mayo y junio de 1984 en los parámetros diámetro del tallo, cobertura y número de hojas por planta; en los parámetros AF por planta e IAF se encontraron diferencias significativas en los meses de febrero, marzo, mayo y junio de 1984; en el parámetro AF por hoja se encontraron diferencias significativas en los 12 muestreos (ver Tablas 11 a 15 del apéndice).

Las curvas de crecimiento de estos parámetros muestran un comportamiento de tipo exponencial, como lo demuestran los altos coeficientes de determinación encontrados al aplicar la regresión exponencial.

Al comparar estadísticamente estos parámetros con los del microclima (ver páginas 29 y 30) en los 2 tratamientos, se encontró que la radiación solar, la temperatura del aire y del suelo fueron los parámetros microclimáticos que mayor efecto tuvieron sobre el diámetro, número de hojas, AF por hoja, AF por planta e IAF, con valores de r positivos. La evaporación Piche y la humedad del suelo también afectaron a estos parámetros, pero en este caso los valores de r fueron negativos, lo cual indica que existe una relación inversa entre ellos.

TABLA 2: COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE LOS PARAMETROS DIAMETRO DEL TALLO, COBERTURA DE LA PLANTA, NUMERO DE HOJAS POR PLANTA, AF POR HOJA AF POR PLANTA E IAF, EN CAPETALES BAJO SOMBRA Y A PLENO SOL.  
CAFETAL BAJO SOMBRA

	diámetro	cobertura	No. hojas	AF/hoja	AF/planta	IAF
diámetro	---	---	---	---	---	---
cobertura	.98	---	---	---	---	---
No. de hojas	.96	.89	---	---	---	---
AF/hoja	.96	.98	.97	---	---	---
AF/planta	.89	.95	.98	.94	---	---
IAF	.89	.94	.98	.94	.99	---

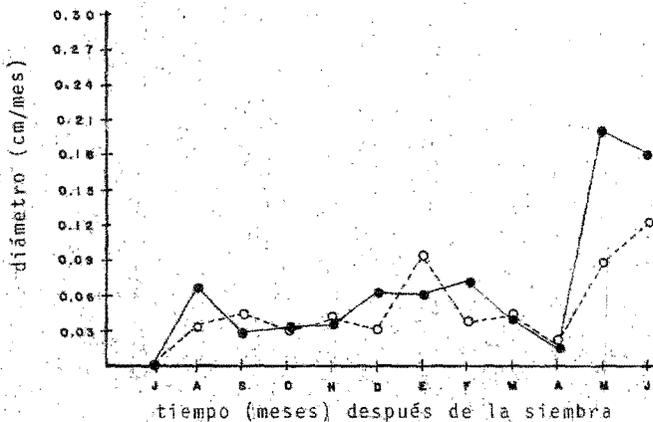


Figura 20a. Tasas de crecimiento mensual en diámetro del tallo (cm/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

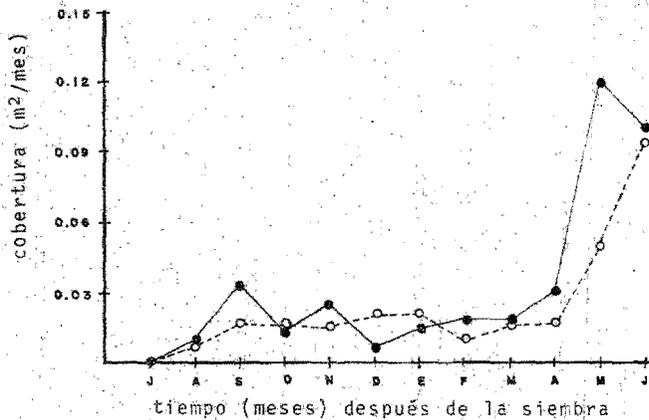


Figura 20b. Tasas de crecimiento mensual en cobertura de la planta (m²/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

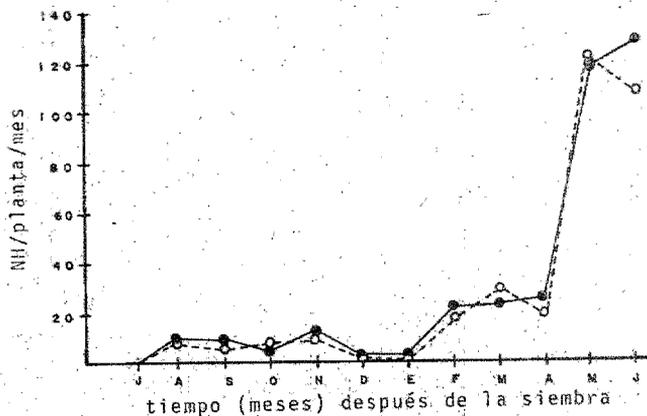


Figura 20c. Tasas de crecimiento mensual del número de hojas por planta (NH/planta/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

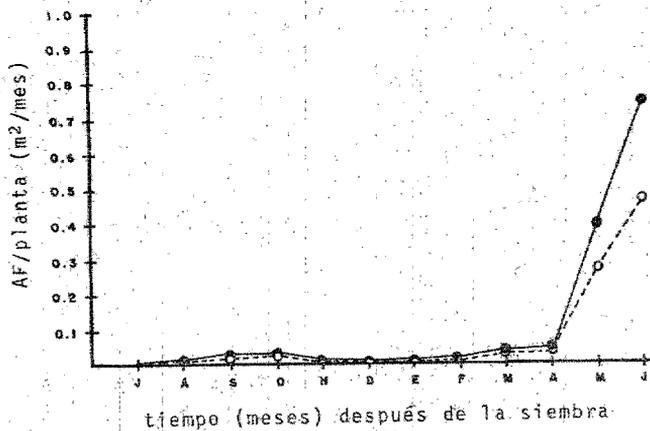


Figura 20d. Tasas de crecimiento mensual del área foliar por planta (AF/planta) ( $m^2/mes$ ) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

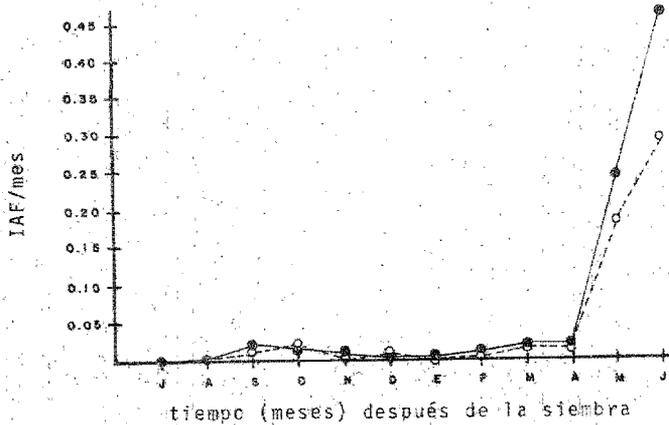


Figura 20e. Tasas de crecimiento mensual en índice de área foliar (IAF/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

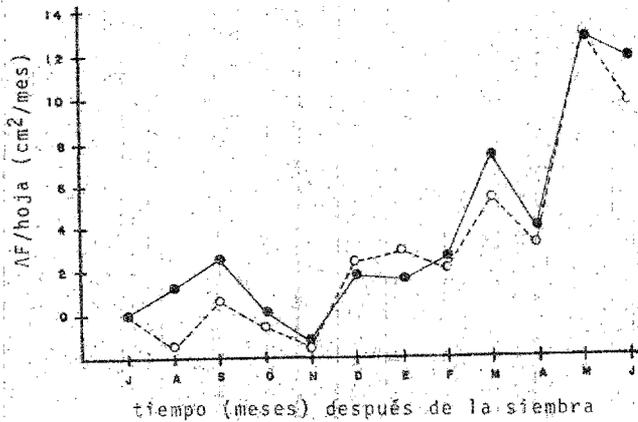


Figura 20f. Tasas de crecimiento mensual del área foliar por hoja (AF/hoja) (cm²/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

TABLA 2: CONTINUACION

CAFETAL A PLENO SOL

	diámetro	cobertura	No. hojas	AF/hoja	AF/planta	IAF
diámetro	---	---	---	---	---	---
cobertura	.96	---	---	---	---	---
No. de hojas	.85	.96	---	---	---	---
AF/hoja	.87	.95	.98	---	---	---
AF/planta	.76	.91	.98	.94	---	---
IAF	.76	.92	.98	.92	.99	---

#### 4.3.3 NUMERO DE HOJAS PERDIDAS

El número de hojas perdidas por planta fué siempre mayor en el tratamiento de sol, como se observa en la Figura 21.

Al analizar las tasas de pérdidas mensuales de hojas, se observó que existen 2 períodos máximos en el tratamiento de sol (diciembre -estación fría- y abril -estación seca-). En el tratamiento de sombra la máxima tasa de pérdida de hojas se presentó en la estación seca (abril) (Figura 22).

En el análisis estadístico (prueba de F) se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos. La prueba de t mostró diferencias significativas en los meses de octubre de 1983 a junio de 1984. En la Tabla 17 del apéndice se muestran los resultados del análisis estadístico de este parámetro.

Al relacionar el número de hojas perdidas con los parámetros del microclima (ver páginas 29 y 30), se encontró que la evaporación Piche, la radiación solar y la temperatura del aire y del suelo fueron los parámetros del microclima que mayor efecto tuvieron sobre la pérdida de hojas, con valores de r positivos. La humedad del aire y del suelo también afectaron la pérdida de hojas, pero en relación inversa, con valores de r negativos.

#### 4.3.4 NUMERO DE NUDOS DE RAMAS PRIMARIAS

El incremento en número de nudos de ramas primarias fué mayor en el tratamiento de sol, en los meses de julio de 1983 y septiembre del mismo año a mayo de 1984 (Figura 23). Únicamente se alcanzaron valores más altos en el tratamiento de sombra en los meses de agosto de 1983 y junio de 1984.

Este mismo comportamiento se observó en las tasas de crecimiento mensual, ya que el café a pleno sol tiende a presentar mayores tasas de crecimiento, sobre todo en el período de septiembre de 1983 a marzo de 1984 (Figura 24). Es decir, en general el número de nudos de ramas primarias fué mayor en el tratamiento de sol.

Se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos (prue

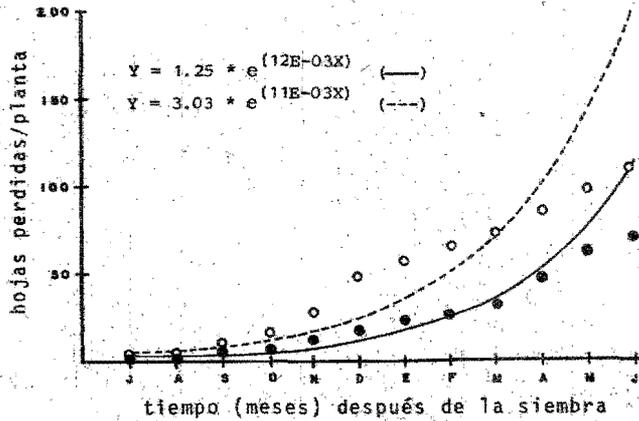


Figura 21. Curvas de crecimiento en número de hojas perdidas en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son menores que el error estándar.

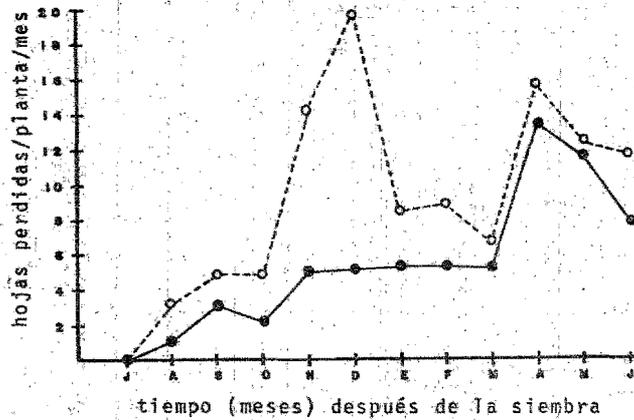


Figura 22. Tasas de pérdida mensual de hojas por planta en cafetos cultivados a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

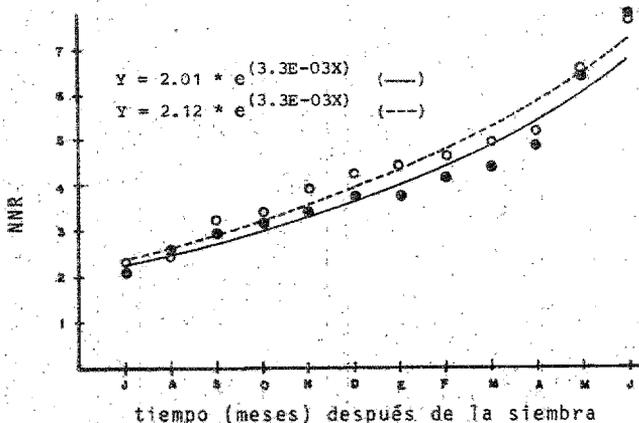


Figura 23. Curvas de crecimiento en número de nudos por rama (NNR) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

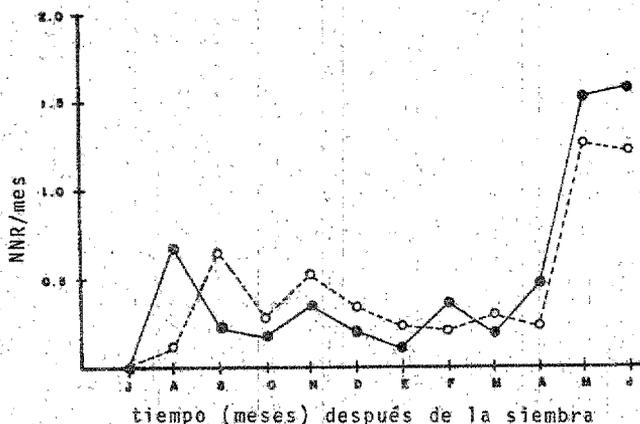


Figura 24. Tasas de crecimiento mensual en número de nudos por rama (NNR/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

ba de F). Al comparar las medias mensuales entre tratamientos se encontraron diferencias significativas en agosto de 1983 (a favor del tratamiento de sombra) y en los meses de octubre de 1983 a marzo de 1984 (a favor del tratamiento a pleno sol). En la Tabla 18 del apéndice se muestran los resultados del análisis estadístico aplicado a este parámetro.

Las curvas de crecimiento de número de nudos de ramas primarias muestran un comportamiento de tipo exponencial, como lo demuestran los altos coeficientes de determinación encontrados al aplicar la regresión exponencial.

Al relacionar este parámetro de crecimiento con los parámetros del microclima (ver páginas 29 y 30) se encontraron los mismos resultados que en los parámetros altura de la planta, número y longitud de ramas primarias (ver página 47).

#### 4.3.5 NUMERO DE NUDOS DEL TALLO

El incremento en número de nudos del tallo fué mayor en los meses de julio a noviembre de 1983 y junio de 1984 en el tratamiento de sombra. En los meses de diciembre de 1983 a mayo de 1984 se observó un número de nudos mayor en el tratamiento de sol (Figura 25).

Al analizar las tasas de crecimiento mensual, se observó que en el tratamiento de sol se presentó una disminución en enero y abril de 1984 y 3 picos de máximo crecimiento en diciembre de 1983 y marzo y junio de 1984. En cambio en el tratamiento de sombra los máximos incrementos se presentaron en noviembre y diciembre de 1983 y enero y marzo de 1984 (Figura 26).

Se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos (prueba de F). La prueba de t mostró diferencias significativas en agosto y noviembre (a favor del tratamiento de sombra) y en marzo de 1984 (a favor del tratamiento de sol). En la Tabla 19 del apéndice se muestran los resultados del análisis estadístico de este parámetro.

Las curvas de crecimiento se comportan de manera exponencial en los 2 tratamientos.

Al relacionar este parámetro de crecimiento con los del microclima en los 2 tratamientos, se observaron los mismos resultados que en los parámetros anteriores (ver página 47).

#### 4.3.6 LONGITUD DE ENTRENUDOS DE RAMAS PRIMARIAS

Al comparar las curvas de crecimiento de los 2 tratamientos se observó que la longitud de entrenudos de ramas primarias fué mayor en el tratamiento de sombra a lo largo del experimento (Figura 27).

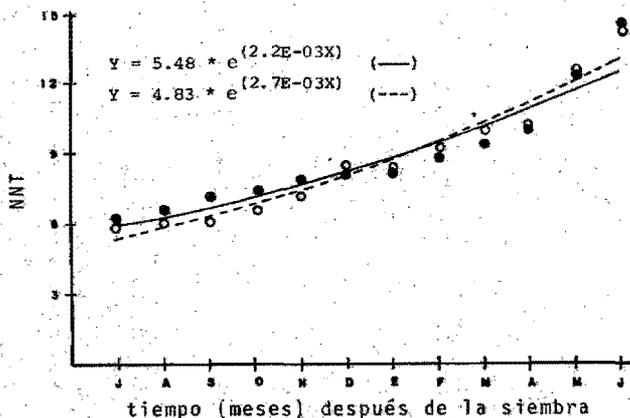


Figura 25. Curvas de crecimiento en número de nudos del tallo (NNT) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

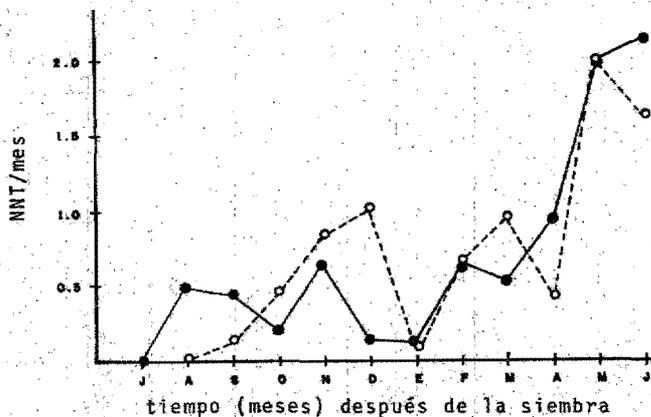


Figura 26. Tasas de crecimiento mensual en número de nudos del tallo (nnt/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

Sin embargo, al analizar las tasas de crecimiento mensual, se observó que en la primera mitad del período de estudio (de junio a diciembre de 1983) las tasas de crecimiento mensual fueron mayores en el tratamiento de sol. En la segunda mitad (febrero a junio de 1984) fueron mayores en el tratamiento de sombra (Figura 28).

En el análisis estadístico (prueba de F) se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos. Sin embargo, al comparar las medias mensuales entre tratamientos (prueba de t) sólo se encontraron diferencias significativas en los meses de julio y septiembre de 1983 y de marzo a junio de 1984. En la Tabla 20 del apéndice se muestran los resultados del análisis estadístico de este parámetro.

Las curvas de crecimiento de este parámetro no se comportan de manera exponencial, los coeficientes de determinación fueron cercanos a cero al aplicar la regresión. Matemáticamente hablando, este comportamiento puede deberse a que los valores promedio en longitud de entrenudos se ven afectados por la presencia de nuevos nudos laterales cuyas longitudes son muy pequeñas.

#### 4.3.7 LONGITUD DE ENTRENUDOS DEL TALLO

Al comparar las curvas de crecimiento de los 2 tratamientos se observó que la longitud de entrenudos del tallo fue mayor en el tratamiento de sombra en 10 meses del año. En el tratamiento de sol, la longitud de entrenudos fue mayor en los meses de octubre y noviembre de 1983 (Figura 29).

Las tasas de crecimiento mensual mostraron un comportamiento irregular en los 2 tratamientos (Figura 30), sin embargo, se observó un incremento en las tasas de crecimiento en el tratamiento de sombra en los meses de mayo y junio de 1984. Esto se debió a que la distancia de los entrenudos más viejos tendió a incrementar, pero los valores promedio disminuyeron por la presencia de los nudos apicales con longitudes muy pequeñas.

Al igual que el parámetro anterior, los coeficientes de determinación fueron muy pequeños, lo cual indica que no tienen un crecimiento de tipo exponencial.

Se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos (prueba de F). La prueba de t mostró diferencias significativas en los meses de julio de 1983 y de abril a junio de 1984 (ver Tabla 21 del apéndice).

Al relacionar la longitud de entrenudos del tallo y de las ramas con los parámetros del microclima se encontraron valores de  $r$  muy bajos. Sin embargo, esto no quiere decir que el incremento en longitud de entrenudos no sea afectado por los

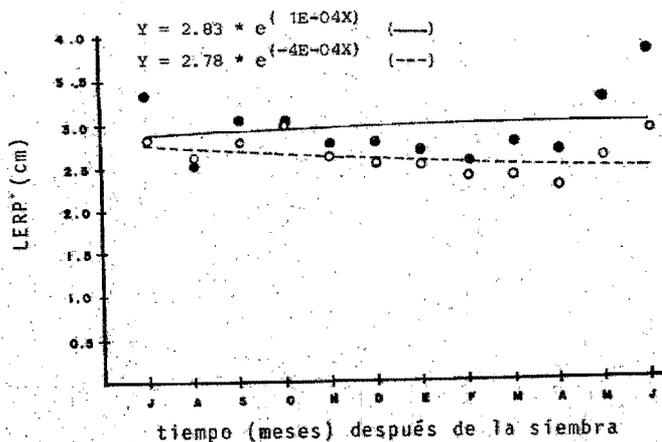


Figura 27. Curvas de crecimiento en longitud de entrenudos de ramas primarias (LERP) (cm) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son mayores que el error estándar.

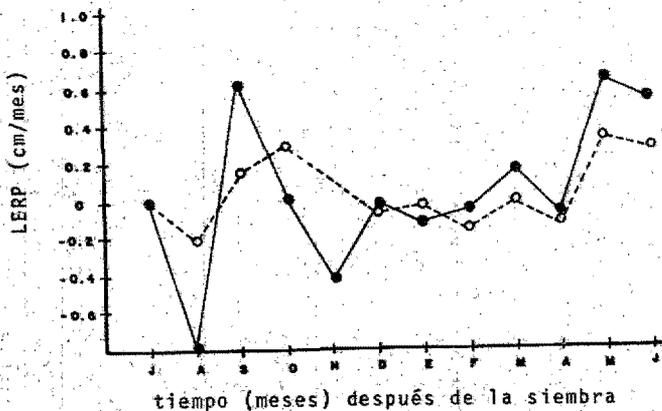


Figura 28. Tasas de crecimiento mensual en longitud de entrenudos de ramas primarias (LERP) (cm/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

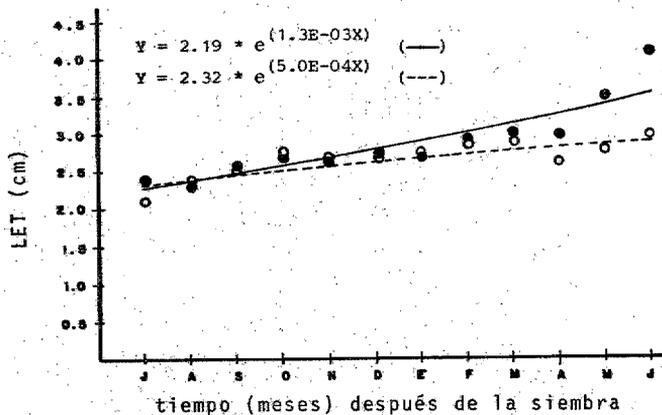


Figura 29. Curvas de crecimiento en longitud de entrenudos del tallo (LET) (cm) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—). Los símbolos empleados para representar los valores reales son ma-ores que el error estándar.

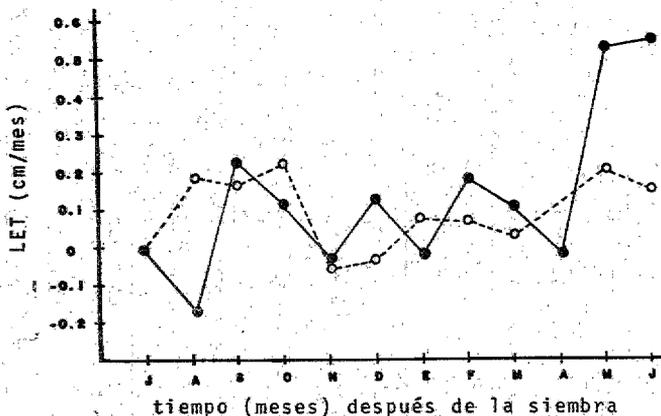


Figura 30. Tasas de crecimiento mensual en longitud de entrenudos del tallo (LET) (cm/mes) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

parámetros del microclima.

#### 4.3.8 PRODUCCION DE RAMAS SECUNDARIAS

En la Figura 31a se observa que la producción de ramas secundarias comenzó en diciembre de 1983 en los 2 tratamientos. La producción de estas ramas fué mayor en el tratamiento de sol, observándose un incremento marcado en los meses de mayo y junio de 1984.

El incremento en longitud de ramas secundarias fué mayor en el tratamiento de sombra (Figura 31b). En esta figura se observa que la longitud de éstas disminuyó en los meses febrero y marzo de 1984 en los 2 tratamientos.

El número total de nudos de estas ramas fué mayor en el tratamiento de sol (Figura 31c), observándose una mayor diferencia en mayo y junio de 1984.

El número de cafetos que produjeron ramas secundarias fué mayor en el tratamiento de sol (Figura 31d, Tabla 22 del apéndice).

#### 4.4 ANALISIS DE CRECIMIENTO REPRODUCTIVO

Como se observa en la figura 32, a partir de diciembre de 1983 comenzaron a brotar yemas reproductivas en las axilas de las hojas de las ramas más viejas, en los 2 tratamientos.

La producción de yemas por planta se comportó de manera lineal en los 3 primeros muestreos (de diciembre a febrero), en los cuales se observó una producción mayor en el tratamiento de sol. La máxima producción de yemas se alcanzó en marzo de 1984, siendo mayor en el tratamiento de sombra. En abril de 1984 el número de yemas disminuyó en los 2 tratamientos, no obstante, fué mayor en el tratamiento de sombra.

Esta disminución pudo deberse a que únicamente una fracción de las yemas (67% y 57% en sombra y sol respectivamente) produjeron flores en este período.

En el tratamiento de sombra el 46% de la población muestreada presentó yemas florales, mientras que en el tratamiento de sol solamente 33% de la población presentó yemas.

La floración ocurrió en 2 períodos: el primero en abril de 1984, en el cual se presentó la mayor parte, y el segundo, entremayo y junio de 1984 (ver Tabla 23 del apéndice). No se observó diferencia en la fecha de floración entre los tratamientos.

Los cafetos bajo sombra produjeron en promedio 47 flores por planta en la pri

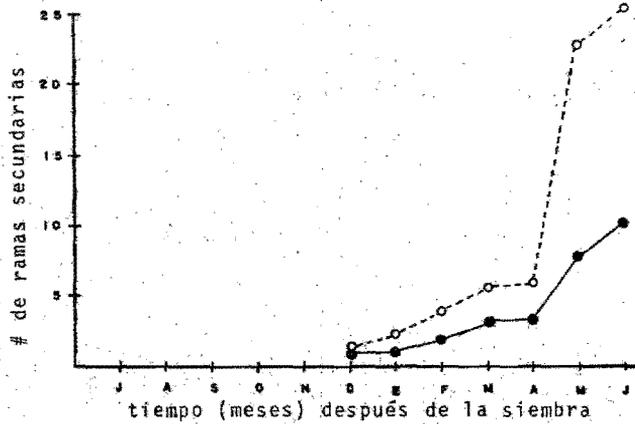


Figura 31a. Producción de ramas secundarias por planta en *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

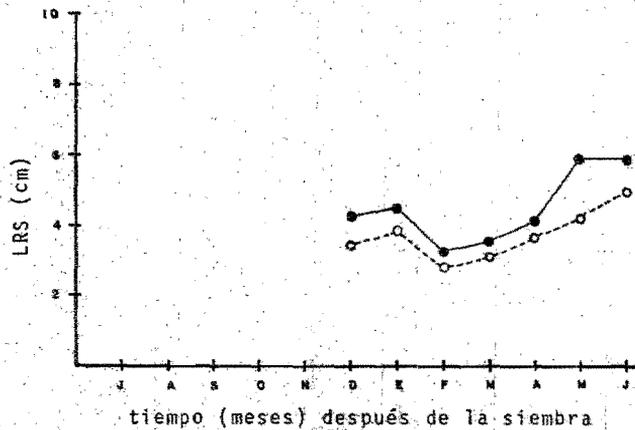


Figura 31b. Curvas de crecimiento en longitud de ramas secundarias (LRS) (cm) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

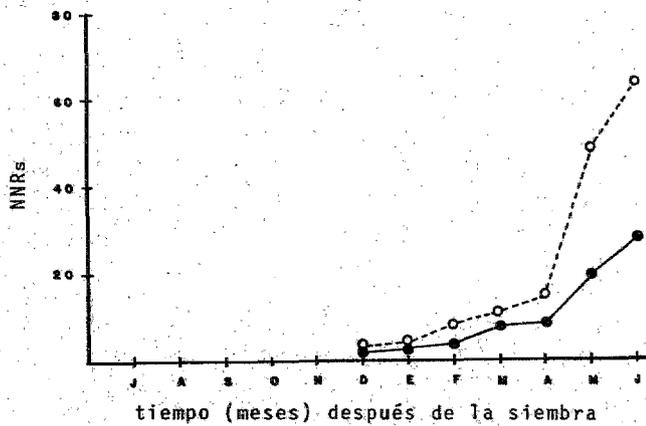


Figura 31c. Curvas de crecimiento en número de ramas secundarias (NNRs) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

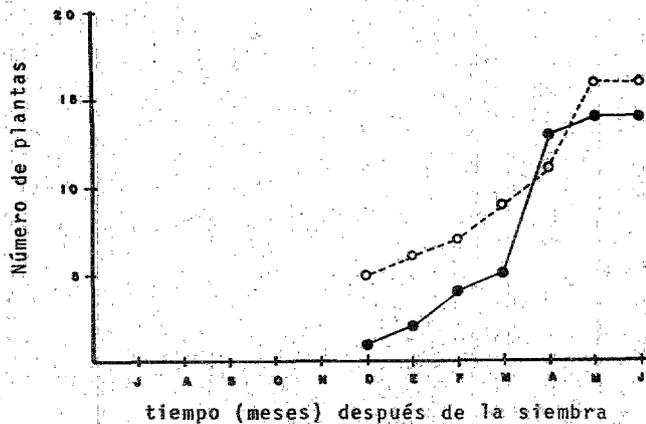


Figura 31d. Número de plantas que producen ramas secundarias en el tratamiento de sol (---) y el tratamiento de sombra (—).

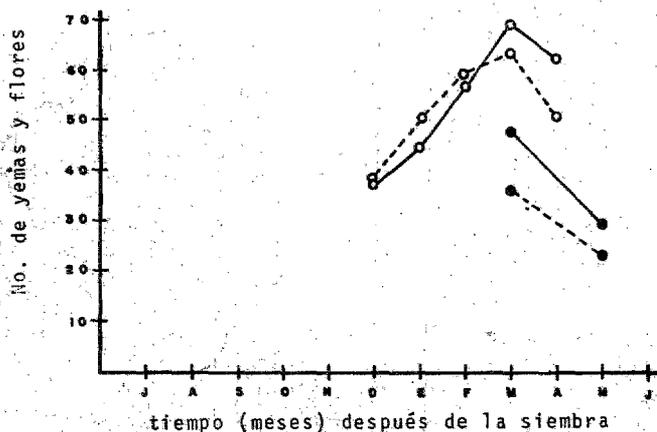


Figura 32. Producción de yemas florales (O) y flores (●) en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

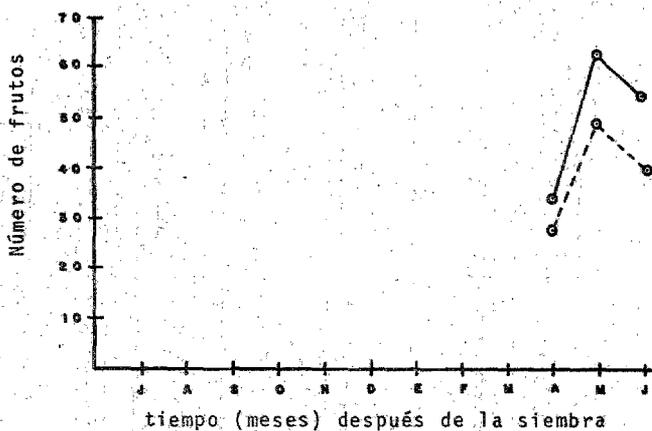


Figura 33. Producción de frutos en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

mera floración y 20 en la segunda, con un total de 67 flores por planta; mientras que los cafetos a pleno sol sólo produjeron 38 flores por planta en la primera y 14 en la segunda, con un total de 52 flores por planta. El porcentaje de la población muestreada que presentó flores fué de 33% y 25% en sombra y sol respectivamente.

El número de frutos por planta fué mayor en el tratamiento de sombra. En la Figura 33 se observa que el número de frutos por planta aumentó en mayo de 1984 - en los 2 tratamientos. Este aumento se explica por el segundo período de floración, que aumentó la potencialidad de producción de frutos. Sin embargo, en junio de 1984, disminuyó el número de frutos. Esta disminución se debió a la aborción de frutos, que fué de 14% en sombra y 20% en sol.

Es decir, los cafetos a pleno sol produjeron menos frutos por planta que los cafetos bajo sombra, y perdieron más que estos últimos.

#### 4.5 ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD

##### 4.5.1 ANALISIS DE BIOMASA

En la Figura 34a se muestra un esquema de producción y distribución de la materia seca en los cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol, en los 4 períodos de muestreo.

En el primer muestreo (julio 1983), el peso seco total por planta fué similar en ambos tratamientos. Las pruebas estadísticas no mostraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos. Este primer muestreo sirvió únicamente para conocer la biomasa inicial de los cafetos.

En noviembre de 1983 y marzo de 1984 (segundo y tercer muestreos) la biomasa total fué mayor en el tratamiento de sombra, aunque sólo se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) en marzo de 1984.

Se observó una mayor acumulación de materia seca en el segundo muestreo y menor en el tercero, en los 2 tratamientos. Esta menor acumulación ocurrió en el período comprendido entre diciembre y marzo, es decir, a bajas temperaturas y alta nubosidad (radiación solar baja) disminuyó la producción de materia seca en cafetos bajo sombra y a pleno sol.

En el cuarto y último muestreo (julio 1984) la biomasa total fué mayor en el tratamiento de sol.

En la Figura 34a se muestran los pesos totales de raíz, tallo y ramas, hojas y frutos, y los porcentajes de biomasa de cada componente en los 2 tratamientos.

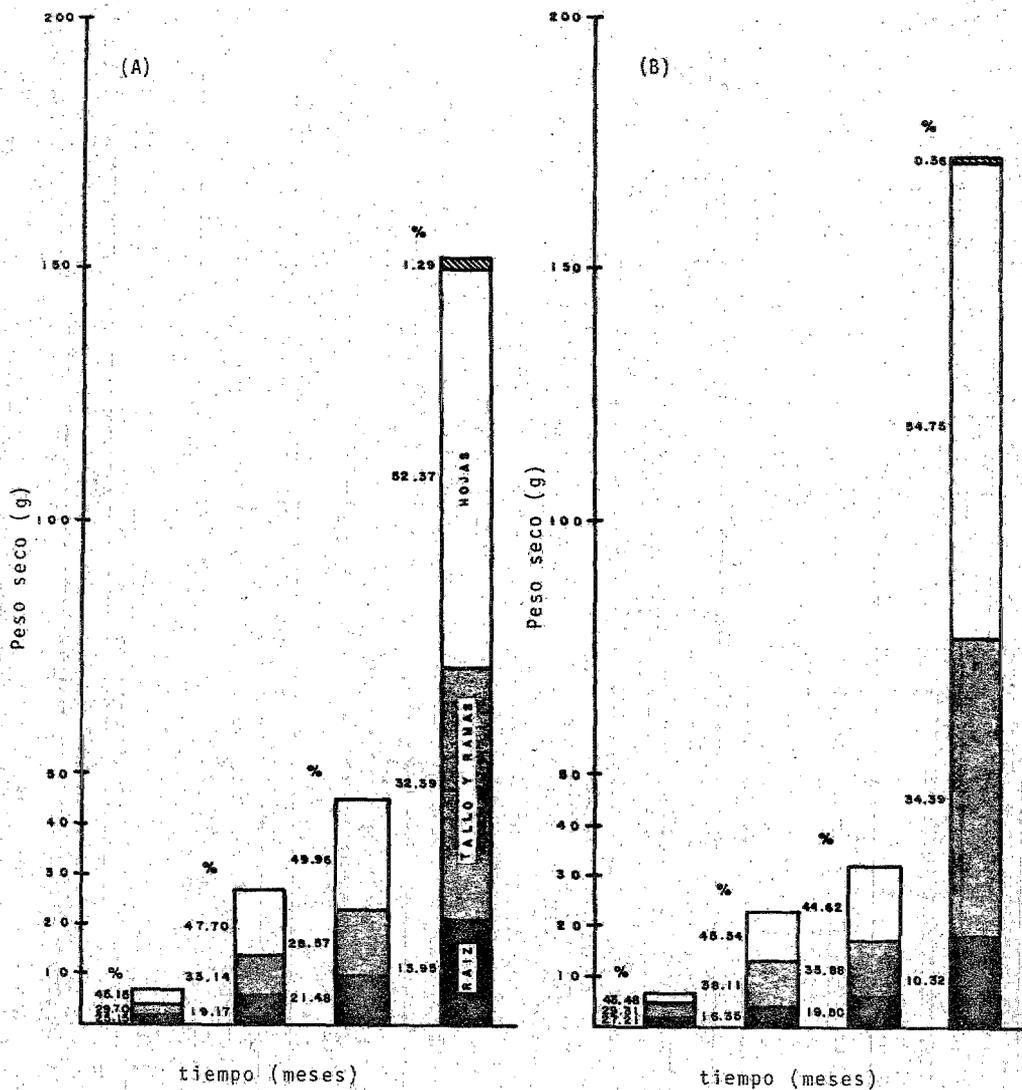


Figura 34a. Producción (g) y porcentaje de distribución (%) del peso seco por planta de: raíz, tallo y ramas, hojas y fruto en plantas de *Coffea arabica* L. var. Garnica cultivadas bajo sombra (A) y a pleno sol (B).

En esta Figura se observa que en los 4 muestreos, el mayor porcentaje de biomasa correspondió a las estructuras foliares (40 - 50%). Una mayor proporción correspondió a las estructuras de sostén y conducción (tallo y ramas) (30 - 40% aproximadamente), y los menores porcentajes correspondieron a la raíz (10 - 25% aproximadamente) y al fruto (0.5 - 1.0% aproximadamente).

En los 3 primeros muestreos, el porcentaje correspondiente a las hojas fue mayor en el tratamiento de sombra. En el último muestreo, éstos porcentajes fueron mayores en el tratamiento de sol.

En la Figura 34b se incluye la diferenciación de los pesos y porcentajes de biomasa de tallo principal, tallos secundarios, ramas primarias y secundarias, hojas de ramas primarias y secundarias, hojas de tallos secundarios, raíz y fruto. En esta Figura podemos observar que en el último muestreo, los pesos secos totales, sin incluir estructuras secundarias (indicados por una flecha), fueron semejantes en los 2 tratamientos.

Descartando los pesos de las estructuras secundarias, se encontró que el porcentaje de hojas (en ramas primarias), fue mayor en cafetos bajo sombra (50%) que a pleno sol (43%).

Es decir, el mayor porcentaje de hojas observado en el tratamiento de sol en el último muestreo (Figura 34a) se debió a la contribución de las estructuras secundarias, principalmente a las hojas de las ramas secundarias. En otras palabras, la mayor contribución a las diferencias en peso seco total en este muestreo correspondió a la mayor producción de ramas secundarias en los cafetos a pleno sol.

Los porcentajes de tallo y ramas fueron mayores en el tratamiento de sol en los 4 muestreos (Figura 34a). La mayor contribución a estas diferencias correspondió al peso seco del tallo (Figura 34b). En esta Figura puede observarse, que a pesar de que aumentó el peso del tallo en los 2 tratamientos, el porcentaje de materia seca que le corresponde tendió a disminuir. Esta disminución pudo deberse al aumento en el porcentaje de las hojas, es decir, a una mayor producción de tejido fotosintético que de reserva.

Los porcentajes de biomasa correspondientes a la raíz fueron mayores en el tratamiento de sombra en los 4 muestreos. En el segundo y cuarto muestreos se observó una disminución en estos porcentajes en los 2 tratamientos.

Con respecto al peso seco del fruto, se observó una mayor producción de biomasa destinada a estos tejidos en los cafetos bajo sombra.

#### 4.5.2 TASA DE ASIMILACION NETA (TAN) Y TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO (TCR)

La TAN y la TCR calculadas para los 3 intervalos de muestreo se muestran en

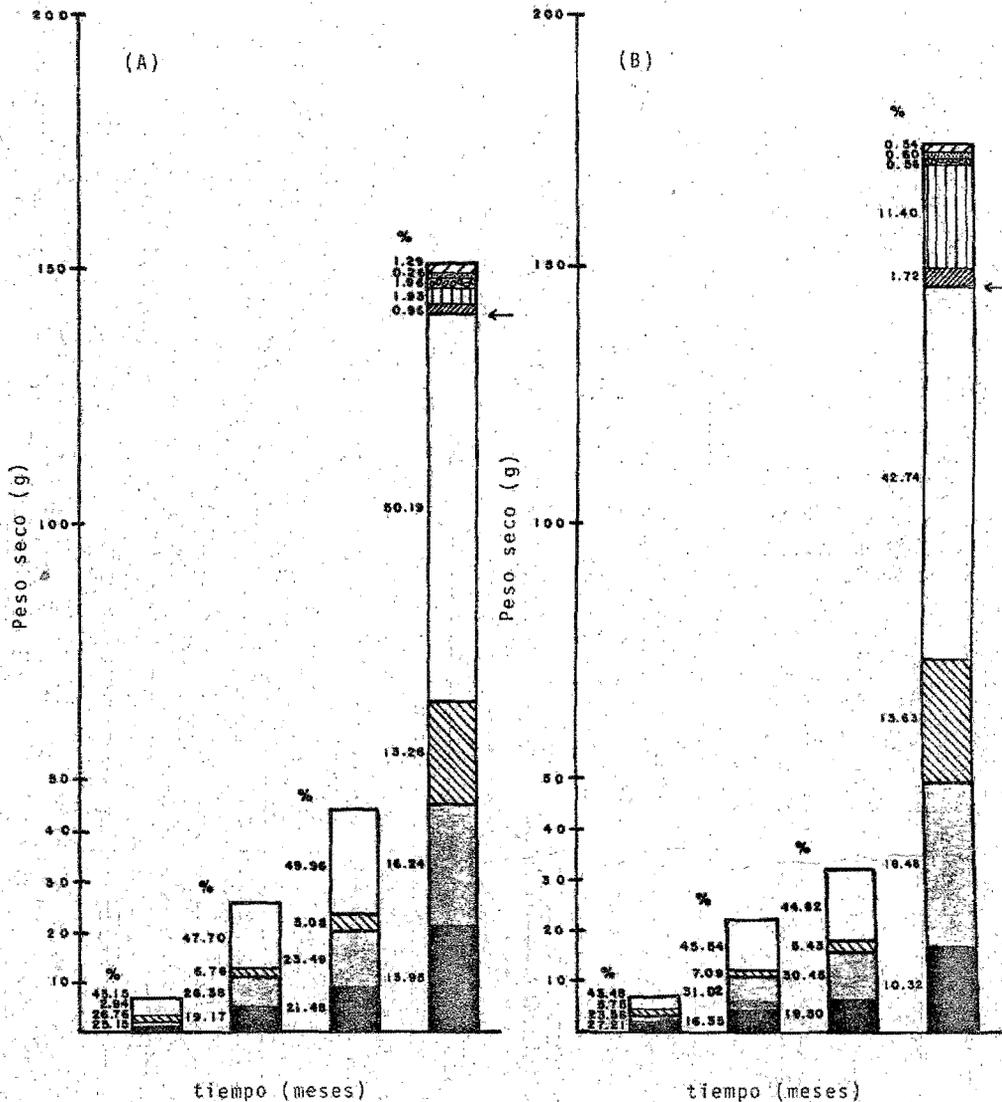


Figura 34b. Producción (g) y porcentaje de distribución (%) del peso seco por planta en partes: raíz (■), tallo (▨), ramas primarias (▧), hojas de ramas primarias (□), ramas secundarias (▩), hojas de ramas secundarias (▪), tallos secundarios (▫), hojas de tallos secundarios (▬) y frutos (▭) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas bajo sombra (A) y a pleno sol (B).



las Figuras 35a-b. Tanto la eficiencia fotosintética como la eficiencia de crecimiento en los cafetos en los 2 tratamientos disminuyeron en el segundo intervalo (noviembre a marzo 1983).

Esta disminución de la TAN probablemente sea una de las causas del bajo incremento en biomasa que se observó en este período, y puede estar causada por las bajas temperaturas y baja radiación solar.

Ambas, la TAN y la TCR fueron mayores en el tratamiento de sombra en los 2 primeros intervalos. En el último intervalo (marzo-julio de 1984), la TAN y la TCR aumentaron considerablemente. El aumento de la TAN en este período pudo deberse a la mayor disponibilidad de agua ocasionada por las lluvias, así como por el aumento en temperatura y radiación solar. Este incremento en la TAN posiblemente haya repercutido de manera directa en el aumento de la biomasa total de los cafetos en los 2 tratamientos.

Los valores de TAN y TCR fueron mayores en el tratamiento de sol en este último período. Probablemente esta diferencia se deba a la presencia de las ramas secundarias (ver discusión).

Podemos observar que la TCR presentó un comportamiento semejante al que presentó la TAN. Esta semejanza podría indicar que la TCR depende directamente de la TAN y que cualquier cambio en ésta, traería como consecuencia un cambio de la TCR en la misma dirección. Se encontró una alta correlación ( $r = .95$ ) entre estas variables.

#### 4.5.3 AREA FOLIAR ESPECIFICA (AFe)

Como se observa en la Figura 36, el AFe en los 2 tratamientos disminuyó con respecto al tiempo (excepto en el último muestreo en cafetal bajo sombra).

Los valores de AFe en el tratamiento de sombra fueron mayores que a pleno sol. Estos valores más altos indican que los cafetos bajo sombra tienen hojas de lámina delgada, mientras que los cafetos a pleno sol tienen hojas más gruesas (ver también Arreola y Méndez 1985).

#### 4.5.4 PESO ESPECIFICO DE LA HOJA

Los valores de peso específico encontrados fueron los siguientes:  $1.16 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  en el tratamiento de sombra y  $1.17 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  en el tratamiento de sol. No se encontraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre tratamientos.

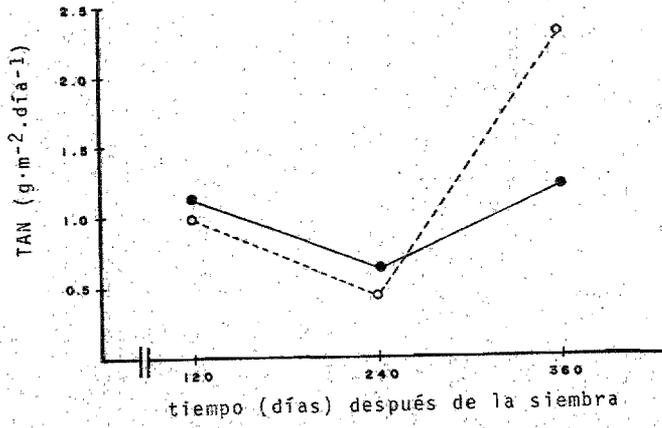


Figura 35a. Tasa de asimilación neta (TAN) (g·m<sup>-2</sup>·dfa<sup>-1</sup>) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

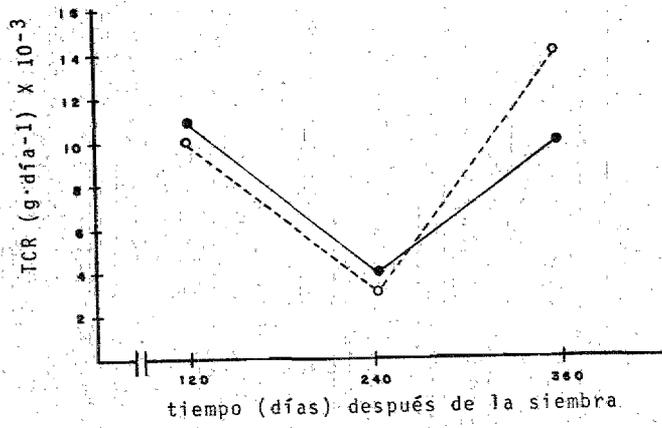


Figura 35b. Tasa de crecimiento relativo (TCR) (g·dfa<sup>-1</sup>) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

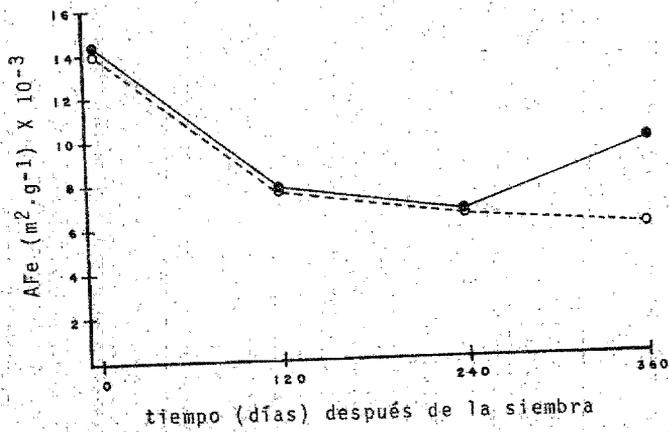


Figura 36. Area foliar específica (AFE) (m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>) en plantas de *Coffea arabica* L. vc. Garnica cultivadas a pleno sol (---) y bajo sombra (—).

#### 4.6 ANALISIS DE CLOROFILA

La determinación de clorofilas indicó que hay una mayor concentración de clorofilas a, b y total en las hojas de los cafetos bajo sombra. Sin embargo, las pruebas estadísticas no mostraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 27 del apéndice).

Se encontró una mayor proporción de clorofila b en los 2 tratamientos. Esta fue más marcada en los cafetos bajo sombra.

#### 4.7 ANALISIS FOLIAR

En el tratamiento bajo sombra el porcentaje de nitrógeno foliar (3.4%) fue mayor que en el tratamiento a pleno sol (3.3%). Sin embargo, las pruebas estadísticas no mostraron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ).

## CAPITULO 5

### DISCUSION

#### 5.1 ANALISIS DEL MICROCLIMA

En las páginas 29 y 30 se mencionó que no fué posible hacer determinaciones microclimáticas en la Congregación Campo Viejo. Se asume como hipótesis de trabajo que si bien las condiciones microclimáticas de los 2 sitios experimentales podrían ser diferentes, los datos tomados en la Congregación La Orduña permiten ilustrar la magnitud de las diferencias entre los tratamientos de sol y de sombra, debido a que las condiciones agroecológicas de los dos sitios son similares.

Tomando en cuenta lo anterior, se consideran válidas las especulaciones siguientes relacionadas con el microclima.

Las variaciones climáticas registradas en los tratamientos de sol y de sombra presentan un comportamiento semejante, sin embargo, el hecho de que los 2 tratamientos reciban cantidades diferentes de radiación, provoca cambios a nivel microclimático. Aunque estos cambios no son drásticos, sí afectan la expresión del crecimiento en los cafetos.

El que la radiación solar sea el parámetro de mayor importancia del experimento, no quiere decir que sea el único factor limitante que haya influido en el crecimiento de las plantas, ya que los demás parámetros del microclima también ejercieron una influencia considerable.

En el tratamiento de sol, donde se observaron los mayores niveles de radiación, se encontró que tanto la temperatura del aire y del suelo, así como la evaporación fueron mayores que en el tratamiento bajo sombra. Estos parámetros variaron en relación directa con respecto a la radiación solar en el transcurso del año en los 2 tratamientos.

Las variaciones en humedad del aire y del suelo mostraron un comportamiento inverso en relación a la radiación solar, es decir, a medida que aumentó la radiación solar en el transcurso del año, disminuyeron la humedad del aire y del suelo debido a una mayor evaporación provocada por el aumento de radiación. La humedad del aire y del suelo fueron mayores en el tratamiento de sombra.

Las variaciones en temperatura y humedad del aire y del suelo mostraron un comportamiento similar entre sí en los 2 tratamientos. Esta analogía en el comportamiento de las variaciones de estos parámetros indica que existe una estrecha relación entre ellos y una dependencia con la radiación solar.

La cantidad de radiación solar que reciben las plantas en los 2 tratamientos y por consiguiente las variaciones térmicas e hídricas están en función de la cubierta vegetal que presentan. Es decir, en el tratamiento a pleno sol (donde no existe una cubierta vegetal que proteja a las plantas), la cantidad de radiación que se recibe es mayor, lo cual provoca una mayor amplitud térmica y una mayor evaporación, con niveles de humedad bajos; mientras que en el tratamiento bajo sombra, la presencia de los árboles de sombra provoca una disminución en la cantidad de radiación que reciben las plantas, así como una menor variación térmica y me--nor evaporación, con mayores niveles de humedad.

La variación en el microclima y las diferencias encontradas entre los trata--mientos tuvieron una marcada influencia en el crecimiento de las plantas, sobre todo en la parte final del experimento (ver discusión).

## 5.2 ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

### 5.2.1 pH

Según las claves de interpretación de Velazco (1983), el pH del suelo es ácido en los 2 tratamientos, con valores que van de 4.2 a 5.3. Sin embargo, a pesar de clasificarse como suelos ácidos, están en el límite de las condiciones óptimas de pH para café reportadas por Coste (1969).

La disminución paulatina del pH observada en los 2 tratamientos probablemente se debió a la aplicación de fertilizante. Generalmente, la mitad del N aplicado a los cultivos en forma de fertilizante puede ser lixiviada o absorbida por las plantas en forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ), la otra mitad tiene efecto acidificante residual. Por lo que el uso continuo de fertilizantes de residuo ácido conducirá a una dis--minución del pH (Ortiz, 1977; Robles, 1971).

Esta disminución de pH puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes mayores como el fósforo y el azufre, así como la de otros micronutrientes, debido a que en suelos ácidos se promueve la formación de minerales secundarios muy insolubles; mientras que por el contrario la disminución del pH puede favorecer la --disponibilidad de otros elementos como el magnesio.

Por estas razones la aplicación de fertilizantes debe realizarse con cuidado para no provocar daños irreparables en el balance y disponibilidad de los nutrientes esenciales, de los cuales depende el crecimiento normal de las plantas.

### 5.2.2 MATERIA ORGANICA

El hecho de que el tratamiento a pleno sol haya presentado un mayor porcenta

je de materia orgánica al inicio del experimento pudo deberse a que antes de iniciar la plantación el suelo no era explotado intensivamente, la parcela sostenía un cultivo de plátano en condiciones de abandono. Además, cuando se iniciaron las labores de preparación del terreno, la materia orgánica proveniente de la maleza fué incorporada al suelo, aumentando el porcentaje de materia orgánica presente.

Los resultados obtenidos en el segundo muestreo, es decir, un aumento en el porcentaje de materia orgánica en el tratamiento de sombra y disminución en el tratamiento de sol, pudieron deberse a que por una parte en el cafetal bajo sombra existe un mayor aporte de hojarasca proveniente de los árboles, lo que contribuye al aumento de la materia orgánica del suelo, y a la recirculación de los nutrientes (Jiménez-Avila 1979b, 1981). Por otra parte, en el tratamiento a pleno sol la materia orgánica tiene una alta tasa de descomposición por la insolación directa y este fenómeno no favorece la formación de una capa de hojarasca permanente (Jiménez-Avila et al., 1979b).

Los resultados en el tratamiento de sol en el tercer muestreo pueden deberse a que en la época seca (abril-marzo) se presentó una elevada tasa de caída de hojas de los cafetos, y una mayor producción de maleza. Se ha comprobado que la máxima tasa de producción de hojarasca de cafetos corresponde al cultivo al sol (Jiménez-Avila, 1981). Según los resultados reportados por Jiménez-Avila et al. (1979b) el estrato herbáceo (maleza) en cafetal a pleno sol produce 3963 kg/ha/año, mientras que en cafetal bajo sombra solamente se producen 2600 kg/ha/año.

#### 5.2.3 FOSFORO

Los niveles de fósforo encontrados en los 2 tratamientos son muy altos según la clasificación de Velazco (1983).

Como se mencionó anteriormente, la disminución del pH puede afectar la disponibilidad de fósforo. Este efecto podría verse más pronunciado en el tratamiento de sombra, debido a que se presentó una mayor disminución del pH. Sin embargo, el hecho de que en este tratamiento exista una mayor cantidad de fósforo podría compensar la posible indisponibilidad causada por la disminución del pH. Además se sabe que solamente una pequeña porción del fósforo es aprovechable para el desarrollo de las plantas.

#### 5.2.4 POTASIO Y NITROGENO

El comportamiento observado en los niveles de potasio y nitrógeno en los 2 tratamientos fué similar al comportamiento de los niveles de materia orgánica. Aunque aparentemente el potasio y la materia orgánica no tienen relación, ya que el

potasio proviene principalmente de los materiales arcillosos (micas y feldspatos) y no de la materia orgánica, la cual sin embargo, posee una gran capacidad para retener potasio y otros cationes en forma intercambiable (Ortiz, 1977).

Los niveles de nitrógeno encontrados sí tienen relación con la materia orgánica, ya que la mayor parte del nitrógeno proviene de la descomposición de ésta.

### 5.3 ANALISIS DE CRECIMIENTO

Generalmente el crecimiento se define como el incremento en tamaño. Este incremento es la manifestación de muchos procesos fisiológicos, influenciados directa o indirectamente tanto por factores intrínsecos (genéticos y fisiológicos) como por factores ambientales.

El objeto del análisis de crecimiento fué el de explicar las diferencias en el crecimiento de las plantas sometidas a diferentes condiciones ambientales.

La fisiología normal de un organismo se mantiene bajo condiciones ambientales ideales, sin embargo, raramente un organismo se mantiene en tales condiciones (Bidwell, 1979). La "Ley del Mínimo" de Liebig establece que el crecimiento final de un organismo depende de la cantidad de recursos disponibles en cantidad mínima, recursos tales como luz, agua,  $\text{CO}_2$  y nutrientes minerales. Cuando alguno de éstos se encuentra en cantidad mínima se provoca un estado de estrés en el organismo, el cual actúa por varios mecanismos para vencer o evitar el estrés.

La capacidad de una planta para crecer mejor bajo ciertas condiciones está determinada por la eficiencia con la que desarrolle los mecanismos de competencia, adaptación o resistencia al estrés. Probablemente la competencia más importante entre plantas es por la materia prima de la fotosíntesis, principalmente luz y  $\text{CO}_2$ . En plantas que crecen bajo sombra, la tolerancia a la sombra es un factor importante en la competencia. Como consecuencia se ha desarrollado una variedad de mecanismos dentro de la planta, los cuales pueden dividirse en 3 categorías: 1) mecanismos que evitan la sombra; 2) mecanismos que incrementan la intercepción de luz o  $\text{CO}_2$ ; y 3) mecanismos que incrementan la eficiencia fotosintética (Bidwell, 1979).

La evasión de la sombra consiste principalmente en un incremento rápido y ascendente sobre los competidores que producen sombra (Bidwell, 1979). Este mecanismo de evasión pudo haber actuado en los cafetos bajo sombra, es decir, al encontrarse aparentemente en condiciones de estrés de radiación debido a la sombra que producen los árboles de sombra, desarrollaron un tallo más largo y longitudes de entrenudos mayores que los cafetos a pleno sol.

Jordán Molero (Inédito), Guiscafne-Arrillaga (1957) y Suárez de Castro *et al.* (1961), encontraron que los cafetos bajo sombra alcanzaron una altura y longitud de entrenudos mayor que en condiciones de sol. Sin embargo, a pesar de haber encontrado resultados semejantes sus opiniones difieren bastante.

Jordán Molero opina que ésta respuesta es negativa para la producción del café, ya que tal inclinación a crecer verticalmente en exceso sacrifica las reservas de la planta en crecimiento vegetativo y no en crecimiento reproductivo, además debido a ese alargamiento el tallo presenta una menor resistencia estructural. Opinión con la que no se está de acuerdo, ya que como afirma Bidwell (1979), el efecto detrimente de un tallo alargado es mínimo, ya que en tales condiciones de sombra lo importante es alcanzar un dosel de hojas tan grande y tan rápido como sea posible. En los resultados del presente trabajo se encontró que el diámetro del tallo y la cobertura de la planta fueron mayores en el tratamiento bajo sombra, de tal manera que el efecto de menor resistencia que reporta Jordán Molero queda descartado.

Suárez de Castro *et al.*, por el contrario piensan que debido a una mayor longitud de entrenudos, las ramas se reparten sobre un esqueleto más desarrollado, lo cual asegura un mayor distanciamiento entre ellas favoreciendo la creación de un ambiente más adecuado para el desarrollo del fruto.

Guiscafne-Arrillaga sin embargo, emite una opinión imparcial ya que piensa que este comportamiento es un esfuerzo de la planta por compensar la falta de luz y hacer posible la función clorofiliana.

De una manera o de otra, estos autores están de acuerdo en que bajo condiciones de sombra el tallo de la planta crece más alto, con longitudes de entrenudos mayores que en condiciones de exposición al sol. Sin embargo, se tiene la idea de que tal respuesta se produce cuando se hace crecer al café bajo sombra, es decir, como si lo normal fuera el comportamiento que presentan los cafetos a pleno sol con alturas y longitudes de entrenudos menores.

En otras palabras, se piensa que esta respuesta de las plantas bajo condiciones de sombra se debe al desarrollo de mecanismos de adaptación a la sombra. No obstante se olvidan que el café es una especie que desde su origen ha crecido bajo condiciones de sombra y que no necesita adaptarse a ella. Más bien, el hecho de que en condiciones de exposición al sol las plantas presenten longitudes del tallo y de entrenudos del mismo menores, se debe al desarrollo de un mecanismo de adaptación a exposiciones continuas, un mecanismo de defensa.

No se sabe qué proceso fisiológico es el que opera para dar una u otra res-

puesta. Pero se sabe que este mecanismo puede estar mediado por hormonas que estimulan el crecimiento del tallo y de los entrenudos (Bidwell, 1979). Probablemente estas hormonas se encuentren en mayor cantidad en condiciones de sombra y sufran alguna inhibición por exposición prolongada en condiciones de sol.

Por otro lado, a pesar de que la longitud del tallo fue mayor en condiciones de sombra, el número de nudos del tallo y por consiguiente el número de ramas primarias primarias fue menor que en condiciones de sol.

El comportamiento del crecimiento en longitud de ramas y de entrenudos laterales fue similar al que se presentó en altura y longitud de entrenudos del tallo. Es decir, en el tratamiento de sol se presentó una menor longitud en estos parámetros que en el tratamiento de sombra.

A pesar de tener longitudes menores, las ramas de los cafetos a pleno sol -- presentaron un mayor número de nudos. Esta característica les confiere una mayor capacidad para producir frutos. Ya que las flores y los frutos se forman en las yemas axilares de las ramas, pero sobre todo en los nudos formados durante el período de crecimiento anterior (Alvim, 1967).

Sin embargo, el hecho de tener una mayor capacidad de producción de frutos no implica que la producción sea en realidad mayor.

Al inicio de la formación de las yemas florales (diciembre de 1983) se observó que la producción de estas yemas fue mayor en el tratamiento de sol, como era de esperarse por su mayor número de nudos. Sin embargo, en el momento de la floración las plantas bajo sombra produjeron un mayor número de flores. Esta disminución en la producción de flores y por lo tanto de frutos en las plantas a pleno sol, pudo deberse a la mayor producción de ramas secundarias a partir de estas yemas. Ya que como afirma Coste (1969) la floración no abarca todo el conjunto de yemas de un nudo, algunos permanecen en estado latente evolucionando posteriormente ya sea en cimas florales o en ramas secundarias.

No se sabe cuál es el mecanismo que provoca esa mayor producción de ramas secundarias en el tratamiento de sol. Sin embargo, se sabe que se presentó un aumento en la producción de estas ramas al final y durante la época seca (febrero-abril), en los meses en que se registró un aumento en la radiación, temperatura del aire y del suelo y evaporación, además de una disminución en la cantidad de nutrientes del suelo. Las condiciones antes mencionadas provocaron un estado de estrés en las plantas en el tratamiento de sol.

Además de lo anterior se observó que a pleno sol se presentó una mayor pérdida de hojas, sobre todo en los meses de sequía. Esta mayor pérdida de hojas podría

ser una respuesta de la planta para tratar de economizar agua (Maestry y Barros, 1981).

Jiménez-Avila et al. (1979b) reporta que la mayor tasa de caída de hojas se presenta en la época de sequía, en la cuál la máxima tasa corresponde al cultivo al sol.

De cualquier manera, el resultado es que además del estrés climático que confrontan las plantas en esta época, disponen de una menor cantidad de hojas. Probablemente la mayor producción de ramas secundarias en estas plantas sea una respuesta de evasión al estrés, un artificio para tratar de compensar la pérdida de hojas con la producción de nuevas ramas y con ello la producción de nuevas hojas.

Podría parecer que las plantas a pleno sol compensaran su menor crecimiento vertical y lateral con la mayor producción de ramas secundarias, que aunque en su desarrollo actual no producen frutos, sí desempeñan un papel importante ya que amplían las posibilidades de producir frutos posteriormente (Suárez de Castro et al. 1961).

Después de la sequía, la recuperación de las plantas fue sorprendente en los meses con lluvia en los 2 tratamientos. La recuperación en las plantas de sol se debió principalmente a la mayor cantidad de ramas secundarias.

Por otro lado, esa mayor producción de ramas secundarias contribuyó al aumento en peso seco total que presentaron los cafetos en el tratamiento de sol en el último muestreo (julio de 1984) (ver discusión general).

Otros mecanismos de tolerancia a la sombra son los que incrementan la intercepción de luz o  $CO_2$ . Las hojas son los órganos fotosintéticos más importantes, - la intercepción de luz por estos órganos depende principalmente del AF disponible.

El área de las hojas es una medida que ayuda a determinar la inversión de la planta. Para un nivel de luz ambiental dado, la cantidad de luz interceptada es directamente proporcional al AF de la planta (Causton y Venus, 1981).

El AF total de una planta está determinada por el número total de hojas y por el área de cada una. Silvieira y Maestri (1973, citados por Maestri y Barros, --- 1981) encontraron que tanto el número de hojas como el área individual de cada una, aumentaron en condiciones de sombra. Esto quiere decir que bajo sombra se incrementa la capacidad de intercepción de la luz debido al aumento de AF causado por el incremento en número y área de las hojas. En el tratamiento de sombra las plantas presentaron una mayor AF que en el tratamiento de sol. Esta mayor AF en el tratamiento de sombra se debió al mayor número de hojas y a la mayor área de cada una.

Por tener una mayor AF que intercepte la energía solar, los cafetos bajo sombra son potencialmente más productivos que los cafetos a pleno sol.

La producción de materia seca de un cultivo depende de su IAF (Valencia, 1973). En el tratamiento de sombra se observó un IAF mayor que en el tratamiento de sol. Este mayor IAF es un reflejo de la notable capacidad de adaptación de las plantas a condiciones de baja luminosidad (Huerta y Alvim, 1962).

Las variaciones en IAF dependen tanto del AF como de la densidad de siembra. Por lo tanto de dos cultivos sembrados a la misma densidad, aquel que presenta mayor IAF es potencialmente más productivo. En otras palabras, podemos decir que el cultivo bajo sombra es potencialmente más productivo que el cultivo a pleno sol.

#### 5.4. ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD

El incremento en peso seco de una planta por unidad de tiempo da una indicación del crecimiento de la planta (Causton y Venus, 1981). En el análisis de resultados se encontró que las plantas bajo sombra produjeron una mayor cantidad de biomasa total que las plantas a pleno sol en los 3 primeros muestreos (ver página 67) es decir, presentaron un mayor crecimiento.

Esta diferencia pudo deberse a que bajo condiciones de sombra las plantas desarrollaron una mayor cantidad de hojas que bajo condiciones de plena exposición (de 2 - 5% mayor). Las hojas son los productores fotosintéticos más importantes, y el hecho de que una planta cuente con más superficie para captar la luz podría traducirse en una mayor capacidad de producir compuestos de carbono y por lo tanto esa planta tendría más probabilidades de crecer mejor, sobre todo si las condiciones del medio no son limitantes.

Se encontró que el mayor porcentaje de distribución de biomasa correspondió a las hojas en los 2 tratamientos. Es decir, hubo una mayor producción de tejido fotosintético que de reserva.

Jiménez-Avila (1981) encontró que el porcentaje de órganos lignificados es alto con respecto a la biomasa fotosintética, lo cual repercute en la baja producción de café en cereza. Sin embargo, este autor no menciona la edad de los cafetos que analizó, pero sin duda se trata de una plantación madura o en producción.

Probablemente esa misma plantación en sus primeras etapas de desarrollo también posea un mayor porcentaje de tejido fotosintético que de reserva como en el presente trabajo.

La producción y el porcentaje de producción de biomasa de tallo y ramas (órganos lignificados) fue mayor en el tratamiento de sol. Esto sugiere que probable

mente un gran porcentaje de los fotosintatos producidos en las hojas se destinan al desarrollo de tales órganos en condiciones de sol. Mientras que en el tratamiento de sombra las plantas produjeron una menor proporción de tallo y ramas, lo que sugiere que gran parte de los fotosintatos elaborados en las hojas son utilizados para desarrollar hojas y así aumentar la capacidad fotosintética de la planta.

La producción y el porcentaje de distribución de biomasa correspondiente a la raíz fueron mayores en el tratamiento de sombra. En el tratamiento de sol las plantas desarrollaron una raíz pivotante larga, con pocas raíces laterales, mientras que en el tratamiento de sombra desarrollaron un buen sistema radical fibroso. Este sistema radical fibroso proporciona al café una mayor capacidad para absorber agua y nutrientes del suelo.

Tanto la TAN como la TCR son de fundamental importancia en el análisis de crecimiento de plantas (Causton y Venus, 1981).

La TAN estima indirectamente la producción de carbohidratos del sistema fotosintético menos las pérdidas ocasionadas por la respiración. Se sabe que la materia seca de una planta se forma por la acumulación de los compuestos de carbono. Por lo tanto, la TAN mide la eficiencia de la planta "como un todo" en producción de materia seca y da una indicación de la eficiencia de la productividad de las hojas mismas y la proporción de la contribución de las hojas a la planta entera (Causton y Venus, 1981).

La TCR mide la eficiencia media de la producción de materia seca. Anteriormente se mencionó que la producción de materia seca es una indicación del crecimiento de la planta. Por lo tanto la TCR da una indicación de la intensidad de crecimiento de una planta.

Una planta puede tener una alta TCR debido a una alta TAN. Y un AF alta en relación al peso seco total de la planta (TAN) combinada con una alta TCR hacen a una planta altamente eficiente (Causton y Venus, 1981).

En el análisis de resultados se encontró que tanto la TCR como la TAN fueron mayores en el tratamiento de sombra en los primeros 9 meses del análisis. Por lo tanto en condiciones de sombra los cafetos fueron más eficientes debido a que presentaron un crecimiento más eficiente y una eficiencia fotosintética mayor que en condiciones de exposición al sol en este período.

No obstante, como ya se ha discutido, en condiciones de sol los cafetos se vuelven aparentemente más eficientes después de la sequía, debido al desarrollo de una mayor cantidad de ramas secundarias.

## DISCUSION GENERAL

Las variaciones en el comportamiento de los parámetros del microclima (con las reservas antes mencionadas) tuvieron una influencia marcada sobre las variaciones en el comportamiento de los parámetros de crecimiento.

Cuando se presentó una disminución en la radiación solar y en la temperatura del aire y del suelo (noviembre-febrero) se observó una disminución en las tasas de crecimiento en los 2 tratamientos. El mismo comportamiento se observó en relación a la humedad del aire y del suelo (febrero-abril).

Cuando aumentaron los valores de estos parámetros del microclima aumentaron las tasas de crecimiento en los 2 tratamientos.

Lo anterior podría indicar que existe una relación directa entre las variaciones del microclima y el crecimiento de las plantas. Es decir, que estos parámetros influyeron directamente en el crecimiento, determinando su intensidad en los 2 tratamientos, además de otros factores como cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, e interacción entre individuos.

Las diferencias microclimáticas entre tratamientos también influyeron en el crecimiento de las plantas. En el tratamiento de sol, donde se observó una mayor radiación, mayor amplitud térmica y menor disponibilidad de agua, las plantas presentaron un crecimiento menor que en el tratamiento de sombra, donde se observó una menor amplitud térmica, menor radiación y mayor disponibilidad de agua.

Es decir, la cubierta vegetal (árboles de sombra) en el tratamiento de sombra favorece la creación de un ambiente más adecuado para el crecimiento de las plantas.

Otro factor importante en el crecimiento fueron las condiciones edáficas. Aparentemente el suelo en el tratamiento de sol presenta mejores características para sostener un cultivo de café, por tener un pH menos ácido y cantidades relativamente mayores de materia orgánica, nitrógeno y potasio que en el tratamiento de sombra. Sin embargo, es un suelo que está sujeto a una mayor erosión y lixiviación ya que está expuesto a la insolación directa, a las lluvias y al viento. Por el contrario, en el cultivo bajo sombra la cubierta vegetal protege al suelo contra la erosión y la lixiviación excesivas.

Por otra parte, aunque el suelo en el tratamiento de sol pudiera parecer un mejor suelo para el cultivo de café, no hay que olvidar que es un suelo de reciente explotación (1 año) y que a largo plazo puede convertirse en un suelo pobre y erosionado, a menos que se mantenga un sistema de fertilización intensivo y cuidadoso.

Además, en el tratamiento de sombra aunque aparentemente el suelo es menos

rico en nutrientes y materia orgánica, no perjudicó el crecimiento de las plantas, debido a que éstas cuentan con un mejor sistema radical que compensa la posible falta de nutrientes con una mayor capacidad de absorción. Esta mayor capacidad de absorción se reflejó en una mayor eficiencia de crecimiento y una mayor eficiencia fotosintética, y por lo tanto en una mayor acumulación de materia seca.

Sin embargo, no se puede hablar de eficiencia de crecimiento y eficiencia fotosintética sin hablar del proceso fotosintético mismo.

La fotosíntesis neta, o asimilación neta de  $\text{CO}_2$ , es el resultado de la tasa de fijación de  $\text{CO}_2$  menos las pérdidas ocasionadas por la fotorrespiración. Cada uno de estos sistemas metabólicos puede reaccionar ante un amplio rango de factores internos (fisiológicos) y externos (ambientales) (Bidwell, 1979).

Desde que se descubrió que las plantas pueden asimilar carbono en presencia de luz, se reconoce a la luz como el factor que más influye en el crecimiento de las plantas y otras características de la vegetación (Shirley, 1929). Las plantas pueden ajustar su eficiencia total a la máxima intensidad de luz que reciben (Bidwell, 1979).

Como se mencionó anteriormente, existen 3 tipos de mecanismos de tolerancia a la sombra (ver página 78), entre los cuales se cuentan los mecanismos que incrementan la intercepción de luz y  $\text{CO}_2$ .

Un incremento en la intercepción de la luz puede estar acompañado por respuestas morfológicas mediadas por auxinas (Bidwell, 1979). Las diferencias entre estas respuestas en condiciones de luz o sombra determinan la capacidad de fotosíntesis (Björkman, 1975) produciendo cambios a nivel de AF, grosor de tallos, contenido de clorofila y grosor de la capa empalizada entre otros (Bidwell, 1979).

Las hojas son los órganos fotosintéticos más importantes, la intercepción de luz por éstas y la tasa fotosintética (TAN) dependen en gran parte del AF disponible (Causton y Venus, 1981).

Las variaciones en AF son más importantes en los rendimientos que las diferencias en TAN, o sea, que la intensidad de crecimiento está más afectada por la capacidad fotosintética que por la intensidad con que se realiza el proceso. Por lo tanto, las plantas que durante más tiempo mantengan una mayor AF que intercepte la energía solar, serán potencialmente más productivas (Valencia, 1973).

Las plantas cultivadas a pleno sol presentaron una TAN, una TCR y un porcentaje de hojas mayores que las plantas cultivadas bajo sombra en el último período (julio de 1984) debido a la presencia de las ramas secundarias, sin embargo, presentaron una AF total menor.

Por esta razón, bajo condiciones de sombra las plantas son potencialmente más

productivas debido a que presentan una mayor AF (durante todo el tiempo) que las plantas a pleno sol.

Otra de las respuestas de adaptación a las condiciones de luminosidad es el cambio en el contenido de clorofila, como un mecanismo para incrementar la intercepción de luz.

La clorofila es el pigmento responsable de la absorción de luz en las hojas. Las plantas que se encuentran en condiciones de sombra necesitan un sistema de captura de luz altamente eficiente para desarrollar una máxima tasa de fijación de  $\text{CO}_2$  a bajas intensidades de luz. Mientras por el contrario, las hojas de plantas a pleno sol requieren un sistema de captación de luz menos eficiente (Bidwell, 1979).

Lubimenko (1908, citado por Shirley, 1929), Franco (1941), Björkman (1975) y Bidwell (1979) encontraron que la concentración de clorofila aumentó conforme disminuyó la intensidad luminosa. Este incremento en la concentración de clorofila en condiciones de sombra se refleja en un incremento de la capacidad fotosintética de la planta, debido a que se incrementa la capacidad para absorber la luz (Bidwell, 1979).

Además de la concentración de clorofila, la distribución de la misma difiere considerablemente entre plantas de sol y de sombra. El desarrollo de la región grana y la abundancia de los grana alcanza grandes proporciones en plantas de sombra. En plantas de sol la región grana es mucho menos pronunciada y el estroma ocupa una fracción mayor del volumen del cloroplasto. Como resultado, la concentración de clorofila por volumen de cloroplasto así como por célula es muy alta en plantas de sombra (Björkman, 1975; Hollies, 1967).

Rabinowitch (1951, citado por Sylvain, 1958) reporta que las hojas de plantas de sombra no solo contienen más clorofila total sino también una mayor proporción de clorofila b. Menciona también que este tipo de clorofila (b) puede aumentar la utilización de la luz entre 450 y 480 nm. Este tipo de luz es relativamente abundante bajo árboles de sombra.

Las plantas cultivadas bajo condiciones de sombra presentaron una concentración de clorofila total y clorofila b mayor que bajo condiciones de exposición al sol, por lo tanto son más eficientes en la intercepción de la energía solar a bajas intensidades de luz.

Otra de las respuestas de adaptación a las condiciones de luminosidad es el cambio en el grosor de la capa empalizada. Las células de parénquima son las directas responsables de la fotosíntesis, ya que contienen a los pigmentos que captan la luz (clorofilas). Las hojas que crecen bajo sombra tienden a ser delgadas,

con una capa empalizada pequeña y con espacios aéreos bien desarrollados. Mientras que las hojas que brecean al sol tienen una capa empalizada más gruesa (Bidwell, 1979; Björkman, 1975).

Shirley (1929), encontró que el grosor de la hoja incrementó conforme aumentó la intensidad luminosa. A bajas intensidades de luz el tejido en empalizada -- disminuyó de 2 capas a una sola capa.

En el presente trabajo no se midió el número de capas de empalizada, pero los resultados de AFe indican que las plantas bajo sombra tienen hojas delgadas, mientras que por el contrario, las plantas a pleno sol tienen hojas más gruesas. Estas observaciones pueden conducirnos a pensar, guiandonos por el grosor de las hojas, que probablemente las plantas bajo sombra tienen un número de capas de empalizada menor y las plantas a pleno sol tienen un mayor número de éstas.

Björkman (1975), afirma que es bien conocido que las plantas que crecen a altas intensidades de luz tiene tanto un número de capas de células de empalizada -- así como el grosor de las hojas mayor que en condiciones de sombra. Y que éstas -- tienden a disminuir cuando las plantas crecen a intensidades bajas de luz.

Es decir, se piensa que la reducción en el número de capas de empalizada y el grosor de la hoja es una adaptación a condiciones de sombra. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las plantas de café desde su origen han crecido en condiciones de sombra, por lo que están adaptadas a éstas. Por lo tanto, el tener un mayor número de capas de células de empalizada es un mecanismo que probablemente desarrollaron las plantas en condiciones de exposición al sol, como una medida de protección a las altas radiaciones.

Por otro lado, a pesar de que la concentración de clorofila por volumen de -- cloroplastos y de células es más alta en plantas de sombra que en plantas de sol, la diferencia se compensa por las pocas capas de células que contienen las plantas de sombra, así que el contenido de clorofila por unidad de área ( $\text{cm}^2$ ) es esencialmente igual en plantas de sombra y de sol (Björkman, 1975).

Sin embargo, el hecho de que las plantas bajo sombra presenten un mayor número de hojas así como una mayor área por hoja y por lo tanto un AF total mayor que intercepta la energía solar, implica que disponen de una mayor concentración total de clorofila por planta, por lo tanto tienen una mayor eficiencia en la absorción de la luz.

Estas observaciones refuerzan la suposición de que los cafetos bajo sombra -- son más eficientes que los cafetos a pleno sol y potencialmente más productivos.

Las hojas amplias y delgadas además de proporcionar una mayor eficiencia de

absorción de luz proporcionan una mayor eficiencia en el intercambio de gas. Sin embargo, un eficiente intercambio de gas resulta en un eficiente evaporador y en tales condiciones una hoja sin cubierta protectora podría secarse (Bidwell, 1979).

Es posible que las hojas de las plantas a pleno sol hayan desarrollado una cubierta protectora más gruesa, para evitar la desecación. Sin embargo, una epidermis con cutícula gruesa protege a la hoja de la desecación pero también disminuye el intercambio de gas a valores muy bajos.

En el caso de que las plantas a pleno sol hayan desarrollado hojas con una cutícula más gruesa podría afectar el intercambio de gas, reduciendo así la capacidad de fijación en estas plantas.

Por otro lado, en apoyo a los resultados del presente trabajo existen bases teóricas que se utilizan como una herramienta para discutir las ventajas del cultivo bajo sombra, ya que no fueron objeto de experimentación.

El tercer tipo de mecanismo de tolerancia a la sombra son los que incrementan la eficiencia. Estos generalmente son a nivel bioquímico y fisiológico e incluyen disminución en las tasas de respiración, menor fotorespiración e incremento en la fijación de  $\text{CO}_2$  a bajas intensidades de luz o bajas concentraciones de  $\text{CO}_2$  (Bidwell, 1979).

La ventaja de los mecanismos antes mencionados está más relacionada con la eficiencia del uso de la materia prima de la fotosíntesis que con la eficiencia de su acumulación.

La tasa de absorción de  $\text{CO}_2$  por una hoja esta gobernada por: 1) la cantidad y nivel de actividad de las enzimas carboxilasas, las cuales aceptan las moléculas de  $\text{CO}_2$  dentro del ciclo de reducción fotosintética, y 2) por la resistencia del mesófilo (resistencia a la difusión de  $\text{CO}_2$  a través de los espacios intercelulares del tejido mesófilo, y a través de las membranas y líquidos en la superficie de las mismas) (Causton y Venus, 1981).

Björkman (1975), encontró que la cantidad de la enzima Ribulosa-bisfosfato-carboxilasa (RuBPCarboxilasa) fue mucho mayor en plantas de sol.

Existen indicadores de que las hojas de plantas de sombra tienen una mayor eficiencia de carboxilación para compensar la menor concentración de la enzima RuBP carboxilasa (Bidwell, 1979).

Este hecho hace más eficientes a las plantas bajo sombra. Tal vez en condiciones de sol aumente la cantidad de esta enzima, pero no se sabe si la exposición total cause algún tipo de inhibición o disminución de la actividad de dicha enzima.

La tasa de movimiento de  $\text{CO}_2$  dentro de las hojas también depende del número

de estomas presentes, los cuales a su vez dependen del AF (Causton y Venus, 1981).

Dado que los cafetos bajo sombra presentaron un AF mayor podría ser una indicación de que probablemente tienen un mayor número de estomas, o un mayor distanciamiento entre ellos, lo cuál incrementaría la tasa de movimiento de  $\text{CO}_2$  dentro de las hojas.

La absorción y movimiento de  $\text{CO}_2$  dentro de las hojas además de los factores antes mencionados, también depende de la concentración externa de  $\text{CO}_2$ . Bajo condiciones de campo, la concentración de  $\text{CO}_2$  frecuentemente es un factor limitante de la fotosíntesis. La concentración atmosférica de cerca de 330 ppm está por debajo de la saturación de  $\text{CO}_2$  de la mayoría de las plantas (Bidwell, 1979).

La concentración de  $\text{CO}_2$  es afectada a altas intensidades de luz y altas temperaturas (Krebs, 1978).

Probablemente en los cafetos a pleno sol el proceso fotosintético se vea afectado por bajas concentraciones de  $\text{CO}_2$  presentes a altas intensidades de luz.

Aunado a esto se encuentra el hecho de que la tasa de fotosíntesis disminuye a temperaturas superiores a  $24^\circ\text{C}$  (Kumar y Tieszen 1980a). Ya que por arriba de los  $24^\circ\text{C}$  la concentración interna de  $\text{CO}_2$  aumenta a una tasa de 20 ppm por cada grado centígrado que aumente la temperatura. Probablemente este mismo mecanismo opere para contrarrestar las bajas concentraciones de  $\text{CO}_2$  exteriores a altas temperaturas. Sin embargo, estas mayores concentraciones internas de  $\text{CO}_2$  incrementan la resistencia total a la difusión en el mesófilo, y generalmente esto es acompañado por el cierre de los estomas (Maestri y Barros, 1981).

Las temperaturas máximas encontradas en cafetal a pleno sol son mayores a  $24^\circ\text{C}$  la mayor parte del año. Por esta razón probablemente el mecanismo antes mencionado esté operando en los cafetos a pleno sol, afectando el proceso fotosintético por el incremento en la resistencia a la difusión de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo.

Hasta aquí se han discutido las diferencias en crecimiento entre el cultivo bajo sombra y a pleno sol a nivel morfológico y fisiológico. Sin embargo, estas respuestas además de estar determinadas por factores ambientales, dependen de la información genética disponible.

La eficiencia de fotosíntesis puede estar bajo control genético. De tal manera, especies o variedades genéticamente más eficientes podrían competir mejor bajo determinadas condiciones (Bidwell, 1979).

Las especies o ecotipos limitados en la naturaleza a habitats densamente sombreados pierden la habilidad genética para producir una maquinaria fotosintética tan eficiente a altas intensidades de luz como las plantas de sol. Estas plantas -

de sombra cuando son sometidas a altas intensidades de luz resultan con una seria inhibición de fotosíntesis, aparentemente debido a que el centro de reacción fotoquímico es inactivado por un exceso de energía de excitación. Estos estudios indican que la eficiencia máxima de fotosíntesis es un extremo de régimen de luz. Impide una máxima eficiencia en el otro extremo (Björkman, 1975).

Sin embargo, en algunas especies existen adaptaciones genéticas al estrés. Estas adaptaciones pueden producirse ya sea desarrollando un genotipo que confiere resistencia, o desarrollando una serie de genes que son capaces de producir varios genotipos adaptados a diferentes ambientes, según se requiera (Bidwell, 1979).

La potencialidad de expresión fenotípica de un genotipo dado, está en relación a las condiciones del medio en que el genotipo puede sobrevivir. Si el rango de respuesta del genotipo es amplio, el desarrollo de la especie es flexible, produciendo diversos fenotipos en condiciones ambientales diferentes. La plasticidad fenotípica (determinada por el genotipo) es la variación genética que facilita al individuo a adaptarse mejor a las condiciones del medio durante su desarrollo (Mettler y Gregg, 1972).

*Coffea arabica* L., es una especie que presenta una gran plasticidad fenotípica ya que crece en las más variadas condiciones (Suárez de Castro, 1961). Se cultiva en una amplia zona que se extiende alrededor del Ecuador, desde el Trópico de Cáncer a los 20° N en México, hasta el Trópico de Capricornio a los 20° S en Brasil, y a altitudes desde el nivel del mar hasta 2100 msnm (Guiscafre Arrillaga, 1957).

Esta gran plasticidad es la que le permite adaptarse y crecer en condiciones de exposición solar (por medio de los mecanismos que se han mencionado), ya que de otra manera, moriría en estas condiciones, o su crecimiento se reduciría marcadamente.

Por otra parte, se encuentran las relaciones ecológicas que se establecen en los 2 sistemas de cultivo (sol y sombra).

En el capítulo 2 se menciona la definición de Agroecosistema de Rizkowski: "Los cultivos agrícolas son ecosistemas que están mantenidos por la intervención humana en una etapa de la sucesión, con una estructura simple, con bajo costo energético en la producción de biomasa y con ciclos abiertos en la circulación de nutrientes".

El hombre con el fin de obtener un mayor rendimiento ha diseñado uno de los ecosistemas más delicados e inestables de la tierra, los cultivos. El colmo de las asociaciones dominadas por el hombre son los campos cultivados con una sola varie

dad de alto rendimiento de una sola especie (Rappaport, 1971).

El cultivo de café al sol es uno de estos cultivos típicos llamados monocultivos. La explotación de los cultivos implica una simplificación del ecosistema, una simplificación de la cubierta vegetal y un aumento relativo de la frecuencia de las especies de rápido crecimiento (maleza).

Existe una gran diferencia en la composición florística y en la abundancia relativa de las especies herbáceas dependiendo del sistema de cultivo del café.

En el cultivo bajo sombra, dominan las especies de la familia Comelinaceae, las cuales son clasificadas como conservadoras del suelo. Por el contrario el cultivo de café al sol contiene una mayor riqueza de especies herbáceas de las familias Gramineaceae y Compositae. Estas especies supuestamente compiten por agua y nutrientes con los cafetos (Jiménez-Avila, 1979a).

El dosel vegetal en el cultivo bajo sombra regula la entrada de luz, regulando el crecimiento de la maleza y reduciendo de esta manera la frecuencia de las prácticas de cultivo (limpias). En el cultivo a pleno sol, incrementa la necesidad de efectuar limpiezas con mayor frecuencia, lo cual repercute en los costos de mantenimiento del cafetal.

Por otro lado, la recirculación de los nutrientes es de fundamental importancia en la estabilidad de un ecosistema.

El ciclo de materia orgánica se establece constantemente mediante la caída de hojarasca, y este hecho es significativo en la transferencia de los nutrientes en cualquier ecosistema. El aporte continuo de hojarasca en el cultivo bajo sombra, sostiene la recirculación de nutrientes y posiblemente por este hecho se logre un equilibrio en los nutrientes evitando ciclos abiertos como sucede en el cultivo a pleno sol (Jiménez-Avila, 1981).

La mayor exposición a la radiación, lluvias y viento (como ya hemos discutido), convierten al cultivo al sol en un sistema más susceptible a la erosión, ya que con el tiempo se van socavando las propiedades físicas y químicas que le dan resistencia al suelo contra la erosión (Rodríguez, 1958).

Por esta razón, además de un sistema de fertilización intensivo es necesario proporcionar al suelo una cubierta vegetal que ayude a protegerlo contra la erosión.

Por otro lado a nivel microclimático, el cultivo bajo sombra ofrece al cafeto un ambiente más estable, ya que minimiza los cambios de temperatura, lo protege contra el viento y la erosión, y aumenta la humedad del suelo y del aire, proporcionando un ambiente más favorable, con una estabilidad dinámica, que beneficia -

el crecimiento y productividad del café.

Además, dado que el café es un cultivo perenne, el cafeticultor ha asociado al cafetal otros cultivos como plátano y naranjo, y así ayudarse a sostener la producción de alimentos para autoconsumo (Jiménez-Avila, 1981).

Sin embargo, a pesar de que el cultivo bajo sombra es más apropiado para el café, es un sistema más susceptible a la infección del hongo *Hemileia vastatrix* Berk y Br., el cual se desarrolla mejor bajo condiciones de baja luminosidad.

Ante esta amenaza, a pesar de ser menos favorable, el cultivo de café al sol es una alternativa para tratar de convivir ventajosamente con la roya, ya que la luz intensa y las altas temperaturas disminuyen la tasa de infectividad del hongo.

Celis (1982) reporta que la zona de Coatepec, Ver., teóricamente presenta un período mínimo de incubación de la roya de 31.03 días en la época de verano (julio-agosto) y grado C de severidad según la clasificación de Wallis (1970, citado por Celis, 1982).

Wallis y Firman (1962, citados por Ortolani, 1980) reportan que con un período de incubación (PI) inferior a 20 días, el cultivo de café solo es posible con variedades resistentes; con un PI entre 20 y 30 días, la roya puede ser controlada por fungicidas; y cuando el PI es superior a 30 días la enfermedad se manifiesta con carácter benigno y de modo general no necesita tratamiento químico.

Sin embargo de una o de otra manera, el riesgo que se corre es alto. Ya que por una parte cultivando el café bajo sombra se propicia un ambiente más favorable para el café, pero también para la roya.

Por otra parte, en caso de que se hiciera extensivo el cultivo de café al sol, como una alternativa para reducir la tasa de infectividad del hongo, se corre el riesgo de propiciar cambios a nivel climático en la región de Coatepec, además de un alto riesgo de erosión y pérdida de fertilidad del suelo, y en general, un daño irreparable en la ecología de la región.

Hemos llegado al punto en que la explotación en oposición a la conservación constituye un dilema. Sin embargo, probablemente no exista otra salida que pueda satisfacer los objetivos de ambas.

Es necesario ampliar y continuar estas investigaciones para poder ofrecer resultados altamente confiables. Dado que el café es un cultivo perenne, los resultados de un año de investigación no permiten emitir una afirmación concreta sobre el desarrollo y adaptación de un cultivo a diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, son la base de investigaciones posteriores que ayudarán a comprender mejor la dinámica de estos 2 sistemas de cultivo en la región central de Veracruz.

## CONCLUSIONES

Las condiciones microclimáticas determinan el ritmo de crecimiento en los cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

En su primer año de vida en campo, los cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol presentan un patrón típico de crecimiento exponencial en las estructuras vegetativas.

Los cafetos bajo sombra son más eficientes que los cafetos a pleno sol porque presentan una mayor AF, mayor IAF y mantienen durante la mayor parte del tiempo una mayor productividad y mayores TAN y TCR. Sin embargo, los cafetos cultivados a pleno sol desarrollan una mayor cantidad de estructuras secundarias, que les amplía las posibilidades de incrementar su productividad y sus TAN y TCR posteriormente.

Los cafetos exhiben un mejor crecimiento y un mayor nivel de adaptación morfológica y fisiológica en condiciones de sombra que en exposición al sol. Ya que presentan un mayor crecimiento vertical y lateral, desarrollan hojas amplias y delgadas, mayores proporciones de clorofila b y mayor eficiencia en la absorción y la utilización de  $\text{CO}_2$ .

El cultivo bajo sombra ofrece al cafeto un sistema ecológico más estable que favorece el ciclo de nutrientes y la conservación de suelo, y mantiene una menor variación microclimática.

APENDICE

Tabla 3. Promedio mensual de la temperatura del aire, máxima, media y mínima en cafetales bajo sombra y a pleno sol en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)						
TIEMPO (MESES)	MAXIMA		MINIMA		MEDIA	
	SOMBRA	SOL	SOMBRA	SOL	SOMBRA	SOL
JUL	23.7	27.8	14.5	13.4	19.1	20.6
AGO	25.0	29.2	14.1	12.7	19.6	20.9
SEP	24.6	28.0	13.6	13.8	19.1	20.9
OCT	23.7	26.9	13.2	12.7	18.5	19.8
NOV	18.0	26.0	12.0	11.1	15.0	18.6
DIC	16.6	24.7	11.0	10.1	13.8	17.4
ENE	14.4	19.8	9.2	8.5	11.8	14.2
FEB	15.1	22.4	9.8	8.5	15.5	
MAR	19.1	26.4	9.8	9.2	14.5	17.8
ABR	19.3	27.1	11.2	10.6	15.3	18.9
MAY	27.1	32.1	15.9	15.9	21.5	24.2
JUN	23.0	30.2	15.3	13.2	19.0	27.0

Tabla 4. Promedio mensual de la temperatura del suelo a 5 y 15 cm de profundidad en cafetales bajo sombra y a pleno sol en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

TEMPERATURA DEL SUELO (°C)				
TIEMPO (MESES)	5 cm		15 cm	
	SOMBRA	SOL	SOMBRA	SOL
JUL	19.7	22.9	20.8	21.1
AGO	18.7	22.1	19.0	22.9
SEP	20.0	23.7	19.7	23.6
OCT	16.7	20.6	17.1	20.4
NOV	21.5	24.3	22.4	24.2
DIC	17.3	19.2	17.2	20.9
ENE	11.2	14.7	9.5	16.8
FEB	8.6	11.5	7.6	12.6
MAR	12.0	15.3	10.0	14.9
ABR	16.4	20.0	14.5	22.4
MAY	22.9	25.3	24.6	26.2
JUN	23.8	26.0	20.4	24.7

Tabla 5. Promedios mensuales de evaporación Piche y humedad relativa en cafetales bajo sombra y a pleno sol en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Ver.

TIEMPO (MESES)	EVAPORACION PICHE (mm·día <sup>-1</sup> )		HUMEDAD RELATIVA (%)	
	SOMBRA	SOL	SOMBRA	SOL
JUL	0.47	0.98	87.0	79.0
AGO	0.70	1.07	86.0	78.5
SEP	0.72	1.34	77.0	72.5
OCT	0.22	0.80	81.0	74.5
NOV	0.63	1.44	83.0	78.0
DIC	0.31	0.89	89.5	79.0
ENE	0.64	1.30	85.0	74.5
FEB	0.96	1.90	70.5	70.5
MAR	2.33	3.19	59.0	54.0
ABR	2.89	3.92	36.0	30.0
MAY	2.76	3.84	87.5	86.0
JUN	1.33	1.92	77.5	73.5

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 6. Resultados del análisis estadístico aplicado al parámetro radiación solar (Pruebas F, yt) en cafetales bajo sombra y a pleno sol en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Ver.

$$F_c = 1.68 \quad F_t = 2.21 \quad T_t = 1.68 \quad = 0.05$$

TIEMPO (MESES)	RADIACION SOLAR (W·m <sup>-2</sup> )		
	SOMBRA	SOL	t <sub>c</sub>
JUL	-----	-----	-----
AGO	-----	-----	-----
SEP	818.1 ± 39.49	1039 ± 5.35	-5.55
OCT	750.7 ± 34.55	1014 ± 4.32	-7.56
NOV	700.8 ± 28.86	917 ± 6.99	-7.28
DIC	668.7 ± 31.26	884 ± 4.25	-6.84
ENE	631.0 ± 42.92	852 ± 7.47	-3.70
FEB	732.4 ± 63.90	948 ± 3.36	-3.38
MAR	826.2 ± 40.86	1043 ± 3.98	-5.27
ABR	901.0 ± 29.21	1092 ± 2.67	-6.50
MAY	959.0 ± 31.74	1146 ± 4.66	-7.14
JUN	938.3 ± 29.96	1121 ± 3.70	-6.75

Tabla 7. Resultados del análisis estadístico aplicado al parámetro humedad del suelo (pruebas F y t) en cafetal bajo sombra y a pleno sol en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Ver.

$$F_c = 3.15 \quad F_t = 2.21 \quad T_t = 1.68 \quad = 0.05$$

TIEMPO (MESES)	HUMEDAD DEL SUELO (%)		
	SOMBRA	SOL	t <sub>c</sub>
JUL	22.28 ± 0.46	20.35 ± 0.53	2.75
AGO	20.50 ± 0.79	17.61 ± 1.23	-1.98
SEP	20.02 ± 0.66	18.16 ± 0.41	3.46
OCT	21.3 ± 1.18	19.00 ± 1.53	1.23
NOV	22.55 ± 1.29	20.25 ± 3.38	0.64
DIC	22.01 ± 0.59	18.54 ± 0.55	6.74
ENE	19.93 ± 0.58	17.02 ± 0.47	3.88
FEB	16.29 ± 0.33	14.02 ± 1.67	0.74
MAR	12.71 ± 0.88	9.70 ± 0.91	2.31
ABR	8.06 ± 0.42	5.34 ± 0.20	5.86
MAY	17.56 ± 1.49	14.21 ± 0.77	3.79
JUN	28.13 ± 1.42	25.50 ± 0.56	1.72

Cada valor representa la media de 16 observaciones ± el error estándar.

Tabla 8. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro altura de la planta (cm) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.  
 $F_c = 5.30$   $F_t 0.05(2)12,35 = 2.09$   $t_t 0.05(2)46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	ALTURA DE LA PLANTA (cm)		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	25.01 ± 0.72	28.05 ± 0.93	-2.59
AGO	26.85 ± 0.72	29.35 ± 1.02	-2.01
SEP	30.18 ± 0.98	31.78 ± 1.08	-1.01
OCT	32.24 ± 1.14	34.42 ± 1.02	-1.42
NOV	34.58 ± 1.28	36.48 ± 1.06	-1.29
DIC	36.83 ± 1.45	38.71 ± 1.19	-1.00
ENE	37.65 ± 1.45	39.73 ± 1.30	-1.07
FEB	40.29 ± 1.53	42.08 ± 1.24	-0.91
MAR	43.50 ± 1.72	44.44 ± 1.31	-0.43
ABR	47.52 ± 1.96	46.77 ± 1.40	0.31
MAY	59.17 ± 2.10	53.25 ± 1.76	2.16
JUN	67.33 ± 1.75	59.02 ± 1.71	3.40

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 9. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro número de ramas primarias en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.  
 $F_c = 2.98$   $F_t 0.05(2)12,35 = 2.09$   $t_t 0.05(2)46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	NUMERO DE RAMAS PRIMARIAS		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	5.0 ± 0.28	5.4 ± 0.29	-1.03
AGO	5.8 ± 0.36	6.6 ± 0.25	-1.90
SEP	7.2 ± 0.37	8.0 ± 0.29	-1.68
OCT	7.8 ± 0.41	8.7 ± 0.33	-1.75
NOV	9.1 ± 0.50	10.1 ± 0.33	-1.68
DIC	10.2 ± 0.48	12.0 ± 0.36	-2.98
ENE	10.7 ± 0.52	12.0 ± 0.42	-1.94
FEB	12.5 ± 0.49	13.7 ± 0.43	-1.78
MAR	14.3 ± 0.60	15.4 ± 0.53	-1.35
ABR	16.4 ± 0.62	16.3 ± 0.63	0.09
MAY	19.8 ± 0.73	19.5 ± 0.70	0.33
JUN	23.1 ± 0.83	22.3 ± 0.79	0.77

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 10. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro longitud de ramas primarias (cm) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.  
 $F_c = 11.38$   $F_t 0.05(2)12,35 = 2.09$   $t_c 0.05(2)46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	LONGITUD DE RAMAS PRIMARIAS (cm)		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	7.26 ± 0.48	6.81 ± 0.38	0.73
AGO	7.44 ± 0.48	7.28 ± 0.42	0.26
SEP	9.43 ± 0.45	8.63 ± 0.40	1.33
OCT	9.89 ± 0.60	9.91 ± 0.41	-0.02
NOV	10.21 ± 0.53	10.62 ± 0.56	-0.52
DIC	10.43 ± 0.62	10.92 ± 0.44	-0.65
ENE	10.30 ± 0.63	11.33 ± 0.50	-1.28
FEB	10.97 ± 0.69	11.55 ± 0.60	0.63
MAR	12.02 ± 0.65	12.01 ± 0.64	0.01
ABR	12.48 ± 0.62	11.72 ± 0.61	0.87
MAY	17.87 ± 0.85	15.46 ± 0.87	1.98
JUN	23.82 ± 0.81	19.83 ± 0.89	3.33

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 11. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro diámetro del tallo (cm) en cafetos cultivados - bajo sombra y a pleno sol.  
 $F_c = 7.94$   $F_t 0.05(2)12,35 = 2.09$   $t_c 0.05(2)46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	DIÁMETRO DEL TALLO (cm)		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	0.50 ± 0.020	0.51 ± 0.014	-0.08
AGO	0.57 ± 0.013	0.54 ± 0.012	1.17
SEP	0.60 ± 0.014	0.59 ± 0.014	0.90
OCT	0.64 ± 0.016	0.61 ± 0.014	0.97
NOV	0.67 ± 0.022	0.66 ± 0.018	0.52
DIC	0.73 ± 0.026	0.69 ± 0.020	1.41
ENE	0.80 ± 0.031	0.78 ± 0.028	0.32
FEB	0.87 ± 0.036	0.82 ± 0.032	1.08
MAR	0.91 ± 0.039	0.86 ± 0.036	0.93
ABR	0.93 ± 0.041	0.88 ± 0.038	0.77
MAY	1.13 ± 0.043	0.97 ± 0.046	2.53
JUN	1.31 ± 0.044	1.02 ± 0.050	3.29

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 12. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro cobertura de la planta ( $m^2$ ) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.  
 $F_c = 4.29$   $F_t 0.05(2) 12,35 = 2.09$   $t_c 0.05(2) 46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	COBERTURA DE LA PLANTA ( $m^2$ )		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	0.05 ± 0.003	0.05 ± 0.003	-0.15
AGO	0.06 ± 0.004	0.06 ± 0.003	0.35
SEP	0.10 ± 0.008	0.08 ± 0.006	1.84
OCT	0.11 ± 0.009	0.09 ± 0.007	1.67
NOV	0.14 ± 0.014	0.11 ± 0.007	1.79
DIC	0.15 ± 0.014	0.13 ± 0.010	0.89
ENE	0.16 ± 0.015	0.15 ± 0.011	0.52
FEB	0.18 ± 0.016	0.16 ± 0.012	0.87
MAR	0.20 ± 0.17	0.18 ± 0.013	0.87
ABR	0.23 ± 0.019	0.20 ± 0.015	1.35
MAY	0.35 ± 0.030	0.25 ± 0.022	2.71
JUN	0.45 ± 0.034	0.34 ± 0.031	2.36

Cada valor representa la media de 24 observaciones ± el error estándar.

Tabla 13. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro número de hojas por planta en cafetos a pleno sol y bajo sombra.  
 $F_c = 2.41$   $F_t 0.05(2) 12,35 = 2.09$   $t_c 0.05(2) 46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	NUMERO DE HOJAS POR PLANTA		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	33.4 ± 2.13	36.9 ± 2.46	-1.08
AGO	45.0 ± 2.71	44.5 ± 3.06	-0.33
SEP	53.5 ± 3.92	51.6 ± 4.35	0.33
OCT	60.5 ± 5.13	60.4 ± 4.73	-0.01
NOV	73.6 ± 6.48	69.8 ± 6.30	0.42
DIC	79.4 ± 6.80	73.4 ± 6.57	0.69
ENE	83.6 ± 7.59	74.0 ± 6.73	0.94
FEB	106.0 ± 9.26	91.4 ± 8.66	1.15
MAR	129.5 ± 9.97	120.6 ± 10.9	0.61
ABR	155.5 ± 11.8	139.3 ± 12.0	0.96
MAY	273.6 ± 23.3	260.0 ± 31.8	1.64
JUN	402.5 ± 26.4	367.4 ± 35.6	1.79

Cada valor representa la media de 24 observaciones ± el error estándar.

Tabla 14. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro área foliar por planta ( $m^2$ ) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$$F_c = 2.37 \quad F_t 0.05(2)12,35 = 2.09 \quad t_t 0.05(2)46 = 1.68$$

TIEMPO (MESES)	AREA FOLIAR POR PLANTA ( $m^2$ )		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	0.10 ± 0.006	0.10 ± 0.009	-0.18
AGO	0.11 ± 0.009	0.11 ± 0.009	0.47
SEP	0.15 ± 0.014	0.13 ± 0.014	0.85
OCT	0.18 ± 0.017	0.17 ± 0.019	0.58
NOV	0.21 ± 0.025	0.17 ± 0.023	1.18
DIC	0.22 ± 0.030	0.19 ± 0.024	0.82
ENE	0.23 ± 0.030	0.17 ± 0.024	1.39
FEB	0.25 ± 0.031	0.18 ± 0.022	1.79
MAR	0.30 ± 0.033	0.22 ± 0.026	1.86
ABR	0.33 ± 0.034	0.26 ± 0.036	1.49
MAY	0.73 ± 0.077	0.53 ± 0.067	1.90
JUN	1.47 ± 0.150	0.99 ± 0.114	2.53

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 15. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro índice de área foliar en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$$F_c = 2.92 \quad F_t 0.05(2)12,35 = 2.09 \quad t_t 0.05(2)46 = 1.68$$

TIEMPO (MESES)	INDICE DE AREA FOLIAR		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	0.06 ± 0.002	0.06 ± 0.002	0.04
AGO	0.07 ± 0.002	0.07 ± 0.003	0.38
SEP	0.09 ± 0.005	0.08 ± 0.006	-0.83
OCT	0.11 ± 0.011	0.10 ± 0.008	-0.67
NOV	0.13 ± 0.018	0.10 ± 0.026	0.27
DIC	0.14 ± 0.024	0.12 ± 0.030	2.04
ENE	0.14 ± 0.023	0.11 ± 0.036	2.32
FEB	0.15 ± 0.027	0.11 ± 0.031	2.54
MAR	0.18 ± 0.021	0.13 ± 0.034	2.76
ABR	0.20 ± 0.023	0.16 ± 0.030	1.38
MAY	0.45 ± 0.040	0.33 ± 0.042	3.34
JUN	0.91 ± 0.057	0.61 ± 0.053	4.22

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 16. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro área foliar por hoja ( $\text{cm}^2$ ) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$F_c = 2.94$   $F_t 0.05(2)12,35 = 2.09$   $t_c 0.05(2)46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	AREA FOLIAR POR HOJA ( $\text{cm}^2$ )		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	24.10 $\pm$ 0.61	23.89 $\pm$ 1.16	1.70
AGO	25.13 $\pm$ 0.89	22.55 $\pm$ 0.82	1.86
SEP	27.73 $\pm$ 1.44	23.28 $\pm$ 1.05	1.98
OCT	27.73 $\pm$ 1.40	22.62 $\pm$ 1.24	2.13
NOV	26.63 $\pm$ 1.24	21.31 $\pm$ 1.38	2.69
DIC	28.33 $\pm$ 1.53	23.74 $\pm$ 1.03	2.17
ENE	29.97 $\pm$ 1.38	26.65 $\pm$ 1.12	2.01
FEB	32.53 $\pm$ 1.38	28.73 $\pm$ 1.14	2.23
MAR	39.86 $\pm$ 0.99	34.20 $\pm$ 0.79	2.71
ABR	43.62 $\pm$ 0.84	37.10 $\pm$ 1.34	2.65
MAY	56.48 $\pm$ 1.76	50.12 $\pm$ 1.05	2.92
JUN	68.27 $\pm$ 1.74	59.94 $\pm$ 1.21	3.27

Cada valor representa la media de 24 observaciones  $\pm$  el error estándar.

Tabla 17. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro número de hojas perdidas en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$F_c = 5.85$   $F_t 0.05(2)12,35 = 2.09$   $t_c 0.05(2)46 = 1.68$

TIEMPO (MESES)	NUMERO DE HOJAS PERDIDAS		
	SOMBRA	SOL	$t_c$
JUL	0.71 $\pm$ 0.23	1.54 $\pm$ 0.39	0.56
AGO	2.08 $\pm$ 0.38	4.79 $\pm$ 0.51	0.84
SEP	5.38 $\pm$ 0.99	9.92 $\pm$ 1.10	1.47
OCT	7.71 $\pm$ 1.22	15.00 $\pm$ 1.71	1.74
NOV	12.71 $\pm$ 1.64	29.13 $\pm$ 2.57	2.16
DIC	17.83 $\pm$ 2.57	48.92 $\pm$ 3.23	2.07
ENE	23.13 $\pm$ 2.71	57.42 $\pm$ 3.58	2.52
FEB	28.71 $\pm$ 2.77	66.54 $\pm$ 3.63	2.94
MAR	34.17 $\pm$ 3.70	73.29 $\pm$ 4.01	3.30
ABR	47.88 $\pm$ 4.01	89.88 $\pm$ 5.21	3.56
MAY	59.59 $\pm$ 7.73	101.38 $\pm$ 8.72	4.55
JUN	67.30 $\pm$ 9.18	113.13 $\pm$ 10.1	5.37

Cada valor representa la media de 24 observaciones  $\pm$  el error estándar.

Tabla 18. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro número de nudos de ramas primarias en cafetos - cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$$F_c = 5.0 \quad F_t 0.05(2) 12,35 = 2.09 \quad t_t 0.05(2) 46 = 1.68$$

TIEMPO (MESES)	NUMERO DE NUDOS DE RAMAS PRIMARIAS		
	SOMBRA	SOL	t <sub>c</sub>
JUL	2.02 ± 0.11	2.25 ± 0.28	-1.36
AGO	2.69 ± 0.15	2.36 ± 0.11	1.84
SEP	2.91 ± 0.11	3.01 ± 0.11	-0.61
OCT	3.10 ± 0.13	3.31 ± 0.10	-1.27
NOV	3.45 ± 0.13	3.83 ± 0.12	-2.08
DIC	3.66 ± 0.13	4.17 ± 0.12	-2.93
ENE	3.77 ± 0.13	4.41 ± 0.12	-3.56
FEB	4.13 ± 0.16	4.62 ± 0.17	-2.12
MAR	4.33 ± 0.15	4.93 ± 0.18	-2.57
ABR	4.79 ± 0.15	5.17 ± 0.17	-1.62
MAY	6.30 ± 0.14	6.44 ± 0.23	-0.51
JUN	7.89 ± 0.20	7.66 ± 0.28	0.67

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 19. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro número de nudos del tallo en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$$F_c = 5.87 \quad F_t 0.05(2) 12,35 = 2.09 \quad t_t 0.05(2) 46 = 1.68$$

TIEMPO (MESES)	NUMERO DE NUDOS DEL TALLO		
	SOMBRA	SOL	t <sub>c</sub>
JUL	6.04 ± 0.15	5.87 ± 1.08	0.62
AGO	6.54 ± 0.25	5.87 ± 0.90	2.16
SEP	7.00 ± 0.23	6.00 ± 0.93	3.32
OCT	7.21 ± 0.29	2.46 ± 2.11	2.11
NOV	7.87 ± 0.26	7.29 ± 0.95	1.81
DIC	8.04 ± 0.24	8.37 ± 0.92	-1.08
ENE	8.21 ± 0.23	8.46 ± 0.93	-0.83
FEB	8.83 ± 0.21	9.13 ± 0.95	-1.01
MAR	9.37 ± 0.26	10.08 ± 1.10	-2.06
ABR	10.33 ± 0.27	10.50 ± 1.32	-0.44
MAY	12.33 ± 0.28	12.50 ± 1.29	-0.43
JUN	14.46 ± 0.29	14.13 ± 1.43	0.81

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 20. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro longitud de entrenudos de ramas primarias en cañafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$$F_c = 10.53 \quad F_t 0.05(2)12,35 = 2.09 \quad t_t 0.05(2) 46 = 1.68$$

TIEMPO (MESES)	LONGITUD DE ENTRENUDOS DE RAMAS PRIMARIAS		
	SOMBRA	SOL	t <sub>c</sub>
JUL	3.33 ± 0.10	2.79 ± 0.13	3.23
AGO	2.54 ± 0.12	2.59 ± 0.08	-0.30
SEP	3.15 ± 0.12	2.75 ± 0.11	2.40
OCT	3.18 ± 0.13	3.03 ± 0.11	0.86
NOV	2.77 ± 0.12	2.64 ± 0.10	0.79
DIC	2.76 ± 0.14	2.58 ± 0.09	1.11
ENE	2.63 ± 0.09	2.56 ± 0.08	0.60
FEB	2.54 ± 0.08	2.38 ± 0.08	1.45
MAR	2.71 ± 0.10	2.37 ± 0.06	3.01
ABR	2.63 ± 0.07	2.25 ± 0.08	3.59
MAY	3.26 ± 0.09	2.57 ± 0.08	5.85
JUN	3.79 ± 0.08	2.81 ± 0.09	8.44

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 21. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado al parámetro longitud de entrenudos del tallo en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$$F_c = 7.55 \quad F_t 0.05(2)12,35 = 2.09 \quad t_t 0.05(2) 46 = 1.68$$

TIEMPO (MESES)	LONGITUD DE ENTRENUDOS DEL TALLO		
	SOMBRA	SOL	t <sub>c</sub>
JUL	2.39 ± 0.12	2.14 ± 0.07	1.85
AGO	2.32 ± 0.10	2.33 ± 0.09	-0.08
SEP	2.55 ± 0.11	2.50 ± 0.08	0.35
OCT	2.65 ± 0.13	2.72 ± 0.10	-0.40
NOV	2.61 ± 0.14	2.65 ± 0.11	-0.22
DIC	2.71 ± 0.16	2.61 ± 0.10	0.68
ENE	2.71 ± 0.13	2.67 ± 0.10	0.28
FEB	2.89 ± 0.13	2.72 ± 0.10	1.03
MAR	2.99 ± 0.13	2.74 ± 0.10	1.59
ABR	2.97 ± 0.12	2.55 ± 0.12	2.53
MAY	3.49 ± 0.12	2.75 ± 0.13	4.35
JUN	4.04 ± 0.11	2.90 ± 0.12	7.23

Cada valor representa la media de 24 observaciones + el error estándar.

Tabla 22. Producción de ramas secundarias (Rs), longitud de ramas secundarias (LRs), número de nudos de ramas secundarias (NNRs) y número de cafetos que produjeron ramas secundarias en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

TIEMPO (MESES)	SOMBRA				SOL			
	Rs	LRs	NNRs	N	Rs	LRs	NNRs	N
DIC	1.0	4.3	2.0	1	1.4	3.4	3.2	5
ENE	1.0	4.5	3.0	2	2.3	3.8	4.7	6
FEB	2.0	3.3	4.3	4	3.9	2.7	7.9	7
MAR	3.2	3.5	7.0	5	5.6	3.0	11.3	9
ABR	3.3	4.1	8.2	13	5.8	3.6	14.8	11
MAY	7.7	5.8	19.2	14	22.9	4.3	47.8	16
JUN	10.1	5.8	27.2	14	25.4	4.9	63.4	16

Tabla 23. Producción de yemas florales, flores y frutos en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

TIEMPO (MESES)	SOMBRA			SOL		
	YEMAS	FLORES	FRUTOS	YEMAS	FLORES	FRUTOS
DIC	37.90	-----	-----	38.14	-----	-----
ENE	44.88	-----	-----	50.62	-----	-----
FEB	56.80	-----	-----	59.12	-----	-----
MAR	69.45	46.75	-----	63.50	36.33	-----
ABR	62.63	-----	33.81	50.57	-----	27.50
MAY	-----	29.80	62.63	-----	23.64	48.87
JUN	-----	-----	45.00	-----	-----	39.42

Tabla 24. Resultados del análisis estadístico (pruebas F y t) aplicado a la producción de peso seco (g) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

$$F_c = 2.72 \quad F_t 0.05(2|4,27) = 2.273 \quad t_t 0.05(2) 30 = 1.69$$

TIEMPO (MESES)	PESO SECO TOTAL (g)		
	SOMBRA	SOL	t <sub>o</sub>
JUL' 83	6.80	7.13	-0.67
NOV' 83	26.35	22.44	0.92
MAR' 84	44.70	32.44	1.85
JUL' 84	152.37	173.64	2.08

Cada valor representa la media de 16 observaciones.

Tabla 25. Producción y porcentaje de producción (%) del peso seco (PS) (g) por planta en partes: raíz, tallo, ramas primarias, hojas de ramas primarias (HRp), ramas secundarias (Rs), hojas de ramas secundarias (HRs), tallos secundarios (Ts), hojas de tallos secundarios (HTs) y frutos, en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

PRODUCCION Y PORCENTAJE DE DISTRIBUCION DEL PESO SECO POR PLANTA									
SOMBRA									
	JUL' 83		NOV' 83		MAR' 84		JUL' 84		
	PS	(%)	PS	(%)	PS	(%)	PS	(%)	
RAIZ	1.71	25.15	5.05	19.17	9.60	21.26	21.26	13.95	
TALLO	1.82	26.76	6.95	26.38	10.50	23.49	24.75	16.24	
RAMAS	0.20	2.94	1.78	6.76	2.27	5.08	20.21	13.26	
HRp	3.07	45.15	12.57	47.70	22.33	49.96	76.47	50.19	
Rs	----	----	----	----	----	----	1.41	0.93	
HRs	----	----	----	----	----	----	2.94	1.93	
Ts	----	----	----	----	----	----	2.98	1.96	
HTs	----	----	----	----	----	----	0.39	0.26	
FRUTOS	----	----	----	----	----	----	1.96	1.29	
TOTAL	6.80	100.0	26.35	100.0	44.70	100.0	152.37	100.0	
SOL									
	JUL' 83		NOV' 83		MAR' 84		JUL' 84		
	PS	(%)	PS	(%)	PS	(%)	PS	(%)	
RAIZ	1.94	27.21	3.67	16.35	6.25	19.50	17.92	10.32	
TALLO	1.68	23.56	6.96	31.02	9.76	30.45	32.08	18.48	
RAMAS	0.41	5.71	1.59	7.09	1.74	5.34	23.66	13.63	
HRp	3.10	43.48	10.22	45.54	14.30	44.62	74.22	42.74	
Rs	----	----	----	----	----	----	2.99	1.72	
HRs	----	----	----	----	----	----	19.81	11.40	
Ts	----	----	----	----	----	----	0.98	0.56	
HTs	----	----	----	----	----	----	1.04	0.60	
FRUTOS	----	----	----	----	----	----	0.94	0.54	
TOTAL	7.13	100.0	22.44	100.0	32.05	100.0	173.64	100.0	

Tabla 26. Peso seco total (PST), área foliar total (AF), tasa de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento relativo (TCR) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

TIEMPO (DIAS)	SOMBRA				SOL			
	PST (g)	AF (m <sup>2</sup> )	TAN (gm <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )	TCR (d <sup>-1</sup> )	PST (g)	AF (m <sup>2</sup> )	TAN (gm <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )	TCR (d <sup>-1</sup> )
0	6.80	0.10	---	---	7.13	0.10	---	---
120	26.35	0.21	1.12	0.011	22.44	0.17	0.98	0.010
240	44.74	0.30	0.62	0.004	32.05	0.22	0.42	0.003
360	152.37	1.47	1.23	0.010	173.65	0.99	2.32	0.014

Cada valor representa la media de 24 observaciones.

Tabla 27. Peso seco total (PST), peso seco de hojas (PSH), área foliar total (AF) y área foliar específica (AFe) en cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.

TIEMPO (MESES)	SOMBRA				SOL			
	PST (g)	PSH (g)	AF (m <sup>2</sup> )	AFe (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	PST (g)	PSH (g)	AF (m <sup>2</sup> )	AFe (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
0	6.80	3.07	0.10	0.0144	7.13	3.10	0.10	0.0140
120	26.35	12.57	0.21	0.0078	22.44	10.22	0.17	0.0074
240	44.74	22.33	0.30	0.0069	32.05	14.30	0.22	0.0068
360	152.37	79.80	1.47	0.0096	173.65	95.07	0.99	0.0057

Cada valor representa la media de 24 observaciones.

Tabla 28. Concentración de clorofila a (Ca), clorofila b (Cb) y clorofila total (Ct) (mg·l<sup>-1</sup>) en hojas de cafetos cultivados bajo sombra y a pleno sol.  
t<sub>c</sub> 0.05(2) 16 = 1.75

	SOMBRA		SOL	t <sub>c</sub>
	Ca	Cb	Ct	
Ca	0.041 ± 0.01	0.033 ± 0.01	0.079	
Cb	0.056 ± 0.01	0.052 ± 0.01	0.25	
Ct	0.096 ± 0.02	0.084 ± 0.02	0.54	

Cada valor representa la media de 9 observaciones ± el error estándar.

#### LITERATURA CITADA

- ABRUÑA, F., VICENTE, J. y SILVA, S. 1961. El cultivo intensivo del café a pleno sol. *Revista del café* 17(2):7-8 (cont.).
- ABRUÑA, F., VICENTE, J. y SILVA, S. 1965. Productivity of nine coffee varieties - growing under intensive management in full-sunlight and shade in the coffee region of Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 49(2): 244-253.
- ANONIMO. 1980. El café. ONU para la Agricultura y la Alimentación. Serie Mejores cultivos No. 23 15p.
- ANONIMO. Inédito. (S. A.). INMECAFE. El cultivo del cafeto al sol en México. 4p.
- ALVAREZ, J. R. ed. 1978. *Coffea arabica*. Enciclopedia de México. Tomo II p 357.
- ALVIM, P. de T. and Havis, J. R. 1954. An improved filtration series for stung stomatal opening as illustrated with coffee. *Plant Physiol* 29(1):97-98.
- ALVIM, P. de T. 1958. Estímulo de la floración y fructificación del cafeto por aspersiones con ácido giberélico. *Turrialba* 8(2):64-72.
- ALVIM, P. de T. 1960. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto 2(6): 57-64.
- ALVIM, P. de T. 1967. Fisiología del cafeto. Memorias del Curso de Post-Graduación de Fisiología Vegetal. INIA-CEPLAC. Itabuna-Bahía-Brasil 15p.
- ARNON, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated Chloroplast polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24(1):1-4.
- ARREOLA, R. R. y MENDEZ, C. M. P. 1985. Estado hídrico y respuestas estomáticas en plantas de café (*Coffea arabica* L.), expuestas a sol y sombra. Tesis (en prensa).
- AWATRAMANI, N. A. and GOPALAKRISHNA, H. K. 1965. Measurements of leaf area in coffee. I. *Coffea arabica*. *Indian Coffee* 29(1):25-30.
- BARRADAS, M. V. y Fanjul, L. 1985. Caracterización microclimática de plantaciones de café a sol y sombra. (en prensa).
- BASAGOITIA, M. C. R. 1981. Efecto de 4 distanciamientos de siembra en el desarrollo y producción del cafeto. CENICEFE. Boletín Técnico Nueva Serie No. 7:11-12.
- BIDWELL, R. G. S. 1979. *Plant Physiology*. Second edition. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. 726p.
- BJORKMAN, O. 1975. Environmental and Biological Control of Photosynthesis. In *Marce* 11e Belgium. Junk, B. V. ed. The Hague. 16p.
- BRAN, S. J. A. 1980. Sombra del cafeto. *ANACAFE* 190(5):19-21.
- BROWNING, C., Hoad, G. V. and Gaskin, P. 1970. Identification of Abscisic acid in flower buds of *Coffea arabica* L. *Planta* 94(3):213-219.

- CARVALHO, A. 1961. Melhoramiento so cafeeiro. XXI. Comportamiento regional do variedades, linhages e progenies de café ao sol e a sombra. *Bragantia* 20(46): 1045-1142.
- CASTILLO, Z. J. 1960. Rendimiento de las variedades Typica y Bourbon de *Coffea arabica* L. en diferentes condiciones de cultivo. *CENICAFE* 11(5): 137-142.
- CASTILLO, Z. J. 1961. Ensayo de análisis de crecimiento en café. *CENICAFE* 12(1): 1-16.
- CASTILLO, Z. J. 1966. Nota sobre el efecto de la intensidad luminosa en la floración del cafeto. *CENICAFE* 17(2):51-60.
- CASTRO, F. J. 1982. La Roya del cafeto. SARH, INIA. Folleto Misceláneo No. 43:1-80.
- CAUSTON, D. R. and Venus, J. C. 1981. *The Biometry of Plant Growth*. Edward Arnold Publishers. London. 307p.
- CELIS, O. C. y GOMEZ SALINAS, J. A. 1982. Estimación del perfil de incidencia de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk y Br. en México. In JIMENEZ-AVILA, E. y GOMEZ-POMPA, A. Ed. *Estudios Ecológicos del Agroecosistema Cafetalero*. CBSCA. México. pp. 135-143.
- CIFUENTES, R. 1979. Cafeticultura intensiva vs. cafeticultura tradicional. *ANACAFE* No. 183:30-31.
- COSTE, R. 1969. *El Café*. Blume, España. 285p.
- COEN, P. E. 1957. La sombra del café y las temperaturas del suelo. *Suelo Tico* -- 11(44):53-54.
- De La LOMA, J. L. 1966. *Experimentación Agrícola*. Segunda edición, UTHEA, México.
- FRANCO, C. M. 1940. Fotoperiodismo em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Revista do Instituto de Café* 27(164):1586-1592.
- FRANCO, C. M. 1941. Teor em clorofila das folhas de cafeeiros diversamente sombreados e a pleno sol. *Revista do Instituto de Café* 28(169):296-299.
- GARCIA, A. E. 1970. Los climas del Estado de Veracruz. *An. Inst. Biol. UNAM Serie Botánica* 41(1):3-42.
- GARCIA, E. G. B. and Lugo, R. B. 1972. Yields of 16 arabica-Typica coffee varieties grown under partial shade and in full-sunlight. *Journal of Agriculture Of University of Puerto Rico* 55(4): 337-342.
- GORDON, J. 1956. El cultivo del cafeto al sol en El Salvador. *Circular Agrícola* - No. 73:1-13.
- GUISCAFRE-ARRILLAGA, J., CORDON, A. J. y CASTELLANOS, S. 1955. Siembra del cafeto al sol en Barreras Autosombreadas. *Circular Agrícola* No. 71:1-18.
- GUISCAFRE-ARRILLAGA, J. 1957. Sombra, sol y riego. *El Café de El Salvador* No. 308-309:320-364.

- HAARER, A. E. 1955. Sombra o no sombra para el café arábico. *World Crops* 17(7): 133-139.
- HAARER, A. E. 1960. Shade of Coffee. *World Crops* 12(12):456-466.
- HAARER, A. E. 1964. Producción Moderna del Café. CHCSA, México. pp.19-29.
- HOLLIES, M. A. 1967. Effects of shade on the structure and chlorophyll content of arabica coffee leaves. *Experimental Agriculture* 3(3):183-190.
- HUERTA, S. A. 1954. La influencia de la intensidad de la luz en la eficiencia asimilatoria del café. Tesis sin publicar. 69p.
- HUERTA, S. A. 1962. Comparación de métodos de laboratorio y de campo para medir - el área foliar del café. *CENICAFE* 13(1):33-42.
- HUERTA, S. A. y ALVIM, P. de T. 1962. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del café. *CENICAFE* 13(2):75-83.
- HUERTA, S. A. 1964. Época de muestreo y par de hojas representativas del estado nutricional del café. *Turrialba* 14(2): 63-70.
- HUXLEY, P. A. 1967. The effects of artificial shading on some growth characteristics of Arabica and Robusta coffee seedlings. I. The effects of shading on dry weight, leaf area derived growth data. *Journal of Applied Ecology* No. 4: 291-308.
- INMECAFE 1960. Cultivo del café en Fajas Autosombreadas. Circular Técnica No. 4 (s.p.).
- INMECAFE 1981. Marco general de la cafeticultura en México. Informe interno. (S.P.).
- INMECAFE 1982a. Daños del Volcán El Chichón. *Boletín Técnico del Café* 1(9):1-3.
- INMECAFE 1982b. Principales variedades comerciales. *Boletín Técnico del Café* 1(18): 1-3.
- INMECAFE 1983. La comercialización externa del café mexicano en el ciclo 1982-1983.
- JARAMILLO-ROBLEDO, A. 1976. Condiciones microclimáticas en el cafetal bajo sombrero. *CENICAFE* 27(4):180.
- JIMENEZ-AVILA, E. 1979a. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. I. Estructura de una finca en Coatepec, Veracruz. *Biótica* 4(1):1-12.
- JIMENEZ-AVILA, E. y MARTINEZ-VARA, P. 1979b. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. *Biótica* 4(3):109-126.
- JIMENEZ-AVILA, E. 1981. Ecología del agroecosistema cafetalero. Tesis Doctoral -- UNAM, México.
- JORDAN MOLERO, F. Inédito (S.A.). ¿Es mejor sin sombra?. (S.P.) (S.E.).

- HAARER, A. E. 1955. Sombra o no sombra para el café arabico. World Crops 17(7): 133-139.
- HAARER, A. E. 1960. Shade of Coffee. World Crops 12(12):456-466.
- HAARER, A. E. 1964. Producción Moderna del Café. CECSA, México. pp.19-29.
- HOLLIES, M. A. 1967. Effects of shade on the structure and chlorophyll content of arabica coffee leaves. Experimental Agriculture 3(3):183-190.
- HUERTA, S. A. 1954. La influencia de la intensidad de la luz en la eficiencia asimilatoria del café. Tesis sin publicar. 69p.
- HUERTA, S. A. 1962. Comparación de métodos de laboratorio y de campo para medir el área foliar del café. CENICAFE 13(1):33-42.
- HUERTA, S. A. y ALVIM, P. de T. 1962. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del café. CENICAFE 13(2):75-83.
- HUERTA, S. A. 1964. Epoca de muestreo y par de hojas representativas del estado nutricional del café. Turrialba 14(2): 63-70.
- HUXLEY, P. A. 1967. The effects of artificial shading on some growth characteristics of Arabica and Robusta coffee seedlings. I. The effects of shading on dry weight, leaf area derived growth data. Journal of Applied Ecology No. 4: 291-308.
- INMECAFE 1960. Cultivo del café en Fajas Autosombreadas. Circular Técnica No. 4 (s.p.).
- INMECAFE 1981. Marco general de la cafecultura en México. Informe interno. (S.P.).
- INMECAFE 1982a. Daños del Volcán El Chichónal. Boletín Técnico del Café 1(9):1-3.
- INMECAFE 1982b. Principales variedades comerciales. Boletín Técnico del Café 1(18): 1-3.
- INMECAFE 1983. La comercialización externa del café mexicano en el ciclo 1982-1983.
- JARAMILLO-ROBLEDO, A. 1976. Condiciones microclimáticas en el cafetal bajo sombrero. CENICAFE 27(4):180.
- JIMENEZ-AVILA, E. 1979a. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. I. Estructura de una finca en Coatepec, Veracruz. Biótica 4(1):1-12.
- JIMENEZ-AVILA, E. y MARTINEZ-VARA, P. 1979b. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. Biótica 4(3):109-126.
- JIMENEZ-AVILA, E. 1981. Ecología del agroecosistema cafetalero. Tesis Doctoral -- UNAM, México.
- JORDAN MOLERO, F. Inédito (S.A.). ¿Es mejor sin sombra?. (S.P.) (S.E.).

- KREBS, J.C. 1978. Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Second edition. Harper International Edition. New York. 678p.
- KRUG, A. y DEPOERCK. 1969. Estudio Mundial del Café FAO, ONU. Estudios Agropecuarios para la Agricultura y la Alimentación. pp. 196-205.
- KUMAR, D. and TIESZEN, L. L. 1980a. Photosynthesis in *Coffea arabica* L. I. Effects of light and temperature. Experimental Agriculture No. 16:13-19.
- KUMAR, D. and TIESZEN, L. L. 1980b. Photosynthesis in *Coffea arabica* L. II. Effects of water stress. Experimental Agriculture No. 16:21-27.
- LAINES DEL CIS, A. A. 1979. Apreciaciones sobre el manejo de la sombra CENICAFE - No. 185:30-32.
- LEON, J. y FOURNIER, M. L. L. 1962. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. Turrialba 12(2):-5-74.
- LEVITT, J. 1972. Responses of Plants to Environmental Stress. New York. Academic Press Inc.
- LOPEZ, C. F. J., NARANJO, J. O., VILLEGAS, E. M. y VALENCIA, A. G. 1972. Influencia de la altitud en el desarrollo de plantulas de café en almácigo. CENICAFE 23(4):87-97.
- MACHADO, S. A. 1946. Influencia del sombrero, el suelo y las prácticas culturales en el desarrollo del café en sus primeros meses de vida propia: experimento preliminar. CENICAFE. Boletín Técnico 1(1):32.
- MAESTRI, M. and Barros, S. R. 1981. Ecophysiology of Tropical Crops. Serie Publicaciones Misceláneas No. 288:1-50.
- METTLER, L. E. y GREG, T. C. 1972. Genética de Poblaciones y Evolución. UIHEA, México. 245p.
- MONTEALEGRE-CARAZO, M. 1955. Cafetales a pleno sol vs. cafetales a la sombra. FEDECAM. Sección Agrícola No. 20:1-16.
- MULLER, R. 1959. L'ombfrage du caféier d'arabie en Camerun. L'Agronomie Tropicale - 14(1):8-12.
- NUNES, M. A., BIERHUIZEN, F. J., and PLOEGMAN, C. 1968. Studies on the productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis of *Coffea arabica* L. Acta Botánica. Weerl. No. 17:93-102.
- NUEMAN, F. J. 1937a. Bearing of recent physiological research on the shade problem of coffee cultivation. East African Agricultural and Forestry Journal - No. 2:366-370.
- NUEMAN, F. J. 1937b. Studies on the physiology of *Coffea arabica* L. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. Annals of Botany 1(3):353-367.
- ORTIZ, V. B. 1977. Fertilidad de Suelos. Chapingo, México UACH. 112p.

- ORTOLANI, A. A. 1981. Relaciones entre factores meteorológicos y climatológicos y la Roya del Cafeto. Instituto Agronómico, Campinas-SP-Brasil. Sección de Climatología Agrícola. (S.E) (S.P.).
- PIRINGER, A. H. and BORTHWECK, H. A. 1955. Photoperiodic responses of coffee. Turrialba 5(3):72-77.
- PROMECAFE 1980. Propuesta del proyecto de colaboración y asistencia técnica del - Instituto Francés de Café y Cacao con el apoyo del gobierno de Francia a los países miembros del PROMECAFE. Ponencia en la "Tercera Reunión del Consejo -- Asesor del Programa Cooperativo para la Protección y Modernización de la Cafeticultura en México, Centro América y Panamá". Serie Informes de Conferencias, Cursos y Reuniones NO. 206. 76p.
- PROMECAFE 1982. En relación con la Roya del Cafeto. Informe sobre enfoque y actuación de los países miembros del PROMECAFE. Serie Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos No. 272. 142p.
- PAINER, R. W. 1942. Shading of coffee in Latin America. The Coffee Board of Kenya. Monthly Bulletin 7(80):194.
- RAPAPORT, R. A. 1971. El flujo de energía en una sociedad agrícola. Investigación y Ciencia Nov. pp 379-391.
- ROBLES, A. F. 1971. El análisis de suelos en programas de fertilización en cultivos de café. Pértica No. 1:3-26.
- RODRIGUEZ, G. A. 1958. Sistemas de conservación de suelos en plantaciones de café al sol. CENICAFE 9(11-12):277-290.
- RODRIGUEZ-HERNANDEZ, C., MARTINEZ-AVILA, J. C. y FANJUL, L. 1983. Estimación del área foliar en cafeto mediante un método no destructivo. Biótica 8(2):149-150.
- SIYLEY, L. H. 1929. The influence of light quality upon the growth of plants. American Journal Of Botany 16(5):354-390.
- SUAREZ DE CASTRO, F. y MONTENEGRO, L. 1961. Efecto del sombrero en los primeros años de vida de un cafetal. CENICAFE. Boletín Informativo Suplemento No. 2:334-355.
- SYLVAIN, G. P. 1958a. Asimilación del carbono o fotosíntesis del *Coffea arabica* L. Estudios del Café y Cacao No. 1:1-13.
- SYLVAIN, G. P. 1958b. El ciclo de crecimiento de *Coffea arabica* L. Turrialba No. 1: 1-17.
- TRIANA, B. J. V. 1957. Informe preliminar sobre un estudio de "Modalidades" de cultivo del cafeto. CENICAFE 8(5):11-19.
- TURRENT, F. A. 1980. Registro de observaciones durante el desarrollo de un experimento de productividad de agrosistemas. Chapingo, Méjico, UACH.
- VALENCIA, A. G. 1973. Relación entre el índice de área foliar y la productividad del cafeto. CENICAFE 24(4):79-89.

- VELAZCO, M. H. A. 1983. Uso y Manejo del Suelo. Determinación del Análisis Rutinario de un Suelo y su Interpretación para la Aplicación de Fertilizantes Comerciales. Segunda edición. Limisa, México. 191p.
- VILLARREAL, R. C. 1981. Formación de la Variedad Garnica. Resúmenes de Material Informativo del Cultivo de Café. INMECAFÉ. Informe Interno (S.E)(S.P.).
- VILLASENOR-LUQUE, A. 1979a. Densidad de población en cafetales y su rentabilidad. Memorias del II Simposio Latinoamericano Sobre Cafecultura, Xalapa, Ver., México. (S.P.).
- VILLASENOR-LUQUE, A. 1979b. La cafecultura mexicana ante la roya del cafeto. INMECAFÉ. Informe de la Dirección Adjunta de Producción y Mejoramiento del Café. (S.P.).
- VILLASENOR-LUQUE, A. 1982. Costos de producción de café cereza en el municipio de Atzacan, Ver. Tesis de Maestría en Ciencias Colegio de Post-Graduados, Chapinco, México.
- WORMER, T. M. 1964. The growth of coffee berry. Ann. Bot. No. 28:47-55.