



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

- I Z T A C A L A -

**" ESTUDIO COMPARATIVO DEL CRECIMIENTO EN CULTIVOS
DE CAFE (*Coffea arabica* L. v. c. *Caturra*)
A PLENO SOL Y BAJO SOMBRA, EN COATEPEC,
VERAGRUZ".**

JUAN CARLOS MARTINEZ AVILA

México, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El presente trabajo de tesis se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Programa Agroecología bajo la asesoría del Dr. Luis Fanjul Peña.

DEDICATORIA

A † ZEOMARA CAMACHO DE MARTINEZ y † MAGDALENO MARTINEZ RAMIREZ. A ellos dos con mi amor, admiración y recuerdo por siempre.

A VELIA AVILA Vda. de MARTINEZ por su paciencia durante mi desarrollo profesional.

A RITA C. WINFIELD VALENCIA por su constante estímulo durante la realización de este trabajo de tesis.

Juan Carlos

INDICE

DEDICATORIA	I
INDICE GENERAL	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABLAS	V
RESUMEN	VI
CAPITULO 1	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos de la Tesis	6
1.3 Objetivos del proyecto de investigación	
a largo plazo	6
CAPITULO 2	8
REVISION DE LITERATURA	8
2.1 Antecedentes	8
2.1.1 Hábitat natural del cafeto	8
2.1.2 Distribución del cafeto	10
2.1.3 Formación de la variedad Caturra	10
2.1.4 Ciclo de crecimiento	11
2.2 Agroecología	13
2.2.1 Fisiología del cafeto	13
2.3 El cultivo de café en México	16
2.3.1 Producción nacional	19
2.3.2 Sistemas de siembra	20
2.4 Investigaciones realizadas en cultivos	
bajo sombra y a libre exposición	21

2.4.1 Resultados obtenidos en el cultivo bajo sombra	21
2.4.2 Resultados obtenidos en el cultivo a libre exposición	22
CAPITULO 3	25
3.1 MATERIAL Y METODOS	25
3.2 Localización del área de estudio	25
3.3 Clima	25
3.4 Duración del proyecto	29
3.5 Diseño experimental	29
3.6 Material utilizado	35
3.7 Prácticas culturales	35
3.7.1 Preparación de los terrenos	35
3.7.2 Siembra de los terrenos	37
3.7.3 Limpias y fertilizaciones	38
3.8 Parámetros estudiados	38
3.8.1 Parámetros microclimáticos	38
3.8.2 Análisis de suelos	40
3.8.3 Parámetros de crecimiento	42
3.8.4 Análisis de productividad	43
3.8.5 Análisis de clorofila	45
3.8.6 Análisis estadístico	46
CAPITULO 4	48
RESULTADOS	48
4.1 Análisis microclimático	48
4.1.1 Temperatura del aire	48

4.1.2	Temperatura del suelo	48
4.1.3	Evaporación Piche	52
4.1.4	Humedad relativa	52
4.1.5	Radiación solar	52
4.1.6	Humedad del suelo	56
4.2	Análisis químico del suelo	56
4.2.1	pH del suelo	56
4.2.2	Materia orgánica	56
4.2.3	Nitrógeno	58
4.2.4	Fósforo	59
4.2.5	Potasio	59
4.3	Análisis de crecimiento vegetativo	59
4.3.1	Altura de la planta	59
4.3.2	Diámetro del tallo	62
4.3.3	Longitud de ramas	65
4.3.4	Número de nudos del tallo	68
4.3.5	Número de nudos en ramas	71
4.3.6	Número de ramas	71
4.3.7	Longitud de entrenudos del tallo	76
4.3.8	Longitud de entrenudos en ramas	79
4.3.9	Número de hojas por planta	82
4.3.1.1	Area foliar por hoja	85
4.3.1.2	Area foliar por planta	88
4.3.1.3	Indice de área foliar	91
4.3.1.4	Cobertura de la planta	94
4.4	Análisis de productividad	97

4.4.1 Análisis de biomasa	97
4.4.2 Tasa de asimilación neta	99
4.4.3 Tasa de crecimiento relativo	101
4.4.4 Area foliar específica	103
4.5 Análisis de clorofila	103
CAPITULO 5	109
DISCUSION	109
5.1 Análisis de microclima	109
5.2 Análisis químico del suelo	110
5.2.1 pH	110
5.2.2 Materia orgánica	111
5.2.3 Nitrógeno	112
5.2.4 Fósforo	113
5.2.5 Potasio	115
5.3 Análisis de crecimiento	115
5.4 Análisis de productividad	121
5.5 Análisis de clorofila	123
DISCUSION GENERAL	125
CONCLUSIONES	135
APENDICE	136
LITERATURA CITADA	159

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a las siguientes personas:

Al Dr. Luis Fanjul P. por su interés y asesoría de este trabajo de tesis.

A la M. en C. Margarita Soto E. Directora del Programa Formación Académica del INIREB, por su apoyo brindado durante mi estancia en Jalapa, Veracruz.

A la M. en C. Arlette López T. Coordinadora de la carrera de Biología de la ENEP-Iztacala, por la realización del convenio ENEPI-INIREB.

Al Ing. Agr. Antonio López M., Ing. Agr. Manuel Granados T. y Lic. en Inf. Policarpo Ronzón P. por su ayuda y sugerencias en el área de su experiencia.

Al Lic. en Est. Santiago Sánchez J. y a todo el personal del Proyecto de Computación por su cooperación en el asesoramiento y utilización del sistema de computo. •

Y en general, a todas las personas que de alguna manera contribuyeron para que la presente tesis fuera posible.

LISTA DE FIGURAS

1. Producción nacional de café reportada en promedio de 5 años a partir de 1925 hasta 1984..... 3
2. Distribución de *Coffea arabica* L. en el mundo y sus límites enmarcados por los trópicos de Cáncer y Capricornio..... 9
3. Regiones cafetaleras de México y ubicación del área de estudio..... 17
- 4-5. Perfil diagramático de cultivos de café bajo sombra y a libre exposición en La Orduña, Coatepec, Veracruz..... 26
6. Ubicación de la zona de estudio. Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 27
7. Distribución de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y precipitación (mm) en la región de Coatepec, Veracruz..... 28
8. Dimensión del terreno, distribución de parcelas y de las variedades de cafetos Caturra-Garnica con sus respectivas densidades de siembra..... 30
9. Distancia entre cafetos en la densidad alta y número de plantas por parcela..... 32
10. Entresaca de cafetos aplicada a partir del segundo año en los dos terrenos experimentales..... 33
11. Distancia entre cafetos en la densidad baja y número de plantas por parcela..... 34
12. Toma de muestras de suelos para análisis químicos en los dos terrenos..... 41
13. Variación de la temperatura del aire (t_a)($^{\circ}\text{C}$) en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 49

14. Variación de la temperatura del suelo (ts)(⁰ C) a 5cm de profundidad en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz...	50
15. Variación de la temperatura del suelo (ts)(⁰ C) a 15cm de profundidad en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz...	51
16. Variación de la evaporación Piche (EP)(mm.día ⁻¹) en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.....	53
17. Variación de la humedad relativa (HR)(%) en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.....	54
18. Variación de la radiación solar (Rs)(W.m ⁻²) en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.....	55
19. Variación de la humedad del suelo (Hs)(%) en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.....	57
20a. Crecimiento en altura (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	60
20b. Tasa de incremento en altura (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	61
21a. Crecimiento en diámetro del tallo (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra	63

21b. Tasa de incremento en diámetro del tallo (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	64
22a. Longitud de ramas por planta (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	66
22b. Tasa de incremento en la longitud de ramas por planta (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	67
23a. Número de nudos del tallo en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	69
23b. Tasa de producción de nudos del tallo en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	70
24a. Número de nudos en ramas en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	72
24b. Tasa de producción de nudos por rama en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	73
25a. Número de ramas por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	74
25b. Tasa de producción de ramas por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	75

26a. Longitud de entrenudos del tallo (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	77
26b. Tasa de incremento en la longitud de entrenudos del tallo(cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	78
27a. Longitud de entrenudos en ramas (cm) en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	80
27b. Tasa de incremento en la longitud de entrenudos en ramas en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	81
28a. Número de hojas por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	83
28b. Tasa de incremento en el número de hojas por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	84
29a. Crecimiento en el área foliar (cm ²) por hoja en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	86
29b. Tasa de incremento en el área foliar (cm ²) por hoja en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	87

30a.	Crecimiento en el área foliar (m^2) por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	89
30b.	Tasa de incremento en área foliar (m^2) por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	90
31a.	Índice de área foliar (IAF) por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.	92
31b.	Tasa de incremento en índice de área foliar (IAF) por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	93
32a.	Cobertura (m^2) por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	95
32b.	Tasa de incremento en cobertura (m^2) por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.	96
33.	Producción (g) y porcentaje (%) de peso seco por planta en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.	98
34.	Tasa de asimilación neta (TAN) ($g \cdot m^{-2} \cdot dfa^{-1}$) $\times 10^{-3}$ en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.	100
35.	Tasa de crecimiento relativo (TCR) ($g \cdot dfa^{-1}$) $\times 10^{-3}$ en sistemas de cultivo de café (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre -	

exposición y bajo sombra.....	103
36. Area foliar específica (AFE)(m ² .g ⁻¹) en hojas de cafetos (<u>Coffea arabica</u> L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra.....	104

LISTA DE TABLAS

1. Limpias y fertilizaciones aplicadas a los terrenos experimentales de la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 39
2. Resultados de análisis químicos de suelos en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 137
3. Promedio mensual de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del aire en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 138
4. Promedio mensual de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del suelo a 5 y 15 cm de profundidad en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 139
5. Promedio mensual de la evaporación Piche (mm.día^{-1}) y humedad relativa (%) en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 140
6. Promedio mensual de la radiación solar (W.m^{-2}) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 141
7. Promedio mensual de la humedad del suelo (%) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 142

8. Promedio mensual de la altura de la planta (cm) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 143
9. Promedio mensual de diámetro del tallo (cm) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 144
10. Promedio mensual de longitud de ramas (cm) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. ... 145
11. Promedio mensual del número de nudos del tallo y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 146
12. Promedio mensual del número de nudos en ramas y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 147
13. Promedio mensual del número de ramas y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 148

14. Promedio mensual de la longitud de entrenudos del tallo (cm) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 149
15. Promedio mensual de la longitud de entrenudos de ramas (cm) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 150
16. Promedio mensual del número de hojas por planta y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. ... 151
17. Promedio mensual de área foliar por hoja (cm²) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. ... 152
18. Promedio mensual de área foliar por planta (m²) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. ... 153
19. Índice de área foliar (IAF) por planta y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes, en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. 154

20. Promedio mensual de cobertura por planta (m^2) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.... 155
21. Promedio por muestreo de la producción de peso seco por planta (g) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último muestreo en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 156
22. Producción y porcentaje de distribución (%) del peso seco (g) por partes de la planta; raíz, tallo-ramas y hojas en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.... 157
23. Tasa de asimilación neta (TAN)($gm^{-2}d^{-1}$), tasa de crecimiento relativo (TCR)(d^{-1}) y área foliar específica (AFE)(m^2g^{-1}) en cafetales a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.... 158
24. Concentración de clorofila a (Ca), clorofila b (Cb) y clorofila total (Ct)($mg.l^{-1}$) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado a los tres parámetros, en hojas de cafetos cultivados a libre exposición y bajo sombra en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz..... 105
25. Coeficientes de correlación simple: parámetros microclimáticos vs. parámetros de crecimiento..... 107

RESUMEN

La cafeticultura representa una gran importancia para la economía de México ya que el cultivo de café constituye uno de los principales productos de exportación en nuestro país.

En México, este cultivo se desarrolla con problemas de baja productividad en general, que podrían agudizarse con la inevitable diseminación de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berck y Br).

El cultivo de café a libre exposición (sin sombra) o bajo sombra se desarrolla indistintamente en la actualidad; sin embargo, aún no existe evidencia experimental definitiva que permita recomendar cual sistema de cultivo es más productivo.

En este trabajo se realizó un estudio comparativo del crecimiento de café (Coffea arabica L. v.c. Caturra) a libre exposición y bajo sombra, en las zonas cafetaleras de Veracruz.

Tanto a sol como a sombra, se analizaron las variaciones microclimáticas y edáficas en relación con el crecimiento de los cafetos.

Durante un año se tomaron medidas biométricas para obtener; análisis de crecimiento y productividad a partir de la producción y porcentaje de biomasa en las distintas partes de la planta; tasas de asimilación neta y de crecimiento relativo y contenido de clorofila.

Se encontró que el crecimiento en general (biomasa, tasa de asimilación neta y de crecimiento relativo) fue mayor en los cafetos a sol durante la mayor parte del experimento. Este mayor crecimiento se debió a la mayor formación de estructuras secundarias tanto de reserva (ramas) como fotosintéticas (hojas).

Igualmente, las concentraciones de clorofila a, b y total fueron mayores en el tratamiento a libre exposición.

Aparentemente, la dinámica de crecimiento de los cafetos a sol y bajo sombra fué determinada por las variaciones microclimáticas.

Coffea arabica L. v.c. Caturra, mostró una gran capacidad de adaptación fisiológica y morfológica a pleno sol dado que presentó un mayor crecimiento en condiciones a libre exposición que bajo sombra.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION

La cafeticultura es de primordial importancia para la economía de México ya que el cultivo de café constituye una de las mayores aportaciones económicas de nuestro país en el sector agrícola (Haarer,1964), dado que es el principal producto agrícola de exportación.

A nivel mundial, México ocupa el quinto lugar entre los países productores de café en Centroamérica (Haarer,1964), subrayando con esto, la importancia socioeconómica que desempeña la actividad cafetícola en México. Dicha actividad trae como consecuencia que 0.5 millones de mexicanos dependan directamente del cultivo de café, que para 1 millón represente un complemento importante en su economía durante la época de cosecha y que 0.5 millones dependan de las actividades complementarias a la cafeticultura como son su comercio e industrialización (Gallardo Mercado,1975).

En México existen alrededor de 420,000 ha de cafetales en producción, mismas que se encuentran distribuidas en 16 Estados que se dedican activamente a la cafeticultura (Promecafé,1982).

El 98% de café del total nacional se produce en los Estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, San Luis Potosí, Hidalgo y Nayarit. El 1% de Tabasco, Jalisco y Colima y menos del 1% lo producen Michoacán, Tamaulipas, Sinaloa, México y Morelos (Nolasco y Toledo,1977).

En Veracruz, el cultivo de café se encuentra desde los 200 hasta los 1500 msnm, existiendo la mayor superficie cultivada entre los 750 y 1250 msnm. Por lo mismo, la participación diferen

cial de los municipios en la producción cafetalera esta regulada principalmente por su clima, su superficie cafetalera, su rendimiento por hectárea y su población activa en este cultivo. Los 105 municipios productores de café en Veracruz producen en total un poco más de la mitad del producto nacional total (Nolasco y Toledo, 1977).

Este Estado, que es el segundo en producción (después de Chiapas) (Inmecafé, 1981a), desarrolla su actividad cafetícola en 94, 897 ha distribuidas en la cuencas de: Coatepec, que tiene una superficie de 27,185 ha y que esta integrada por las zonas de Coatepec, Jalapa y Plan de las Hayas. Tlapacoyan, que cuenta con 15, 560 ha y que esta conformada por las zonas de Yecuatla y Tlapacoyan. Finalmente la de Córdoba, que sustenta una superficie de 52, 152 ha y que se integra por las zonas de Atoyac, Córdoba, Huatusco, Zongolica, Tezonapa, Santiago y Hueyapan. Del total de esta superficie, el 83% aproximadamente es adecuada al cultivo de café y el 17% restante es marginal (Romero Salinas, 1978).

Actualmente existen 33,427 cafeticultores en Veracruz, de los cuales 15,824 son ejidatarios, mismos que cultivan el 41% del total de la superficie cafetalera (Romero Salinas, 1978).

Si bien es cierto que la producción de café a nivel nacional ha tendido a incrementarse (Fig.1), la cafeticultura se encuentra en una situación difícil debido principalmente a:

a)- la tenencia de plantaciones viejas (de 40 a 50 años aproximadamente).

b)- la baja productividad relacionada con las formas tradicionales de manejo.

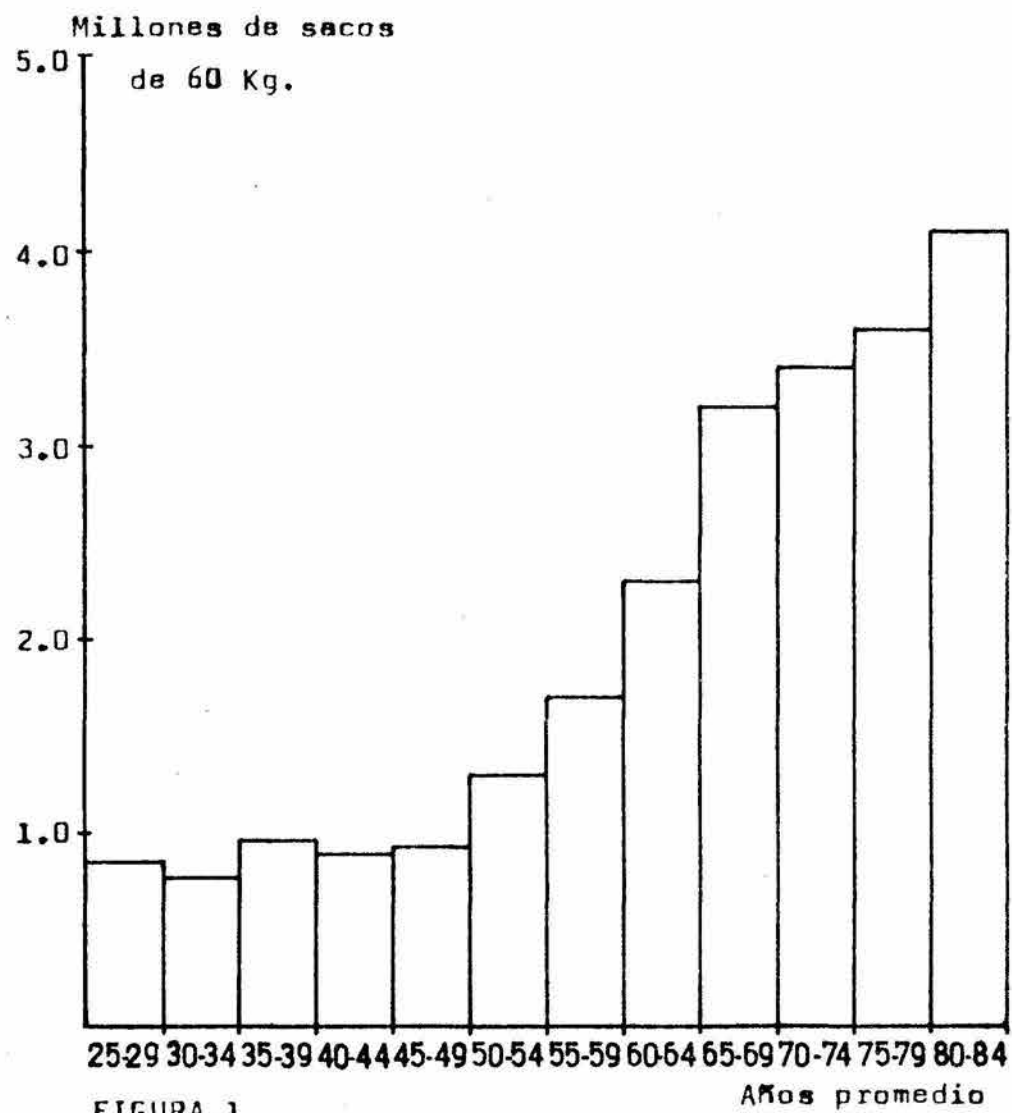


FIGURA.1

Producción nacional de café reportada en promedio de 5 años a partir de 1925 hasta 1984, en millones de sacos de 60 Kg. (Tomado de Secretaría de Educación Pública, 1983).

- c)- manejo de variedades de baja productividad.
- d)- uso de bajas densidades de siembra (de 2500 a 3000 plantas/ha).
- e)- la dispersión de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berck y Br) en las zonas cafetaleras del país.

Al respecto, en julio de 1981 se detectó el primer foco de infección en el Ejido Carrillo Puerto, Municipio de Tapachula, Chiapas. Los avances mas significativos de la roya son su llegada al Istmo de Tehuantepec, Oaxaca y Catemaco, Veracruz. La superficie afectada hasta mayo de 1985 fué de 122,377 ha que representan el 24.6% de la superficie total cultivada en el país (De la Cerda,1985).

La expansión del patógeno se debe a las características que presentan las plantaciones de café. Tradicionalmente la planta de café se ha cultivado bajo sombra, lo cual propicia condiciones favorables para el desarrollo del patógeno (19^o a 25^oC, alta humedad atmosférica, rocío y/o lluvias y sombra)(Inmecafé,1981a).

Coffea arabica L. se originó en los bosques tropicales de Etiopía bajo condiciones de sombra (Alvim y Kowzlowzki,1977), razón por la cual se le considera como una planta de sombra (umbrófila). No obstante su origen y el manejo que ha tenido durante muchos años, esta especie se esta cultivando en algunos países a libre exposición solar. Esta modalidad se ha implementado en países como Brasil, Kenya, Hawai y otros, y al parecer, la causa de esto fué en parte debido a la presencia de la roya en sus regiones cafetaleras . Si bien es cierto que en el mundo existe la tendencia a cultivar el café a pleno sol, en México aún no es una prác-

tica generalizada pues solo se lleva a cabo en plantaciones de productividad relativamente alta. Al respecto, se tiene como antecedente empírico que la intensificación de las prácticas del cultivo, por ejemplo; poda, fertilización, control de plagas, permite cultivar la planta de café a libre exposición sin ningún inconveniente de tipo fisiológico (Alvim,1967); sin embargo, económicamente no se tiene la seguridad de que exista una relación satisfactoria entre el incremento en el rendimiento del cultivo y el incremento en los gastos generados por dicha intensificación del cultivo (Alvim,1967).

Tomando en cuenta lo anterior y considerando que hasta ahora no hay evidencia experimental que muestre que la planta de café se desarrolle y produzca mejor a sol que a sombra (Guiscafre-Arri^{llaga et al.},1955), existen evidencias de que los cafeticultores en el Estado de Veracruz tienden a modificar el agroecosistema cafetalero. Estas modificaciones consisten en cambiar el cultivo de café por el de caña de azúcar, eliminar los árboles que dan sombra al cultivo, y en muchos casos, implantar las nuevas plantaciones de café a libre exposición como es el caso de las Congregaciones La Orduña y Consolape, Municipio de Coatepec, Veracruz. Sin embargo, es posible que la práctica del cultivo a pleno sol no tenga éxito dadas las condiciones climáticas y ecológicas de estas zonas (Jiménez-Avila,1979a).

Por lo anterior, se requiere estudiar los efectos de la radiación solar en la fisiología y el crecimiento de la planta de café ya que esta información es importante a nivel regional y por lo mismo podrá permitir el considerar alternativas de manejo para

la región de estudio.

1.2 OBJETIVOS DE LA TESIS

El objetivo primordial del presente estudio es el de establecer la comparación cuantitativa del crecimiento y productividad de Coffea arabica L. v.c. Caturra, a libre exposición y bajo sombra la cual se detalla a continuación:

- a)- Analizar las diferencias en el crecimiento de los cafetos en los dos sistemas de cultivo;
- b)- Estudiar las respuestas de adaptación morfológica y fisiológica de las plantas en función de las condiciones de radiación de los dos sistemas de cultivo;
- c)- Estudiar las relaciones existentes entre el microclima y las tasas de crecimiento del cafeto en los dos sistemas de cultivo;
- d)- Interpretar la diferencia en la productividad de los cafetos en los dos sistemas de cultivo.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACION A LARGO PLAZO

- a)- Realizar un estudio comparativo de crecimiento, productividad y rendimiento de Coffea arabica L. v.cs. Caturra y Garnica, cultivadas a libre exposición y bajo sombra a dos densidades de siembra (3085 y 6172 plantas/ha);
- b)- Analizar la dinámica de crecimiento del cafeto en la región central de Veracruz durante un período no menor de 5 años, bajo condiciones de libre exposición y a sombra;
- c)- En base a las dos densidades de siembra utilizadas, deter

minar que índice de área foliar (IAF) es el mas adecuado para obtener mayores rendimientos;

- d)- Determinar si el cultivo de café a libre exposición solar es económicamente rentable como para extender su manejo a las demás regiones cafetaleras del Estado de Veracruz.

CAPITULO 2

REVISION DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 HABITAT NATURAL DEL CAFETO

Los límites geográficos que enmarca la zona intertropical (Fig.2) tienen una gran importancia agrícola ya que es entre estos donde se encuentra uno de los cultivos de gran interés económico internacional: el café (Coffea arabica L.).

El cultivo de café se da en los tres continentes: americano, africano y asiático. El primero en importancia histórica es el africano por la reserva de germoplasma de esta especie nativa.

La planta de café es originaria de Etiopía, en la zona de las altiplanicies o bosques tropicales, entre 6° y 9° de latitud Norte y entre 34° y 40° de latitud Este, con altitudes de 1600 msnm a 2800 msnm. En estas regiones la temperatura media oscila entre 20° y 25°C, con mínimas de 4° a 5°C y con máximas de 30° a 31°C. La lluvia se encuentra relativamente bien distribuida en el año y varía de 1600 mm a 2000 mm; sin embargo, existe una estación seca de 4 a 5 meses de duración (Alvim y Kowzlowzki, 1977). En su hábitat de origen y en estado silvestre, el cafeto forma parte de un bosque subdividido en cuatro estratos: el superior que abarca de 30 a 40 m de altura aproximadamente, el siguiente de 20 m, otro de 8 a 13 m en el cual se encuentra la planta de café y otras plantas arbustivas y por último el estrato herbáceo (Sylvain, 1958c). Lo anterior indica que la planta de café evolucionó bajo condiciones de sombra, a bajas temperaturas y bajo períodos relativamente secos durante el año.

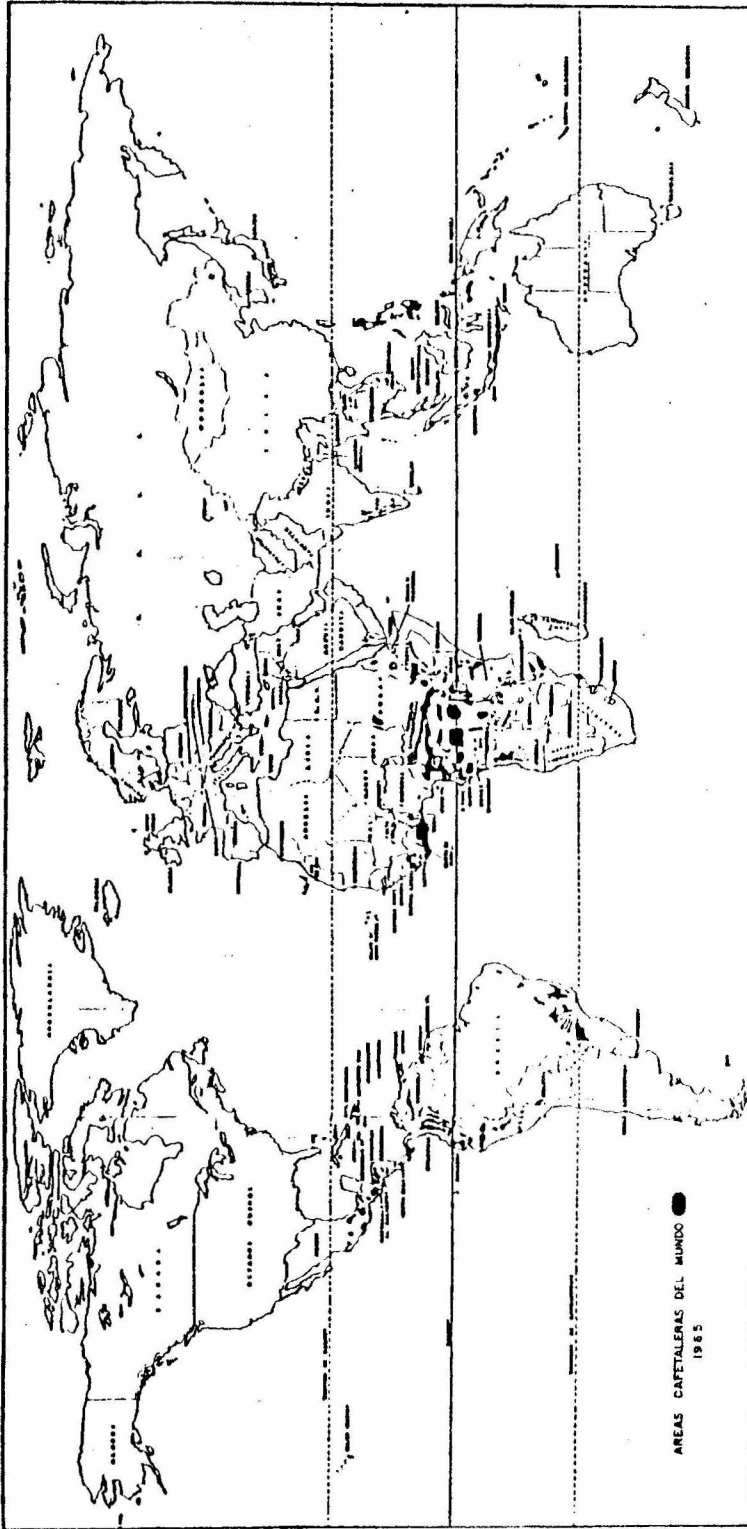


FIGURA.2

Distribución de Coffea arabica L. en el mundo y sus límites enmarcados por los trópicos de Cáncer y Capricornio. (Tomado de Krug y Poerck, 1969).

2.1.2 DISTRIBUCION DEL CAFETO

La distribución de la planta de café se dirigió del Continente africano hacia América por las islas Martinicas y también a Asia por Ceilan, la parte sur de India (Krug y Poerck, 1969).

América Latina cuenta con una extensa superficie cafetalera y dada su forma de expansión, se encuentran principalmente cultivos de la especie Coffea arabica L. Por lo mismo, todas las plantaciones primitivas de la variedad Typica cultivadas en este continente son de ascendencia similar y deben considerarse en términos generales como única progenie (Krug y Poerck, 1969).

2.1.3 FORMACION DE LA VARIEDAD CATURRA

Los genetistas han demostrado que dentro de la especie Coffea arabica, solo las variedades Typica (o Arabica) y Bourbon son las variedades botánicas, las demás son resultado de mutaciones de las dos primeras. Por ejemplo; Angustifolia, Amarella, Straminea, Semperflorens, Maragogipe, Laurina, Mundo Novo, Catuai y Caturra (Haarer, 1964).

La variedad Caturra es originada por una mutación de Coffea arabica L. v.c. Bourbon, observada en Brasil (Coste, 1969). El arbusto es bajo, de aspecto "rechoncho", con hojas abundantes y corta longitud de entrenudos. Su productividad es alta comparada con Coffea arabica L. v.c. Typica que es la más común en las zonas cafetaleras de México.

2.1.4 CICLO DE CRECIMIENTO

Si bien es que el ciclo de crecimiento de Coffea arabica L. pueda presentar variaciones en función de las condiciones climáticas de cada región, en general su ciclo de vida comprende 3 períodos:

a)- Crecimiento: se inicia con la germinación y concluye en su fase adulta. Esta etapa varía entre 4 y 7 años.

b)- Producción: este período depende de la variedad de café. Sin embargo; en promedio tiene una duración de 15 a 20 años.

c)- Senescencia o decadencia fisiológica: culmina con la muerte del café (Coste,1969).

CRECIMIENTO VEGETATIVO

El ciclo de crecimiento vegetativo del café presenta dimorfismo. Sus primeras ramificaciones aparecen 4 o 6 semanas después del nacimiento de la planta (Coste,1969).

El tallo ortotrópico (de crecimiento vertical) se origina a partir de la yema apical. Dicho tallo presenta hojas opuestas y decusadas. En la axila de cada hoja hay dos tipos de yemas; la yema inferior (también llamada yema accesoria o brote axilar primario) es latente y solo se activa para dar origen a renuevos ortotrópicos en caso de que el tallo sea decapitado o agobiado (doblado). Lo anterior también sucede si la planta es expuesta continuamente a temperaturas superiores a 30°C (Alvim,1967; Maestri y Barros,1981). La yema superior (el brote más largo) da origen a renuevos que producen ramas plagiotrópicas (de crecimiento horizontal) y con hojas opuestas.

Las estructuras foliares y fructíferas se forman en las yemas axilares de estas ramas pero solo en los nudos formados durante el período de crecimiento anterior (Alvim,1967; Maestri y Barros,1981).

El tiempo de vida medio de las hojas del cafeto es de 1 año. No obstante, puede variar por las condiciones climáticas (Canell, 1971; Barros y Maestri,1972, citados por Maestri y Barros,1981).

CRECIMIENTO REPRODUCTIVO

En el tercer año de vida del cafeto, generalmente aparecen los botones florales (Coste,1969). Las yemas florales crecen lentamente alrededor de 2 meses, alcanzando un tamaño de 8 mm aproximadamente. Posteriormente su crecimiento cesa por varias semanas. La inducción de la antesis en las yemas florales sucede en un período de 8 a 10 días. Por lo general, la lluvia subsiguiente a un período de sequía es lo que estimula dicho proceso fisiológico. R.Porters (1956, citado por Alvim,1967) define el umbral pluviofloral como la cantidad de agua necesaria recibida por el suelo para crear y mantener un estado de turgencia óptimo y así desencadenar la floración.

La floración no sucede en todas las yemas de un nudo, pues algunos persisten en estado de latencia, activándose posteriormente para dar origen a estructuras florales o a ramas secundarias (Coste,1969).

Los procesos de fecundación (autógama), floración y la posterior caída de las piezas florales transcurren de 2 a 3 días en promedio (Coste,1969).

Wormer (1964) y Cannell (1971; citado por Maestri y Barros, 1981) describen el crecimiento del fruto del cafeto en 5 períodos:

1) De crecimiento despreciable; es el que sigue a la fecundación y es de crecimiento casi nulo y termina a las 4 semanas.

2) De rápido crecimiento: presenta un crecimiento acelerado y continuo que abarca hasta las 8 semanas.

3) De crecimiento suspendido o lento: en donde se da un endurecimiento del endocarpio y una división de los tejidos de la semilla. Se lleva de 14 a 15 semanas.

4) De llenado de endospermo: se presenta un cambio en la coloración del pericarpio y los frutos aumentan de tamaño rápidamente. Tarda de 4 a 5 semanas.

5) De maduración: la cual termina con la misma maduración del fruto.

2.2 AGROECOLOGIA

2.2.1 FISILOGIA DEL CAFETO

Existen factores intrínsecos (fotosíntesis, fotoperíodo y balance hormonal) y factores climáticos (intensidad luminosa, temperatura y disponibilidad de agua) que regulan en forma directa el crecimiento vegetativo, reproductivo y la productividad de la planta de café.

FOTOSINTESIS

La planta de café presenta un mecanismo fotosintético C3 y exhibe fotorrespiración (Maestri y Barros, 1981).

Nutman (1937) concluyó que la tasa de asimilación neta varió directamente con la intensidad luminosa cuando ésta fue baja pero una intensidad de luz alta la redujo. En tiempo nublado o bajo sombra la tasa de asimilación permanece en un valor constante y relativamente alto durante el día, mientras que a sol ésta mostró grandes depresiones durante las horas del medio día. Este descenso en la intensidad de fotosíntesis a pleno sol fué atribuido a un cierre parcial de los estomas.

Alvim (1953) y Huerta (1954), determinaron la influencia de la intensidad luminosa en la tasa de asimilación neta (TAN) en plantas de café. La TAN equivale al aumento en peso seco de la planta por unidad de área foliar y por unidad de tiempo, expresándose generalmente en $\text{gramos}/\text{dm}^2/\text{semana}$. Aún cuando no es una medida directa de la fotosíntesis, proporciona el exceso del aumento de materia seca debido a la fotosíntesis sobre las pérdidas causadas por la respiración. Esta medida tiene mayor interés práctico que la medición de la fotosíntesis por sí sola. En general, estos autores encontraron que la TAN aumentó linealmente con el logaritmo de la intensidad luminosa.

Sylvain (1958c) sugiere que la baja actividad fotosintética del cafeto, comparada con otras especies vegetales (Nutman, 1947), puede ser un factor limitante de la capacidad de producción de la planta, a la vez que la hace más susceptible a los disturbios fisiológicos tales como la descendente.

FOTOPERIODO

El crecimiento y la floración del cafeto están regulados por la duración del día (Franco, 1940; Piringer y Borthweck, 1955).

Aparentemente la iniciación de la yema floral puede ocurrir en cualquier período del año; sin embargo, la floración presenta una periodicidad anual, aún en regiones ecuatoriales (Maestri y Barros, 1981).

Los cafetos de todas las especies se consideran plantas adaptadas a días cortos. En su país de origen así como en los demás países donde se cultiva, la duración del día varía entre 10.5 y 13.5 horas. No obstante, es capaz de florecer con una duración de 14 horas diarias, límite que una vez sobrepasado no tiene lugar la formación de flores (Coste, 1969).

BALANCE HORMONAL

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

La floración sucede bajo la inducción de diversos factores climáticos; alternancias estacionales, regímenes de lluvia y sequía, alternancia de temperaturas diurna y nocturna e iluminación, entre otros. Pero el control hormonal es de los más determinantes (Coste, 1969).

Alvim (1958, 1967) sugiere que la floración del cafeto es probablemente regulada por mecanismos de absorción del agua o por temperaturas relativamente bajas que podrían cambiar el curso del proceso respiratorio, lo que a su vez estimularía la síntesis o activación de una hormona vegetal que induzca la antesis. Esta hormona podría ser la giberelina o un compuesto relacionado químicamente con el ácido giberélico.

Bowning et al. (1970) sugieren que el ácido abscísico es el responsable en un 75% del estado de latencia de las yemas florales del cafeto.

2.3 EL CULTIVO DE CAFE EN MEXICO

México con latitudes de $14^{\circ}30'$ a $32^{\circ}43'$ Norte (García, 1983) y una superficie total de $1,970.376 \text{ km}^2$, presenta una importante división biogeográfica: la Neártica que tiene vegetación de climas templados, lo mismo de regiones áridas que de regiones húmedas tropicales, al norte de la República y la Neotropical: que incluye especies de climas tropicales al sur de México (Bassols, 1976). De igual forma este país se define por su variedad climática que esta determinada principalmente por diferencias de altitud. Por lo anterior, se tienen cultivos entre los cuales figuran el maíz, la papa, la caña de azúcar, el algodón, el cacao, el plátano y el café (Krug y Poerck, 1969). Este último se cultiva en las zonas montañosas del sur de la República (Fig. 3) especialmente en los estados de Chiapas, Veracruz y Oaxaca (Coste, 1969).

En México el cultivo de café se expandió desde 1936 a la fecha, debido al estímulo de los precios remuneradores del grano.

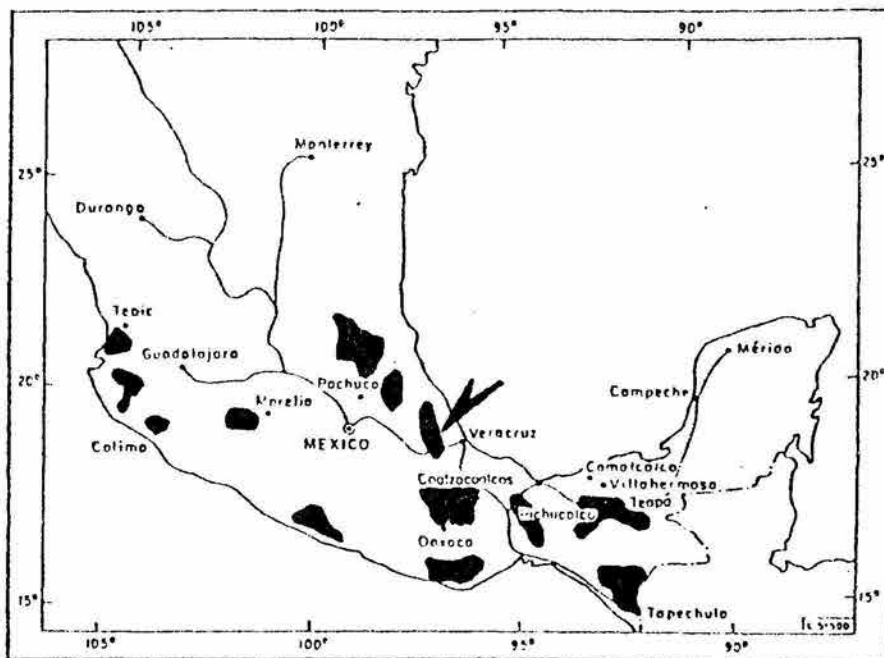


FIGURA. 3

Ubicación del área de estudio. En el mapa se observan las regiones cafetaleras (■) de México. Tomado de Krug y Poerck (1969).

Las áreas cafetaleras se concentran en los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla que en conjunto producen el 90% de la producción total (Krug y Poerck, 1969). De 1948 a 1958 la superficie total cafetalera se extendió de 149,000 ha a 300,000 ha. Posteriormente, en 1969, el gobierno estableció la política de reducir las quizás hasta que quedaran 240,000 ha (Krug y Poerck, 1969).

En general, las áreas cafetaleras están plantadas con variedades de Coffea arabica L. predominando la variedad Typica en un 80% del área total, Bourbonn con 8% y el 3% restante lo ocupan otras variedades como Caturra y Maragogipe. La especie Coffea arabica L. que sistemáticamente es sinónimo de Coffea canephora Pierre ex Froehner (Coste, 1969) también se encuentra en cultivares pero en una proporción mucho menor (Krug y Poerck, 1969)

Después de Chiapas, Veracruz es el siguiente Estado de importancia en la República que se dedica activamente al cultivo de café (Inmecafé, 1981b). Su área cafetalera es considerablemente grande; sin embargo, la región con mayor potencialidad de producción corresponde a la parte central del Estado. Entre otras, Coatepec es una de las regiones cafetaleras que en la actualidad tiene en su área total un 80.7% de cultivos de café, 12.6% de caña de azúcar, 2.7% de pastizales y el resto corresponde a urbanización (Jiménez-Avila y Gómez-Pompa, 1982).

Las primeras plantaciones de café en el Estado de Veracruz se establecieron después de un desplazamiento parcial de bosque de niebla y de cultivos tradicionales como el maíz, frijol, yuca, calabaza y otros (Jiménez-Avila, 1981). En sus inicios, el cafeti-

cultor no contaba con una orientación técnica que le ayudara al buen manejo del cultivo y solo aplicaba técnicas que por divulgación llegaban a estas regiones. Establecido el cultivo de café y con la experiencia que tenía en otros cultivos, el cafeticultor seleccionó, y esto por razones referentes al origen del cafeto, diferentes especies de árboles para sombra. Posteriormente, las instituciones dedicadas al mejoramiento del café seleccionaron las especies que consideraron más adecuadas para regular la carga radiativa sobre los cafetales hasta llegar a la utilización de algunas especies del género Inga, como I. leptoloba, I. vera, I. punctata, I. jinicuil, así como también especies de Platanus lindeniana, Musa paradisiaca (plátano), Citrus sinensis (naranja) y otros (Jiménez-Avila, 1981).

2.3.1 PRODUCCION NACIONAL

En lo que a producción de café se refiere, en México permaneció estable hasta 1950 pero se incrementó considerablemente durante la década 1950-59. Se mantuvo constante hasta 1961-64 y a partir de 1969 hasta 1981 se incrementó a excepción de 1973 y 1977 (Inmecafé, 1981) (Fig. 1).

La producción nacional está condicionada por la producción diferencial de cada Estado (pag. 1y2), misma que a su vez corresponde a la situación ineficiente de la cafeticultura, debido a las formas tradicionales de manejo (pag. 2y3). Particularmente, se ha observado que las densidades de siembra utilizadas generalmente (2500 a 3000 plantas/ha), dan como resultado una productividad baja; sin embargo, el uso de densidades altas no es una práctica

común, sobre todo en los cafeticultores de pequeña y mediana producción. Ligado a estos problemas de primera importancia, existe el de la preocupación por la inevitable expansión de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk y Br) hacia las demás regiones cafetaleras (pag.4). Los cafeticultores fundamentan su preocupación en las experiencias que otros países han tenido con la introducción de la roya a sus zonas cafetaleras, y saben que de no plantearse programas fitopatológicos en respuesta al patógeno, los daños serían considerables tanto en su economía familiar como en cultivos de café en general.

2.3.2 SISTEMAS DE SIEMBRA

La planta de café (Coffea arabica L.) se desarrolló originalmente en regímenes de sombra, y el cultivo de ésta, se ha realizado así por tradición a través de los años (Guiscafre-Arrillaga et al. 1955). Por lo mismo se le ha considerado como una planta umbrófila; sin embargo, la práctica de cultivar el cafeto bajo sombra tiende a desaparecer gradualmente (Coste, 1969). El café se está cultivando más y más a pleno sol, actividad que se ha generalizado en Brasil, Kenya y Hawaii. En México y otros países centroamericanos se sigue cultivando bajo sombra; sin embargo, también se practica el cultivo a sol. No obstante la falta de comprobación científica en lo referente a si la productividad bajo sistemas como éste, sea mayor que bajo sombra.

De aquí el interés de conocer que sistema de cultivo (a pleno sol o bajo sombra) es el más adecuado a las condiciones ecológicas que presenta cada región (Jiménez-Avila, 1979a).

Al respecto, se han realizado excelentes trabajos en diversos países, los cuales aportan información referente al crecimiento, productividad y rendimiento de la planta de café cultivada a sombra y a libre exposición, tal como se muestra a continuación.

2.4 INVESTIGACIONES REALIZADAS EN CULTIVOS BAJO SOMBRA Y A LIBRE EXPOSICION

2.4.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CULTIVO BAJO SOMBRA

Nutman (1937a), Nunes et al. (1968), Huxley (1967) y Kumar y Tiezen (1980a), determinaron la velocidad de fotosíntesis y encontraron que ésta es mayor bajo sombra que a libre exposición.

Painer (1942) observó que la planta de café cultivada a pleno sol tiene mayor fructificación; sin embargo, la calidad del grano es deficiente además de que presenta fluctuaciones en su producción. Los cafés suaves y de alta calidad se deben a que la sombra del cultivo reduce las variaciones del microclima.

Machado (1946) encontró que con 40% de sombra el rendimiento fue mayor que a sombra densa y que a pleno sol. Registró un aumento en el tamaño de las hojas y una disminución del número total de raíces.

Montealegre-Carazo (1955), Haarer (1955), Laines del Cis (1979) y Bran (1980), argumentan que los árboles de sombra protegen a los cultivos de la radiación directa y del viento, evitando la erosión a la vez que forma con éste un microclima óptimo para el crecimiento del cafeto.

Huerta (1954) encontró que aún y cuando el número de hojas aumentó con la intensidad lumínica, la superficie foliar de la

planta no experimentó algún cambio significativo.

Muller (1959) argumenta que la sombra es necesaria para evitar la muerte progresiva que resulta de la exposición directa al sol y de la falta de agua.

Alvim (1967) observó un cierre parcial de los estomas en cafetos cultivados a libre exposición solar, infiriendo con esto, que el crecimiento de la planta de café es mejor bajo sombra.

Coen (1957) argumenta que la temperatura del suelo influye significativamente en el desarrollo de las raíces. El mejor desarrollo radical se obtuvo a temperaturas de 26^oC durante el día y 20^oC durante la noche en cultivos bajo sombra.

Bergman et al. (1970), encontraron que en cafetos de 15 a 20 días después de la germinación, los de sol mostraron una tasa de asimilación neta (TAN) mayor que los de sombra, pero después de 2 o 3 meses, estos últimos superaron a los cultivados a sol.

2.4.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CULTIVO A LIBRE EXPOSICION

Triana (1957) observó que los cafetos a pleno sol tienen mayor actividad fisiológica debido a la mayor carga radiativa, solo que para mantener dicha actividad se requiere de una fertilización mas frecuente. El autor reporta que el cultivo a libre exposición tuvo un aumento de 153% respecto del cultivo bajo sombra, en lo referente a su producción.

Alvim (1960), Carvalho (1961) y Jordán Molero (Inédito), observaron mayor producción a sol que a sombra, comparando el desarrollo a libre exposición y bajo sombra.

Suárez de Castro y Montenegro (1961), determinaron que la cosecha es mayor a sol, por el hecho de que los cafetos presentan una condición básica mas adecuada para sostener cosechas mas abundantes.

Guiscafre-Arrillaga et al. (1955) y Gordon (1956), reportaron que utilizando el método de cultivo del cafeto al sol en barreras autosombreadas se evita la erosión.

Castillo (1961) encontró que la tasa de asimilación neta (TAN) es mayor en cultivos a pleno sol, registrando mayor crecimiento vegetativo.

Abuña et al. (1965), a partir de un estudio de rendimiento de nueve variedades de café cultivadas a sol y bajo sombra, observaron que la producción fue mayor a pleno sol.

Castillo (1966) obtuvo mayores producciones en cultivos a pleno sol que bajo sombra, dado que en los primeros la cantidad de flores así como el crecimiento vegetativo fue mayor.

García y Lugo (1972), analizaron la productividad de 16 variedades de Coffea arabica L. cultivadas a libre exposición y bajo sombra (40% de sombra). Independientemente de la capacidad de producción de cada variedad, en general los rendimientos fueron mas altos a pleno sol.

Jaramillo-Robledo (1976) observó que la sombra en el cafeto afecta sus procesos fisiológicos, manifestandose esto en un desarrollo lento de frutos y consecuentemente un período de cosecha mas largo.

Los resultados experimentales de que se disponen actualmente,

indican que la planta de café no se comporta como una especie estrictamente de sombra en lo que respecta a su reacción con la luz (Alvim, 1967). Dado que no se tienen datos convincentes de que la luz directa del sol por sí, sea dañina a la planta de café, ya que se ha encontrado que existe una relación directa entre la intensidad luminosa y la intensidad de crecimiento relativo de la planta; el peso seco, el número de ramas y de hojas, el diámetro del tallo, todos manifiestan un aumento con la intensidad luminosa hasta una máxima exposición. Sin embargo, contradictoriamente también se ha reportado que bajo sombra se da un crecimiento tanto de plántulas como de plantas adultas de café (Alvim, 1967).

Las investigaciones que se han realizado hasta la fecha no permiten dar una respuesta única en lo referente al comportamiento y desarrollo de la planta de café bajo un sistema de cultivo o de otro pues la información es parcial y aislada. Es claro también que los resultados que se obtengan en lo sucesivo serán de igual forma parciales; sin embargo, la validez de dichos resultados se fundamenta en la aportación que puedan tener a nivel regional y con la obtención de información experimental considerar la mejor manera de cultivar el cafeto.

CAPITULO 3

3.1 MATERIAL Y METODOS

3.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte central del Estado de Veracruz (Fig.3).

Este trabajo se realizó en dos terrenos experimentales que en condiciones originales sostenían árboles de I.jinicuil, I.lepto-loba, I.vera, Musa sapientum, Citrus sinensis y Coffea arabica L. (Fig.4). El que se destinó como terreno de libre exposición solar sostenía árboles de Musa sapientum y Coffea arabica L. además de abundantes especies de maleza (Fig.5).

Ambos terrenos que presentan una distancia de 50 m entre sí, se localizan exactamente en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz; en el km 2 de la carretera Coatepec-Jalapa vía las Trancas (Fig.6). Esta región se ubica a 19°26'N y 96°56'O, a una altitud de 1500 msnm, con una precipitación pluvial promedio de 1975 mm anuales y una temperatura media anual de 18.9°C (Romero Salinas,1978).

3.3 CLIMA

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1970), esta región presenta un tipo de clima (A)C(fm)(w")a(i')g. El clima es tropical lluvioso (A), con temperatura media anual en el mes mas frío (enero) de 15.7°C, con mas de 40 mm de lluvia C(fm) en el mes mas seco (enero y diciembre), presencia de canícula (w"), verano caliente -a-, con una temperatura media del

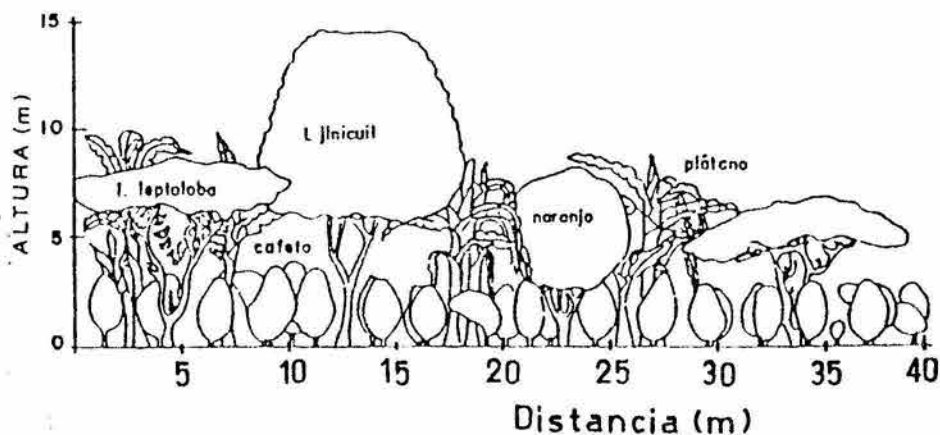


FIGURA.4

Perfil diagramático del cultivo típico de café bajo sombra en la Congregación La Orduña, Coatepec, Veracruz. Tomado de Jiménez-Avila (1981).

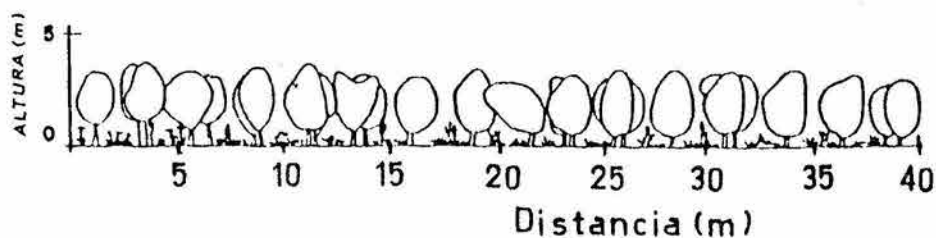


FIGURA.5

Perfil diagramático del cultivo de café a libre exposición en la Congregación La Orduña, Coatepec, Veracruz. Tomado de Jiménez-Avila (1981).

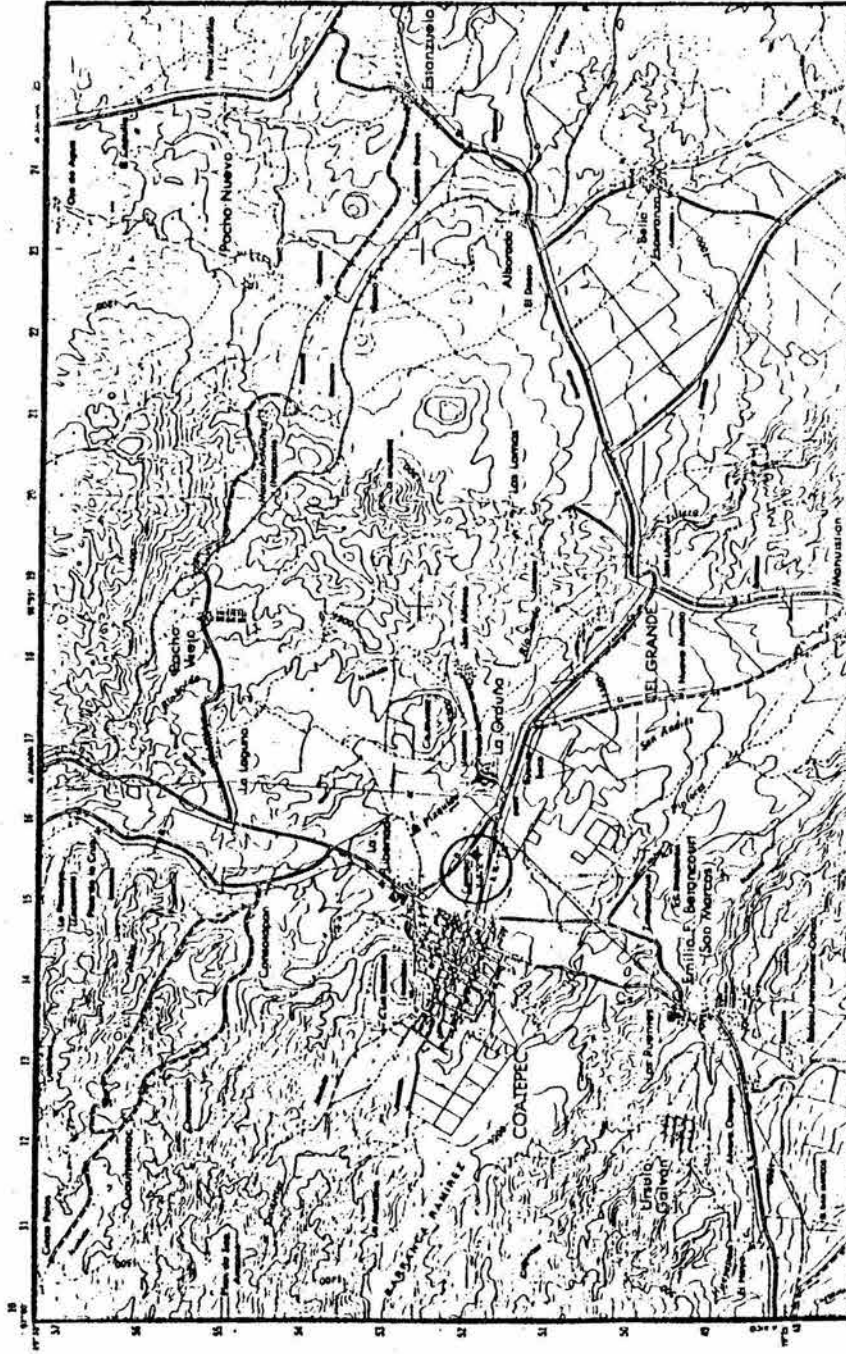


FIGURA.6
 Ubicación exacta de la zona de estudio (O). Congregación
 Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.

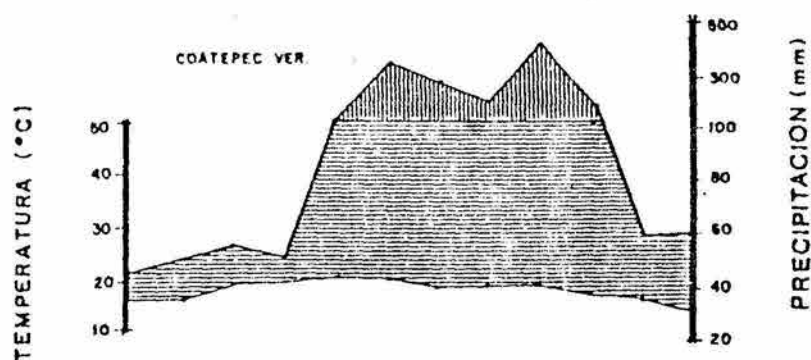


FIGURA.7

Distribución de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y precipitación (mm) en la región de Coatepec, Veracruz. (Tomado de Jiménez-Avila, 1981).

mes mas cálido de 22.0°C (i') y con una marcha anual de tipo ganges -g-.

La Figura 7 presenta la distribución de la temperatura y la precipitación de la región de Coatepec, Veracruz.

3.4 DURACION DEL PROYECTO

El proyecto de investigación a largo plazo contempla un análisis comparativo del crecimiento, productividad y rendimiento de *Coffea arabica* L. v. cs. Caturra y Garnica, bajo sombra y a libre exposición y a dos densidades de siembra (6172 y 3085 plantas por hectárea). Mismo que se pretende realizar en un tiempo no menor de 5 años ya que éste es un tiempo representativo para estudios de productividad y rendimiento de una especie perenne como Coffea arabica L. El presente trabajo, que tiene una duración de 15 meses, forma parte de este proyecto.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental se hizo en base a una distribución en cuadro latino (4x4) trifactorial con arreglo en parcelas subdivididas, ya que permite manejar experimentos con cultivos perennes y elimina los efectos de heterogeneidad del suelo en terrenos de gran extensión (De la Loma, 1966).

Para lograr las finalidades del proyecto se plantearon 8 tratamientos con 4 repeticiones (Fig.8).

DISEÑO EXPERIMENTAL: DISTRIBUCION EN CUADRO LATINO (4x4)
 TRIFACTORIAL CON ARREGLO EN PARCELAS SUBDIVIDIDAS

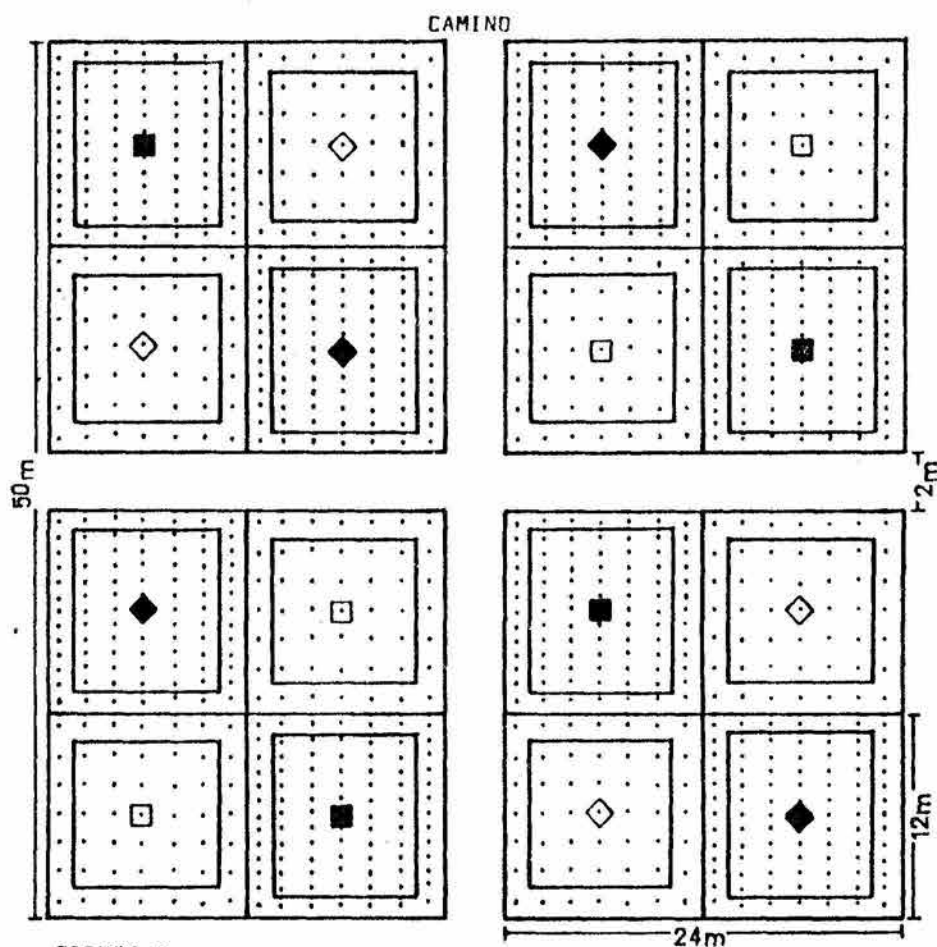


FIGURA.8

Dimensión del terreno, distribución de las parcelas y de las variedades de cafetos Caturra-Garnica y sus respectivas densidades de siembra (ésta distribución se utilizó para los dos terrenos).

- T1 y T5 v.c. Garnica densidad 6172 pl/ha.
- ◇-T2 y T6 v.c. Caturra densidad 3085 pl/ha.
- ◆-T3 y T7 v.c. Caturra densidad 6172 pl/ha.
- T4 y T8 v.c. Garnica densidad 3085 pl/ha.

T1 y T5 - v.c. Garnica densidad alta (6172 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

T2 y T6 - v.c. Caturra densidad baja (3085 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

T3 y T7 - v.c. Caturra densidad alta (6172 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

T4 y T8 - v.c. Garnica densidad baja (3085 pl/ha) a sol y sombra respectivamente.

Cada terreno presentó una superficie total de 2500 m² (50x50 m) y con 16 parcelas de 12x12 m (144 m²) respectivamente.

En las dos densidades las distancias de siembra fueron las siguientes:

Densidad alta (6172 pl/ha); 1.8 m entre surcos y 0.9 m entre plantas.

Densidad baja (3085 pl/ha); 1.8 m entre surcos y 1.8 m entre plantas.

Inicialmente, todas las parcelas se sembraron a la densidad alta (Fig.9) con la finalidad de mantener suficiente material para las mediciones de productividad en los 5 años, de lo contrario, la parcela útil de los tratamientos a densidad baja solo contaría con 25 plantas para todo el experimento, siendo éste un número de muestra reducido para trabajos de investigación con características como las del presente estudio.

Se consideró que a partir del segundo año del trasplante, se efectuará una entresaca de cafetos (eliminación de plantas) en hileras horizontales para establecer la densidad baja (Fig.10 y 11)

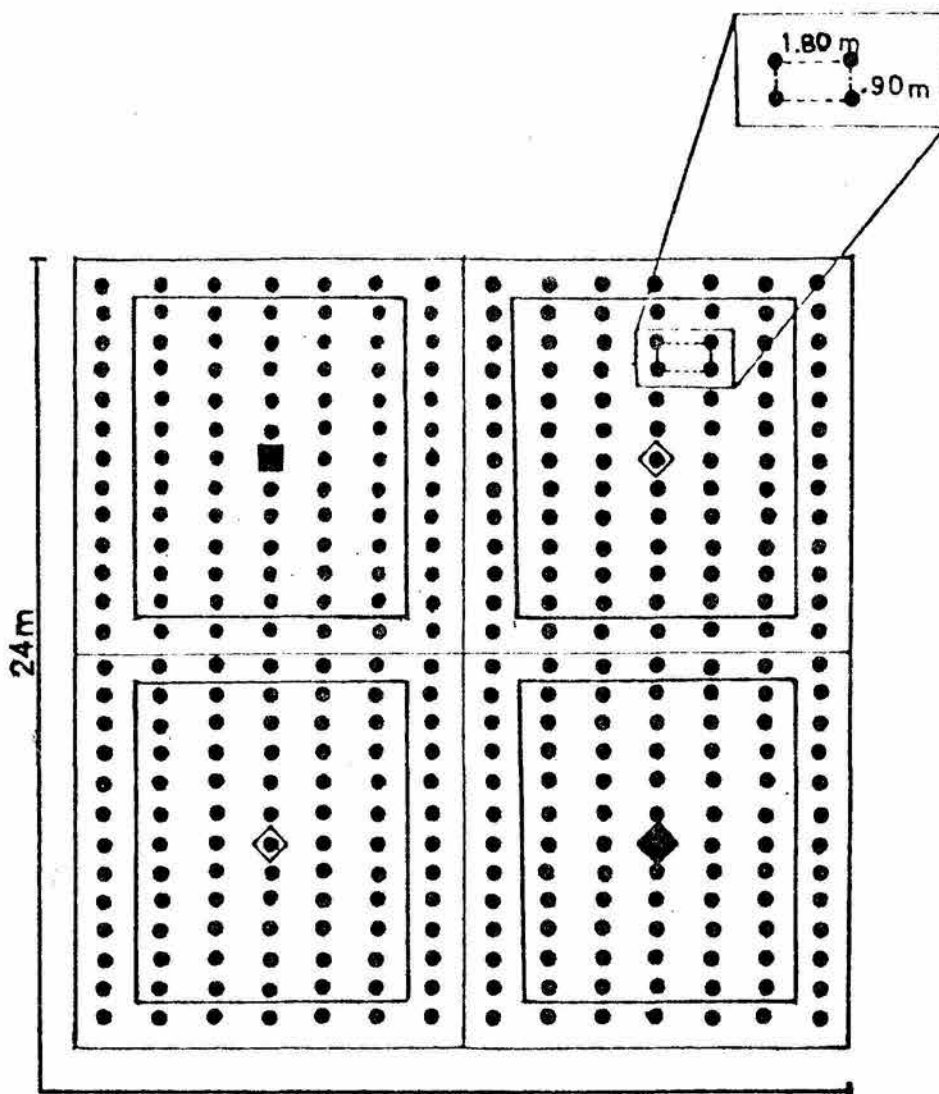


FIGURA.9

Distancia entre cafetos durante el primer año del experimento e indicación de la parcela útil en la densidad alta;
 número de plantas por parcela; 91
 número de plantas por parcela útil; 55

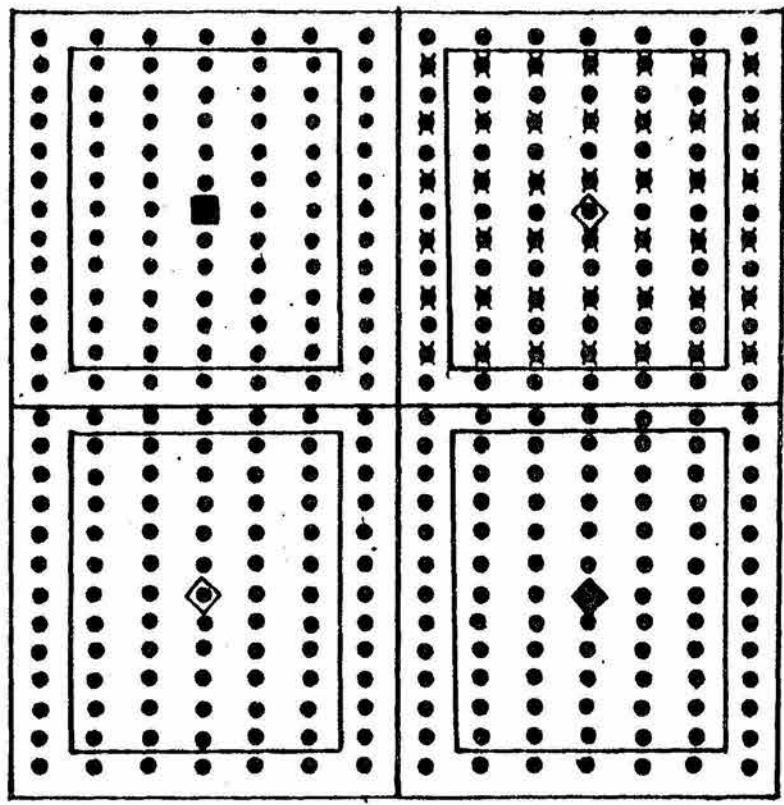


FIGURA.10

Entresaca de cafetos (eliminación de los cafetos marcados X) aplicada a partir del segundo año en las parcelas destinadas a densidad baja ◇.

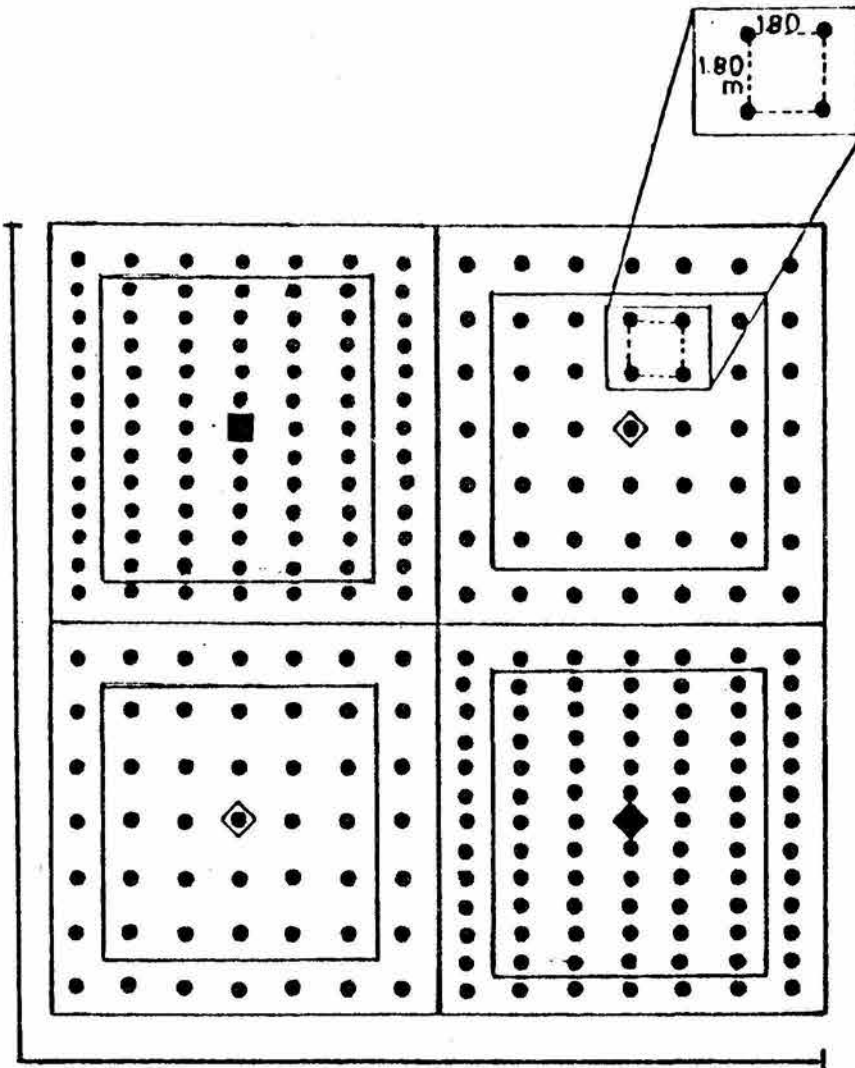


FIGURA.11

Distancia entre cafetos a partir
 del segundo año del experimento e indicación
 de la parcela útil en la densidad baja;
 número de plantas por parcela; 49
 número de plantas por parcela útil; 25

en los tratamientos T2 y T6, T4 y T8 de las variedades Caturra y Garnica respectivamente.

Para no alterar las dos densidades de siembra establecidas posteriormente, cada año se replantarán cafetos de un año de edad sustituyendo de ésta manera las plantas utilizadas en el análisis de productividad

3.6 MATERIAL UTILIZADO

Para efectuar esta investigación se utilizaron plántulas de Coffea arabica L. v.c. Caturra de un año de edad. Este material se obtuvo de plantales comerciales acondicionados bajo sombra en la Congregación de Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.

3.7 PRACTICAS CULTURALES

3.7.1 PREPARACION DE LOS TERRENOS

Las características agronómicas de los dos lotes experimentales fueron distintas, por lo que la preparación de los terrenos para establecer las plantaciones fue también diferente para cada uno. La preparación de éstos se inició en el mes de abril de 1983.

PREPARACION DEL TERRENO EN CONDICIONES DE LIBRE EXPOSICION

El desmonte total de este terreno, el cual estaba sembrado con una plantación de plátano (M. sapientum) y de cafetos en completo abandono respectivamente, se realizó introduciendo un tractor Caterpillar de 10 toneladas, excavando solamente donde había árboles de plátano y de café. Dado que este terreno no recibió ningun-

na práctica agrícola desde hace 5 años, se consideró necesario hacer un barbecho a profundidad de 1 m utilizando un arado profundo. Las capas superficiales se removieron con un arado de tres discos y finalmente se niveló el terreno ya que presentaba una pendiente de 5 grados aproximadamente.

PREPARACION DEL TERRENO EN CONDICIONES BAJO SOMBRA

El terreno presentaba un cafetal típico de la región con sombra mixta, compuesto de especies de I. jinicuil, I. leptoloba, I. vera, M. sapientum, C. sinensis y C. arabica L. v.c. Typica. En éste caso, solo fueron extraídos del terreno los árboles de plátano (M. sapientum), naranjo (C. sinensis) y café (C. arabica L.). De igual forma, solo se utilizó el Caterpillar para extraer los árboles antes mencionados, procurando no afectar el sistema radical de los árboles de sombra y alterar lo menos posible las condiciones agrícolas del suelo. Por lo anterior y dado que también hubo que barbechar, se utilizó una yunta (arado con tracción animal).

El terreno se limpió eliminando los restos de troncos y raíces. Finalmente, el rastrojo se quemó con el fin de reintegrar los elementos nutritivos al suelo. Las actividades antes mencionadas se comenzaron el 11 de abril y terminaron al fin del mismo mes de 1983.

3.7.2 SIEMBRA DE LOS TERRENOS

En esta etapa se realizaron las siguientes actividades en orden secuencial:

- delimitación de las parcelas en ambos terrenos por medio de estacas y cordones;
- trazo de las distancias de siembra entre cafetos (1.8 m entre surcos y 0.9 m entre plantas);
- excavación de hoyos de 40 cm de diámetro por 40 cm de profundidad, en los sitios marcados;
- aplicación de cal agrícola (100 g) en cada hoyo con el fin de controlar posibles plagas como Phyllophaga ssp. la cual se alimenta de las raíces del cafeto.

Todo lo anterior se realizó del 27 de mayo al 5 de junio.

Posteriormente, los hoyos se dejaron descubiertos para recibir el agua de la lluvia, y días después se taparon con el mismo suelo sin compactar demasiado el terreno con el fin de conservar la humedad y la porosidad de éste.

Si bien los plántales se encontraban a una distancia considerablemente corta del sitio experimental, el traslado de las plántulas se realizó lo más rápido posible. Para esto, las plántulas se envolvieron en hojas de plátano para reducir una deshidratación excesiva. Por último, en los sitios previamente marcados, excavados y tapados se hizo un pequeño hoyo en forma manual para introducir las raíces de la plántula y distribuirlas bien, cubriendo y presionando muy bien el suelo.

3.7.3 LIMPIAS Y FERTILIZACIONES

En ambos terrenos se efectuaron un total de 5 limpieas con intervalos de 3 meses a partir de la siembra. Esta actividad se realizó utilizando azadón y machete.

El modo de fertilización fue el mismo para los dos sistemas de cultivo, con un total de 4 aplicaciones. La fórmula utilizada fue la comercial 18-12-6 (N-P-K)(Fertimex) y se aplicaron 100 g al rededor de cada planta. Las fechas en que se realizaron las limpieas y fertilizaciones se muestran en la tabla 1.

3.8 PARAMETROS ESTUDIADOS

Los parámetros estudiados en este trabajo son los siguientes:

3.8.1 PARAMETROS MICROCLIMATICOS

Esta parte metodológica no fue factible realizarla en los terrenos experimentales de Campo Viejo, por diversas razones; sin embargo, se tomaron datos microclimáticos en la Congregación La Orduña (Barradas y Fanjul, 1986). Con lo anterior y partiendo de la hipótesis de que las condiciones agroecológicas en los cafetales de la Orduña y de Campo Viejo son semejantes ya que se encuentran a una distancia de 2 km entre si, se puede ilustrar con los datos del primero la magnitud de las diferencias entre los tratamientos a sol y bajo sombra durante el año de registros.

Los parámetros registrados fueron los siguientes:

- temperatura del aire; máxima, media y mínima(°C).
- temperatura del suelo a 5 y 15 cm de profundidad(°C).
- humedad relativa(%)

LIMPIAS Y FERTILIZACIONES

L I M P I A S		
	CULTIVOS A SOL	CULTIVOS BAJO SOMBRA
primera limpieza	30 de julio 1983	28 de julio 1983
segunda "	10 de octubre 1983	6 de octubre 1983
tercera "	9 de enero 1984	13 de enero 1984
cuarta "	4 de abril 1984	9 de abril 1984
quinta "	15 de julio 1984	3 de julio 1984
F E R T I L I Z A C I O N E S		
1a.fertilización	29 de julio 1983	10 de agosto 1983
2a. "	12 de octubre 1983	13 de octubre 1983
3a. "	2 de febrero 1984	7 de febrero 1984
4a. "	25 de mayo 1984	26 de mayo 1984

TABLA. 1

Fechas en que se efectuaron las actividades de limpieza y fertilización en los dos sistemas de cultivo del café.

Comunidad Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.

- evaporación Piche (mm.día^{-1}).
- transmisión relativa de luz (W.m^{-2}).

La transmisión relativa de luz se registró en las parcelas parcelas experimentales de Campo Viejo. Las mediciones se hicieron cada mes y en días despejados (12.00 del medio día).

3.8.2 ANALISIS DE SUELOS

Para este análisis se tomaron 4 muestras compuestas por cada tratamiento, es decir una muestra por parcela (Fig.12). Lo anterior se efectuó de igual forma para las tres fechas de muestreo realizadas. El primer muestreo se llevó a cabo al inicio del experimento (julio de 1983); el segundo a la mitad del ensayo, poco después de la tercera fertilización y el último muestreo al final del experimento. De esta forma se determinó el contenido de nutrientes al inicio, durante el desarrollo del cultivo y después de sostener al mismo durante 1 año.

Se utilizó la Prueba t de Student para comparar los dos tratamientos estudiados en cada elemento edafológico analizado. Los análisis realizados a las muestras del suelo fueron las siguientes:

- % de materia orgánica (método Walkley-Black)
- % de nitrógeno (método Kjeldahl)
- pH en agua 1:25 (método potenciométrico)
- fósforo disponible (ppm)(método de Bray I)
- potasio (meq/100g)(método espectrofotométrico de flama)

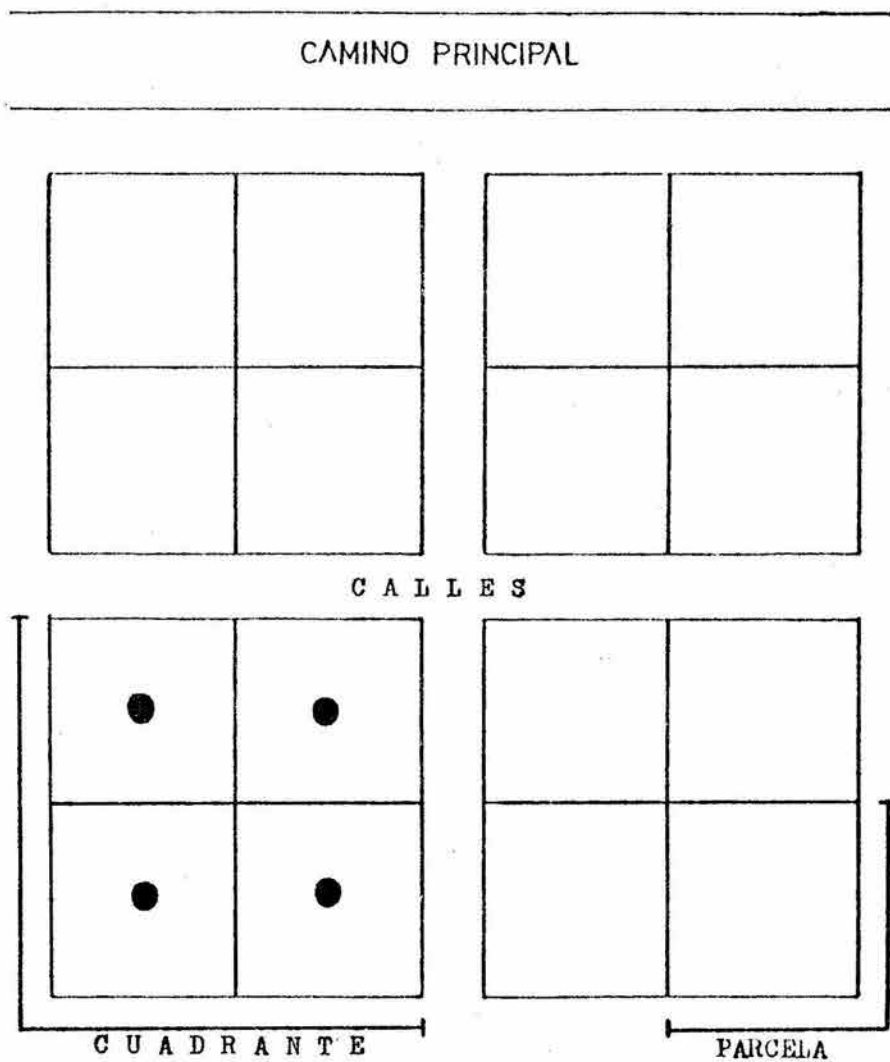


FIGURA.12

Toma de muestras de suelo para análisis químico en los dos terrenos. En cada cuadrante se colectaron 4 muestras (•) (una por parcela) que posteriormente se mezclaron para conformar una sola muestra por cuadrante.

3.8.3 PARAMETROS DE CRECIMIENTO

Para el análisis de crecimiento se marcaron 3 plantas por parcela, de tal forma que se registraron 24 cafetos por tratamiento.

CRECIMIENTO VEGETATIVO

Los parámetros estudiados fueron los siguientes:

- altura (cm); desde la base del tallo hasta el ápice.
- cobertura (m^2); se tomaron dos mediciones del diámetro de la copa en cruz. Para la obtención de este parámetro se utilizó fórmula del área circular.
- diámetro del tallo (cm); se midió próximo a la base del tallo.
- longitud de ramas (cm); se midió desde la parte axilar hasta el ápice de la rama.
- número de nudos del tallo; se consideraron desde el primer nudo ortotrópico basal hasta el apical, incluyendo los defoliados y sin ramas.
- número de nudos por rama; se consideraron todos los nudos en cada rama.
- número de ramas; solo se consideró a las ramas primarias.
- longitud de entrenudos del tallo (cm); se midió desde el primer nudo ortotrópico basal hasta el apical.
- longitud de entrenudos en ramas (cm); se midió desde el primer nudo plagiotrópico interno hasta el apical.
- número de hojas por planta; no se consideraron las pérdidas de hojas.

- área foliar por hoja (cm^2) y por planta (m^2); se calculó a partir de las mediciones de largo y ancho de las hojas, utilizando el método propuesto por Rodríguez-Hernández et al. (1983). Dado que en la planta de café las hojas de un par no presentan una diferencia significativa ($\alpha = 5\%$) entre ellas mismas (Awatrami y Gopalakrishna, 1965), solo se tomaron las medidas de las hojas de un lado de las ramas. Posteriormente se calculó el área y se multiplicó por 2.
- índice de área foliar (IAF); es el área foliar por unidad de superficie (m^2/m^2). La importancia de obtener este índice se debe a la relación que existe entre la producción de materia seca y el área foliar de la planta (Valencia, 1973).

CRECIMIENTO REPRODUCTIVO

Estos parámetros no fueron registrados en el presente trabajo; sin embargo, se mencionan porque forman parte del proyecto de investigación a largo plazo y son los siguientes:

- número de yemas florales por planta;
- número de flores por planta;
- número de frutos por planta;
- peso seco total de frutos por planta.

3.8.4 ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD

PORCENTAJE Y DISTRIBUCION DE BIOMASA

Para este análisis se tomaron 2 plantas por parcela cada 4 meses. Las muestras se dividieron de la siguiente manera:

- tallo con ramas

- hojas

- raíz

En el laboratorio, cada una de estas partes se guardó en bol sas de papel y se secaron en una estufa a 90°C durante 48 horas hasta peso constante.

Se aplicaron pruebas estadísticas de t, analizando el peso seco total y se calcularon la producción y porcentaje por partes de la planta.

TASA DE ASIMILACION NETA (TAN)

La fotosíntesis aparente (fotosíntesis aparente-fotosíntesis real-respiración), que se refiere a la estimación indirecta de la velocidad de fotosíntesis con variaciones ocasionadas por la respi ración y que se puede medir por la acumulación de materia seca de la planta. Es decir, la TAN se refiere al aumento en peso seco de la planta por unidad de área foliar, por unidad de tiempo

(g.m⁻².dfa⁻¹). Su cálculo es de la siguiente forma:

$$TAN = \frac{(W2 - W1)}{(AF2 - AF1)} \cdot \frac{(\ln AF2 - \ln AF1)}{(t2 - t1)}$$

donde el primer término de la ecuación se refiere al peso seco to tal (W1 y W2) y a los valores de área foliar (AF1 y AF2), ambos a los tiempos (t1 y t2); y el segundo término indica el promedio de área foliar en el período comprendido entre las dos fechas, su - poniendo que el área foliar incrementa en función del tiempo (Caus ton y Venus, 1981). t1 y t2 equivale a 120 días.

TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO (TCR)

La tasa de crecimiento relativo mide el incremento medio de materia seca. Su cálculo es como sigue:

$$TCR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \text{ (g. dfa}^{-1}\text{)}$$

donde W_1 y W_2 representan los pesos secos totales a los tiempos t_1 y t_2 (Causton y Venus, 1981).

AREA FOLIAR ESPECIFICA (AF_e)

El área foliar específica indica el grado de esclerosis de una hoja. Una área foliar específica alta indica que se trata de una hoja delgada y de área relativamente grande. Mientras que una área foliar específica baja indica que es una hoja gruesa y de área relativamente pequeña. El AFE se calcula de la siguiente forma:

$$AF_e = \frac{L_w \cdot AF}{W \cdot L_w}$$

donde L_w es el peso seco de las hojas, AF representa el área foliar total, W es el peso seco total, L_w/W es la proporción del peso seco foliar e indica qué proporción del total de fotosintatos es retenido por el follaje y AF/L_w es la proporción del AF con respecto al peso seco foliar. Sus unidades son; (m^2/g^{-1}).

3.8.5 ANALISIS DE CLOROFILA

El contenido de clorofilas a, b y total (g/l^{-1}) se determinó en tres muestras de 50 g de hojas provenientes de cafetos de cada tratamiento. Las concentraciones de clorofila a y b se cuantificaron midiendo la densidad de extractos de clorofila en acetona al 80% con un espectrofotómetro a 663 y 645 nm de longitud de onda (λ) respectivamente. Posteriormente se aplicaron ecuaciones simul

tóneas (Arnon,1949). Para la cuantificación de clorofila total se graficaron los valores de absorción de clorofilas a y b, de esta forma , las curvas y su intersección en λ 625 nm determinaron la concentración de clorofila total. Estas determinaciones se realizaron en una sola ocasión (marzo de 1984); sin embargo, el número de repeticiones (1 muestra y 4 repeticiones) obtenidas permitieron aplicar la Prueba de t y verificar diferencias entre tratamientos.

3.8.6 ANALISIS ESTADISTICO

Se calcularon las medias mensuales para cada parámetro por tratamiento. Las pruebas estadísticas se aplicaron independientemente para cada parámetro de crecimiento, en el último registro.

Dado que se conoce la media y la desviación estándar de cada parámetro, se aplicó la prueba de t (estimación mancomunada de las variancias) para probar igualdad entre medias.

Suposiciones: Las variancias de las poblaciones son desconocidas, no obstante, se supone que son iguales.

Cuando se desconocen y a la vez se asume que las variancias de las poblaciones son iguales, éstas pueden obtenerse por una estimación mancomunada de la variancia común. Esto es, calculando el promedio ponderado de las dos variancias de las muestras. Cada variancia de la muestra se pondera por sus grados de libertad. Si $n_1 = n_2$, el promedio ponderado resulta ser la media aritmética de las dos variancias de las muestras. Si $n_1 \neq n_2$, entonces el promedio ponderado incluye la información adicional de la muestra mayor (Wayne,1979).

Estadística de prueba:

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\left(\frac{(N_1-1)\hat{S}_1^2 + (N_2-1)\hat{S}_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \right) \left(\sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}} \right)}$$

donde \bar{X}_1 y \bar{X}_2 son las medias de cada tratamiento; N_1 y N_2 corresponden al número de individuos observados; \hat{S}_1^2 y \hat{S}_2^2 se refieren a la variancia de la media de cada tratamiento y $\sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}$ que es el error estándar de la estimación.

Se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y $(N_1+N_2)-2$ grados de libertad.

Se graficaron las curvas y tasas de crecimiento para cada parámetro. También se determinaron coeficientes de correlación simple (r) entre los parámetros de crecimiento vs. parámetros microclimáticos.

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 ANALISIS MICROCLIMATICO

4.1.1 TEMPERATURA DEL AIRE

La Figura 13 muestra la variación mensual de las temperaturas máxima, media y mínima en cultivos de café a libre exposición solar y bajo sombra en la Orduña (ver Tabla.3). Se puede apreciar que las temperaturas más altas se presentan en mayo y junio, y las más bajas en enero y febrero. Las temperaturas media y máxima son mayores en el cafetal a libre exposición en tanto que la temperatura mínima es mayor en el tratamiento a sombra, lo cual significa una mayor amplitud térmica en los cafetales a pleno sol.

4.1.2 TEMPERATURA DEL SUELO

Las Figuras 14 y 15 muestran la variación de la temperatura del suelo a 5 y 15 cm de profundidad en cultivos de café a pleno sol y bajo sombra en la Orduña (ver Tabla.4).

Es evidente que la variación de la temperatura del suelo se comporta de forma semejante en los dos estratos considerados. Las temperaturas mas altas se registraron en los meses de mayo y junio y las más bajas en enero y febrero.

Observese que las temperaturas del suelo en el cafetal a libre exposición son mayores que las registradas en el de sombra a lo largo del año.

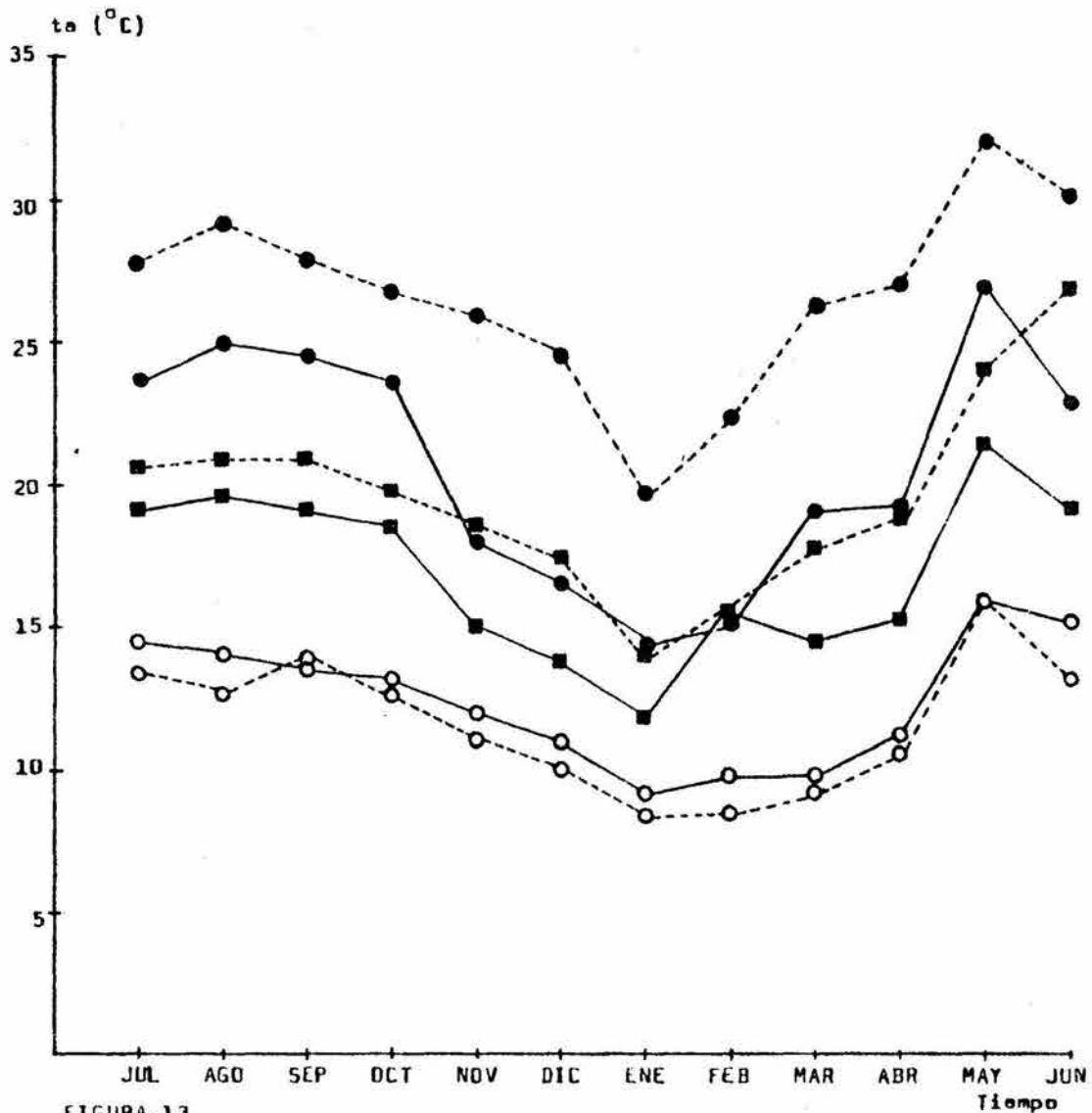


FIGURA.13

Variación de la temperatura del aire (ta)(°C) en cafetales a libre exposición (---) y bajo sombra (—) en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.

(●)-máxima

(■)-media

(○)-mínima

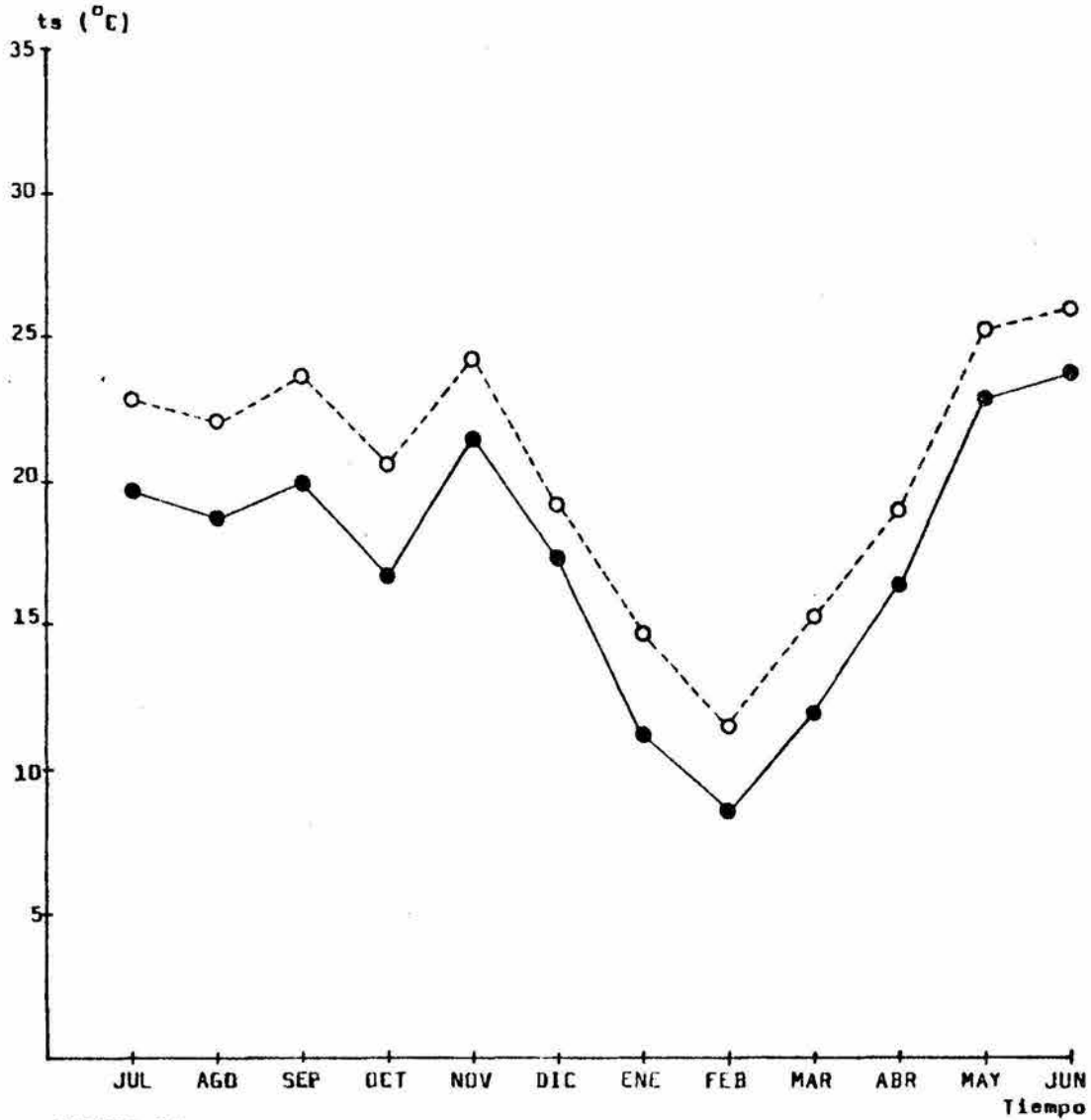


FIGURA.14

Variación de la temperatura del suelo (t_s) (°C) a 5cm de profundidad en cafetales a libre exposición (---) y bajo sombra (—) en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz

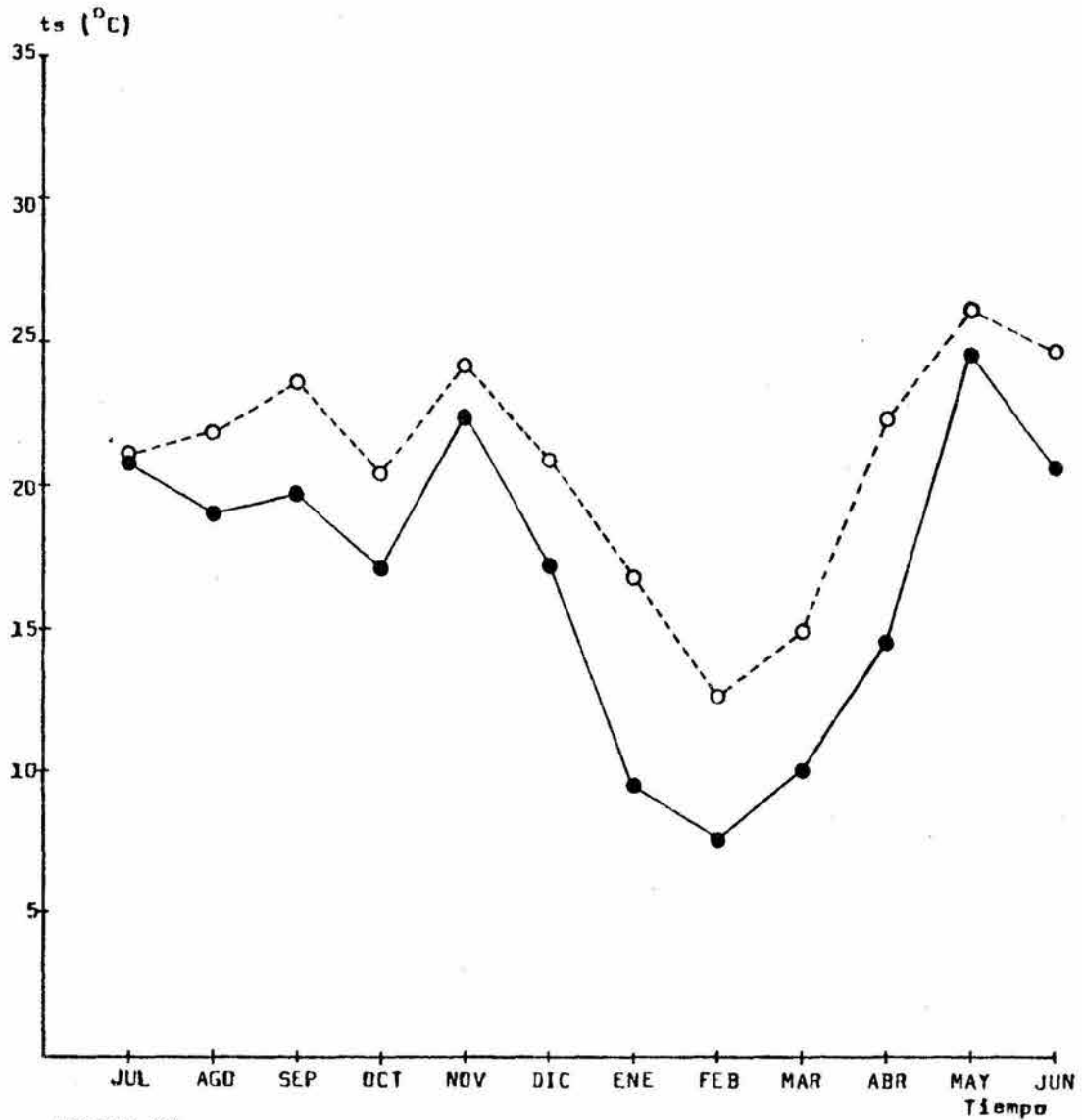


FIGURA.15

Variación de la temperatura del suelo (t_s) (°C) a 15cm de profundidad en cafetales a libre exposición (---) y bajo sombra (—) en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.

4.1.3 EVAPORACION PICHE

La Figura 16 muestra el comportamiento de la evaporación Piche en los dos tratamientos. En la cual se puede observar una variación de la evaporación similar en ambos sistemas de cultivo. La evaporación máxima se presenta en los meses de marzo, abril y mayo. La mínima se presenta en octubre, noviembre y diciembre.

4.1.4 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa en los dos sistemas de cultivo en la Orduña se muestra en la Figura 17, en donde se puede observar una semejanza en la variación de la humedad en ambos sistemas. También se puede apreciar una clara disminución de la humedad en los meses de mayo y abril, no obstante, se mantiene relativamente alta a lo largo del año.

El porcentaje de humedad es mayor en los cafetales bajo sombra que en los de libre exposición.

4.1.5 RADIACION SOLAR

La Figura 18 muestra el comportamiento de la radiación solar incidente en ambos sistemas de cultivo en Campo Viejo. Se puede observar un decremento gradual de la radiación para los dos sistemas de cultivo en los meses de septiembre a enero, registrándose las radiaciones más altas en los meses de abril, mayo y junio.

La radiación solar es mayor en el tratamiento a libre exposición.

Por razones de tipo técnico no fue posible registrar la radiación solar en los meses de julio y agosto.

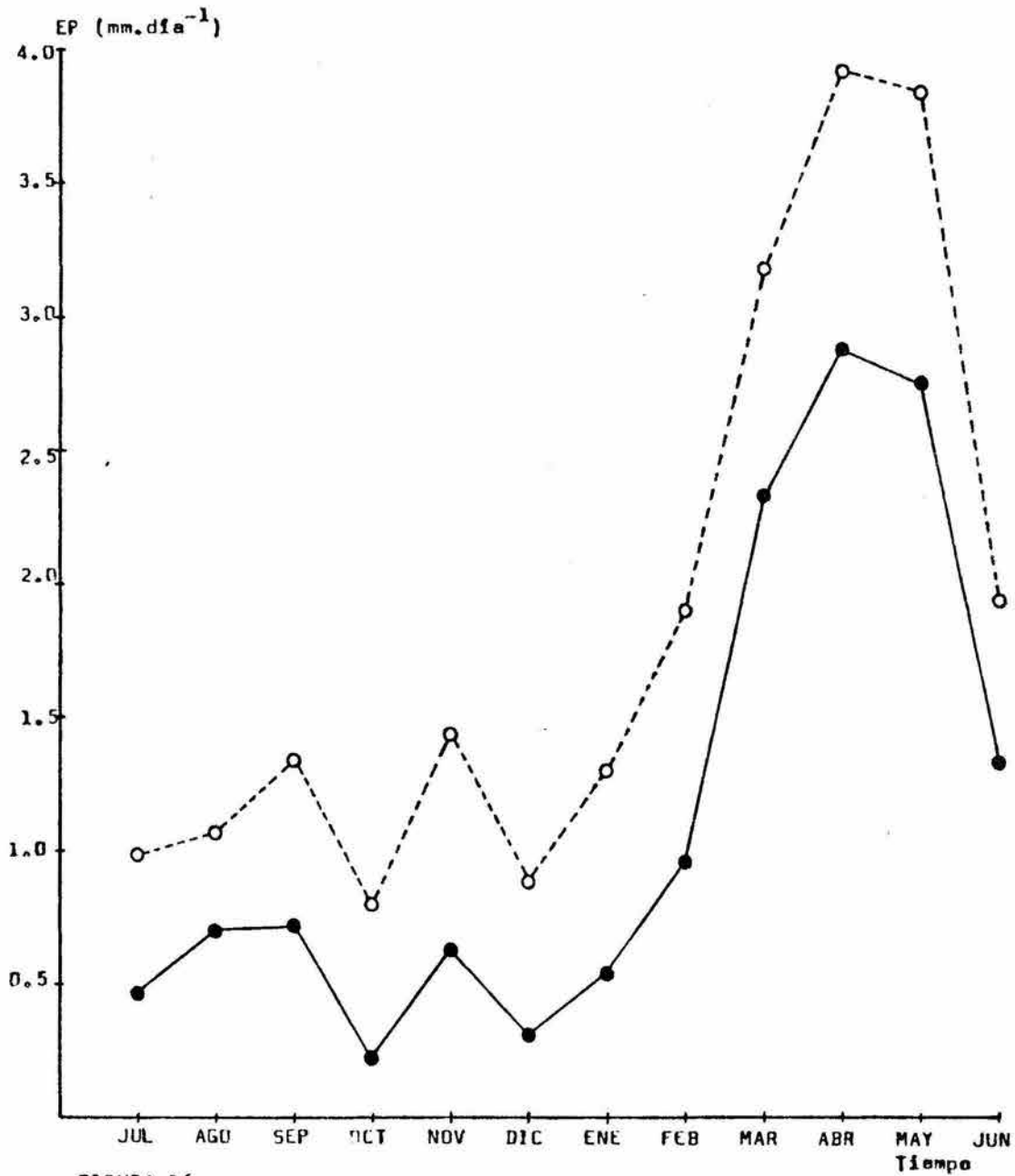


FIGURA.16

Variación de la evaporación Piche (EP)(mm.dfa⁻¹) en cafetales a libre exposición (---) y bajo sombra (—) en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.

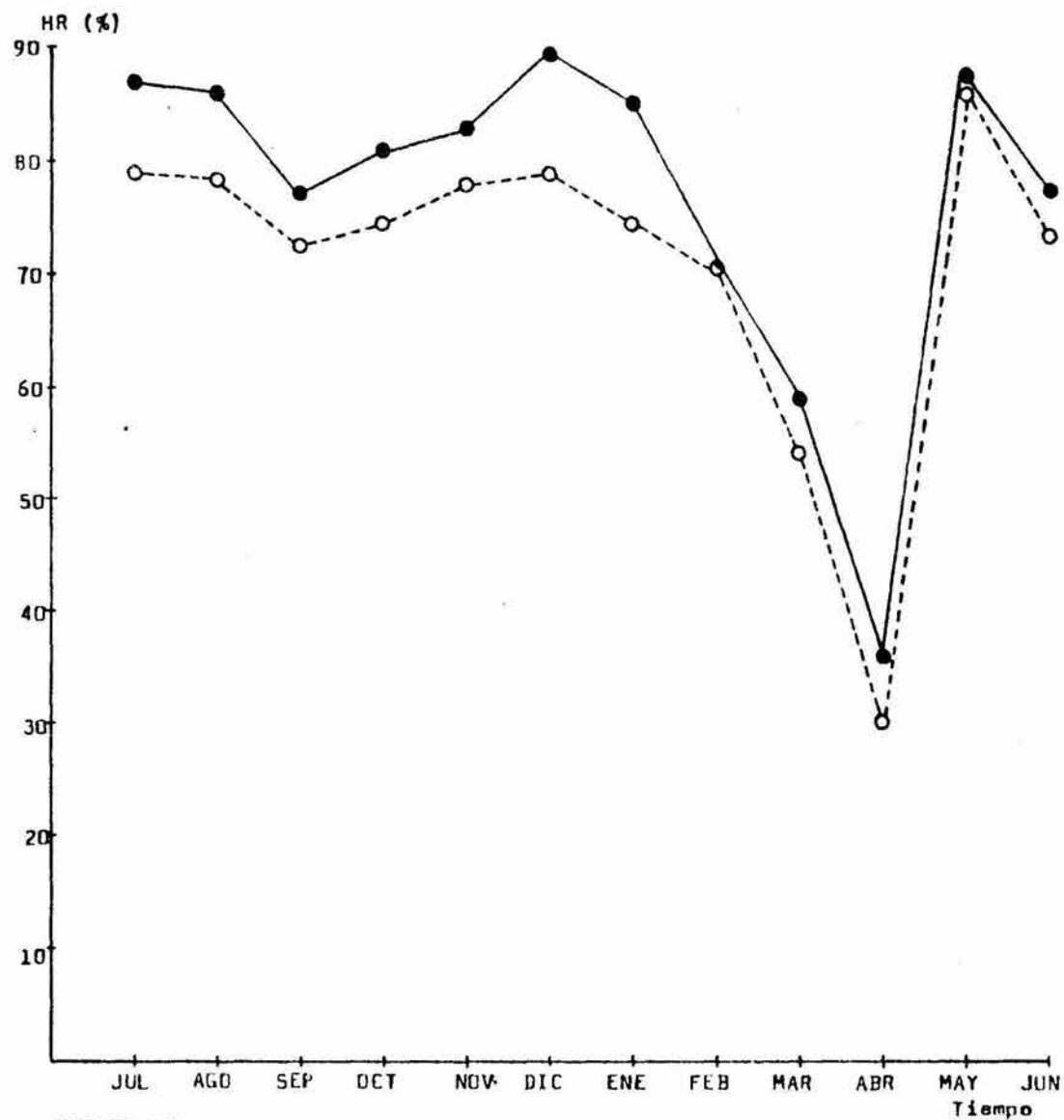


FIGURA.17

Variación de la humedad relativa (HR)(%) en cafetales a libre exposición (---) y bajo sombra (—) en la Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.

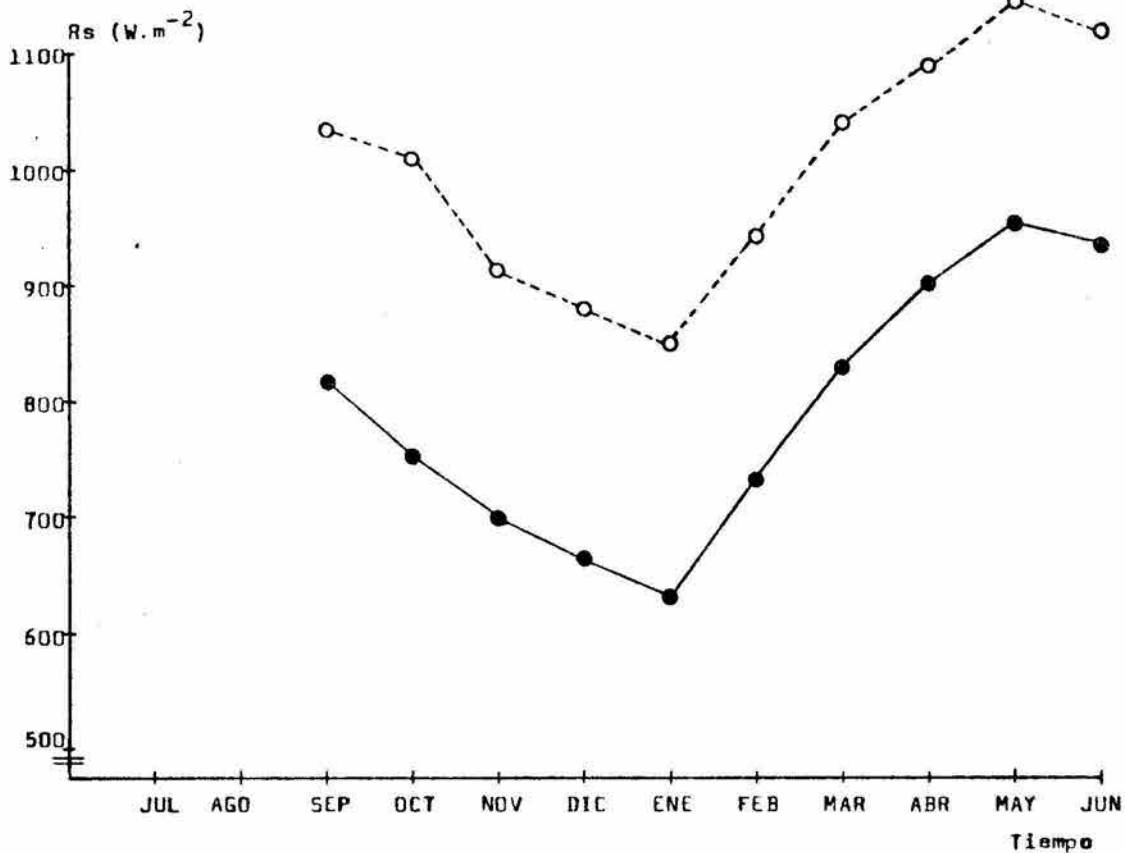


FIGURA.18

Variación de la radiación solar (R_s) ($W \cdot m^{-2}$) en cafetales a libre exposición (---) y bajo sombra (—) en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.

4.1.6 HUMEDAD DEL SUELO

La Figura 19 muestra la variación de la humedad del suelo en los dos tratamientos en Campo Viejo. En ella se puede apreciar cómo la humedad del suelo presentó un comportamiento similar al de la humedad relativa del aire en los cafetales de la Orduña. Esto es, que la humedad se mantiene relativamente alta entre los meses de julio y noviembre, presentando un marcado decremento en los meses de marzo y abril.

La humedad del suelo fue mayor en el tratamiento a sombra que en el de libre exposición.

4.2 ANALISIS QUIMICOS DE SUELOS

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis químico de suelos de ambos tratamientos (ver apéndice).

4.2.1 pH

En los dos tratamientos el pH mostró tendencia a acidificarse con el tiempo; sin embargo, el tratamiento a sombra mantuvo el pH del suelo ligeramente más ácido que el de libre exposición en los tres muestreos.

El análisis estadístico (Prueba de t) permitió verificar diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en el primer y tercer muestreo (ver Tabla.2).

4.2.2 MATERIA ORGANICA

En los dos tratamientos el contenido de materia orgánica presentó una variación de 5.0 a 7.9%. Según la clasificación de

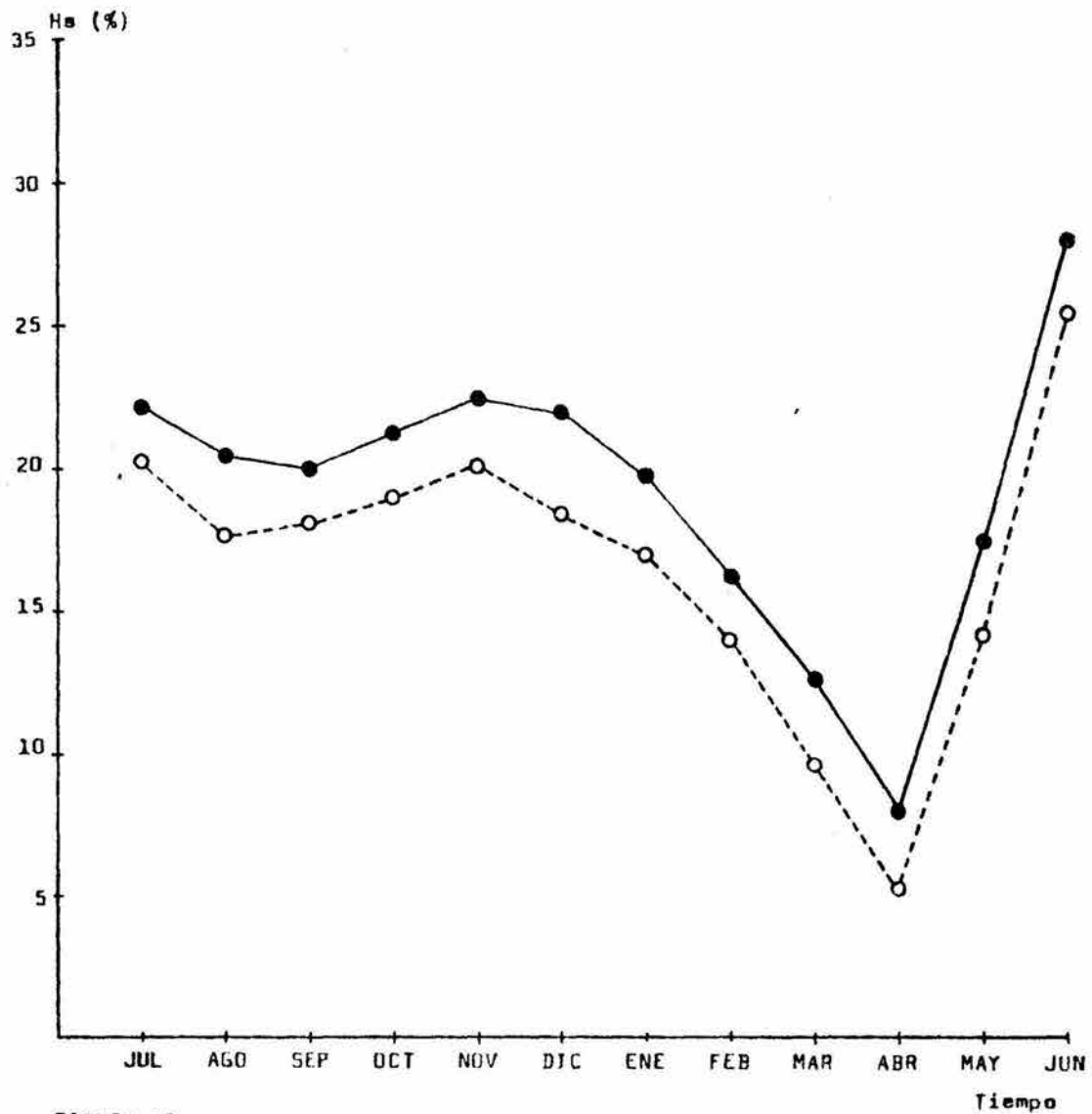


FIGURA.19

Variación de la humedad del suelo (Hs)(%) en cafetales a libre exposición (---) y bajo sombra (—) en la Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.

Velázco (1983), estos valores se consideran extremadamente altos.

La variación en el comportamiento de los valores de materia orgánica fué considerable a lo largo del año. En el primer muestreo, que se realizó al inicio del experimento (julio de 1983), el porcentaje de materia orgánica fué mas alto en el tratamiento a sol (7.33%) que en el de sombra (4.95%). Las pruebas estadísticas mostraron diferencias significativas (Tabla.2).

Los resultados del segundo muestreo (marzo de 1984), mostraron un incremento en el porcentaje de materia orgánica en el tratamiento bajo sombra (7.0%), en tanto que en el de libre exposición disminuyó dicho porcentaje (6.52%). Aún así, las diferencias no fueron significativas (Tabla.2).

En el último muestreo (julio de 1984), al igual que en el primero, se observó que el porcentaje de materia orgánica fue mayor en el tratamiento a sol (7.85%) que en el de sombra (6.25%). Sí se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

4.2.3 NITRÓGENO

La Tabla 2 indica cómo en el primer muestreo los niveles de nitrógeno fueron más altos que en tratamiento a sol. En el segundo, los niveles superiores correspondieron al tratamiento bajo sombra; y en el último muestreo los niveles de este elemento, nuevamente se incrementaron en el tratamiento a pleno sol. Solo se encontraron diferencias significativas en el primer muestreo ($\alpha = 0.05$).

4.2.4 FOSFORO

En la Tabla 2 se puede observar cómo los niveles de fósforo disminuyeron en el transcurso del tiempo en ambos tratamientos. De igual forma se observa que los niveles de este elemento fueron notoriamente más altos en el tratamiento a sombra que en el de libre exposición. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en los tres muestreos.

4.2.5 POTASIO

Los niveles de potasio fueron más altos en el tratamiento a sol en el primer muestreo, tal como se observa en la Tabla 2. En el segundo muestreo, los niveles más altos corresponden al tratamiento bajo sombra. Finalmente, en el último muestreo los niveles de este elemento se vuelven a incrementar en el tratamiento a pleno sol. En general, el comportamiento de los niveles de potasio se asemeja a los de nitrógeno. Por lo mismo, también se encontraron diferencias significativas solo en el primer muestreo ($\alpha=0.05$).

Según la clasificación de Velázco (1983), los niveles de potasio se consideran bajos en ambos tratamientos.

4.3 ANALISIS DE CRECIMIENTO VEGETATIVO

4.3.1 ALTURA DE LA PLANTA

Al comparar las curvas de crecimiento de los tratamientos a sol y sombra (Fig.20a), se observó que los valores más altos corresponden al tratamiento a sol.

Aparentemente, los cafetos en condiciones de libre exposi -

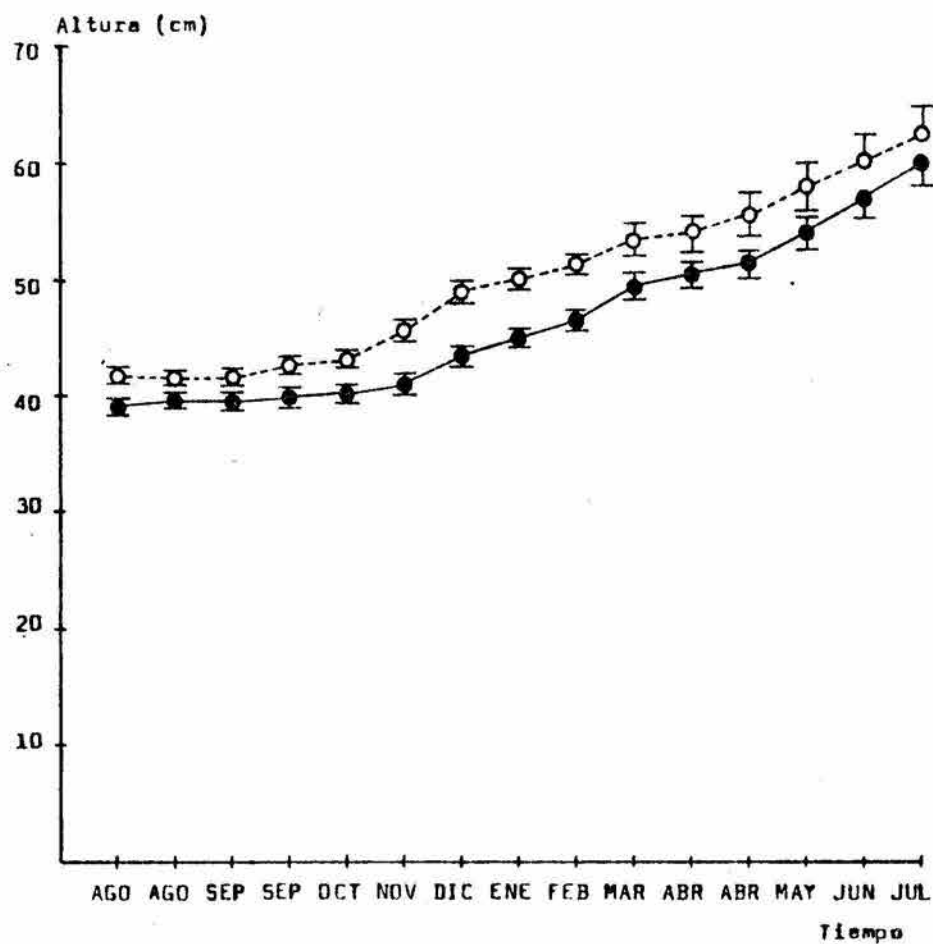


FIGURA. 20a

Crecimiento en altura (cm) en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estandar de la media.

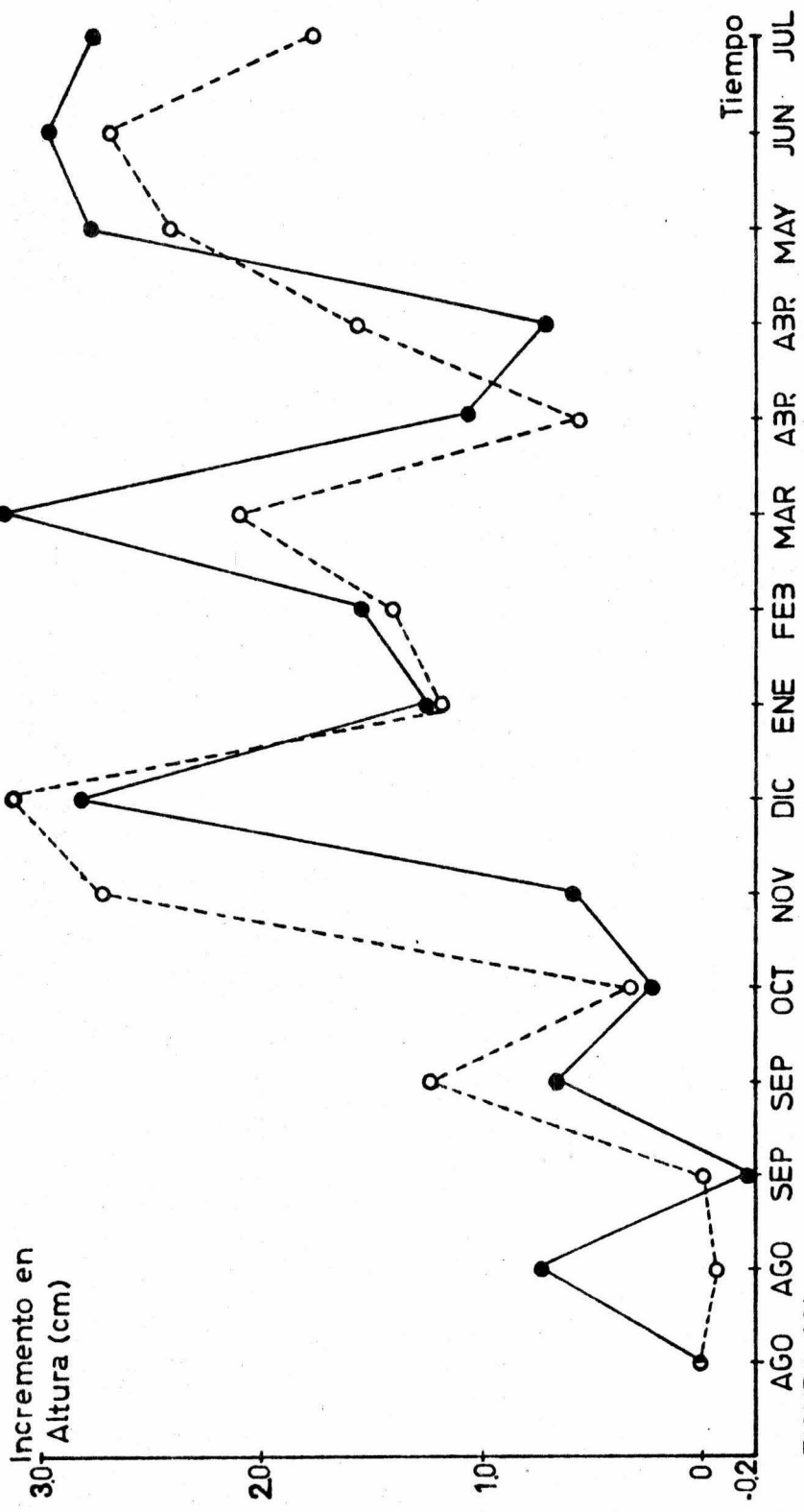


FIGURA.20b

Tasas de incremento en altura (cm) de los dos sistemas de cultivo de café (Coffea arabica L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra(—)

ción crecieron más que los de sombra a todo lo largo del experimento, como se puede apreciar los valores superiores siempre se presentaron en el tratamiento a sol. No obstante, el comportamiento del crecimiento de los dos tratamientos es semejante, esto es, que no se presentan diferencias entre ambos tratamientos.

Sin embargo, las tasas de crecimiento (Fig. 20b) mostraron una alternancia. De manera general la alternancia del crecimiento presentó un comportamiento regular, es decir, se le puede apreciar en dos fases cronológicas: de septiembre a diciembre de 1983 las tasas de crecimiento en el tratamiento a sol mostraron un mayor valor en la altura; mientras que de enero a julio de 1984 las tasas de crecimiento en el tratamiento a sombra fueron superiores a las de sol (a excepción del segundo registro del mes de abril del mismo año).

A pesar de esto, los cafetos en el tratamiento a sombra mostraron mayor altura que los cafetos a libre exposición al término del experimento.

Al comparar las medias del último mes (Prueba de t) no se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

4.3.2. DIAMETRO DEL TALLO

La Figura 21a muestra el comportamiento del crecimiento del tallo de las plantas en los dos tratamientos. Se puede observar que el tratamiento a sol presentó valores superiores al de sombra durante todo el experimento. Sin embargo, las curvas de ambos tratamientos muestran una disminución en los valores de crecimiento en el mes de noviembre de 1983.

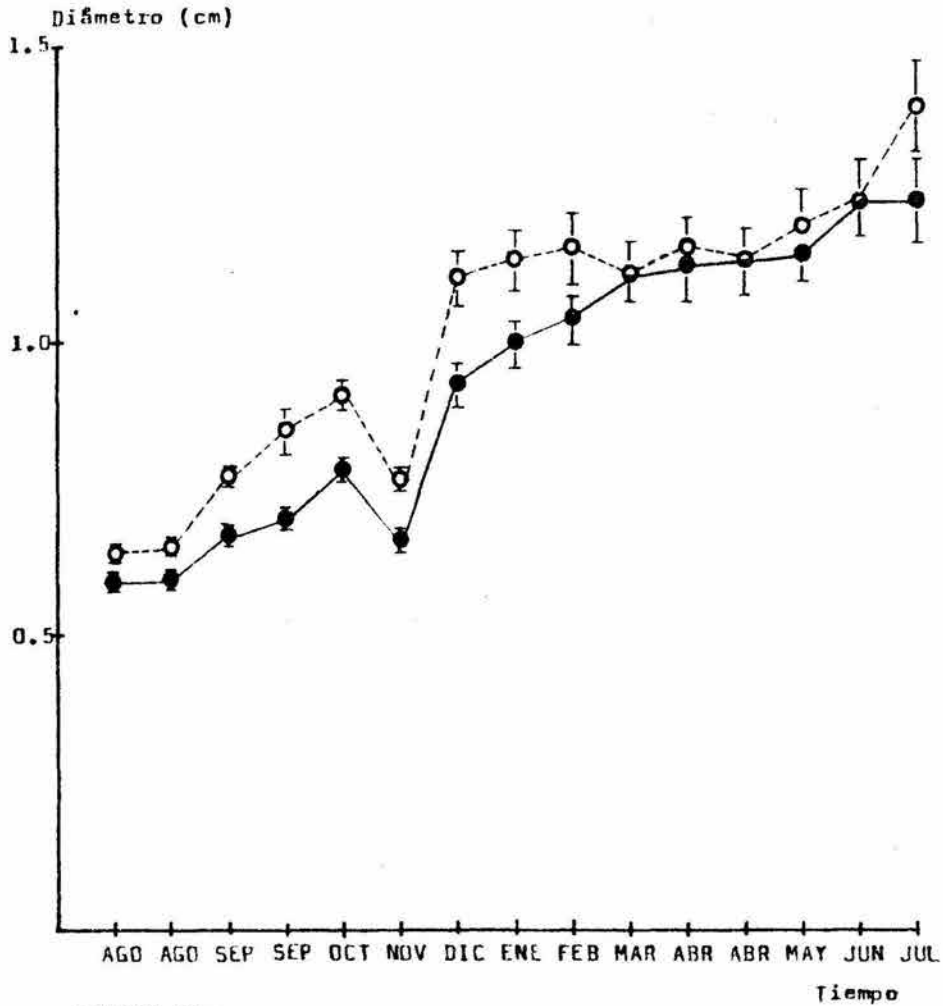


FIGURA.21a

Crecimiento en diámetro del tallo (cm) en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Esturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estándar de la media.

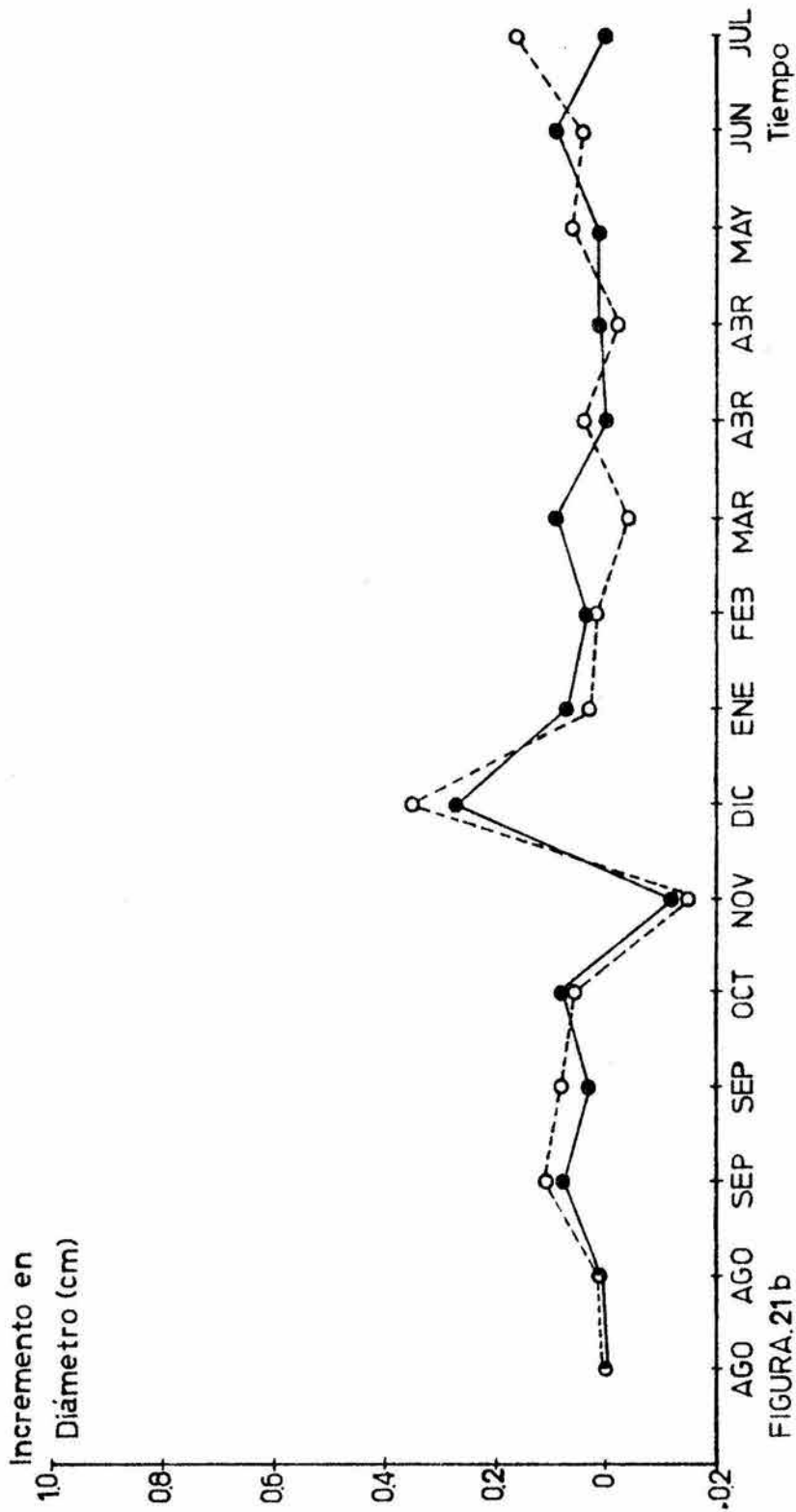


FIGURA.21b

Tasas de incremento en diámetro del tallo (cm) en los dos sistemas de cultivo de

café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

En las tasas de incremento (Fig.21b), se observa una marcada disminución en los valores de noviembre de 1983, seguido de un aumento considerable en diciembre del mismo año.

Los valores de las tasas de incremento de los tratamientos muestran una constante alternancia. La amplitud de ésta fué mayor en los cafetos a pleno sol al final del experimento.

En este parámetro sí se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

4.3.3 LONGITUD DE RAMAS

Las curvas de crecimiento de ramas se muestran en la Figura 22a. Se puede apreciar que los valores mas altos corresponde al tratamiento a sol. A excepción del primer registro de septiembre, la mayoría de los demás registros presentaron valores superiores en este tratamiento, con exactitud, en el intervalo comprendido entre octubre y abril. También se puede apreciar una marcada disminución en los valores promedio de ambos tratamientos en los meses de agosto a septiembre de 1983.

Aparentemente las plantas en el tratamiento a sol crecieron mas que las de sombra; sin embargo, se presenta una clara y regular alternancia en las tasas de incremento (Fig.22b) entre los dos tratamientos. De septiembre de 1983 a enero de 1984, los valores fueron superiores en el tratamiento a sol y de febrero a junio de 1984, los valores del tratamiento bajo sombra fueron mayores que los de sol.

La disminución en los valores promedio del mes de diciembre de 1983 y febrero de 1984, se debe a la aparición de nuevas ramas con

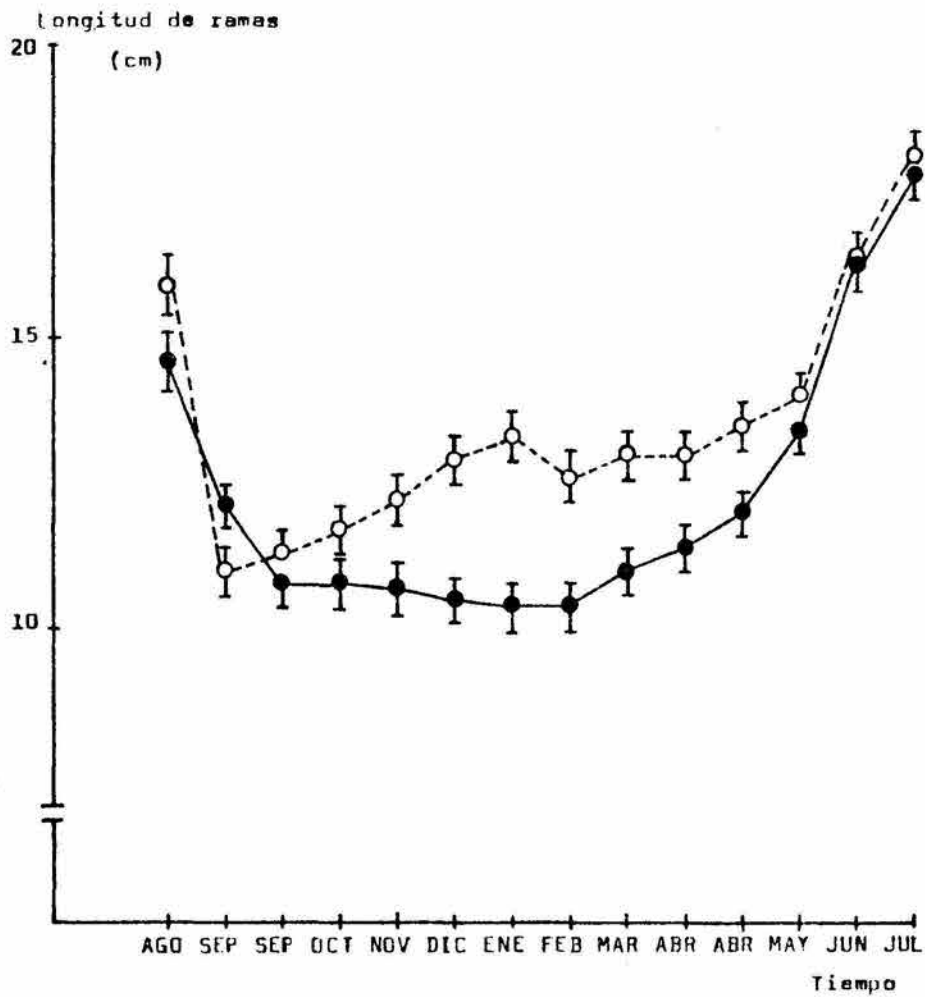


FIGURA.22a

Longitud de ramas por planta (cm) en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estándar de la media.

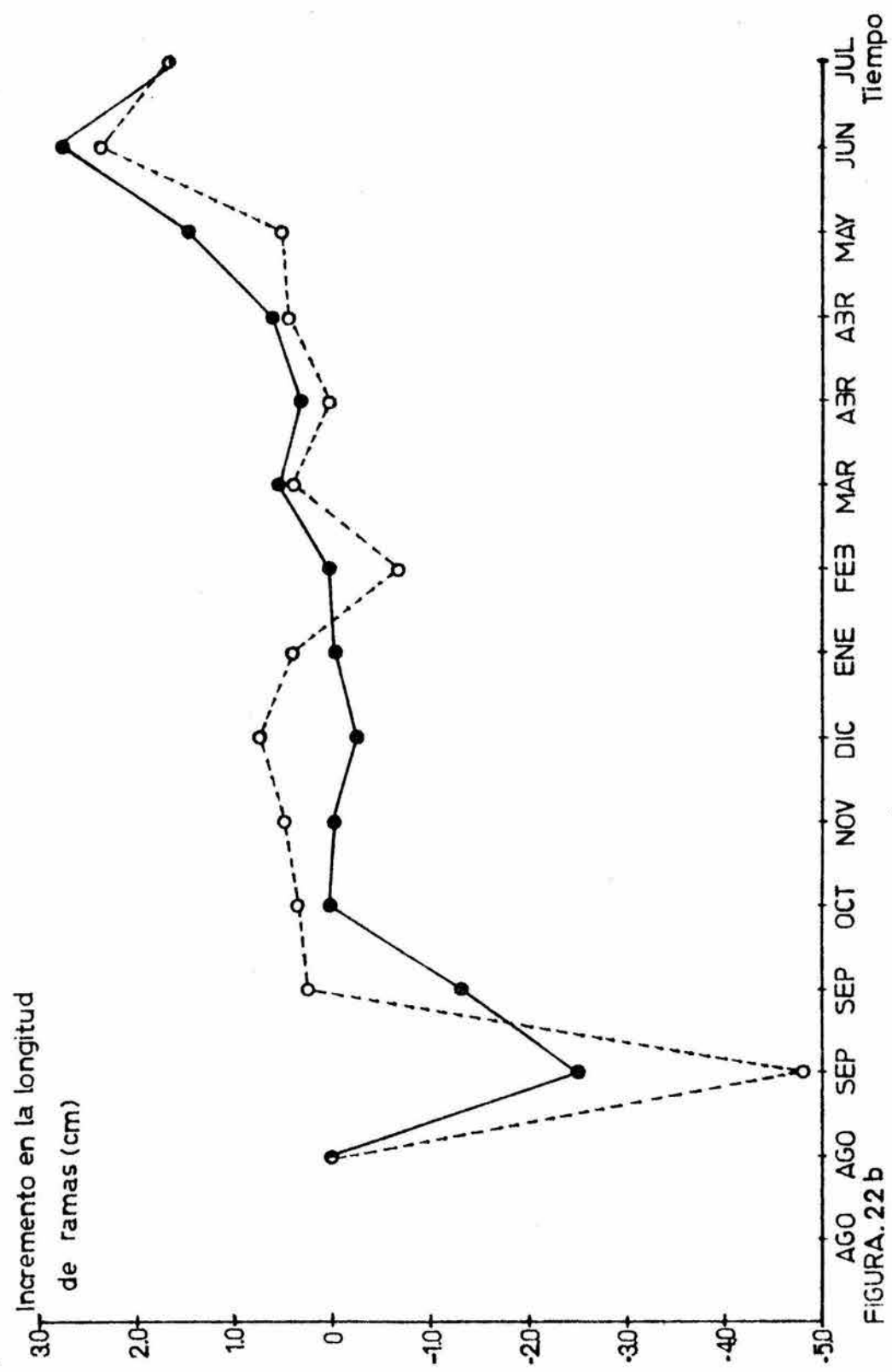


FIGURA. 22 b

Tasas de incremento en la longitud de ramas de los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v. Caturra) a libre exposición(- - -) y bajo sombra(—).

valores muy pequeños. Aunque la longitud de las ramas desarrolladas tiende a incrementarse, los valores promedio de las nuevas ramas hacen que los valores totales de las longitudes disminuyan.

Finalmente, el incremento en la longitud de las ramas fue mayor en los cafetos a libre exposición.

Las pruebas estadísticas no mostraron diferencias entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

4.3.4 NUMERO DE NUDOS DEL TALLO

Al comparar las curvas de crecimiento de los tratamientos a sol y sombra (Fig.23a) se observó que los cafetos bajo sombra presentan valores más altos al inicio del experimento. Esto se debe a que pudieron desarrollarse mejor durante su permanencia en los plantales, que fué de un año. Después del mes de octubre de 1983, se aprecia un aumento en los valores de ambos tratamientos; sin embargo, en el de libre exposición fueron superiores. Aparentemente, los cafetos a sol mostraron un mayor crecimiento durante el desarrollo del experimento.

Las tasas de incremento (Fig.23b) muestran una regularidad de comportamiento entre ambos tratamientos. No obstante, se puede observar que el incremento en el número de nudos fué mayor en el de sol.

A pesar de presentar valores más altos el tratamiento a libre exposición al final del experimento, no se encontraron diferencias entre ambos ($\alpha=0.05$).

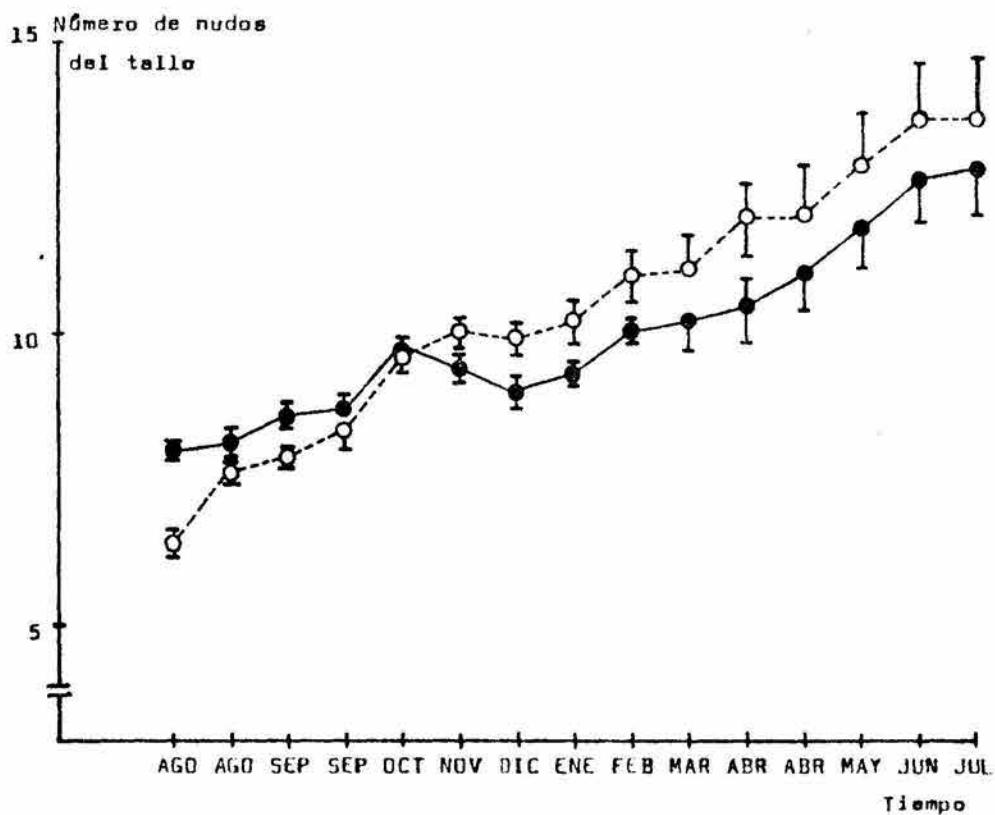


FIGURA.23a

Número de nudos del tallo en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estandar de la media.

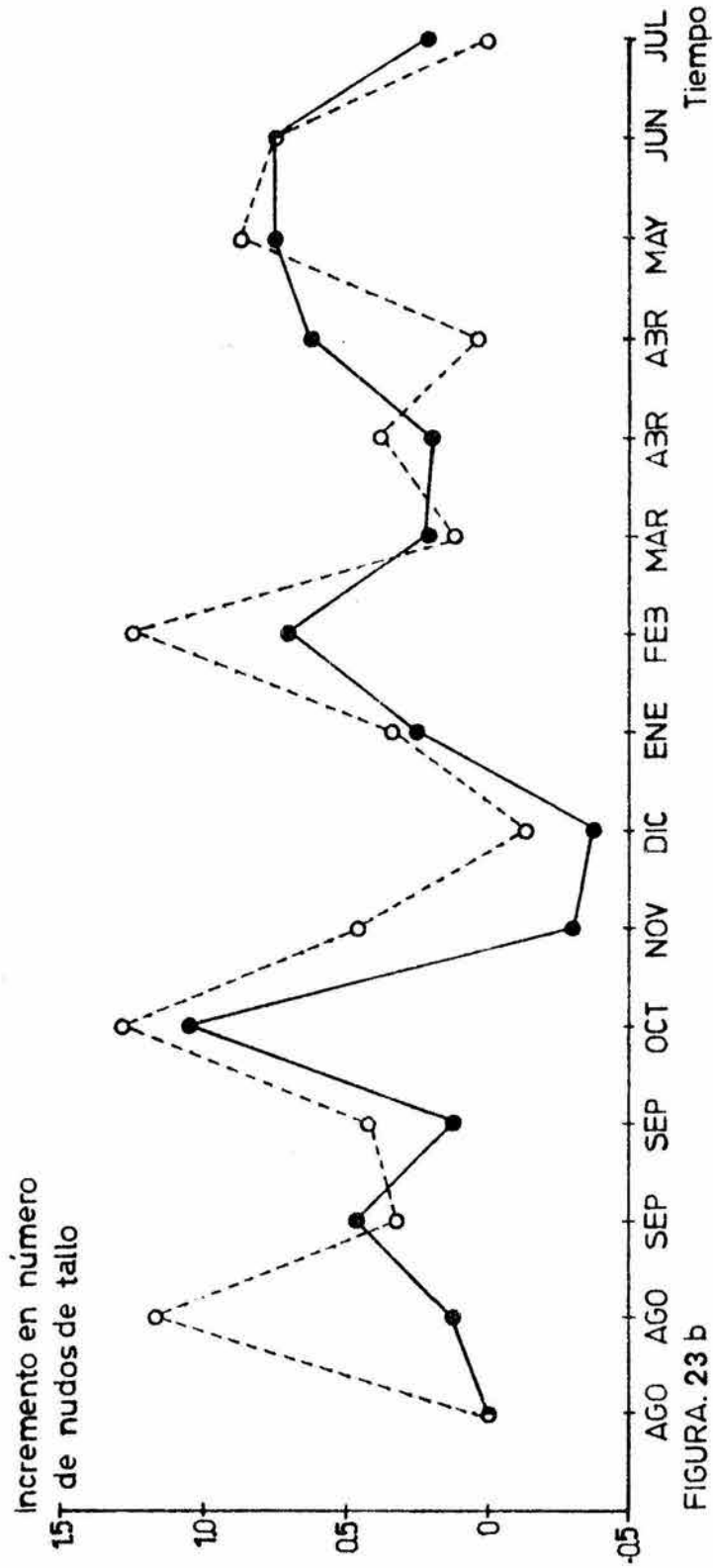


FIGURA. 23 b

Tasa de producción de nudos del tallo en los dos sistemas de cultivo de café (Coffea arabica L.v.c. Caturra) a libre exposición(---○) y bajo sombra(—●).

4.3.5 NUMERO DE NUDOS EN RAMAS

La Figura 24a muestra el comportamiento de las curvas de crecimiento del número de ramas en ambos tratamientos.

De manera general, las variaciones de los dos tratamientos se presentan semejantes. Nuevamente se aprecia que los valores del tratamiento a sol fueron superiores a los de sombra, incluso, durante todo el experimento, lo cual sugiere que los cafetos a sol mostraron un mayor crecimiento que los de sombra.

Al comparar las tasas de incremento (Fig.24b) de los dos tratamientos se observa que el de libre exposición presenta tres períodos en los cuales se registran los valores mayores en el incremento de este parámetro: de septiembre a octubre de 1983; de enero a marzo de 1984 y de abril a mayo del mismo año. Si bien los cafetos del tratamiento a sombra también presentan sus máximos valores en estos mismos períodos, son claramente inferiores a los de libre exposición.

Finalmente, los valores promedio fueron mayores en el tratamiento a sol.

Si se encontraron diferencias entre tratamientos en este parámetro ($\alpha = 0.05$).

4.3.6 NUMERO DE RAMAS

Las curvas de crecimiento de este parámetro (Fig.25a) muestran claramente una semejanza en cuanto a su comportamiento, con las de número de nudos en ramas. Es decir, los valores del tratamiento a sol siempre se presentan superiores a los de sombra lo cual sugiere que los cafetos del primero crecieron más que los de sombra.

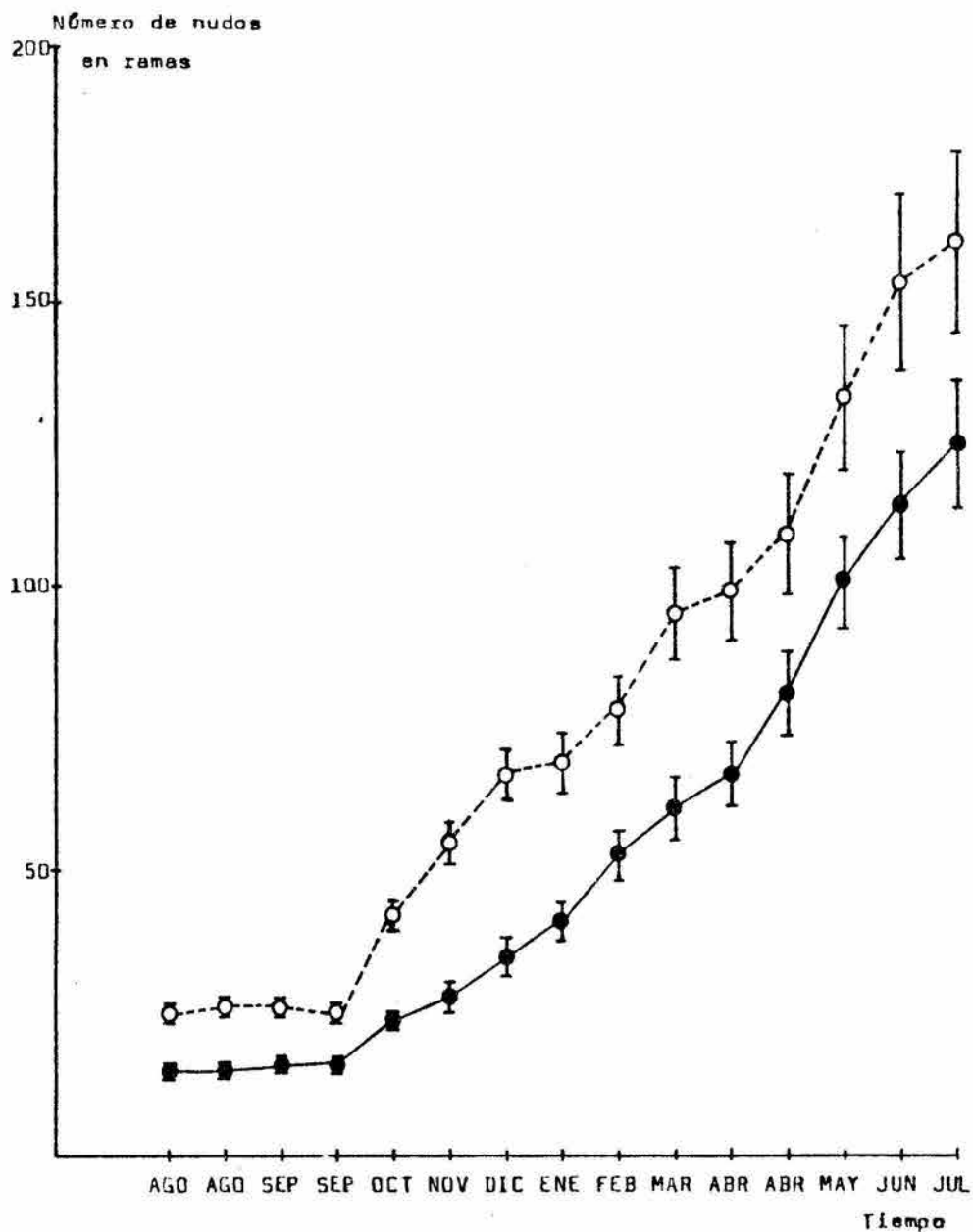
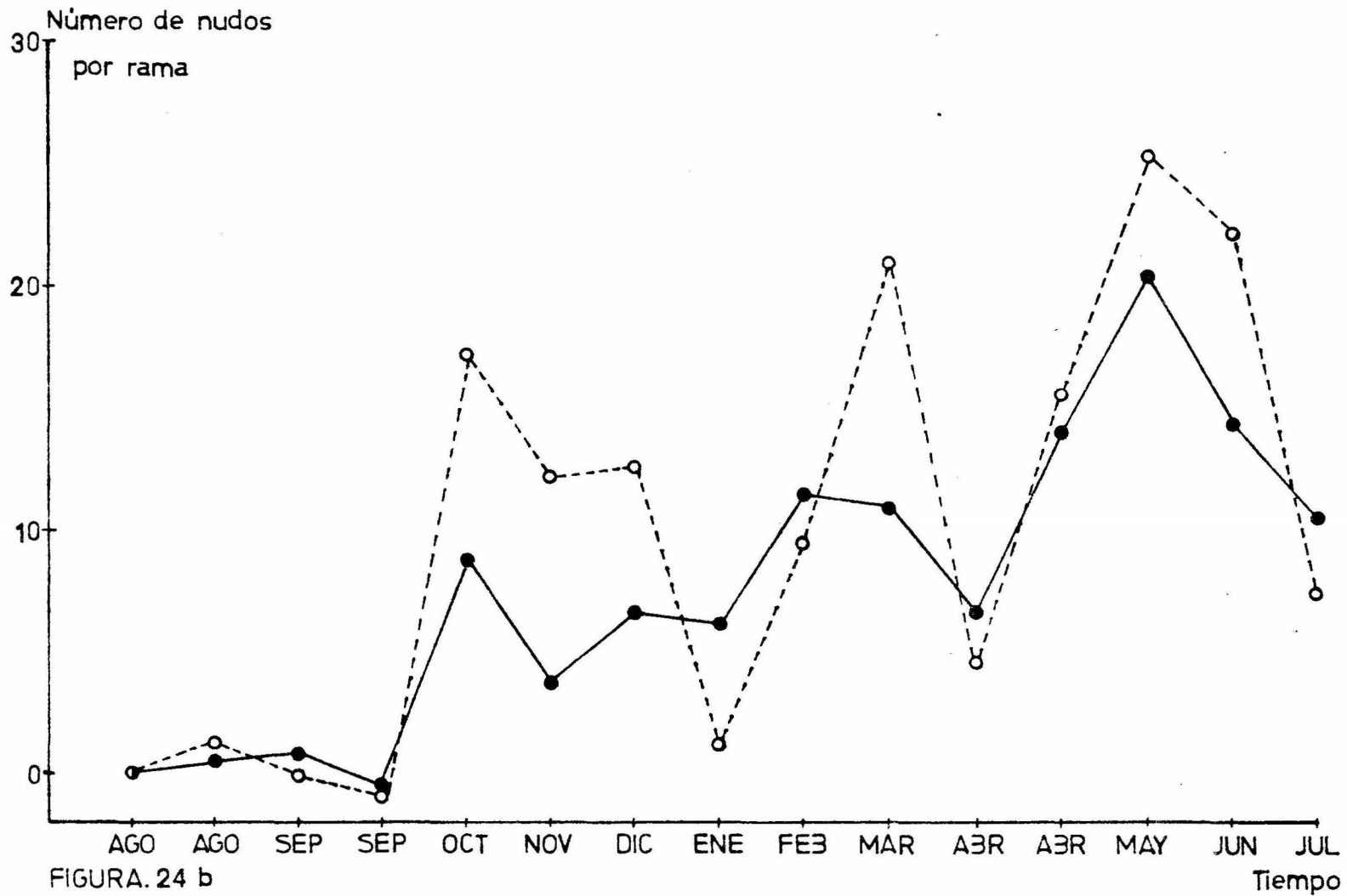


FIGURA.24a

Número de nudos en ramas en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estándar de la media.



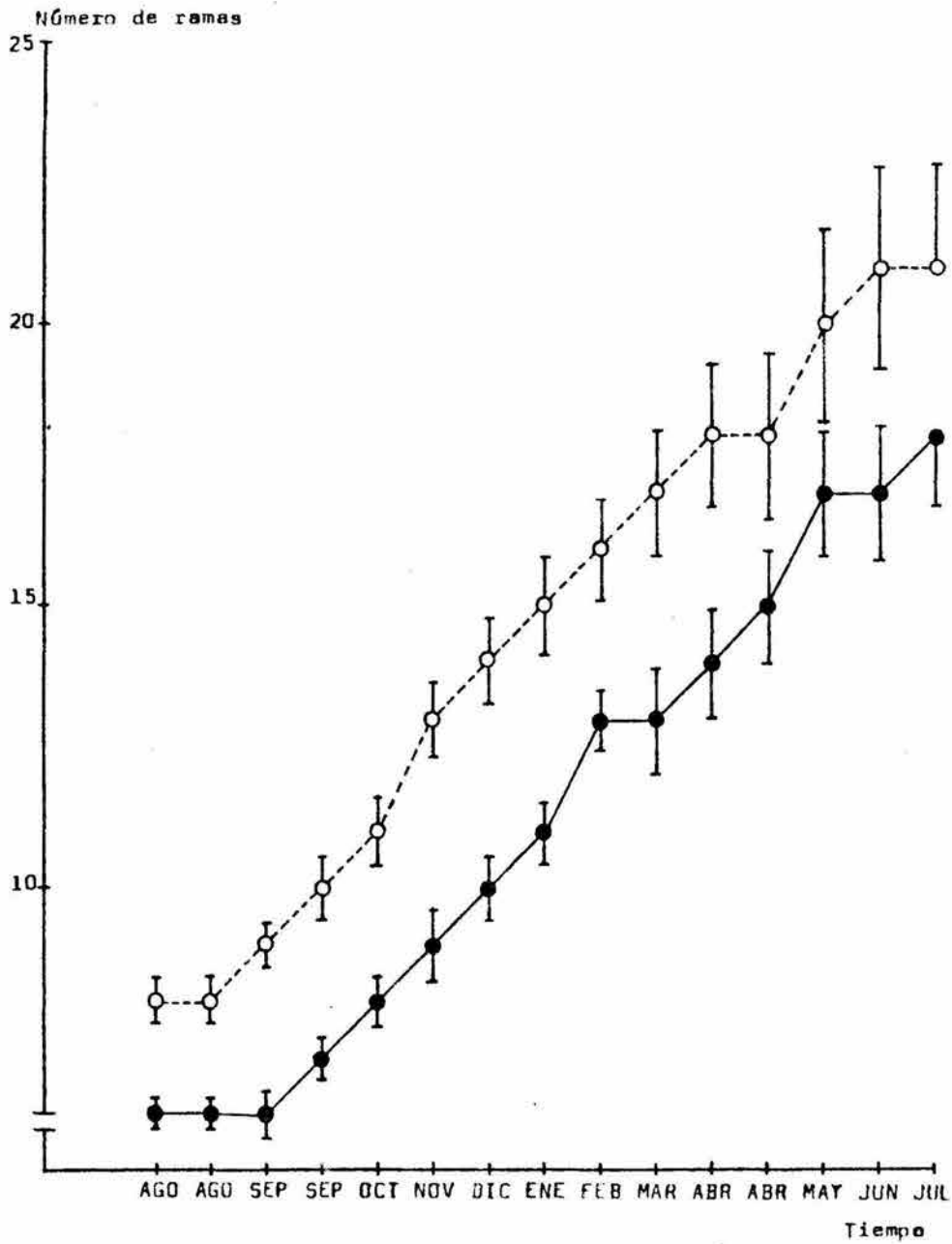


FIGURA.25a

Número de ramas por planta en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estandar de la media.

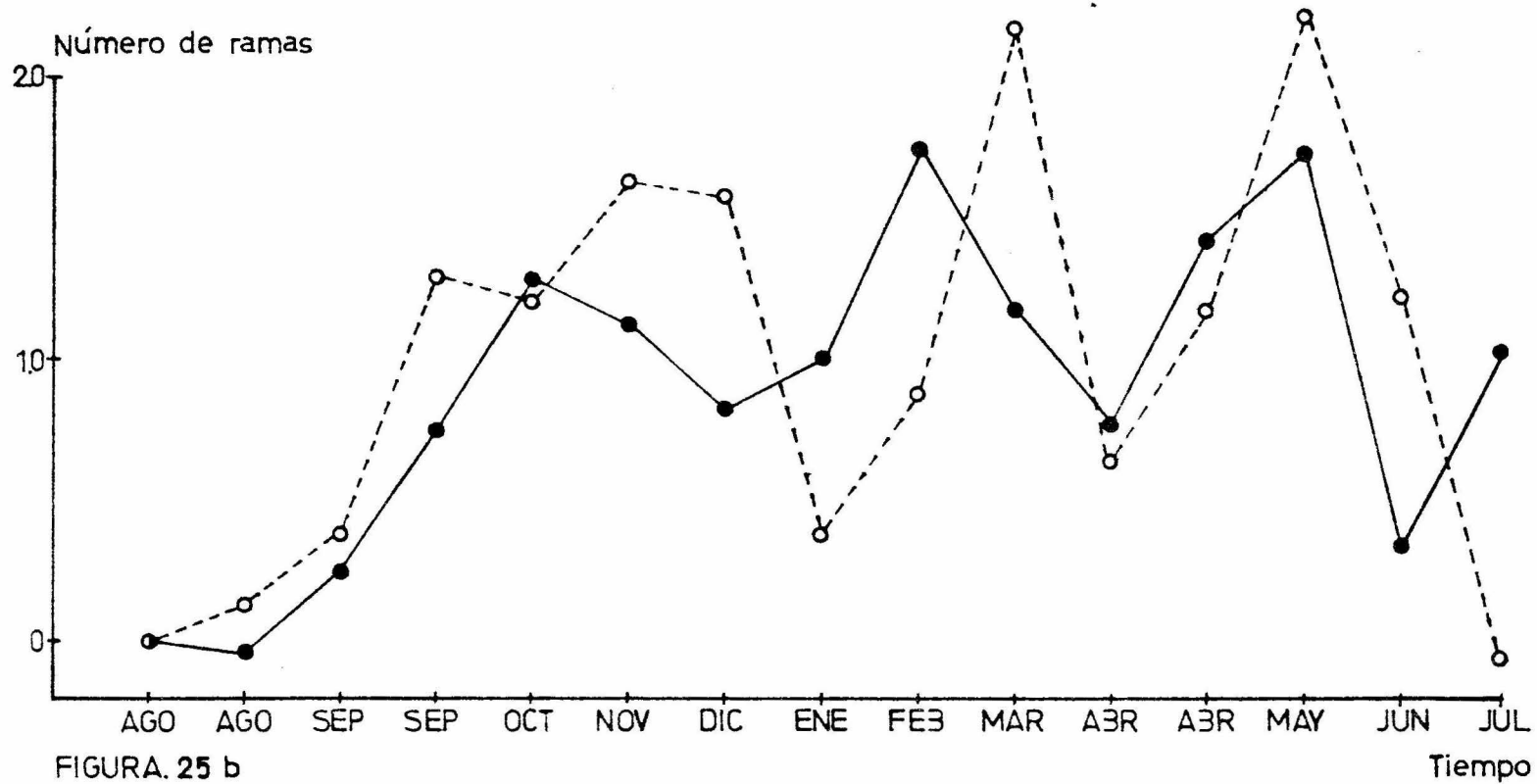


FIGURA. 25 b

Tasa de producción de ramas por planta de los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

De las tasas de incremento (Fig.25b) se aprecia que también existe semejanza en el comportamiento de los valores de ambos tratamientos. Los mayores incrementos de producción de ramas se dieron en los períodos de septiembre a octubre de 1983; de enero a marzo de 1984 y de abril a mayo del mismo año. Esto en los dos tratamientos. No obstante, los valores mas altos se presentan en el tratamiento a sol durante el experimento y al final de éste mismo.

No se registraron diferencias en el último mes entre los tratamientos ($\alpha = 0.05$)

4.3.7 LONGITUD DE ENTRENUDOS DEL TALLO

La Figura 26a muestra el comportamiento de este parámetro.

Los valores promedio de los dos tratamientos presentan un comportamiento semejante. En los primeros meses (de agosto a diciembre de 1983) se observó una baja en los valores tanto en el tratamiento a sol como en el de sombra. A partir de enero de 1984, los valores de los dos tratamientos se mantuvieron relativamente --- constantes y con variaciones mínimas.

Las tasas de incremento (Fig.26b) muestran una fuerte disminución en los valores de ambos tratamientos en los meses de agosto a diciembre. Esto se debe a que si bien la distancia de entrenudos viejos tiende a incrementarse, la pronta aparición de nudos nuevos con longitudes muy pequeñas disminuyeron los valores promedio totales. De enero hasta el final del experimento, las longitudes de entrenudos se mantuvieron relativamente constantes ya que el incremento que se registra es mínimo. Finalmente los cafetos bajo sombra

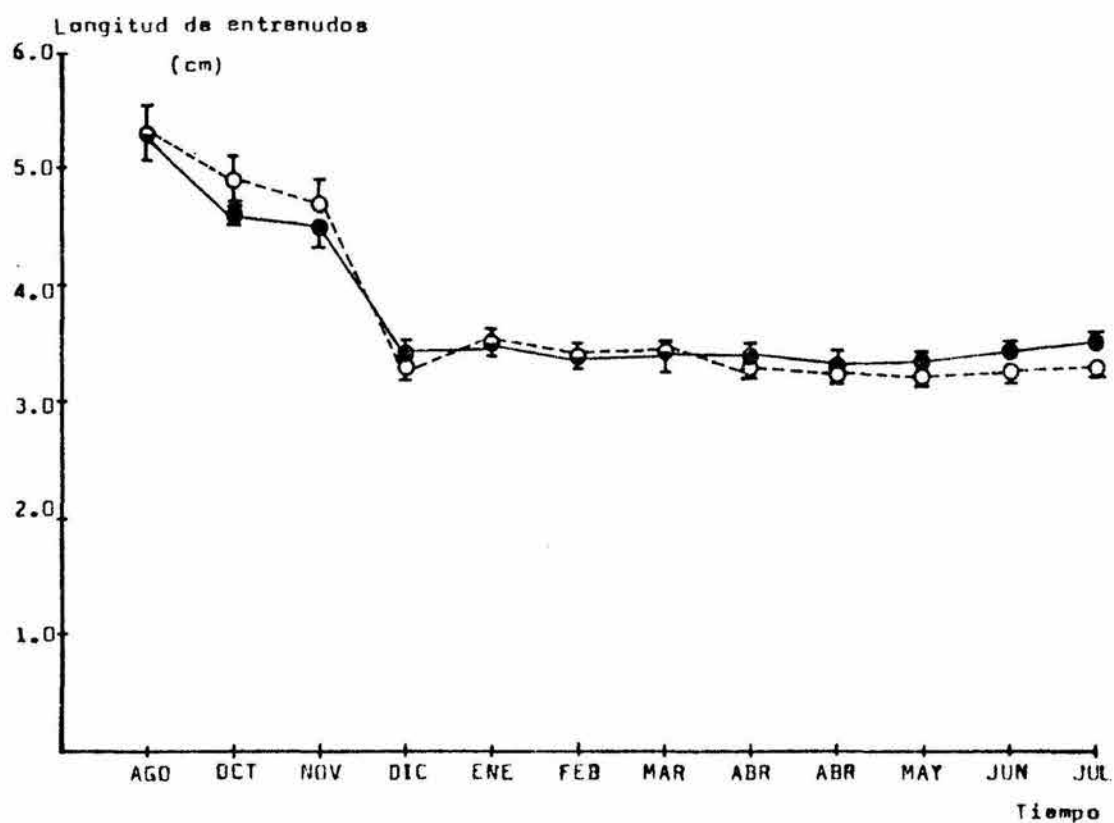


FIGURA.26a

Longitud de entrenudos del tallo (cm) en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estandar de la media.

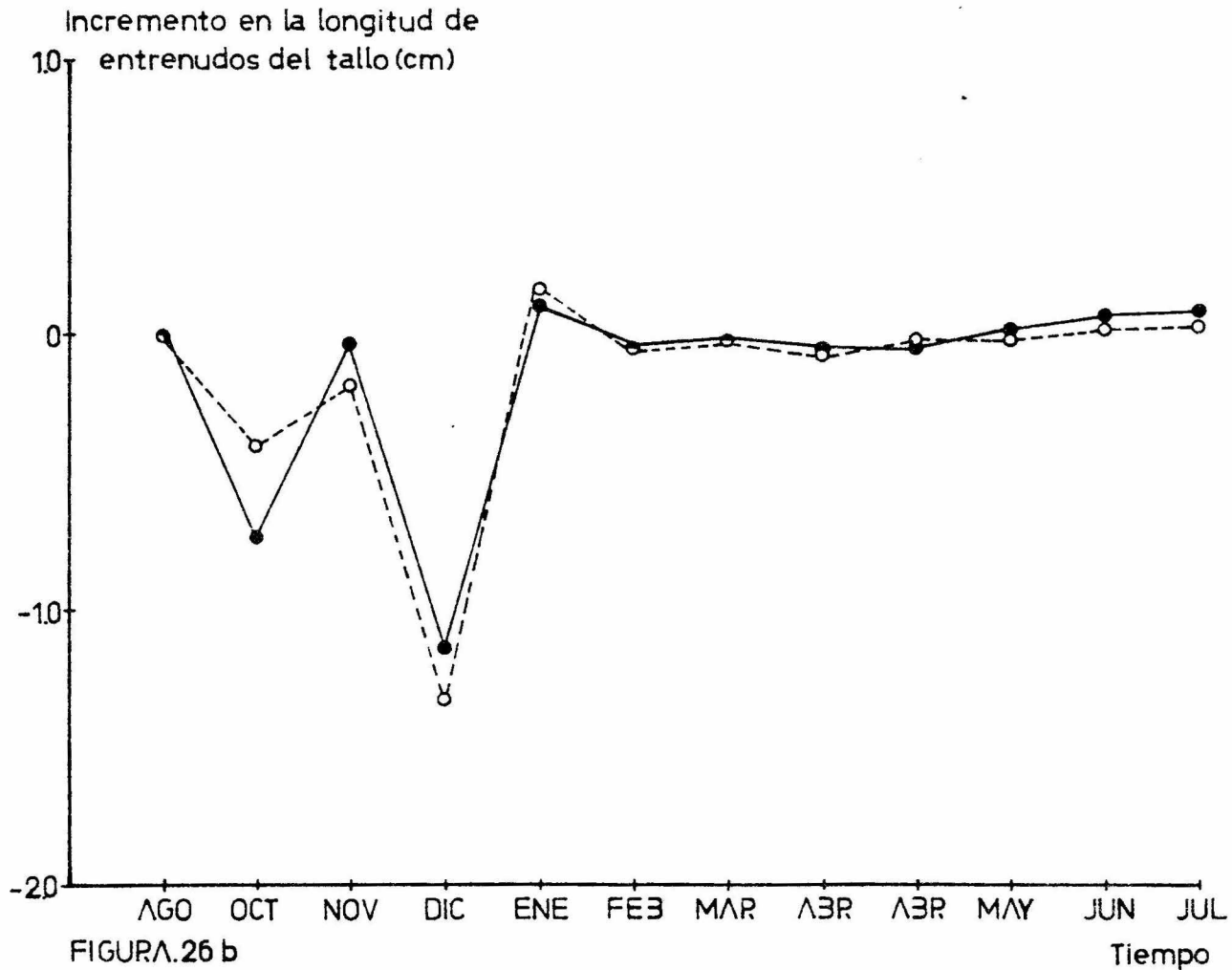


FIGURA.26 b

Tasa de incremento en la longitud de entrenudos del tallo (cm) en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L.v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

mostraron una mayor longitud de entrenudos del tallo por planta.

No se encontraron diferencias entre tratamientos en este parámetro ($\alpha=0.05$).

4.3.8 LONGITUD DE ENTRENUDOS EN RAMAS

Al comparar las curvas de crecimiento de los tratamientos a libre exposición y bajo sombra (Fig.27a) se observó que durante todo el experimento los valores mas altos correspondieron al de sombra.

Como en las curvas del parámetro anterior, en éstas también se puede apreciar en forma clara que no existen variaciones muy marcadas entre ambos tratamientos.

La disminución de los valores promedio desde el inicio del experimento hasta mayo de 1984 es gradual y relativamente constante. De mayo a julio, los valores presentan un aumento en ambos tratamientos.

Las tasas de incremento (Fig.27b) muestran en general que las variaciones en los valores promedio fueron mínimas. Es decir, el incremento en la longitud de entrenudos fué poco apreciable en ambos tratamientos. No obstante, en mayo y junio de 1984, se presentó un aumento en los valores de este parámetro.

Al igual que en la longitud de entrenudos del tallo, también la de las ramas se ve afectada en sus valores promedio por la aparición de nuevos nudos con longitudes entre ellos muy pequeñas reduciendo así los valores promedio totales. En relación al tiempo, el incremento en la longitud de entrenudos viejos es considerable-

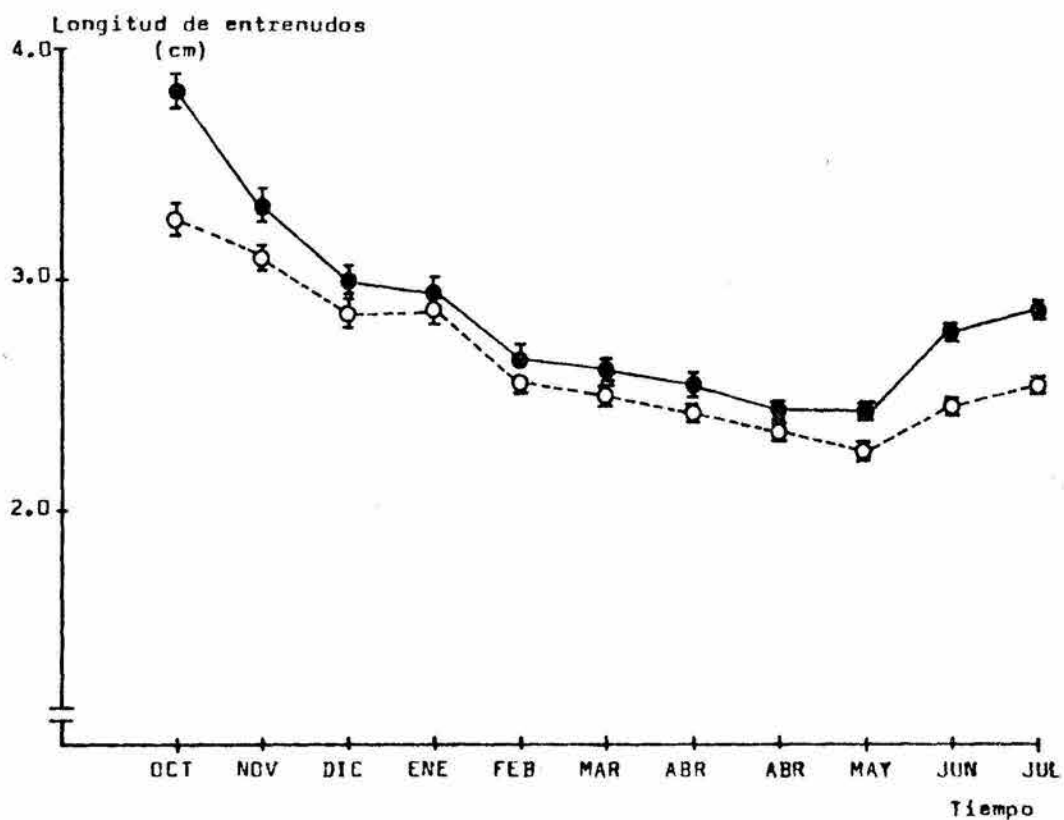
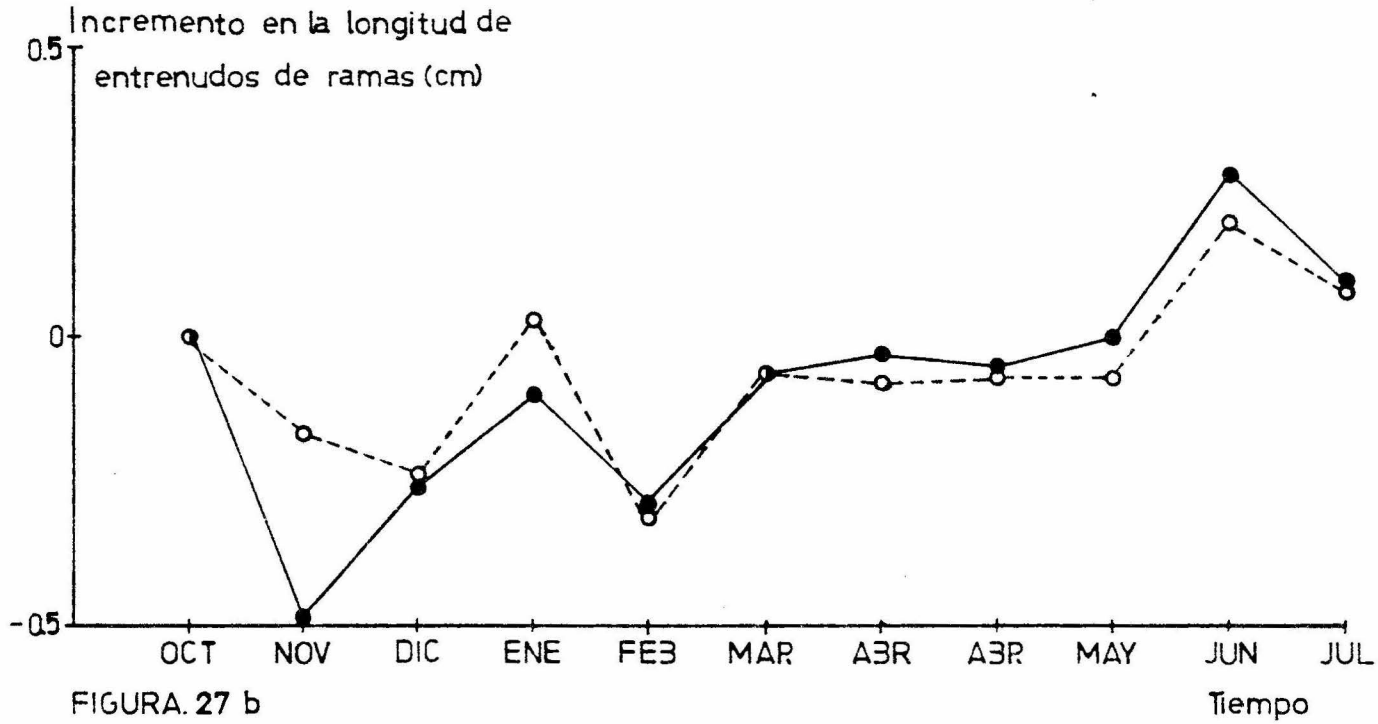


FIGURA.27a

Longitud de entrenudos en ramas (cm) en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estándar de la media.



Tasa de incremento en la longitud de entrenudos en ramas de los dos sistema de cultivo de café (*Coffea arabica* L.v.c. Caturra) a libre exposición(---) y bajo sombra(—).

mente lenta en una determinada fase de desarrollo de la planta; sin embargo, la producción de nuevos nudos puede ocurrir a intervalos cortos, causando con ésto una disminución en sus valores promedio de longitud de entrenudos.

El incremento observado a partir de mayo de 1984 se debe a que la velocidad de producción de nuevos nudos disminuyó, permitiendo con ésto, apreciar un incremento en el valor del largo de los entrenudos viejos y nuevos.

Al final del experimento, los cafetos del tratamiento bajo sombra mostraron una mayor longitud de entrenudos.

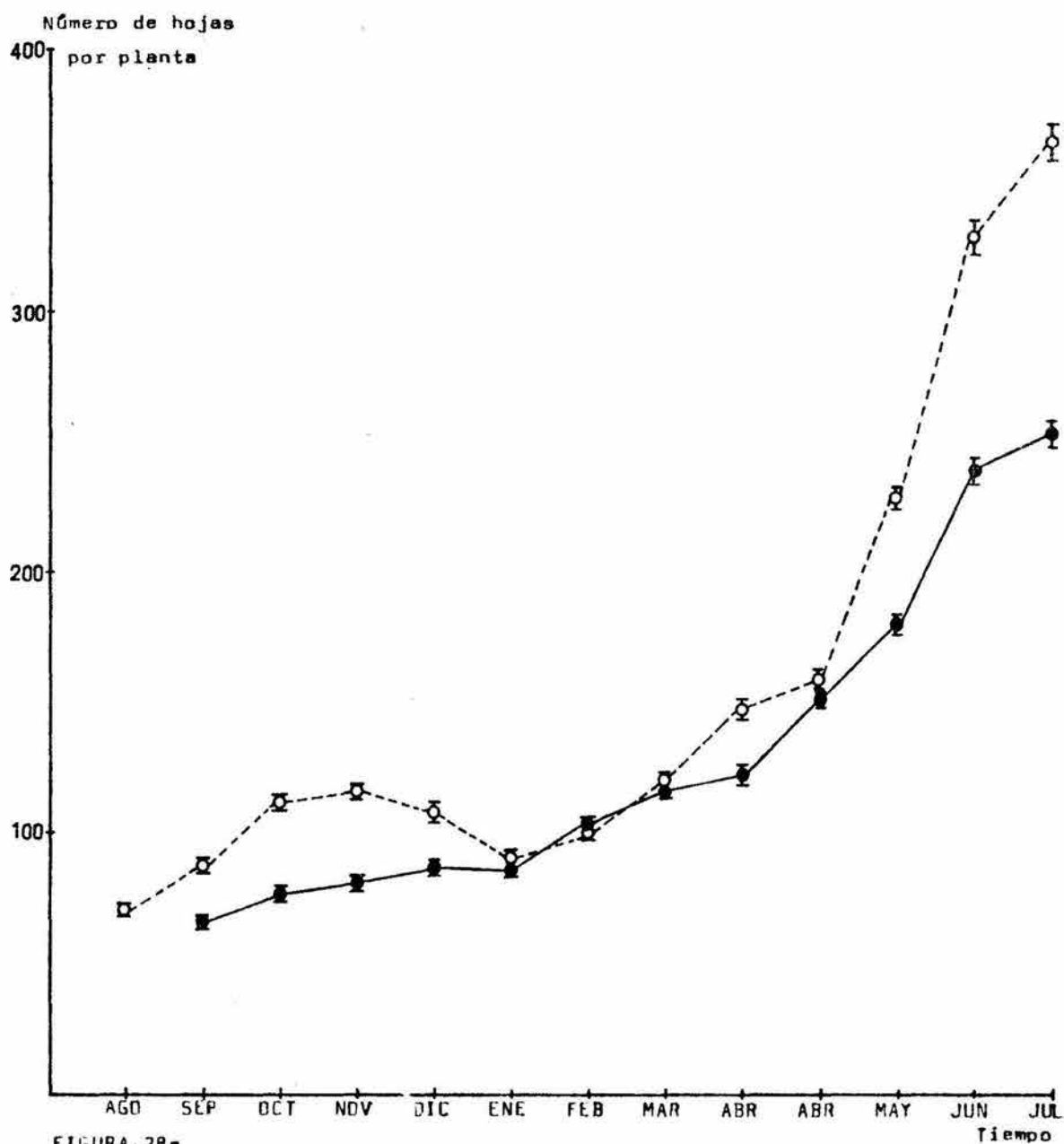
En este parámetro sí se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

4.3.9 NUMERO DE HOJAS POR PLANTA

El crecimiento en el número de hojas por planta de los tratamientos a sol y bajo sombra se muestra en la Figura 28a. En ella se puede apreciar que de agosto de 1983 a diciembre del mismo año, los valores fueron superiores en el tratamiento a libre exposición. De enero a marzo de 1984 la cantidad de producción de hojas se mantuvo en ascenso tanto en el tratamiento a sol como en el de sombra.

Del segundo registro de abril a julio de 1984, los valores promedio fueron superiores en el tratamiento a libre exposición.

Las tasas de incremento (Fig.28b) en la producción de hojas por planta permitieron observar una alternancia en los valores de este parámetro entre ambos tratamientos; sin embargo, finalmente los valores fueron superiores en los cafetos a sol en los meses de



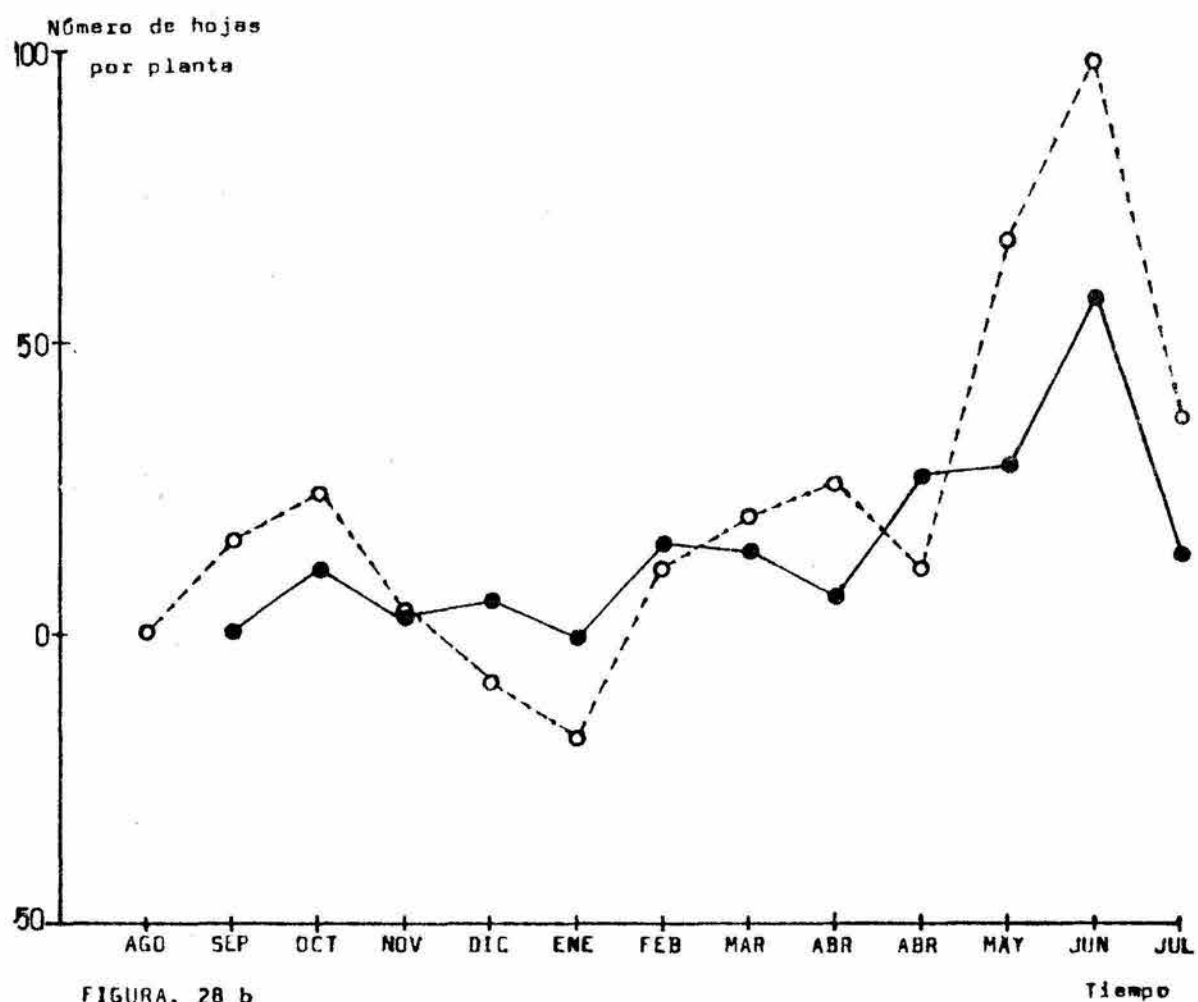


FIGURA. 28 b

Tasa de incremento en el número de hojas por planta en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

abrió a julio de 1984. Si se encontraron diferencias en este parámetro entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

4.3.1.1 AREA FOLIAR POR HOJA

Al comparar el crecimiento del área foliar por hoja de los tratamientos a sol y bajo sombra (Fig. 29a) se observó que los valores promedio presentados en este parámetro corresponden con los valores del crecimiento en número de hojas. Es decir, la disminución que muestran los valores promedio en el área foliar por hoja se debe a que la aparición de nuevas hojas (ver Fig. 28a) es relativamente continua y con valores de área foliar muy pequeños. La relación que existe entre el parámetro de número de hojas y área foliar en el período entre agosto de 1983 y abril de 1984 es inverso, esto es, a mayores valores de producción de hojas, valores menores de área foliar de éstas mismas. De mayo a julio de 1984 los valores de ambos tratamientos presentan un aumento considerable. Esto significa que en esta fase de desarrollo de los cafetos, la aparición de nuevas hojas es menor, permitiendo con esto, que los valores promedio de área foliar por hoja se incrementen.

Durante el experimento, los valores de área foliar por hoja fueron mayores en el tratamiento bajo sombra.

La Figura 29b muestra las tasas de incremento en este parámetro.

De agosto de 1983 a abril de 1984, la disminución de los valores en el incremento del área foliar por hoja es clara. Corroborando con esto, la mención referente a la aparición de nuevas hojas

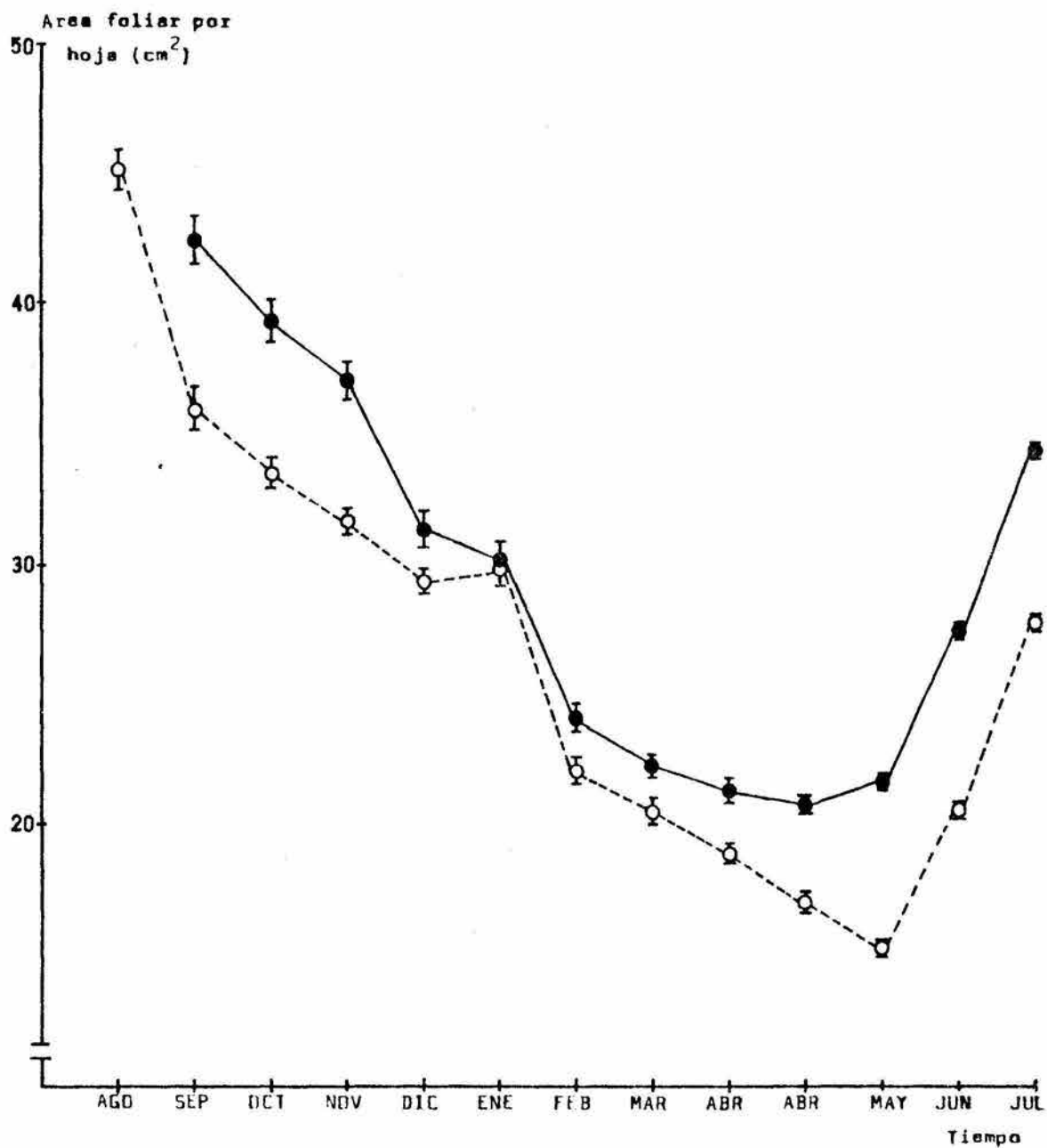
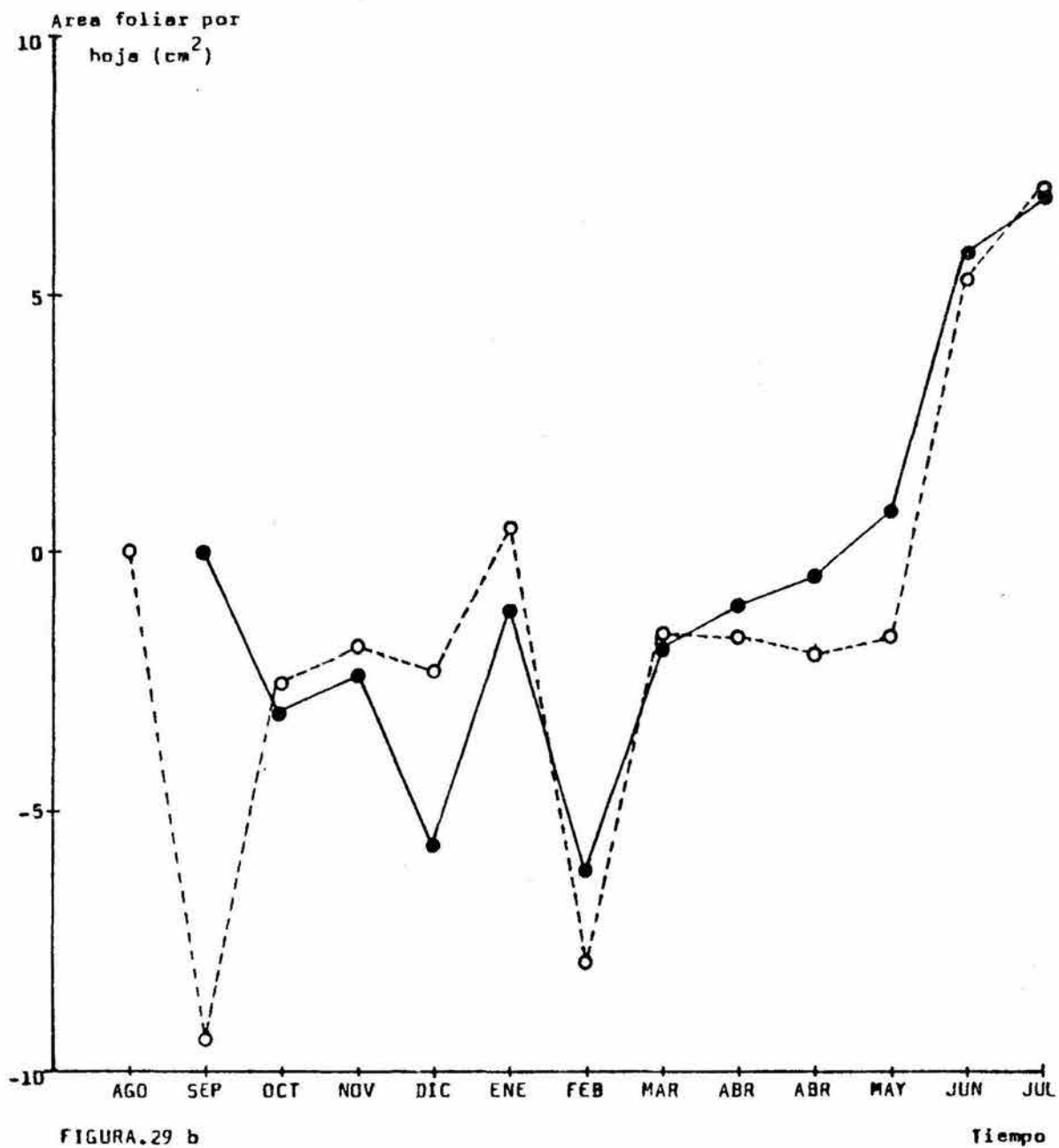


FIGURA.29a

Crecimiento en el área foliar (cm²) por hoja en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Catarra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estándar de la media.



Tasa de incremento en el área foliar por hoja de los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

con área pequeña. De abril de 1984 a julio del mismo año, se observa un mayor incremento en los valores del tratamiento bajo sombra.

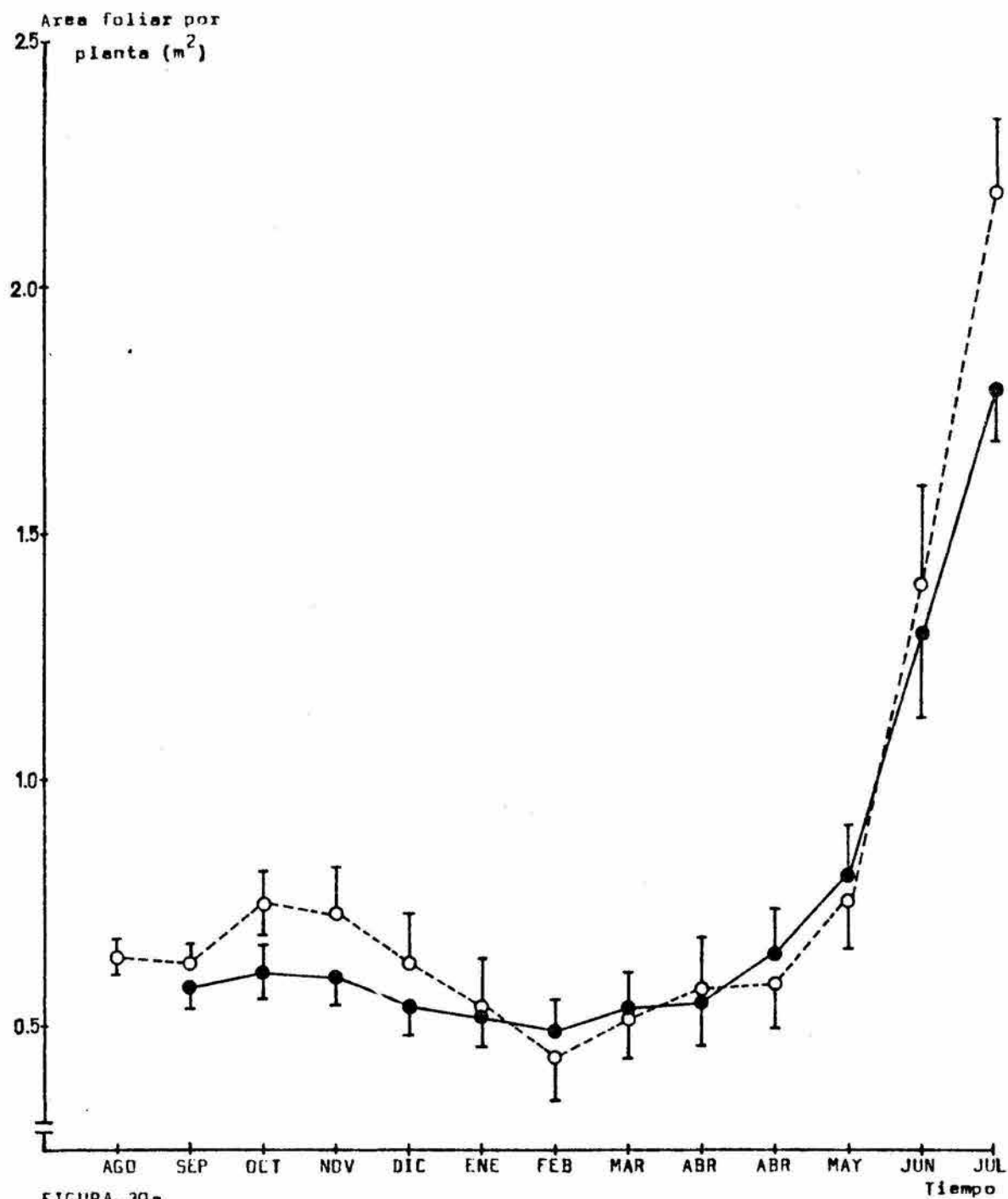
Sí se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

4.3.1.2 AREA FOLIAR POR PLANTA

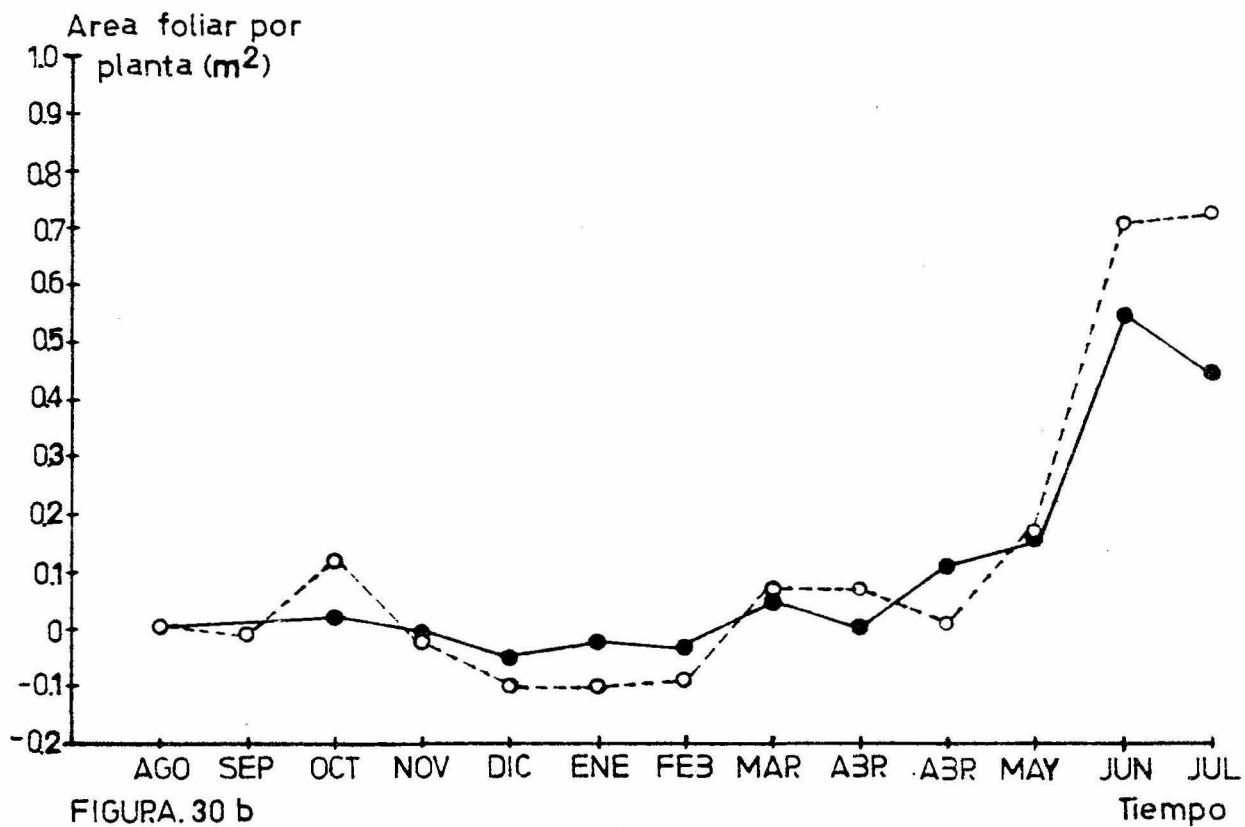
El crecimiento en área foliar por planta de los dos tratamientos se muestra en la Figura 30a. En la cual se observa un comportamiento regular en los valores de ambos tratamientos. De igual forma que en el parámetro anterior (ver Fig. 29a), se aprecia una disminución en los valores de los dos tratamientos. No obstante, a partir del mes de abril de 1984 se observa un aumento en los valores promedio de área foliar por planta mostrando ser superiores los del tratamiento a libre exposición. Nuevamente, la razón de dicha disminución y el posterior incremento en los valores en este parámetro es la mencionada en el área foliar por hoja; la rápida aparición de hojas con valores muy pequeños y posteriormente, una baja en la intensidad de producción de éstas mismas permitiendo con esto un aumento en los valores promedio de área foliar por planta.

Las tasas de incremento en el parámetro de área foliar por planta (Fig. 30b) muestran los valores de ambos tratamientos.

En general, el cambio en los valores es regular, es decir, existe una ligera alternancia de valores entre los tratamientos. La disminución en el incremento de área foliar mostrada en los meses de noviembre de 1983 a febrero de 1984 se debe a la aparición de nuevas hojas con áreas muy pequeñas. No obstante, los valores comienzan a incrementarse en mayo de 1984; después de la fase de



Crecimiento en el área foliar (m^2) por planta en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L.v.c. Caturra) a libre exposición(---) y bajo sombra(—). Las barras del último mes representan la mitad del error estándar.



producción rápida de nuevas hojas. Después de esto, los valores de área foliar por hoja permiten apreciar el incremento que se muestra de abril a julio de 1984.

Al final del experimento, los cafetos a sol presentaron valores mas altos de área foliar por planta que los de sombra. Esto se debe a que los primeros tienen mayor número de hojas (ver Fig28a) pero con menor menor área foliar por hoja.

No se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

4.3.1.3 INDICE DE AREA FOLIAR

La Figura 31a muestra el comportamiento del crecimiento en el índice de área foliar por planta en los tratamientos a sol y bajo sombra. En donde se puede apreciar de manera general que dicho comportamiento es semejante al mostrado en las curvas de crecimiento en el área foliar por hoja (Fig.29a) y en el área foliar por planta (Fig.30a). Es decir, el decremento en los valores promedio se presentó desde el mes de noviembre de 1983 hasta el de mayo de 1984. A partir de éste, los valores comienzan a incrementarse.

Al final del experimento, los valores del tratamiento a sol mostraron ser mayores que los de sombra.

Las tasas de incremento en el índice de área foliar (Fig.31b) presentan una alternancia notoria entre tratamientos. Se puede apreciar una baja considerable en los valores de incremento desde noviembre de 1983 hasta febrero de 1984. Posteriormente se mantienen relativamente constantes y a partir de mayo se aprecia un ligero incremento.

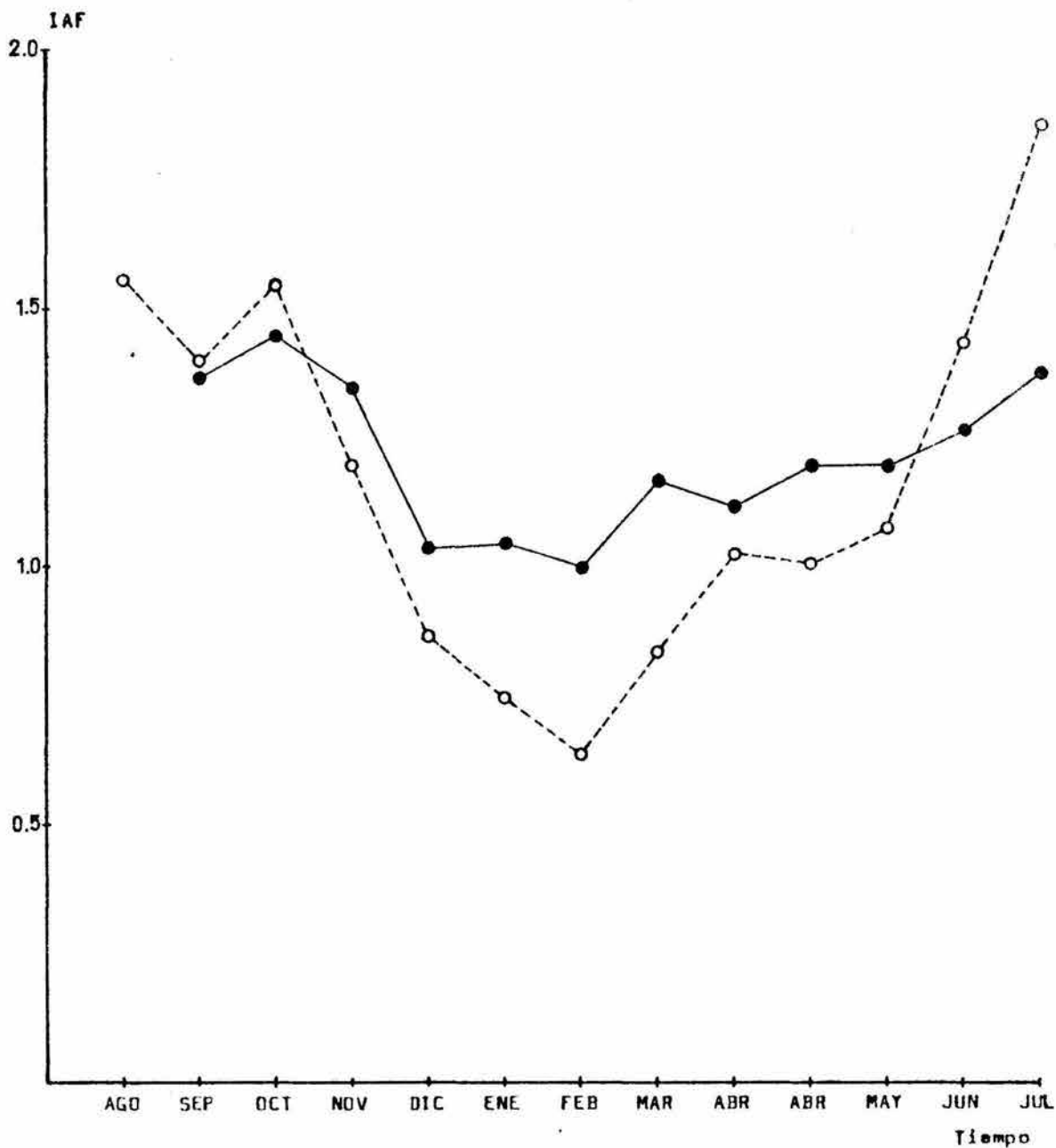
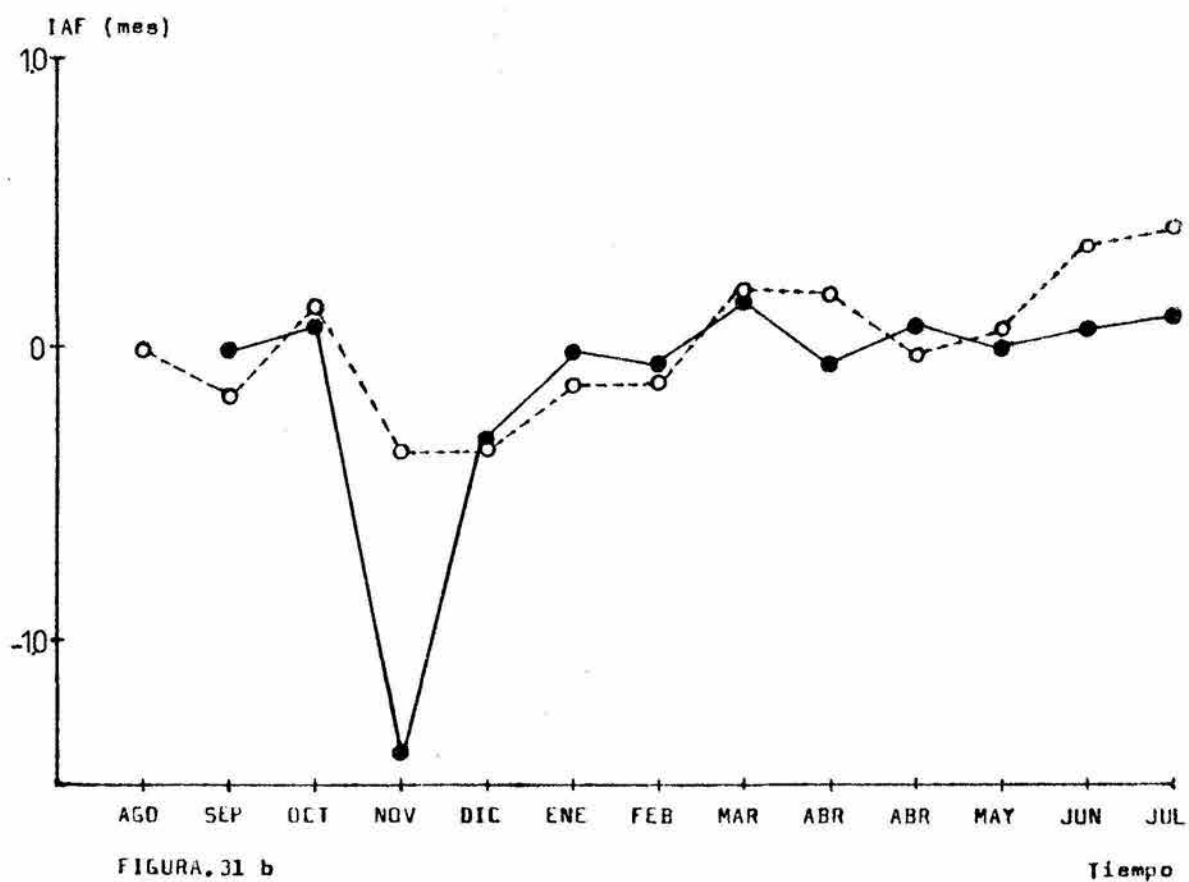


FIGURA. 31a

Indice de área foliar (IAF) por planta en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).



Tasa de incremento en índice de área foliar por planta en cultivos de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

Finalmente los cafetos a sol mostraron mayores valores de crecimiento en este parámetro.

No se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

4.3.1.4 COBERTURA DE LA PLANTA

El crecimiento en la cobertura de la planta de los dos tratamientos se muestra en la Figura 32a. En la cual se observa que los valores correspondientes al período entre octubre de 1983 y febrero de 1984 fueron mayores en el tratamiento a libre exposición. Posteriormente, ambos tratamientos muestran un incremento muy notorio y continuo de los valores de cobertura. Finalmente los valores del tratamiento a sombra fueron mayores que los de sol.

Las tasas de incremento en cobertura por planta se muestran en la Figura 32b. En ella se puede apreciar que aunque los valores de ambos tratamientos presentan comportamientos semejantes, los del tratamiento bajo sombra fueron ligeramente superiores a los de libre exposición.

En general, los incrementos de los dos tratamientos en este parámetro se observaron en los meses de noviembre y diciembre de 1983 y posteriormente de abril a julio de 1984.

No se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

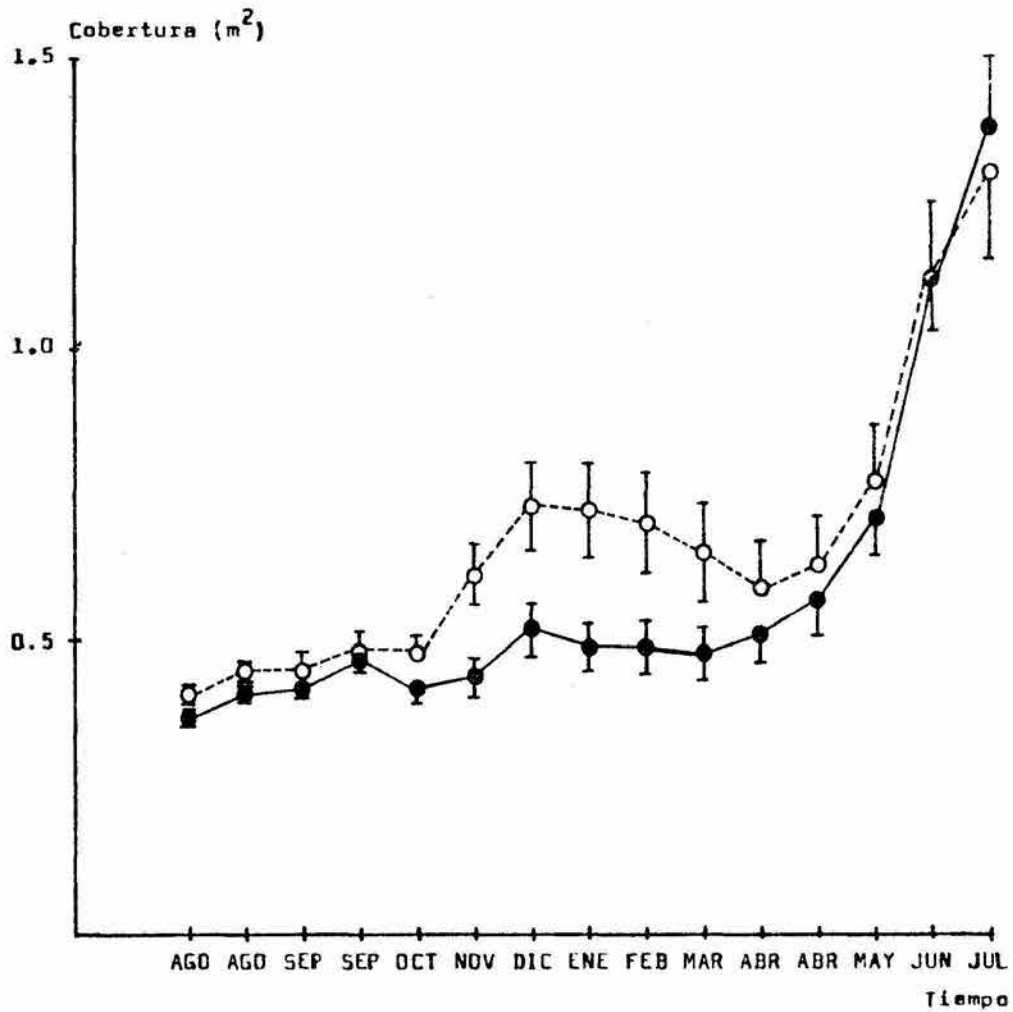
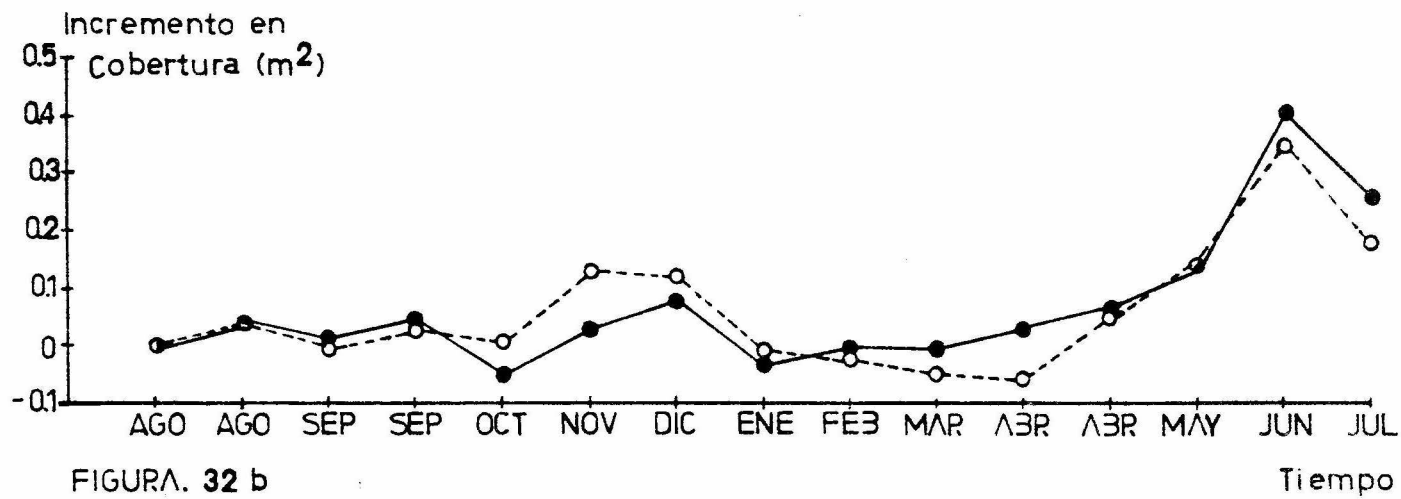


FIGURA. 32a

Cobertura (m²) por planta en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—). Las barras representan el error estandar de la media.



Incremento en cobertura por planta en los dos sistemas de cultivo de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

4.4 ANALISIS DE PRODUCTIVIDAD

4.4.1 ANALISIS DE BIOMASA

En la Figura 33 se puede apreciar la producción en gramos y el porcentaje de distribución del peso seco por planta en los tratamientos a sol (A) y bajo sombra (B).

En los dos tratamientos el peso seco y el porcentaje fueron iguales al inicio del experimento (ver Tabla.21) dado que las muestras provenían del mismo almácigo. El primer muestreo solo tiene el propósito de dar a conocer la biomasa inicial de los cafetos.

A partir del segundo muestreo de biomasa (noviembre de 1983) los valores de peso seco muestran de manera clara que los cafetos a sol tuvieron una mayor producción de peso seco en comparación con los de sombra.

Los valores del tercer muestreo (incluyendo a los del segundo) (marzo de 1984) muestran una mínima producción de materia seca en los dos tratamientos; sin embargo, en el tratamiento bajo sombra se observa un menor incremento en estos períodos. Esta menor acumulación de materia seca registrada entre los meses de diciembre a marzo, corresponde de forma entendible con las condiciones climáticas de dichos meses. Es decir, a bajas temperaturas y a mínima captación de radiación solar (alta nubosidad).

Las pruebas estadísticas no mostraron diferencias entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

En esta misma gráfica y en la Tabla 22 se observa la distribución de biomasa en los distintos órganos de la planta. El porcentaje más alto corresponde al tejido foliar (34-52% a sol y 41-52% a

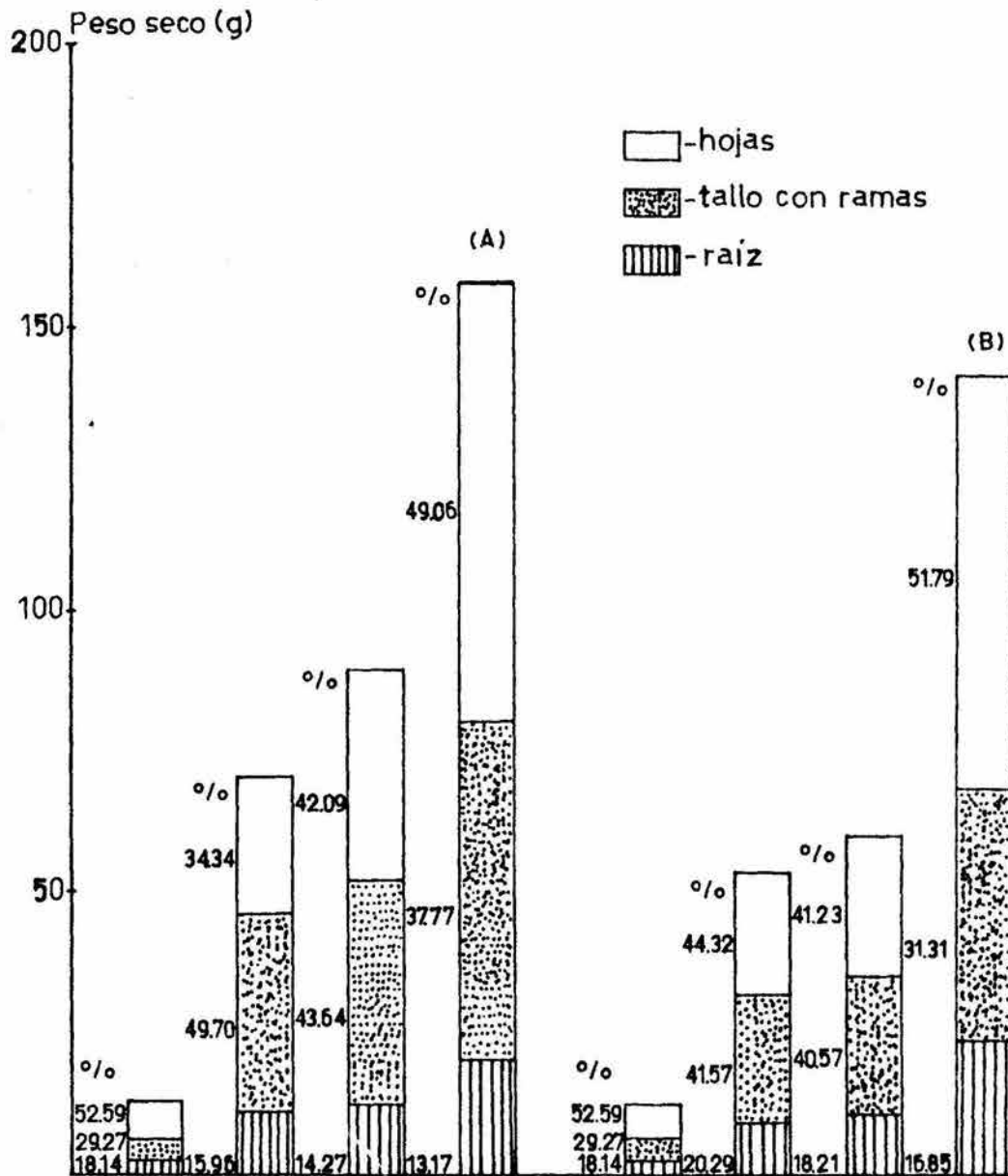


FIGURA. 33

Producción (g) y porcentaje (%) del peso seco por planta en los dos cultivos de café (*Coffea arabica* L.v.c. Caturra) a libre exposición (A) y bajo sombra (B).

sombra) El segundo nivel de porcentaje lo conforman los tejidos del tallo y de las ramas (29-49% a sol y 29-41% a sombra). El tercer nivel de porcentaje se presenta en los tejidos de la raíz (13-18% a sol y 16-20% a sombra).

No obstante que la producción de peso seco total fue mayor en el tratamiento a sol, el porcentaje de distribución lo fue en el tratamiento a sombra. Las estructuras foliares lo mismo que las raíces, mostraron un porcentaje de distribución mas alto en los cafetos bajo sombra durante los cuatro muestreos.

En los tres primeros muestreos se puede apreciar que la relación porcentual que muestran el tallo con ramas fue mayor en el tratamiento a sol. En el de sombra, fue mayor el de las hojas. Lo anterior indica que durante este periodo los cafetos a libre exposición concentraron su mayor acumulación de materia seca en las estructuras de reserva (tallo y ramas) mientras que los de sombra la concentraron en las estructuras fotosintéticas (hojas).

En el último muestreo los dos tratamientos mostraron el mayor porcentaje de acumulación en las estructuras foliares. No obstante, los valores correspondientes a estas estructuras fueron mayores en el tratamiento bajo sombra.

4.4.2 TASA DE ASIMILACION NETA

La Figura 34 muestra el comportamiento de la tasa de asimilación neta (TAN) calculada para 3 intervalos de muestreo en los dos sistemas de cultivo. En la cual se puede apreciar que los dos primeros intervalos fueron superiores en el tratamiento a sol. No obs

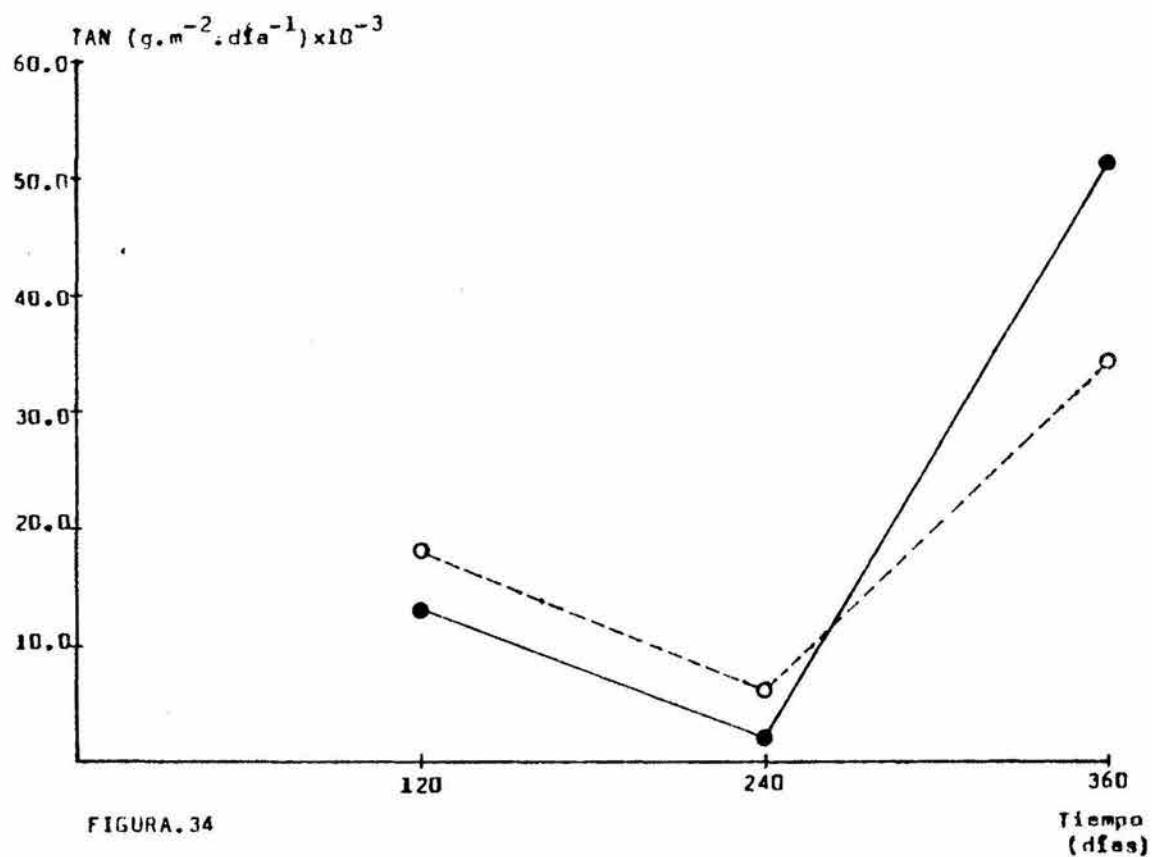


FIGURA.34

Tasa de asimilación neta (TAN) de los dos cultivos de café (*Coffea arabica* L.v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

tante, tanto a sol como a sombra se presenta una disminución en los valores de este parámetro. Esto quiere decir que la eficiencia fotosintética de los cafetos en los dos sistemas de cultivo disminuyó en relación a la baja radiación, temperatura y precipitación registradas en ese período (diciembre de 1983 a marzo de 1984).

Lo anterior también corresponde a los bajos incrementos en biomasa observados en este mismo período. Es probable que la tasa de asimilación neta cause efectos directos en los incrementos de materia seca de los cafetos.

En el último intervalo (abril a julio de 1984) se observa un marcado aumento de la tasa de asimilación en los dos sistemas de cultivo. Lo anterior se debe a que en este período los valores de radiación, temperatura y precipitación fueron también mas altos.

No se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

4.4.3 TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO

La Figura 35 muestra el comportamiento de la tasa de crecimiento relativo (TCR) en los dos sistemas de cultivo.

En general, la tasa de crecimiento presenta un comportamiento semejante al de la tasa de asimilación neta. Lo que puede indicar, que la TCR varía en función directa de la TAN.

El comportamiento de los valores de la **tasa** de crecimiento relativo responde a los valores de radiación, temperatura y precipitación registrados en los diferentes intervalos, de forma semejante a la tasa de asimilación neta.

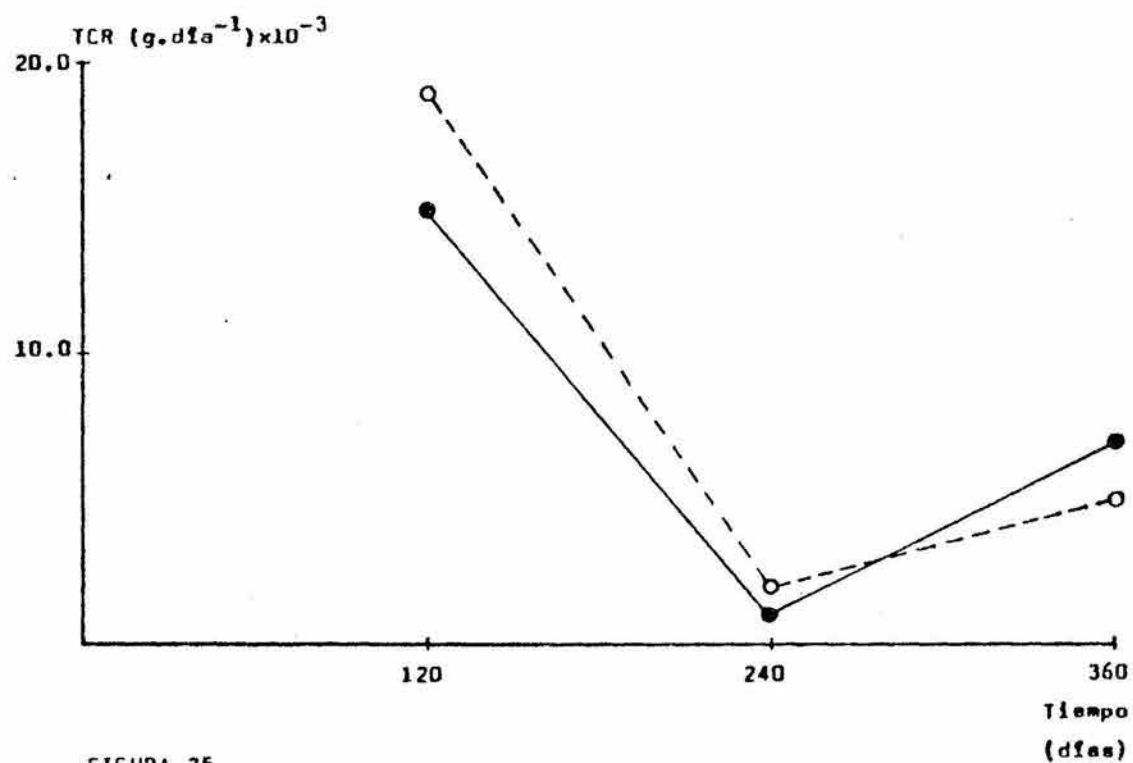


FIGURA. 35

Tasa de crecimiento relativo (TCR) de los dos cultivos de café (*Coffea arabica* L. v.c. Caturra) a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

En el último intervalo, el tratamiento bajo sombra también presentó valores superiores al de libre exposición.

No se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

4.4.4 AREA FOLIAR ESPECIFICA

En la Figura 36 se muestra el comportamiento en el área foliar específica (Afe) de los dos tratamientos. En la cual se puede apreciar una constante disminución en los valores de este parámetro, tanto a sol como a sombra. A pesar de lo anterior, los valores más altos corresponden al cultivo bajo sombra en los tres últimos intervalos. Lo que indica que conforme al tiempo, las plantas de ambos sistemas adquirieron mayor grosor en sus hojas; sin embargo, los cafetos a sombra desarrollaron hojas con área más grande y un grosor más delgado. En cambio las hojas de los cafetos a sol desarrollaron un área menor pero un grosor mayor.

No se encontraron diferencias entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

4.5 ANALISIS DE CLOROFILA

En la Tabla 24 se muestran los valores de la determinación de clorofila a, b y total en los dos tratamientos.

Las concentraciones más altas para los dos tipos de clorofila y consecuentemente la total, se registraron en el tratamiento a libre exposición.

En los dos tratamientos se observó mayor proporción en la concentración de clorofila a.

Se encontraron diferencias tanto en la concentración de clorofila a como de la b, entre tratamientos ($\alpha = 0.05$).

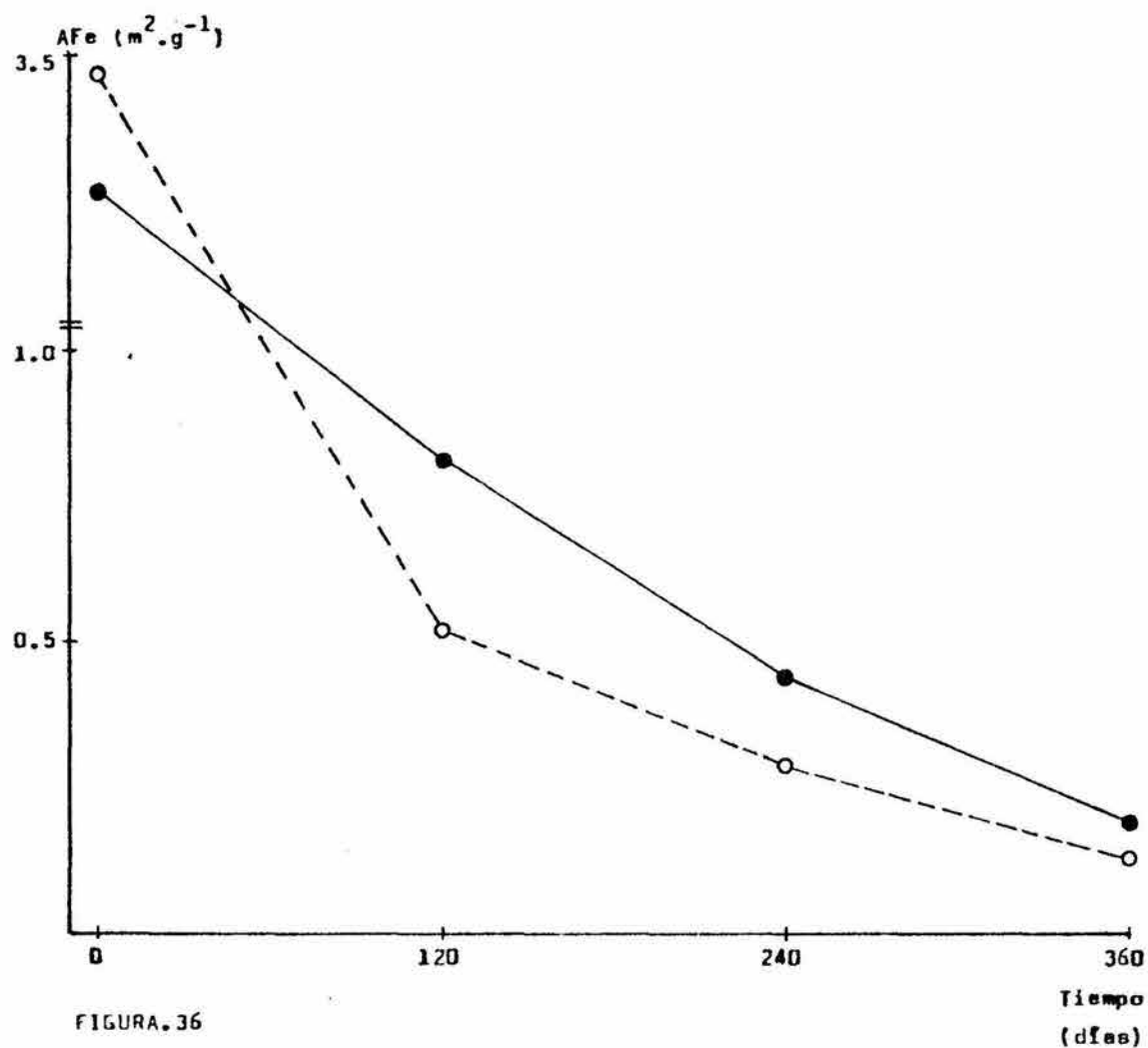


FIGURA.36

Area foliar específica (AFe) en hojas de cafetos (Coffea arabica L. v.c. Caturra) cultivados a libre exposición (---) y bajo sombra (—).

CONCENTRACION DE CLOROFILA a, b y TOTAL (mg.l⁻¹)

	SOL		SOMBRA		tc
Ca	0.356	± 0.024	0.293	± 0.015	2.02
Cb	0.180	± 0.014	0.094	± 0.003	4.81
Ct	0.536	± 0.036	0.464	± 0.028	1.36

TABLA. 24

Concentración promedio de clorofila a (Ca), clorofila b (Cb) y clorofila total (Ct) (mg/l⁻¹) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado a los tres tipos de clorofila, en hojas de café cultivadas a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 5 observaciones ± el error estándar.

Tt=0.05(2)8=1.85

En la Tabla 25 se muestran los coeficientes de -----
 ---correlación simple de los parámetros de microclima vs. pará -
 metros de crecimiento.

De manera general, los valores de los coeficientes de correla
 ción muestran una relación significativa entre las variables co -
 rrelacionadas.

La temperatura del aire ($t_a^{\circ}\text{C}$) mostró relación satisfactoria
 con el crecimiento de los cafetos en; cobertura, longitud de entre
 nudos en ramas, área foliar por hoja y por planta, índice de área
 foliar, biomasa, TAN, TCR y área foliar específica. Todos estos co
 eficientes presentan valores positivos, lo que indica cuando las
 temperaturas del aire ascendían (a finales de febrero hasta julio)
 también mostraron un ascenso gradual los valores de crecimiento en
 los parámetros atrás mencionados.

La temperatura del suelo ($t_s^{\circ}\text{C}$) solo presentó relación óptima
 con el área foliar por hoja y la TAN, con valores positivos. Mien
 tras que con el área foliar específica mostró valores de (r) nega
 tivos.

La humedad del suelo ($H_s\%$) presentó ser determinante en los
 parámetros de crecimiento de área foliar por hoja, TAN y TCR. En
 este último con valor de (r) negativo.

La TAN, solo mostró relación con la humedad relativa del am
 biente ($HR\%$). En cambio, el parámetro climático que mostró ser de
 terminante en el crecimiento de los cafetos fué el de la radiación
 solar (R_s) ya que a excepción de 4 parámetros de crecimiento todos
 los demás resultaron con valores de (r) positivos y significati
 vos (ver Tabla 25).

COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE: PARAMETROS MICROCLIMATICOS vs.

PARAMETROS DE CRECIMIENTO

	Aa	Do	Ca	LR	#NT	#NR	NR	LNT	LNR	#H	AFh	AFp	IAF	Ba	TAN	TCR	AFe
ta ^o C	-	-	.62	-	-	-	-	-	.61	-	.75	.76	.68	.65	.98	.70	-
ts ^o C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.64	-	-	-	.97	-	.75
Hs%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.74	-	-	-	.98	-	-
HR%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.66	-	-
Rs	.67	-	.79	.84	.79	.75	.76	-	-	.81	-	.78	.80	.90	.99	.96	.88
EP	.67	-	-	.63	.79	.76	.74	-	.66	.74	.70	-	-	-	-	-	-

TABLA.25

Coefficientes de correlación simple entre diferentes parámetros microclimáticos y los de crecimiento.

(Aa)- altura

(Do)- diámetro

(Ca)- cobertura

(LR)- longitud de ramas

(#NT)- número de nudos del tallo

(#NR)- número de nudos en ramas

(NR)- número de ramas

(LNT)- longitud de entrenudos del tallo

(LNR)- longitud de entrenudos en ramas

(#h)- número de hojas.

(AFh)- área foliar por hoja

(AFp)- área foliar por planta

(IAF)- índice de área foliar

(Ba)- biomasa

(TAN)- tasa de asimilación neta

(TCR)- tasa de crecimiento relativa

(AFe)- área foliar específica

Por último, la evaporación Piche (EP) resultó ser importante en el crecimiento de los cafetos dado que presentó valores de (r) significativos con la altura, el largo de ramas, número de nudos en tallo y ramas, número de ramas y de hojas. Igualmente se obtuvieron coeficientes significativos en la longitud de entrenudos en ramas y en el área foliar por hoja pero con (r) negativos.

Es necesario especificar que si bien los parámetros microclimáticos registrados en este experimento influyen de manera general al crecimiento de los cafetos, pueden existir ligeras variaciones, mismas que se expresan en el desarrollo de las plantas; sin embargo, al reportar los coeficientes de correlación (r) se observó que un mismo parámetro microclimático presentó valores significativos tanto sol como a sombra. Partiendo de esta observación se reporta el valor de (r) mas significativo entre ambos tratamientos.

CAPITULO 5

DISCUSION

5.1 ANALISIS DE MICROCLIMA

Si bien los datos micrometeorológicos fueron tomados en la Congregación La Orduña, éstos permiten cuantificar las diferencias entre los dos tratamientos de los lotes experimentales de Campo Viejo.

En general, el microclima en los dos tratamientos presentó un patrón de variación semejante. Sin embargo, en términos absolutos se observaron diferencias marcadas en todos los parámetros determinados. Estas diferencias repercutieron en el crecimiento de los cafetos en ambos tratamientos.

La evaporación, la temperatura del aire y del suelo fueron mayores en el tratamiento a sol. La variación del comportamiento de estos parámetros microclimáticos presentó una relación directa respecto a la radiación solar----- registrada durante el año de experimentación en los dos tratamientos.

La humedad del aire y del suelo fueron mayores en el tratamiento a sombra. A medida que aumentó la radiación solar en el transcurso del año, la humedad del aire y del suelo disminuyeron. Esta disminución se debe principalmente a la evapotranspiración causada por dicho aumento en la carga radiativa. Las fluctuaciones en la humedad del aire y del suelo presentan una relación inversa con la radiación.

El flujo radiativo que llega a la superficie del suelo está regulado por la cubierta vegetal, al no existir ésta, se incrementa la amplitud térmica y la evaporación; mientras que los niveles de humedad son mas bajos.

En tanto exista una cubierta vegetal, se presenta una menor cantidad de radiación en los estratos inferiores y consecuentemente una disminución en las variaciones térmicas e hídricas dando con ésto mayores niveles de humedad.

5.2 ANALISIS QUIMICO DEL SUELO

5.2.1 pH

De acuerdo a las claves de clasificación de Velázco (1983), en los dos tratamientos el pH de los suelos fué ácido (4.2 a 5.3). No obstante, se encuentra dentro de los valores de pH límite para sistemas cafetaleros reportados por Coste (1969).

El pH registrado en los tratamientos mostró una tendencia a disminuir progresivamente. Dicha disminución puede estar relacionada con la aplicación de fertilizante. Los elementos nitrogenados de éste funcionan como acidificantes residuales (Robles, 1971; y Ortiz, 1977). Parte de estos elementos nitrogenados (NO_3) son absorbidos por la planta y otra parte lixiviados.

Como consecuencia de la disminución del pH, la disponibilidad de macronutrientes importantes como el fósforo se altera, dado que la formación de minerales insolubles es favorecida en suelos de pH ácido (Duchaufour, 1978).

Por lo anterior se requiere de una dosificación sistemática de fertilizantes con el fin de no alterar el balance y disponibilidad de elementos imprescindibles para el crecimiento adecuado de los cafetos. Acompañadas de actividades de encalado para elevar los valores de pH y la consecuente solubilidad de nutrientes escen

ciales para las plantas.

5.2.2 MATERIA ORGANICA

Los porcentajes de materia orgánica registrados en el primer análisis (julio de 1983), lo mismo que en el tercero (julio de --- 1984), fueron superiores en el tratamiento a sol. Las diferencias en el primero pueden deberse a que al inicio del experimento, durante la preparación del terreno, se incorporó el rastrojo de las malas hierbas. Además de que antes de iniciar la plantación, el suelo no fué explotado intensamente dado que solo contaba con árboles de plátano y de café abandonados.

Las diferencias en el tercer registro pudieron deberse, en primer lugar, a que en los meses secos (marzo y abril) la caída de las hojas de los cafetos fué mas intensa con el consecuente aporte de materia orgánica al suelo. En segundo lugar, también en este período se incorporaron los restos vegetales de las malezas como resultado de las limpieas del terreno. En cultivos a libre exposición la producción de malezas es mayor que en cultivos bajo sombra (Jiménez-Avila y Martínez-Vara, 1979b), lo cual infiere que aunque en el de sol no existe una cubierta vegetal como fuente permanente de materia orgánica, sí existe una alta proliferación y frecuencia de plantas herbáceas que posteriormente funcionarán como dicha fuente.

En el segundo registro (marzo de 1984) los porcentajes de materia orgánica fueron superiores en el tratamiento bajo sombra; sin embargo, estas diferencias no fueron significativas entre los

los dos tratamientos (7.0% a sombra y 6.52% a sol)(ver Tabla 2). Como se mencionó anteriormente, marzo es un mes que se caracteriza por presentar un clima seco, es decir, radiación relativamente alta, temperaturas también relativamente altas y poca precipitación. Con estas condiciones, las plantas en general tienden a deshojarse como respuesta a la sequía. Tanto en el tratamiento a sol como en el de sombra, sucede la respuesta anterior; sin embargo, la poca diferencia en el porcentaje de materia orgánica fué mayor en el tratamiento a sombra y ésto se debe a que los árboles de sombra proporcionan una fuente constante y permanente de materia orgánica.

Por otro lado, la descomposición rápida de la materia orgánica se acelera por una mayor temperatura y una humedad suficiente, pero no excesiva, de forma que la aireación permanezca favorable (Duchaufour,1978). Por lo tanto, es lógico pensar que el aporte de materia orgánica en los cafetos bajo sombra será mayor a la descomposición de ésta misma.

5.2.3 NITROGENO

Los valores del porcentaje de nitrógeno presentan un comportamiento semejante a los observados en materia orgánica. las razones de lo anterior son las expuestas previamente al análisis de nitrógeno.

Dado que existe mayor cantidad de materia orgánica en el tratamiento a sol, el porcentaje de nitrógeno también es mayor. En los suelos la mayor parte del nitrógeno es incorporado por la aportación de materia orgánica proveniente de los restos vegetales ---

(Duchaufour,1978). De este nitrógeno mineralizado, una proporción es destinada a la alimentación de la planta y otra se mantiene en forma de humus. Igualmente, tanto la fijación atmosférica como la fijación de nitrógeno por los árboles de sombra (leguminosas) son importantes en un medio biológicamente activo. Por último pero no menos importante, es el pequeño aporte de nitrógeno soluble por las lluvias (Duchaufour,1978). En los dos tratamientos la actividad biológica y el aporte de nitrógeno atmosférico y simbiótico deben ser óptimos; sin embargo, los valores mas altos presentados en el tratamiento a sol pueden deberse a la retención de este elemento por el complejo absorbente del suelo. Lo anterior es válido en el supuesto de que se trate del nitrógeno amoniacal, pues en esta forma sí presenta relación con el pH. Es decir, que al encontrarse valores ácidos de pH en el tratamiento a sol, la retención de este elemento también lo es. Precisamente la absorción por las plantas de la forma de nitrógeno amoniacal es más difícil que la del nitrógeno nítrico (Duchaufour,1978).

5.2.4 FOSFORO

Es necesario recordar que durante el experimento se aplicó fertilizante (18-12-6;N-P-K) en 4 ocasiones (ver Tabla 1), además de la incorporación de los restos vegetales como producto de las limpieas. Lo que significa que el aporte de fósforo al suelo también fué constante, tanto por el fertilizante como por la descomposición de materia orgánica.

Según la clasificación de Velázco (1983), los niveles de fós

foro encontrados en los dos tratamientos son altos. El que los niveles de este elemento se presenten de ésta forma puede deberse a que el pH ácido de estos suelos (4.2 a 5.3) provoque la precipitación del fósforo, causando con ésto su insolubilidad a la vez que disminuye su disponibilidad para las plantas de café.

Precisamente en suelos con pH ácido se caracteriza la presencia de aluminio (Al^{3+}), entre otros cationes. Este además de determinar la acidéz del suelo (el ion Al^{+++} en solución descompone el agua liberando H^+), también interviene en la retención de elementos como el fósforo (Duchaufour, 1978). Blanchet (1960; citado por Duchaufour, 1978) demostró que la absorción del fósforo por el aluminio (en forma de alúmina) va acompañada por una importante precipitación. Por otro lado, la cristalización o inclusión, que consiste en la fijación del fósforo en las superficies internas de las moléculas de los coloides del suelo, da como resultado la insolubilidad progresiva de este macronutriente (Duchaufour, 1978). Es posible que los niveles de fósforo encontrados en los dos tratamientos se deban a las razones expuestas anteriormente.

Al comparar los tres registros de ambos tratamientos, se observó que los valores mayores de fósforo y los menores de pH corresponden al tratamiento bajo sombra. Esto indica que si bien el aporte de fósforo fue continuo en los dos tratamientos, su mayor indisponibilidad fue causada por el menor pH del suelo en el tratamiento a sombra. No obstante, conforme la secuencia de los tres registros, se puede observar que los valores de fósforo en ambos tratamientos van disminuyendo. Lo cual indica que la adición de

los restos vegetales (materia orgánica) ayudaron a liberar compuestos húmicos solubles, favoreciendo la solubilidad del fósforo fijado y aumentando su asimilabilidad para las plantas (Duchaufour,-- 1978).

5.2.5 POTASIO

La variación en los niveles de potasio fué también semejante con los valores de materia orgánica y nitrógeno.

En general, no se observaron variaciones muy marcadas entre los tres muestreos; sin embargo, sí se observó que conforme al tiempo, los valores de potasio aumentaron en ambos tratamientos. Lo anterior puede deberse también al pH ácido del suelo, mismo que induce a que este elemento presente procesos de retención o fijación. Lo que significa su difícil asimilabilidad para los cafetos --- (Duchaufour,1978).

5.3 ANALISIS DE CRECIMIENTO

La definición de crecimiento se refiere al incremento en tamaño de una planta. Esta propiedad se manifiesta por el incremento en altura, peso o volumen. Dicho incremento es consecuencia de la interacción entre diversos procesos fisiológicos del organismo, mismos que pueden ser afectados por factores intrínsecos (genéticos) y/o extrínsecos (ambientales).

Para producirse y prosperar en una situación determinada, el organismo ha de tener materiales esenciales para su desarrollo.

En condiciones de "estado constante", esto es, en donde las

entradas de energía y materiales compensan las salidas, el material esencial disponible en cantidades próximas al mínimo crítico necesario propenderá a ser el factor limitante. De lo anterior, la "ley de mínimo" de Liebig expresa que el crecimiento óptimo de una planta depende de la cantidad de recursos que le sean presentados en mínima cantidad. Estos recursos bien pueden ser nutrientes minerales, agua, materiales atmosféricos (v.g. bióxido de carbono y luz). Precisamente, cuando la disponibilidad de alguno de estos recursos es crítica, se presenta un estado de tensión --- (estres) en la planta como respuesta inmediata a ese déficit.

Por lo general las plantas no se desarrollan bajo condiciones óptimas, ya que uno o varios factores ambientales modifican su crecimiento. Existen condiciones que crean considerables estados de tensión en la planta, la cual reacciona por varios mecanismos bioquímicos y fisiológicos y así sobreponerse al neutralizarlas o -- evadirlas. Bajo estas condiciones la planta puede presentar síntomas inmediatamente observables. Aunque de hecho, la mayoría de las plantas pueden hacerse mas resistentes después de estar expuestas a dosis o tiempos subletales de condiciones adversas. A este proceso se le conoce como fortalecimiento.

Las respuestas de las plantas al stres ambiental son complejas e involucran diversos tipos de mecanismos fisiológicos, desde las simples respuestas bioquímicas por medio de complejos procesos hormonales, hasta las de carácter genético.

Los diferentes tipos de stres ambiental estan determinados por la localización geográfica o física de las plantas. Ante tales

condiciones, las plantas presentan dos tipos generales de resistencia al estrés. Uno de ellos es la prevención; mecanismo por el cual la planta crea en ella misma, un ambiente "interno", de tal forma que sus células no se encuentran bajo el efecto de la tensión aún cuando la presión externa sea muy extrema. Y la tolerancia; que es la capacidad de resistir el estrés, es decir, la planta prevalece bajo condiciones extremas de tensión, tanto internas como externas.

La luz y el CO_2 son recursos de primera importancia para el crecimiento de la planta. Por lo mismo, los fenómenos de competitividad por dichos recursos, son más que frecuentes.

Las plantas que viven bajo sombra presentan mecanismos de tolerancia en condiciones de déficit de iluminación, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- a)- creación de mecanismos para evitar la sombra.
- b)- creación de mecanismos que incrementen la captación de luz.
- c)- creación de mecanismos que incrementen la eficiencia fotosintética (Bidwell, 1979).

Como resultado de la necesidad de captar luz, las plantas presentan un incremento rápido y ascendente sobre las que le provocan sombra (Bidwell, 1979). De los cafetos cultivados a libre exposición y bajo sombra, los primeros mostraron mayor altura; sin embargo, los segundos mostraron mayores longitudes de entrenudos tanto del tallo como en ramas. Esto quiere decir que los cafetos de ambos tratamientos presentaron, posiblemente, mecanismos de to

lerancia a sus condiciones de radiación solar y de sombra respectivamente. No obstante, al no haber diferencias en estos parámetros de crecimiento entre tratamientos, es posible que los cafetos bajo sombra tiendan a desarrollarse mas en altura conforme al tiempo ya que la elongación de sus entrenudos es mayor. Los cafetos a sol no requieren de competir por la luz pues es recurso disponible para cada uno de ellos. En cambio, los de sombra al estar en condiciones de déficit de luz, mostraron un dosel de hojas lo más grande y rápido como les fue posible. Lo anterior lo corroboran los valores de cobertura que fueron mayores al final del experimento.

Se sabe que la longitud del tallo y de entrenudos estan mediadas por mecanismos hormonales (Bidwell,1979). Es probable que el agente que estimule la síntesis de hormonas en los cafetos a sombra, sea el déficit de radiación solar y contrariamente, en una exposición prolongada, como en los cafetos a sol, las inhiba.

Bergman et al.(1970), Guiscafre-Arillaga,(1957), Gordán Moleiro (Inédito) y Suárez de Castro y Montenegro,(1961), registraron de manera general, que los cafetos bajo sombra presentaron una altura y longitudes de entrenudos mayores que en los de libre exposición. En el presente trabajo se registraron valores mayores a favor de los cafetos bajo sombra en los parámetros; longitud de entrenudos del tallo y en ramas y cobertura. La altura del tallo y la longitud de ramas fue mayor en los cafetos a sol. De los parámetros anteriores, solo la longitud de entrenudos en ramas mostró diferencias entre tratamientos.

El diámetro del tallo fue mayor en los cafetales a sol, lo que indica que éste mayor incremento les confiere una estructura vertical resistente. Misma que les permite soportar las condiciones climáticas extremas tales como el viento y las fuertes lluvias.

Al presentar mayor crecimiento en la altura del tallo y en la longitud de ramas, los cafetos a sol mostraron una relación inversa entre la longitud de entrenudos en ramas y el número de nudos en éstas mismas, lo mismo que en las longitudes y número de nudos del tallo. Es decir, a menores longitudes de entrenudos, mayor número de nudos. En los parámetros de crecimiento de cobertura, y número de nudos en tallo y en ramas, solo se encontraron diferencias en el número de nudos en ramas. Hasta ahora, las diferencias entre tratamientos muestran que la luz directa del sol sí afecta el crecimiento de los cafetos en la longitud de entrenudos en ramas y en el número de nudos de las mismas.

Dado que las flores y frutos se forman en las yemas axilares de las ramas, sobre todo en los nudos formados en temporadas anteriores (Alvim, 1967), se puede decir que un mayor número de nudos les confiere una mayor capacidad para producir frutos. La floración no abarca necesariamente a todo el conjunto de yemas del nudo ya que algunos pueden permanecer en estado latente, activándose posteriormente para dar origen ya sea a cimas florales o a estructuras secundarias (Coste, 1969).

Si bien el control para la formación de estructuras secundarias (hojas y ramas) lo inducen hormonas sintetizadas en los meristemos terminales, no se sabe cómo es su mecanismo de acción ----

(Bidwell, 1979).

Las hojas son los órganos fotosintéticos principales, ya que en éstas se capta la radiación solar y se efectúa el intercambio de gases. La eficiencia con que se capte la luz depende principalmente del área foliar disponible y la concentración de clorofilas (Causton y Venus, 1981).

El área por hoja y el número total de hojas, determina el -- área foliar total de una planta. En los cafetos a sombra se registraron valores más altos en el área por hoja; sin embargo, los cafetos a libre exposición mostraron valores superiores en el área foliar por planta. Lo anterior se debe a que los cafetos a sol tuvieron una producción mayor de hojas, aunque con una área más reducida. Lo anterior indica que los cafetos a pleno sol desarrollaron necesariamente, hojas como estructuras secundarias, compensando así, la posible deficiencia en la captura de luz por la reducida área de sus hojas. En estos parámetros solo se encontraron diferencias en el número de hojas y el área foliar por hoja. Esto quiere decir que la radiación solar estimula la formación de hojas -- secundarias en los cafetos a libre exposición. En cambio, las condiciones bajo sombrero favorecen una mayor área por hoja.

El índice de área foliar (IAF) determina la producción de material seco de una planta y por consiguiente de un cultivo (Valencia, 1973). Los cafetos a pleno sol mostraron un mayor crecimiento en el índice de área foliar. Lo que indica esto es que los cafetos presentan una mayor área de captación de luz por planta debido al mayor número de hojas.

En este parámetro de crecimiento no se encontraron diferencias entre tratamientos. Lo cual significa que si bien los cafetos a pleno sol desarrollaron un mayor IAF, los cafetos bajo sombra lo pueden desarrollar igual o mayor que los primeros.

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 los resultados de producción de peso seco se encontró que los cafetos a libre exposición acumularon una mayor cantidad de biomasa total en todos los muestreos realizados. Lo que indica un mayor crecimiento por parte de éstos.

Parece ser que durante el desarrollo del experimento, los cafetos a pleno sol dirigieron altas cantidades de fotosintatos a todas sus estructuras. Dado que las hojas, el tallo con ramas y las raíces, todas, muestran valores superiores a los de sombra.

El mayor porcentaje de acumulación de biomasa se encontró en las estructuras foliares, en los dos tratamientos. En los cafetos bajo sombra, se registró un mayor porcentaje de acumulación en las hojas y en las raíces. Mientras que en los de libre exposición, el mayor porcentaje correspondió al tallo y las ramas. Al parecer, la utilización de productos carbonados, por parte de los cafetos a pleno sol, fue mayor para sus estructuras de reserva, y en los de sombra, para las estructuras fotosintéticas.

Al respecto, Jiménez-Avila, (1981) reporta que el porcentaje

de órganos lignificados es alta en relación a la biomasa fotosintética, lo que podría provocar una baja producción de café cereza. Sin embargo, el autor no menciona la edad ni las condiciones de estas plantaciones de café. Sin embargo, Alvim, (1967) menciona que un mayor número de nudos (parte lignificada) les confiere mayor capacidad para producir frutos, lo cual puede ser factible en los resultados favorables en los cafetos a pleno sol.

En este parámetro tampoco se encontraron diferencias entre tratamientos.

La tasa de asimilación neta (TAN) estima indirectamente la velocidad de fotosíntesis (producción de fotosintatos) menos las pérdidas ocasionadas por la respiración. Por lo tanto, la TAN mide la eficiencia de la planta en la producción de materia seca, dando una indicación de la eficiencia fotosintética de las hojas y la proporción de la contribución de estas mismas a la planta entera (Causton y Venus, 1981).

Por otro lado, la tasa de crecimiento relativo (TCR) mide la eficiencia media de la producción de materia seca. Es decir, indica la intensidad de crecimiento de una planta.

La TCR es afectada directamente por la TAN, lo que significa, que una TAN alta y una TCR también alta hacen a la planta altamente eficiente (Causton y Venus, 1981).

Los resultados obtenidos en éstos dos parámetros mostraron que durante la mayor parte del experimento, tanto la TAN como la TCR fueron superiores en los cafetos a libre exposición; sin embargo, al final los cafetos bajo sombra registraron valores más altos

que los de sol. Lo anterior hace pensar que los cafetos a pleno sol fueron más eficientes en sus procesos fotosintéticos en la mayor parte del experimento, dando como resultado un mayor crecimiento en general.

El área foliar específica (AFE) mostró valores más reducidos en los cafetos a pleno sol. Esto significa que las hojas de estos cafetos desarrollaron hojas más gruesas y de área más reducida. Contrariamente, los cafetos a sombra, desarrollaron hojas más delgadas y con una área mayor. Lo anterior lo corroboran los valores registrados en el área foliar por hoja que fueron mayores en sombra.

La excesiva radiación bien puede causar alteraciones muy importantes en los cafetos a libre exposición, por lo tanto, es de esperarse que las hojas de éstos presenten adaptaciones en la estructura de estos órganos. Al respecto, Méndez-Castrejón y Arreola-Rodríguez (1985) encontraron en los cafetos v.c. Caturra un mayor desarrollo del grosor de la lámina foliar, lo mismo que la epidermis tanto adaxial como abaxial. Esto, a libre exposición.

5.5 ANALISIS DE CLOROFILA

Las concentraciones de clorofila a y b fueron mayores en las hojas de los cafetos a pleno sol. Esto significa que al presentar un mayor tejido de parénquima en palizada, también puede haber una mayor cantidad de clorofila. Las hojas que se desarrollan a sol, tienden a adquirir una capa en palizada (células parenquimatosas responsables de la fotosíntesis) más gruesa y compleja lo cual me

jora su capacidad para atrapar la luz (Bidwell,1979).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Méndez-Cas trejón y Arreola-Rodríguez,(1985), en lo referente al grosor de la capa en palizada en cafetos a pleno sol. Esta fue más gruesa que en los de sombra, lo que sugiere una mejor captación de luz por una mayor cantidad de cloroplastos al igual que de clorofila.

Esta mayor concentración de clorofila (a y b) se traduce en una alta producción de fotosintatos asimilables para el mayor desa rrollo mostrado en los cafetos a libre exposición.

En estos parámetros sí se encontraron diferencias entre trata mientos, lo cual significa que intensidades lumínicas altas promue ven el desarrollo de tejidos parenquimatosos en hojas, al igual -- que mayores concentraciones de clorofila.

DISCUSION GENERAL

Varios estímulos ambientales afectan el desarrollo de una -- planta y los factores que generalmente se consideran son los ffsi cos; luz, temperatura, humedad y nutrientes. Estos factores pueden minimizar, en determinadas circunstancias, los controles genéticos y orgánicos de la planta. El funcionamiento de un mecanismo de con trol del ambiente hacia la planta requiere tres condiciones:

- 1)- debe ser percibido o medido por la planta.
- 2)- debe existir un mecanismo por el cual la planta reacciona al estímulo.
- 3)- debe tenerse cierto grado de permanencia durante el cual tenga lugar la reacción al estímulo (Bidwell,1979).

Sin duda, las condiciones microclimáticas de cada tratamiento fueron percibidas por los cafetos. Esto es, que todos los paráme tros de crecimiento de los cafetos se vieron afectados por las va riaciones del microclima.

En los meses de noviembre a febrero se registraron los valo res menores de radiación solar, temperatura del aire y del suelo y evaporación; y de febrero a abril, la disminución de valores -- fue en la humedad del aire y del suelo. Esto es; a mayor radiación solar, mayor temperatura del aire, del suelo y alta evaporación; y menor humedad del aire y del suelo.

Las tasas de crecimiento de todos los parámetros muestran una disminución en correspondencia directa con los valores mínimos del microclima. Cuando los valores microclimáticos aumentaron, también lo mostraron las tasas de crecimiento en general.

Lo anterior indica que los cafetos de ambos sistemas respondieron, como era de esperarse, a las condiciones ambientales a las cuales estuvieron expuestos. Ante ésto, los mecanismos de respuesta pudieron ser genéticos, hormonales o fisiológicos en general.

Por otro lado, las diferentes condiciones microclimáticas de cada tratamiento determinaron el crecimiento de los cafetos. Es decir, en el tratamiento a pleno sol donde se observó mayor radiación, mayor amplitud térmica y menor disponibilidad de agua, los cafetos presentaron un mayor incremento en crecimiento. En cambio en el tratamiento bajo sombra, en el cual se registró una menor radiación, menor amplitud térmica y mayor disponibilidad de agua, los valores de incremento en el crecimiento fueron menores. Esto indica que durante el experimento, los cafetos a libre exposición desarrollaron mecanismos más eficientes de respuesta ante tales condiciones ambientales.

La fotosíntesis neta o asimilación de CO_2 (neta), es la tasa de fijación de CO_2 total menos las pérdidas por fotorrespiración. Este es un proceso metabólico que igualmente es afectado por condiciones ambientales. Las plantas que viven bajo sombra necesitan un sistema selector de luz de alta eficiencia dado que requieren alcanzar tasas máximas de fijación de CO_2 con bajas intensidades lumínicas. Por el contrario, las que viven en lugares descubiertos requieren un sistema selector de luz poco menos eficiente. Es decir, las plantas deben ajustar su eficiencia fotosintética a la máxima intensidad lumínica con que disponen (Bidwell, 1979).

Las diferencias entre las respuestas a condiciones de luz o

de sombra, determinan la capacidad fotosintética de la planta --- (Björkman,1975). Estas condiciones inducen cambios a nivel de estructuras fotosintéticas como el área foliar, grosor de la capa en palizada y el contenido de clorofila (Bidwell,1979). Por lo tanto, una área foliar total mayor puede conferir a la planta mayor capacidad fotosintética y por lo mismo, un mayor crecimiento (Valencia,1973).

La clorofila es el principal pigmento responsable de la captación de luz en las hojas.

Autores como Bergman et al.(1970), Björkman (1975) y Franco (1941), reportaron que la concentración de clorofila aumentó conforme disminuyó la intensidad luminosa. Sin embargo, en el presente trabajo se encontró que los valores de clorofila a, b y total fueron mayores en el tratamiento a pleno sol.

Por otro lado, Bidwell (1979) menciona que bajo condiciones de campo la temperatura no influye mucho en la tasa fotosintética, en un rango de 16 a 29°C. Los valores máximos de temperaturas alcanzadas en el tratamiento a pleno sol fueron de 29.2°C (en promedio) y precisamente con esta máxima temperatura en la mayoría de los meses del experimento, los cafetos presentaron sus mayores valores de área foliar total, de TAN y de TCR.

En los últimos meses del experimento (mayo a julio de 1984) los valores de temperatura máxima y de radiación son lo suficientemente altos en el tratamiento a pleno sol como para que su tasa fotosintética disminuya. Esto corresponde con los valores mostrados en las gráficas de TAN y de TCR de los cafetos a pleno sol en

el último período (Fig. 34 y 35). Es probable que estos cafetos disminuyan su intensidad de crecimiento durante este período pero que lo normalicen al terminar dicho período.

El Área foliar específica (AFE) registró valores menores en los cafetos a pleno sol. Un AFE baja significa que la hoja tiene más grosor laminar pero una área relativamente pequeña. Al presentar hojas más gruesas significa que las hojas de los cafetos desarrollaron un tejido de parénquima en palizada mayor que las hojas de los cafetos bajo sombra. Esto favorece la captación de luz en las plantas a libre exposición.

La apariencia y anatomía de las hojas reflejan su capacidad para la captación y absorción de la luz. Las variaciones en la estructura interna de las hojas son determinadas por las condiciones ambientales. Así, las hojas que se desarrollan a la sombra son más delgadas con una pequeña capa en palizada. En cambio, las hojas a sol tienden a poseer una capa en palizada más gruesa y compleja, lo cual mejora su capacidad para atrapar luz (Bidwell, 1979).

El hecho de que los cafetos a sol presentaran una mayor área foliar total mayor, significa también la mayor producción de hojas por planta. Esto les confiere también mayor capacidad fotosintética por planta, en función de las actividades metabólicas individuales de cada hoja (Bidwell, 1979).

En lo que respecta a las condiciones edáficas, se encontró que los valores de materia orgánica, nitrógeno y potasio fueron mayores en el cultivo a sol, a excepción del fósforo (ver discusión de microclima). la recirculación de nutrientes es importante para

la estabilidad de un ecosistema. Dicho reciclaje depende en mucho del aporte continuo de desechos vegetales y las prácticas culturales, sin omitir la importancia que tiene la fijación del nitrógeno por simbiosis y el de la atmósfera.

El pH del suelo se registró ácido en ambos tratamientos; sin embargo, en los suelos del tratamiento a pleno sol lo fueron menos. Este valor de pH ácido induce la retención (reversible) de nutrientes elementales para el desarrollo de los cafetos. No obstante, estos procesos de indisponibilidad de nutrientes es menor en los cultivos a pleno sol, dado que presentan un pH menos ácido. Lo anterior se demuestra por el mayor crecimiento de los cafetos a libre exposición.

Si bien las condiciones edáficas del tratamiento a pleno sol presentaron mejores características para sostener al cultivo, es posible que conforme al tiempo, la erosión por radiación y lixiviación disminuyan las cualidades óptimas de estos suelos. Mientras que los de sombra, conservarán un equilibrio en nutrientes a la vez que estarán protegidos contra variaciones atmosféricas y climáticas extremas. Por lo mismo, es conveniente que a los suelos a pleno sol se les aplique un programa de uso de fertilizantes de acuerdo a las necesidades del cultivo que sostiene.

Hasta el punto anterior, se han discutido los distintos incrementos en el crecimiento entre el cultivo a libre exposición y bajo sombra a nivel fisiológico y morfológico en función de sus condiciones microclimáticas y edáficas; sin embargo, estas respuestas también están mediadas por factores genéticos. Algunas especies o

variedades de plantas, genéticamente mas eficientes que otras, pueden mantenerse mejor bajo condiciones específicamente difíciles (Bidwell,1979).

Al parecer, Coffea arabica L. es una especie que tiene amplia plasticidad genética (por lo tanto fenotípica) pues se desarrolla en distintas condiciones ambientales (Suárez de Castro,1961). Es conocido que esta planta se cultiva en todos los continentes, --- abarcando toda la faja intertropical, con altitudes desde el nivel del mar hasta 2100 msnm (Guiscafre-Arrillaga,1957).

Coste (1969) y Castillo (1961,1966) hablan sobre la óptima capacidad de Coffea arabica L. v.c. Caturra para crecer adecuadamente en sistemas de cultivo a libre exposición.

Se puede puntualizar que los cafetos a sol presentaron un mayor crecimiento en general debido a su capacidad de respuesta ante condiciones de libre exposición. Es decir, los cafetos a pleno sol desarrollaron mecanismos de prevención y tolerancia en respuesta a sus condiciones ambientales. No obstante, es pertinente tomar en cuenta que éste mayor crecimiento en los cafetos a pleno sol, solo corresponde al tiempo de duración del experimento (1 año) y que por razones antes discutidas, la susceptibilidad de este sistema de cultivo es mayor que el de sombra.

Se consideran también las conclusiones obtenidas por Bergman et al.(1970), en las que argumentan que Coffea arabica L. v.c. Caturra requiere durante cierto periodo de desarrollo juvenil, un sombreado moderado. Permitiendo con ésto, que la planta pueda conformar adecuadamente su aparato metabólico. Tan pronto como ésta

lo logre, el cafeto podrá ser capaz de soportar condiciones mas duras del ambiente y puede aprovechar la energía de una insolación intensa con buenos rendimientos en crecimiento y en producción de biomasa.

Los cafetos utilizados en este trabajo para los dos tratamientos, crecieron en un vivero sombreado durante un año (antes de su trasplante). Es posible que estas condiciones iniciales estimularan la óptima conformación de su sistema metabólico. Por lo tanto, es muy posible que el mayor crecimiento de los cafetos a pleno sol se deba a dicho pre-acondicionamiento metabólico.

Los resultados obtenidos por Méndez-Castrejón y Arreola-Rodríguez (1985) también apoyan los resultados de este trabajo. Ellos encontraron que Coffea arabica L. v.c. Caturra tiene gran capacidad de adaptación en condiciones de libre exposición, dado que sus modificaciones fisiológicas y morfológicas le confieren capacidad para desarrollarse óptimamente a intensidades lumínicas altas. Concluyendo que el cafeto es una planta de sombra con capacidad de adaptación al sol y no lo contrario.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, en favor a los cafetos a libre exposición, se puede afirmar que el crecimiento y producción en estos cultivos no se verían afectados por la roya del café (Hemileia vastatrix Berck y Br). Dado que las condiciones microclimáticas no son las que este patógeno requiere -- para su desarrollo (pag.4).

Al respecto, Celis y Gómez Salinas (1982) reportan que en la región de Coatepec, Veracruz existe un período mínimo de incuba -

ción de este patógeno, el cual consiste de 31 días en los meses de julio y agosto y con alto grado de severidad. Sin embargo, los autores no mencionan si existe un posible estudio que verifique el período de incubación y en qué medida afecta o no, este patógeno, al café cultivado a libre exposición.

Pese a todo lo anterior, las recomendaciones de qué sistema de cultivo debe implementarse en las zonas cafetaleras de Coatepec, requieren de ciertas reservas al comentario.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran claramente un mayor crecimiento de Coffea arabica L. v.c. Caturra a libre exposición; en concordancia con los resultados obtenidos por Méndez-Castrejón y Arreola-Rodríguez (1985), también en la zona cafetalera de Coatepec. Por otro lado, los resultados obtenidos por Rodríguez-Hernández (1985) en éste mismo proyecto global, con Coffea arabica L. v.c. Garnica, muestran mayores crecimientos los de sombra.

Lo anterior indica que Coffea arabica L. y específicamente las variedades Caturra y Garnica, presentan mayor capacidad para desarrollarse a sol y sombra respectivamente. Esto también está respaldado por diversos resultados obtenidos por diferentes autores (pag.21-24) los cuales mencionan resultados favorables tanto en cultivos a pleno sol como en los de sombra.

Las indicaciones en ambos sistemas de cultivo consisten por un lado, en obtener mayores rendimientos tanto en el crecimiento como en la consecuente producción de café cereza; y por otro, en mantener en equilibrio la dinámica edafológica. Ambos, en función

de las variaciones microclimáticas de cada sistema y en medida de las exigencias agroecológicas de éstos mismos.

Como se puede apreciar, estamos en un punto en el cual la explotación y la conservación de un agroecosistema tienen direcciones completamente opuestas. No obstante, una buena planeación de programas de investigación y zonificación de las áreas cafetaleras puede ayudar a optimizar el manejo de este cultivo. Esto quiere decir que la realización de proyectos de investigación en las diferentes áreas cafetaleras de Coatepec y del país, permitirán establecer los requerimientos y condiciones que se demandan en estas áreas. Tanto en lo referente a las variedades de cafetos como en su manejo práctico. Así, se podrá realizar dicha zonificación de acuerdo a las características altimétricas, climáticas y edáficas de cada región cafetalera.

En algunas áreas de Coatepec el café ya se cultiva a libre exposición, sobre todo por los grandes y medianos cafecultores; sin embargo, la mayoría, que son pequeños cafecultores, se mantienen a la expectativa cultivando el café bajo sombra. Los riesgos que adquiere este sector de cafecultores al tomar la decisión de utilizar el sistema de cultivo a pleno sol pueden ser altos. Sobre todo por la administración y rentabilidad que implica éste tipo de sistema cafetalero.

Es importante puntualizar la necesidad y quizás la urgencia, de reestructurar los programas de mejoramiento del cultivo de café por parte de las instancias encargadas de este recurso agrícola, tanto en el aspecto administrativo como en el agronómico. Sobre

todo el segundo, ya que el riesgo que existe de alterar las condiciones ecológicas y climáticas de la región cafetalera del centro de Veracruz puede ser irreversible. Debido a que el cafeticultor o bien sustituye sus cafetales por cultivos de caña de azúcar o bien implanta sus cafetales a libre exposición sin una previa evaluación agroecológica de ambas decisiones. Lo cual se evitaría con la designación, en base a resultados experimentales, de algunas áreas que sí justifiquen el manejo de sistemas de cultivo a sol y otras bajo sombra.

Finalmente, si bien los resultados obtenidos en este trabajo de 1 año de investigación no permiten dar una respuesta definitiva sobre qué sistema de cultivo implementar, sí dejan de evidencia experimental la capacidad de Coffea arabica L. v.c. Caturra para desarrollarse óptimamente en sistemas de cultivo a libre exposición.

De esta manera, se suma un eslabón más en la investigación sobre el estudio y conocimiento del cultivo de Coffea arabica L. en México.

CONCLUSIONES

Las variaciones en el crecimiento de los cafetos a libre exposición y bajo sombra están determinadas por sus condiciones microclimáticas.

Durante su primer año de vida en el campo, los cafetos a pleno sol presentaron una área foliar total y un índice de área foliar mayores, lo que les permitió obtener mayores tasas de asimilación neta (TAN) y de crecimiento relativo (TCR). Este mayor incremento se debe a una mayor producción de hojas y ramas.

Coffea arabica L. v.c. Caturra presenta un amplio nivel de adaptación fisiológica y morfológica dado que mostró desarrollar hojas más gruesas. Al igual que presentó concentraciones mayores de clorofila a, b y total en condiciones de libre exposición. Lo que le confiere mayor eficiencia fotosintética.

Las características edafológicas del sistema a libre exposición permitieron satisfacer las demandas de nutrientes en los cafetos.

El cultivo de café Coffea arabica L. v.c. Caturra a pleno sol ofrece menor riesgo de infección por la roya del café (Hemileia vastatrix Berk y Br), dadas las características microclimáticas que prevalecen en este sistema de cultivo.

A P E N D I C E

ANALISIS QUIMICOS DEL SUELO

	<u>JULIO 1983</u>		<u>MARZO 1984</u>		<u>JULIO 1984</u>	
	SOMBRA	SOL	SOMBRA	SOL	SOMBRA	SOL
pH	4.73	5.26 +	4.29	4.53 -	4.23	4.68 +
M.O. (%)	4.95	7.33 +	7.00	6.52 -	6.62	7.85 +
N (%)	0.34	0.42 +	0.39	0.34 -	0.29	0.35 +
P (ppm)	120.60	77.30 +	90.50	51.90 +	75.4	39.29 +
K (meq/100g)	0.229	0.667+	0.390	0.347-	0.321	0.399+

TABLA. 2

Resultados promedio de análisis químicos de suelo en cafetales a sol y bajo sombra en la Congregación Camino Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz. Cada valor representa la media de 4 observaciones.

+ nivel de significancia $\alpha=0.05$

- no significativo

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)

TIEMPO	<u>MAXIMA</u>		<u>MEDIA</u>		<u>MINIMA</u>	
	SOL	SOMBRA	SOL	SOMBRA	SOL	SOMBRA
JUL	27.8	23.7	20.6	19.1	13.4	14.5
AGO	29.2	25.0	20.9	19.6	12.7	14.1
SEP	28.0	24.6	20.9	19.1	13.8	13.6
OCT	26.9	23.7	19.8	18.5	12.7	13.2
NOV	26.0	18.0	19.6	15.9	11.1	12.0
DIC	24.7	16.6	17.4	13.8	10.1	11.0
ENE	19.8	14.4	14.2	11.8	8.5	9.2
FEB	22.4	15.1	9.8	15.5	8.5	9.8
MAR	26.4	19.1	17.8	14.5	9.2	9.8
ABR	27.1	19.3	18.9	15.2	10.6	11.2
MAY	32.1	27.1	24.2	21.5	15.9	15.9
JUN	30.2	23.0	27.0	17.2	13.2	15.3

TABLA. 3

Promedio mensual de la temperatura del aire (°C) máxima, media y mínima en cafetales a sol y bajo sombra.

Congregación la Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.

TEMPERATURA DEL SUELO (°C)

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

TABLA.4

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

EVAPORACION PICHE (mm.dfa⁻¹) HUMEDAD RELATIVA (%)

TIEMPO	SOL	SOMBRA	SOL	SOMBRA
JUL	0.98	0.47	79.0	87.0
AGO	1.07	0.70	78.0	86.0
SEP	1.34	0.72	72.5	77.0
OCT	0.80	0.22	74.5	81.0
NOV	1.44	0.63	78.0	83.0
DIC	0.89	0.31	79.0	89.5
ENE	1.30	0.64	74.5	85.0
FEB	1.90	0.96	70.5	70.5
MAR	3.19	2.33	54.0	59.0
ABR	3.92	2.89	30.0	36.0
MAY	3.84	2.76	86.0	87.5
JUN	1.92	1.33	73.5	77.5

TABLA.5

Promedio mensual de evaporación Piche (mm.dfa⁻¹) y humedad relativa (%) en cafetales a sol y bajo sombra.

Congregación La Orduña, Municipio de Coatepec, Veracruz.

RADIACION SOLAR ($W.m^{-2}$)

TIEMPO	SOL	SOMBRA
JUL	-	-
AGO	-	-
SEP	1039.0 \pm 5.35	818.1 \pm 39.49
OCT	1014.0 \pm 4.32	750.7 \pm 4.32
NOV	917.0 \pm 6.99	700.3 \pm 28.86
DIC	884.0 \pm 4.25	668.7 \pm 31.26
ENE	852.0 \pm 7.47	631.0 \pm 42.92
FEB	948.0 \pm 3.36	732.4 \pm 63.90
MAR	1043.0 \pm 3.98	826.2 \pm 40.86
ABR	1092.0 \pm 2.67	901.7 \pm 29.21
MAY	1146.0 \pm 4.66	959.0 \pm 31.74
JUN	1121.0 \pm 3.70	938.3 \pm 29.96

TABLA. 6

Promedio mensual de la radiación solar y análisis estadístico --- (Prueba de t) aplicado el último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media \pm el error estandar.

$$t_c = -6.75 \quad T_t = 1.68 \quad \alpha = 0.05$$

HUMEDAD DEL SUELO (%)

TIEMPO	SOL		SOMBRA	
JUL	20.34	\pm 0.53	22.28	\pm 0.46
AGO	17.61	\pm 1.23	20.50	\pm 0.79
SEP	18.16	\pm 0.41	20.02	\pm 0.66
OCT	19.00	\pm 1.53	21.3	\pm 1.18
NOV	20.25	\pm 3.38	22.55	\pm 1.29
DIC	18.54	\pm 0.55	22.01	\pm 0.59
ENE	17.02	\pm 0.47	19.93	\pm 0.58
FEB	14.02	\pm 1.67	16.29	\pm 0.33
MAR	9.70	\pm 0.91	12.71	\pm 0.88
ABR	5.34	\pm 0.20	8.06	\pm 0.42
MAY	14.21	\pm 0.77	17.56	\pm 1.49
JUN	25.50	\pm 0.56	28.13	\pm 1.42

TABLA.7

Promedio mensual de la humedad del suelo y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor **representa** la media de 16 observaciones \pm el error estandar.

$t_c=1.72$ $t_t=1.68$ $\alpha=0.05$

Congregación Campo Viejo, Municipio de Coatepec, Veracruz.

ALTURA DE LA PLANTA (cm)

TIEMPO	SOL		SOMBRA	
AGO	41.74	± 0.915	39.03	± 0.521
AGO	41.67	± 0.966	39.76	± 1.125
SEP	41.66	± 0.919	39.54	± 1.160
SEP	42.89	± 1.221	40.19	± 1.140
OCT	43.20	± 1.332	40.41	± 1.126
NOV	45.91	± 1.498	41.00	± 1.243
DIC	49.03	± 1.600	43.82	± 1.189
ENE	50.20	± 1.702	45.06	± 1.384
FEB	51.60	± 1.760	46.60	± 1.473
MAR	51.46	± 2.926	47.68	± 2.607
ABR	52.40	± 3.017	48.72	± 2.716
ABR	51.15	± 3.809	49.38	± 2.755
MAY	53.36	± 4.017	52.05	± 2.843
JUN	55.82	± 4.263	54.88	± 3.058
JUL	57.44	± 4.383	57.53	± 3.215

TABLA.8

Promedio mensual de la altura de la planta y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estándar.

$t_c = -0.02$ $T_t = 0.05(2)46 = 1.68$

TIEMPO	DIAMETRO DEL TALLO(cm)					
	SOL			SOMBRA		
AGO	0.64	+ -	0.016	0.59	+ -	0.017
AGO	0.65	+ -	0.016	0.59	+ -	0.016
SEP	0.77	+ -	0.017	0.67	+ -	0.019
SEP	0.85	+ -	0.043	0.70	+ -	0.019
OCT	0.91	+ -	0.025	0.78	+ -	0.023
NOV	0.76	+ -	0.023	0.66	+ -	0.021
DIC	1.11	+ -	0.045	0.93	+ -	0.037
ENE	1.14	+ -	0.053	1.00	+ -	0.042
FEB	1.16	+ -	0.060	1.04	+ -	0.043
MAR	1.17	+ -	0.063	1.13	+ -	0.048
ABR	1.16	+ -	0.059	1.13	+ -	0.053
ABR	1.14	+ -	0.056	1.15	+ -	0.057
MAY	1.20	+ -	0.067	1.15	+ -	0.048
JUN	1.24	+ -	0.069	1.24	+ -	0.062
JUL	1.40	+ -	0.078	1.25	+ -	0.071

TABLA.9

Promedio mensual de diámetro del tallo y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra; $t_c=0.67$ $t_t=0.05(2)46=1.68$. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estándar.

LONGITUD DE RAMAS (cm)

TIEMPO	SOL		SOMBRA	
AGO	15.97	± 0.614	14.62	± 0.529
SEP	11.09	± 0.441	12.11	± 0.387
SEP	11.34	± 0.417	10.78	± 0.439
OCT	11.71	± 0.421	10.81	± 0.439
NOV	12.20	± 0.421	10.79	± 0.442
DIC	12.95	± 0.422	10.53	± 0.444
ENE	13.37	± 0.438	10.46	± 0.424
FEB	12.68	± 0.447	10.49	± 0.413
MAR	13.08	± 0.416	11.06	± 0.408
ABR	13.07	± 0.417	11.40	± 0.405
ABR	13.52	± 0.429	12.02	± 0.398
MAY	14.06	± 0.415	13.48	± 0.394
JUN	16.44	± 0.426	16.24	± 0.404
JUL	18.11	± 0.431	17.86	± 0.421

TABLA.10

Promedio mensual de longitud de ramas y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor re presenta la media de 24 observaciones \pm el error estándar.

$t_c=0.46$ $t_t=0.05(2)46=1.68$

NUMERO DE NUDOS DEL TALLO

TIEMPO	SOL		SOMBRA			
AGO	6.52	\pm -	0.212	8.00	\pm -	0.184
AGO	7.58	\pm -	0.203	8.13	\pm -	0.251
SEP	7.91	\pm -	0.173	8.58	\pm -	0.221
SEP	8.33	\pm -	0.335	8.70	\pm -	0.250
OCT	9.62	\pm -	0.245	9.75	\pm -	0.206
NOV	10.08	\pm -	0.260	9.45	\pm -	0.246
DIC	9.95	\pm -	0.285	9.08	\pm -	0.294
ENE	10.19	\pm -	0.385	9.33	\pm -	0.210
FEB	11.52	\pm -	0.458	10.04	\pm -	0.226
MAR	11.60	\pm -	0.602	10.25	\pm -	0.508
ABR	12.04	\pm -	0.622	10.45	\pm -	0.557
ABR	12.08	\pm -	0.850	11.13	\pm -	0.618
MAY	12.95	\pm -	0.927	11.83	\pm -	0.661
JUN	13.70	\pm -	0.963	12.58	\pm -	0.695
JUL	13.70	\pm -	1.026	12.79	\pm -	0.738

TABLA.11

Promedia mensual de número de nudos del tallo y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estandar.

$t_c=0.74$ $t_t=0.05(2)46=1.68$

NUMERO DE NUDOS EN RAMAS

TIEMPO	SOL		SOMBRA	
AGO	25.56	± 1.652	15.12	± 1.017
AGO	26.58	± 1.591	15.66	± 0.954
SEP	26.54	± 1.765	16.58	± 1.373
SEP	25.62	± 1.627	16.08	± 1.339
OCT	42.83	± 2.898	24.95	± 1.942
NOV	55.04	± 3.640	28.83	± 2.456
DIC	67.66	± 4.333	35.54	± 3.217
ENE	69.00	± 5.296	41.46	± 3.432
FEB	78.54	± 6.099	53.25	± 4.148
MAR	95.45	± 8.037	61.33	± 5.498
ABR	99.91	± 8.812	67.83	± 5.950
ABR	109.87	± 10.730	81.29	± 7.360
MAY	133.20	± 12.824	101.00	± 8.552
JUN	153.70	± 15.122	114.83	± 9.833
JUL	160.54	± 15.922	125.04	± 11.155

TABLA.12

Promedia mensual de número de nudos en ramas y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones ± el error estándar.

tc= 6.30 Tt=0.05(2)46=1.68

TIEMPO	NUMERO DE RAMAS		SOL		SOMBRA	
AGO	8.78	\pm	0.406	6.25	\pm	0.283
AGO	8.79	\pm	0.412	6.20	\pm	0.295
SEP	9.16	\pm	0.406	6.45	\pm	0.412
SEP	10.45	\pm	0.553	7.20	\pm	0.389
OCT	11.66	\pm	0.608	8.50	\pm	0.484
NOV	13.29	\pm	0.669	9.62	\pm	0.630
DIC	14.87	\pm	0.763	10.45	\pm	0.577
ENE	15.30	\pm	0.880	11.50	\pm	0.557
FEB	16.12	\pm	0.906	13.25	\pm	0.537
MAR	17.34	\pm	1.133	13.83	\pm	0.936
ABR	18.16	\pm	1.295	14.58	\pm	0.978
ABR	18.45	\pm	1.496	15.95	\pm	1.037
MAY	20.50	\pm	1.707	17.62	\pm	1.138
JUN	21.62	\pm	1.812	17.95	\pm	1.282
JUL	21.58	\pm	1.899	18.95	\pm	1.270

TABLA.13

Promedia mensual de número de ramas y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estandar.

$$t_c=1.17 \quad t_{t=0.05(2)46}=1.68$$

LONGITUD DE ENTRENUDOS DEL TALLO(cm)						
TIEMPO	SOL			SOMBRA		
AGO	5.29	+	0.244	5.28	+	0.245
		-			-	
OCT	4.89	+	0.206	4.55	+	0.170
		-			-	
NOV	4.71	+	0.217	4.51	+	0.192
		-			-	
DIC	3.28	+	0.101	3.38	+	0.121
		-			-	
ENE	3.46	+	0.106	3.40	+	0.128
		-			-	
FEB	3.41	+	0.108	3.44	+	0.114
		-			-	
MAR	3.36	+	0.099	3.41	+	0.108
		-			-	
ABR	3.29	+	0.093	3.36	+	0.112
		-			-	
ABR	3.25	+	0.093	3.30	+	0.104
		-			-	
MAY	3.23	+	0.086	3.33	+	0.091
		-			-	
JUN	3.25	+	0.083	3.40	+	0.089
		-			-	
JUL	3.28	+	0.081	3.48	+	0.084
		-			-	

TABLA.14

Promedio mensual de longitud de entrenudos del tallo y análisis estadística (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estandar.

$$t_c = 0.48$$

$$t_t = 0.05(2)46 = 1.68$$

LONGITUD DE ENTRENUDOS DE RAMAS (cm)

TIEMPO	SOL	SOMBRA
OCT	3.28 ± 0.060	3.82 ± 0.083
NOV	3.11 ± 0.048	3.32 ± 0.078
DIC	2.87 ± 0.042	3.06 ± 0.067
ENE	2.89 ± 0.041	2.96 ± 0.063
FEB	2.58 ± 0.038	2.66 ± 0.052
MAR	2.51 ± 0.032	2.59 ± 0.044
ABR	2.42 ± 0.032	2.55 ± 0.038
ABR	2.35 ± 0.029	2.49 ± 0.035
MAY	2.27 ± 0.024	2.50 ± 0.029
JUN	2.47 ± 0.022	2.77 ± 0.026
JUL	2.55 ± 0.020	2.87 ± 0.025

TABLA. 15

Promedio mensual de longitud de entrenudos de ramas y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetalles a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones ± el error estándar.

tc=-10.31

Tt=0.05(2) 46=1.68

NUMERO DE HOJAS POR PLANTA

TIEMPO	SOL	SOMBRA
AGO	71.92 \pm 1.498	-
SEP	88.0 \pm 1.833	66.58 \pm 1.387
OCT	112.67 \pm 2.347	77.33 \pm 1.611
NOV	116.67 \pm 2.431	81.25 \pm 1.693
DIC	108.33 \pm 2.257	86.92 \pm 1.811
ENE	86.08 \pm 1.880	86.83 \pm 1.778
FEB	101.42 \pm 2.113	102.58 \pm 2.137
MAR	121.67 \pm 2.535	117.42 \pm 2.446
ABR	148.42 \pm 3.092	123.50 \pm 2.573
ABR	159.92 \pm 3.332	151.25 \pm 3.151
MAY	228.58 \pm 4.762	180.42 \pm 3.759
JUN	290.92 \pm 6.061	239.08 \pm 4.981
JUL	365.42 \pm 7.613	253.92 \pm 5.290

TABLA.16

Promedio mensual de número de hojas por planta y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estandar.

$$t_c = 9.30$$

$$T_t = 0.05(2) 22 = 1.71$$

AREA FOLIAR POR HOJA(cm²)

TIEMPO	SOL		SOMBRA			
AGO	45.10	\pm -	0.814	-	-	-
SEP	36.06	\pm -	0.824	42.59	\pm -	0.924
OCT	33.54	\pm -	0.641	39.49	\pm -	0.804
NOV	31.68	\pm -	0.545	37.11	\pm -	0.748
DIC	29.47	\pm -	0.574	31.47	\pm -	0.703
ENE	29.97	\pm -	0.609	30.28	\pm -	0.663
FEB	22.02	\pm -	0.535	24.11	\pm -	0.546
MAR	20.51	\pm -	0.438	22.30	\pm -	0.468
ABR	18.91	\pm -	0.378	21.30	\pm -	0.432
ABR	17.00	\pm -	0.309	20.84	\pm -	0.337
MAY	15.36	\pm -	0.268	21.68	\pm -	0.313
JUN	20.67	\pm -	0.205	27.50	\pm -	0.296
JUL	27.80	\pm -	0.259	34.50	\pm -	0.353

TABLA.17

Promedio mensual de Área foliar por hoja y análisis estadístico (Prueba de t) aplicada al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estándar.

$$t_c = -15.61 \quad T_t = 0.05(2)46 = 1.68$$

AREA FOLIAR POR PLANTA (cm²)

TIEMPO	SOL	SOMBRA
AGO	0.64 ± 0.034	—
SEP	0.63 ± 0.039	0.61 ± 0.046
OCT	0.75 ± 0.064	0.60 ± 0.057
NOV	0.73 ± 0.094	0.54 ± 0.059
DIC	0.63 ± 0.103	0.52 ± 0.066
ENE	0.54 ± 0.106	0.49 ± 0.061
FEB	0.44 ± 0.094	0.52 ± 0.065
MAR	0.49 ± 0.086	0.52 ± 0.070
ABR	0.56 ± 0.102	0.63 ± 0.091
ABR	0.54 ± 0.098	0.63 ± 0.091
MAY	0.70 ± 0.104	0.78 ± 0.104
JUN	1.35 ± 0.213	1.31 ± 0.174
JUL	2.03 ± 0.386	1.75 ± 0.248

TABLA. 18

Promedio mensual de área foliar por planta y análisis estadístico (Prueba t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones ± el error estándar.

tc=0.70 Tt=0.05(2)46=1.68

INDICE DE AREA FOLIAR POR PLANTA

TIEMPO	SOL	SOMBRA
SEP	1.40	1.37
OCT	1.55	1.45
NOV	1.20	1.35
DIC	0.87	1.04
ENE	0.75	1.05
FEB	0.64	1.00
MAR	0.84	1.17
ABR	1.03	1.12
ABR	1.01	1.20
MAY	1.08	1.20
JUN	1.44	1.27
JUL	1.36	1.38

TABLA. 19

Indice de área foliar --
(IAF) por planta y análisis esta-
dístico (Prueba de t) aplicado al
último mes de registro en cafeta-
les a sol y bajo sombra.

$t_c = -0.69$ $T_t = 0.05(2)22 = 6.73$

COBERTURA POR PLANTA(m²)

TIEMPO	SOL		SOMBRA			
AGO	0.41	+ -	0.024	0.37	+ -	0.017
AGO	0.45	+ -	0.027	0.41	+ -	0.018
SEP	0.45	+ -	0.030	0.42	+ -	0.019
SEP	0.48	+ -	0.031	0.47	+ -	0.024
OCT	0.48	+ -	0.032	0.42	+ -	0.026
NOV	0.61	+ -	0.052	0.44	+ -	0.031
DIC	0.73	+ -	0.076	0.52	+ -	0.048
ENE	0.72	+ -	0.080	0.49	+ -	0.040
FEB	0.70	+ -	0.087	0.49	+ -	0.047
MAR	0.65	+ -	0.084	0.48	+ -	0.046
ABR	0.59	+ -	0.080	0.51	+ -	0.047
ABR	0.63	+ -	0.080	0.57	+ -	0.060
MAY	0.77	+ -	0.099	0.71	+ -	0.063
JUN	1.12	+ -	0.134	1.12	+ -	0.099
JUL	1.30	+ -	0.153	1.38	+ -	0.121

TABLA.20

Promedio mensual de cobertura por planta y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último mes de registro en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 24 observaciones \pm el error estandar.

$t_c = -0.66$ $Tt = 0.05(2)46 = 1.68$

PRODUCCION DE PESO SECO (g)

TIEMPO	SOL	SOMBRA
JUL	13.12	13.12
NOV	70.15	51.72
MAR	89.76	60.46
JUL	158.61	142.41

TABLA. 21

Promedio por muestreo de la pro - ducción de peso seco por planta (de julio de 1983 a julio de 1984) y análisis estadístico (Prueba de t) aplicado al último muestreo en cafetales a sol y bajo sombra. Cada valor representa la media de 8 observaciones.

$t_c=0.51$

$t_t=0.05(2)14=1.76$

PRODUCCION Y DISTRIBUCION DEL PESO SECO

SOL

	JUL-83		NOV-83		MAR-84		JUL-84	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
HOJAS	6.90	52.59	24.09	34.34	37.78	42.09	77.81	49.06
TALLO Y RAMAS	3.84	29.27	34.86	49.70	39.17	43.64	59.91	37.77
RAIZ	2.38	18.14	11.20	15.96	12.81	14.27	20.89	13.17
TOTAL	13.12	100	70.15	100	89.76	100	158.61	100
SOMBRA								
HOJAS	6.90	52.59	22.92	44.32	24.93	41.23	73.75	51.79
TALLO Y RAMAS	3.84	29.27	21.50	41.57	24.53	40.57	44.59	31.31
RAIZ	2.38	18.14	10.49	20.29	11.01	18.21	24.00	16.85
TOTAL	13.20	100	51.72	100	60.46	100	142.41	100

TABLA.22

Producción y porcentaje de distribución (%) del peso seco (g) por partes de la planta; hojas, tallo-ramas y raíz en cafetales a sol y bajo sombra.

S O L

	0 días	120 días	240 días	360 días
TAN	-	0.018	0.006	0.034
TCR	-	0.019	0.002	0.005
AFe	3.47	0.52	0.29	0.13
S O M B R A				
TAN	-	0.013	0.002	0.051
TCR	-	0.015	0.001	0.007
AFe	3.27	0.81	0.44	0.19

TABLA. 23

Tasa de asimilación neta (TAN) ($\text{gm}^{-2}\text{a}^{-1}$)
tasa de crecimiento relativo (TCR) (d^{-1}) y área -
foliar específica (AFe) (m^2g^{-1}) en cañales --
 sol y bajo sombra.

$$\text{TAN} - \underline{tc=0.16} \quad \underline{Tt=0.05(2)=2.13}$$

$$\text{TCR} - \underline{tc=0.43} \quad \underline{Tt=0.05(2)=2.13}$$

$$\text{AFe} - \underline{tc=0.07} \quad \underline{Tt=0.05(2)=1.94}$$

LITERATURA CITADA

- ABRUÑA, F., VICENTE, J. y SILVA, S. 1961. El cultivo intensivo del café a pleno sol. Revista del café. 7:7-8
- -----, -----, -----, 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. 49:244-253
- ALVIM, P. de T. 1953. Algunos estudios sobre la fisiología del cafeto. Suelo Tico. 7:58-62
- -----, 1958. Estimulo de la floración y fructificación del cafeto por aspersiones con ácido giberélico. Turrialba. 8:64-72
- -----, 1960. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto. Turrialba. 2:57-64
- -----, 1967. Fisiología del cafeto. Memorias del curso de Post-Graduación de Fisiología Vegetal. INIA-CEPLAC. Itabuna-Bahía-Brasil. 15p.
- ALVIM, P. de T. y HAVIS, J.R. 1954. An improved filtration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. Plant Physiology. 29:97-98
- -----, y KOWZLOWSKI, T.T. 1977. Ecophysiology of tropical crops. 249-273pp. Academic Press. New York-San Francisco-London.
- ALVAREZ, J.R. 1978. Coffea arabica. Enciclopedia de México. Tomo II. 357pp.
- ANONIMO. 1980. El café. Organización de las Naciones Unidas. Para la Agricultura y la Alimentación. Serie Mejores Cultivos. No. 23. 15pp.

- ARNON, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. Planta Physiology. 24:1-4
- AWATRAMANI, N.A. y GOPALAKRISHNA, H.K. 1965. Measurements of leaf area in coffee. I. Coffea arabica. Indian Coffee. 29:25-30
- BASSOLS, B.A. 1976. Recursos Naturales de México. Teoría, Conocimiento y Uso. Nuestro Tiempo. México. 190-197pp.
- BASAGDITIA, M.C.R. 1981. Efecto de cuatro distanciamientos de siembra en el desarrollo y producción del cafeto. ISIC. Boletín Técnico. El Salvador. 7:11-17
- BARRADAS, V.L. y FANJUL, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and fully exposed coffee (Coffea arabica L.) plantations in México. Agricultural and Forest Meteorology. (en prensa).
- BERGMAN, H., LERCH, G. y MUNTZ, K. 1970. Efecto fisiológico del cultivo de posturas de café en Cuba, al sol y bajo sombra. Serie Biológica. La Habana, Cuba. 25:1-27
- BIDWELL, R.G.S. 1979. Planta Physiology. 108-146pp. MacMillan Publishing Co., Inc. New York.
- BJORKMAN, O. 1975. Environmental and biological control of photosynthesis. Marcelle Belgium. Junk. B.V. The Hague. 16p.
- BRAN, S.J.A. 1980. Sombra del cafeto. ANACAFE. 190:19-21
- BROWNING, G., HOAD, G.V. y GASKIN, P. 1970. Identification of abscisic acid in flower buds of Coffea arabica L. Planta. 94:213-219
- CASTILLO, Z.J. 1960. Rendimiento de las variedades Typica y Bourbon de Coffea arabica L. en diferentes condiciones de cultivo. CENICAFE. 11:137-142

- ----- . 1961. Ensayo de análisis de crecimiento en café. CENICAFE. 12:1-16
- ----- . 1966. Nota sobre el efecto de la intensidad lumínica en la floración del cafeto. CENICAFE. 17:51-60
- CAUSTON, D.R. y VENUS, J.C. 1981. The Biometry of Plant Growth. Edward Arnold Publishers. London. 307pp.
- CARVALHO, A. 1961. Melhoramiento do cafeiro. XXI. Comportamiento regional de variedades, linhages e progenies de café a sol e a sombra. Bragantia. 20:1045-1142
- CELIS, D.C. y GOMEZ SALINAS, J.A. 1982. Estimación del perfil de incidencia de la roya del cafeto Hemileia vastatrix Berck y Br. en México. In: JIMENEZ-AVILA, E. y GOMEZ-POMPA, A. (eds). Estudios Ecológicos del Agroecosistema Cafetalero. CECSA. México. 135-143
- CIFUENTES, R. 1979. Cafeticultura intensiva vs. Cafeticultura tradicional. ANACAFE. 183:30-31
- COSTE, R. 1969. El Café. Blume, España. 285pp.
- COEN, P.E. 1957. La sombra del café y las temperaturas del suelo. Suelo Tico. 11:53-54
- DE LA CERDA, L.J. 1995. Dispersión y combate de la roya del cafeto en México. Boletín Técnico de Café. No.1
- DE LA LOMA, J.L. 1966. Experimentación Agrícola. 229-272pp. Segunda edición. UTHEA, México.
- DUCHAUFOR, P. 1978. Manual de Edafología. 96-157pp. Toray-Masson. S.A. Barcelona.

- FRANCO, C.M. 1940. Fotoperiodismo em cafeiro (Coffea arabica L.).
Revista do Instituto de Café. 27:1586-1592
- -----, 1941. Teor em clorofila das folhas de cafeiros diver-
samente sombreados e a pleno sol. Revista do Instituto de Café.
28:296-299
- GALLARDO MERCADO, S. 1975. Los efectos socioeconómicos de las or-
ganizaciones campesinas promovidas por el Instituto Mexicano del
Café. Tesis de Maestría. Chapingo, México.
- GARCIA, M.E. 1983. Apuntes de Climatología. Tercera edición. Me-
xico. 153pp.
- -----, 1970. Los climas del Estado de Veracruz. Anales del
Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
Serie Botánica. 41:3-42
- GARCIA, E.G.B. y LUGO, R.B. 1972. Yields of 16 Arabica Typica co-
ffee varieties grown under partial shade and fullsunlight. Jour-
nal of Agriculture of The University of Puerto Rico. 55:337-
342
- GORDON, J. 1956. El cultivo del cafeto al sol en El Salvador.
Circular Agrícola. 73:1-13
- GUISCAFRE-ARRILLAGA, J., CORDON, A.J. y CASTELLANOS, S. 1955. Siem-
bra del cafeto al sol en barreras autosombreadas. Circular Agrí-
cola. 71:1-18
- -----, 1957. Sombra, sol y riego. El café de El
Salvador. 308-309:320-364
- HAARER, A.E. 1955. Sombra o no sombra para el café arabico. Wor-
ld Crops. 17:133-139

- ----- . 1960. Shade of Coffee. World Crops. 12:456-466
- ----- . 1964. Producción Moderna del Café. 19-29pp. Segunda Edición. CECSA, México.
- HERRON, C.A. y SANCHEZ, V.H. 1966. Respuestas a la aplicación de fertilizantes en dos proyectos de cafetos bajo sombra. CENICAFE. 17:142-146
- HUERTA, S.A. 1954. La influencia de la intensidad de la luz en la eficiencia asimilatoria del cafeto. Tesis (en prensa). 69p.
- ----- . 1962. Comparación de métodos de laboratorio y de campo para medir el área foliar del cafeto. CENICAFE. 13:33-42
- ----- . 1964. Epoca de muestreo y par de hojas representativo del estado nutricional del cafeto. Turrialba. 14:63-70
- ----- . y ALVIM, P. de T. 1962. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del cafeto. CENICAFE. 13:75-83
- 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. 4:291-308
- HOLLIES, M.A. 1967. Effects of shade on the structure and chlorophyll content of arabica coffee leaves. Experimental Agriculture. 3:183-190
- INMOCAFE. 1960. Cultivo del cafeto en fajas autosombreadas. Circular Técnica 4
- ----- . 1981a. Marco general de la cafeticultura en México. Informe Interno.

- -----, 1981b. La comercialización externa del café mexicano en el ciclo 1980-81. Informe Interno.
- -----, 1982. La comercialización externa del café mexicano en el ciclo 1981-82. Informe Interno.
- -----, 1982a. Daños del volcán El Chichonal. Boletín Técnico del café. 1:1-3
- -----, 1982b. Principales variedades comerciales. Boletín Técnico del café. 1:1-3
- -----, 1983. La comercialización externa del café mexicano en el ciclo 1982-83. Boletín Técnico del café.
- -----, 1985. Bibliocafé. Boletín Bibliográfico Informativo. vol.8 No.2.
- JARAMILLO-ROBLEDO, A. 1976. Condiciones microclimáticas en el cafetal bajo sombrero. CENICAFE. 27:180
- JIMENEZ-AVILA, E. 1979a. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. I. Estructura de una finca en Coatepec, Veracruz. Biótica. 4:1-12
- -----, y MARTINEZ-VARA, P. 1979b. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. Biótica. 4:109-126
- -----, 1981. Ecología del Agroecosistema Cafetalero. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- -----, y GOMEZ-POMPA, A. 1982. Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. CUCSA, México.
- JORDAN-MOLERO, F. Inédito. Es mejor sin sombra?.

- KRUG, C.A. y DE POERCK, R. 1969. Estudio Mundial del Café. FAO. Organización de las Naciones Unidas. Estudios Agropecuarios para la Agricultura y la Alimentación. 7-9:194-205
- KREBS, J.C. 1978. Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance. Second Edition. Harper International Edition, New York. 678p.
- KUMAR, D. y TIESZEN, L.L. 1980a. Photosynthesis in Coffea arabica L. I. Effects of light and temperature. Experimental Agriculture. 16:13-19
- -----, 1980b. Photosynthesis in Coffea arabica L. II. Effects of water stress. Experimental Agriculture. 16:21-27
- LAINES DEL CIS, A.A. 1979. Apreciaciones sobre el manejo de la sombra. CENICAFE. 185:30-32
- LERCH, G., BERGMAN, H. y MUNTZ, K. 1969. Café "Caturra"-Crecimiento y desarrollo en el vivero experimental del Wajay-. I. Germinación. Serie Biológica, La Habana, Cuba. 3:1-12
- -----, MUNTZ, K., BERGMAN, H. y RAMON, J. 1970. Café "Caturra" -Crecimiento y desarrollo en el vivero experimental del Wajay. II. Crecimiento. Serie Biológica, La Habana, Cuba. 24:1-22
- LEON, J. y FOURNIER, M.L.L. 1962. Crecimiento y desarrollo del fruto de Coffea arabica L. Turrialba. 12:5-74
- LOPEZ, C.F.J., NARANJO, J.O., VILLEGAS, E.M. y VALENCIA, A.G. 1972. Influencia de la altitud en el desarrollo de plántulas de café en almácigo. CENICAFE. 23:87-97
- LEVIT, J. 1972. Response to Environmental Stress. Academic Press Inc. New York.

- MACHADO, S.A. 1946. Influencia del sombrero, el suelo y las prácticas culturales en el desarrollo del cafeto en sus primeros meses de vida propia: experimento preliminar. CENICAFE. Boletín Técnico. 1:32
- ----- . 1985. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en café. CENICAFE. Boletín Técnico. 9:157-198
- MAESTRI, M. y BARROS, S.R. 1981. Ecophysiology of tropical crops. Serie Publicaciones Misceláneas. 288:1-50
- MENDEZ-CASTREJON, M.P. y ARREOLA-RODRIGUEZ, R. 1985. Estado hídrico y respuestas estomáticas en plantas de café (*Coffea arabica* L.), expuestas a sol y sombra. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales. Universidad Nacional Autónoma de México.
- MESTRE-MESTRE, A. 1977. Determinación de la dosis óptima de fertilización en plantaciones de café sin sombrero. CENICAFE. 28:51-60
- ----- . y URIBE-HENAO, A. 1980. Dosis y frecuencia de aplicación del fertilizante en la producción de café. CENICAFE. 31:145-164
- METLER, L.E. y GREG, T.C. 1972. Genética de Poblaciones y Evolución. UTHERA, México. 245pp.
- MONTEALEGRE-CARAZO, M. 1955. Cafetales a pleno sol vs. Cafetales a la sombra. FEDECAM. Sección Agrícola. 20:1-16
- MULLER, R. 1959. L'ombrage du caféier d'arabie au Cameroun. L'Agronomie Tropicale. 14:8-12

- NOLASCO ARMAS, M. y TOLEDO OCAMPO, A. 1977. Proyecto: Estrategias de ecodesarrollo para las zonas cafetaleras de México. Avances del estudio socioeconómico del año cafetalero de Veracruz, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí. CECODES-CGNACYT. México.
- NUNES, M.A., BIERHUIZEN, F. y PLOEFMAN, C. 1968. Studies on the productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of Coffea arabica L. Acta Botánica. Weerl. 17:93-102
- NUTMAN, F.J. 1937a. Bearing of recent physiological research on the problem of coffee cultivation. East African Agricultural and Forest Journal. 2:366-370
- ----- . 1937b. Studies on the physiology of Coffea arabica L. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. Annals of Botany. 1:353-367
- ORCZCO, J.F. y MARIN, N.M. 1972. Caracterización de selecciones de café etíope por medidas biométricas. CENICAFE. 23:29-41
- ORTIZ, V.B. 1977. Fertilidad de suelos. Chapingo, Universidad Autónoma de Chapingo, México. 112p.
- ORTOLANI, A.A. 1981. Relaciones entre factores meteorológicos y climáticos y la roya del café. Instituto Agronómico, Campinas-SP-Brasil. Sección de Climatología Agrícola.
- PADILLA, A.E. 1979. México, Desarrollo con Pobreza. Siglo Veintiuno, Editores S.A., México.
- PAINER, R.W. 1942. Shading of coffee in Latin America. The Coffee Board of Kenya. Monthly Bulletin. 7:194

- PIRINGER, A.H. y BORTHWECK, H.A. 1955. Photoperiodic response of coffee. Turrialba. 5:72-77
- PROMECAFE. 1980. Propuesta de 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. 206, 76pp.
- -----, 1982. En la relación con la roya del cafeto. Informe sobre enfoque a actuación de los países miembros del PROMECAFE. Serie Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos. 272:142p.
- RAPAPORT, R.A. 1971. El flujo de energía en una sociedad agrícola. Investigación y Ciencia Nov. 379-391p.
- RIZOPOLOULOU, S. y NUNES, N.A. 1981. Some adaptative photosynthetic characteristics of a sun plant (Ceratonia siliqua) and a shade plant (Coffea arabica L.). Margaritis N.S. y Mooney H.A. (eds): Components of productivity of Mediterranean-Climatic Regions-Basic and Applied. 85-89p. Dr. W. Junk Publishers, The Hague- Boston-London.
- RODRIGUEZ-HERNANDEZ, C., MARTINEZ-AVILA, J.C. y FANJUL, L. 1983. Estimación del área foliar en cafeto mediante un método no destructivo. Biótica. 8:149-150
- ROBLES, A.F. 1971. El análisis de suelos en programas de fertilización en cultivos de café. Fértica. 1:3-26

- RODRIGUEZ, G.A. 1958. Sistemas de conservación de suelos en plantaciones de café a sol. CENICAFE. 9:277-290
- ROMERO SALINAS, J. 1978. El Café Mexicano. Perfil del Estado de Veracruz. Publicación especializada del Instituto Mexicano del Café. Primer Bimestre, No.10. México.
- SALAZAR-ARIAS, N. y MESTRE-MESTRE, A. 1977. Efecto de la distancia de siembra sobre la producción de Coffea arabica L. var. Bourbon. CENICAFE. 28:27-35
- ----- . 1981. Distancias de siembra y dosis de fertilizante en la producción de café. CENICAFE. 32:88-105
- SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA. 1983. Econotecnía Agrícola. Registros aparentes de productos agrícolas 1925-1982. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Agricultura y Operación, Dirección General de Economía Agrícola. Departamento de Estudios de la Economía Agropecuaria Nacional. vol.7, No.9 68-69pp.
- SIYLEY, L.M. 1929. The influence of light quality upon the growth of plants. American Journal of Botany. 16:354-390
- SUAREZ DE CASTRO, F. y MONTENEGRO, L. 1961. Efecto del sombrero en los primeros años de vida de un cafetal.
- SYLVAIN, G.P. 1958a. Asimilación del carbono y fotosíntesis de Coffea arabica L. Estudios del Café y Cacao. 1:1-13
- ----- . 1958b. El ciclo de crecimiento de Coffea arabica L. Turrialba. 1:1-17
- ----- . 1958c. The photosynthesis of Coffea arabica L. a review of pertinent literature. Turrialba, C.R. Inter-American

- Institute of Agricultural Sciences. Coffee and Cacao review. 14pp.
- TRIANA, B.J.V. 1957. Informe preliminar sobre un estudio de "modalidades" de cultivo de cafeto. CENICAFE. 8:11-19
 - TURRENT, F.A. 1980. Registro de observaciones durante el desarrollo de un experimento de productividad de agrosistemas. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
 - URIBE-HENAO, A. y MESTRE-MESTRE, A. 1976. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de café. CENICAFE. 27: 158-173
 - -----, -----, 1980. Efecto de la densidad de población y el sistema de manejo sobre la producción de café. CENICAFE. 31:29-51
 - VALENCIA, A.G. 1973. Relación entre el índice de área foliar y la productividad del cafeto. CENICAFE. 24:79-89
 - 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. LIMUSA, México. 191pp.
 - VILLASEÑOR-LUQUE, A. 1979a. Densidad de población en cafetales y su rentabilidad. Memorias del II Simposio Latinoamericano sobre Cafeticultura. Jalapa, Veracruz, México.
 - -----, 1979b. La cafeticultura mexicana ante la r^oya del cafeto. INMECAFE, Informe de la Dirección Adjunta de Producción y Mejoramiento del Café.
 - WAYNE, W.D. 1979. Bioestadística. 132-138pp. LIMUSA. México.
 - WORMER, T.M. 1964. The growth of coffee berry. Annals of Botany. 28:47-55