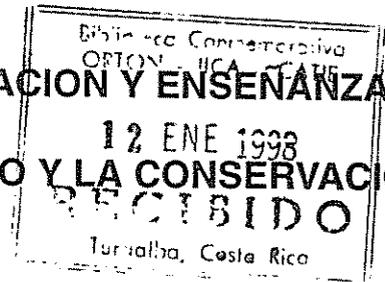


CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSTGRADO



**EFECTO DE SOMBRA SOBRE LA FLORACION Y
PRODUCCIÓN DE *Coffea arabica* var caturra, DESPUES DE UNA
PODA COMPLETA EN TURRIALBA, COSTA RICA**

POR

JENNY JOSEFA ESTIVARIZ COCA



Turrialba, Costa Rica
1997

Biblioteca Conmemorativa
ORTON - IICA - CATIE

12 ENE 1998

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE
INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
CATIE

PROGRAMA DE EDUCACION
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFECTO DE SOMBRA SOBRE LA FLORACION Y
PRODUCCION DE *Coffea arabica* var *caturra*,
DESPUES DE UNA PODA COMPLETA EN
TURRIALBA, COSTA RICA.**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado. Programa de Educación en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

Magister Scientiae

por

JENNY JOSEFA ESTIVARIZ COCA

Turrialba, Costa Rica

1997

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

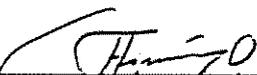
CIENCIAS

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Reinhold Muschler, Ph. D. (Sand.)
Profesor Consejero



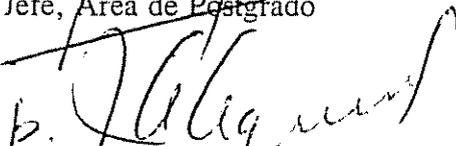
Francisco Jiménez, Ph. D.
Miembro Comité Asesor



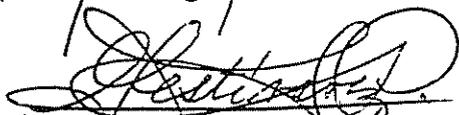
John Beer, Ph. D.
Miembro Comité Asesor



Juan A. Aguirre, Ph. D.
Jefe, Area de Postgrado



Markku Kanninen
Director, Programa de Enseñanza



Jenny Josefa Estivariz Coca
Candidato

*A Dios padre Jehova por caminar junto a mi siempre
A mis padres Máxima y Antonio por su gran cariño y
apoyo moral
A mi esposo y fiel compañero Oscar Peña por su amor
incondicional*

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos :

-A la Administración para el Desarrollo de Ultramar (ODA) por el financiamiento otorgado para realizar los estudios de maestría.

-A Elizabeth Coloma oficial de asistencia técnica de la embajada británica en Bolivia por su eficiente trabajo, responsabilidad y apoyo a la especialización de muchos profesionales bolivianos colaborando de esta manera con el progreso de Bolivia.

- A Reinhold Muschler consejero principal por sus enseñanzas, apoyo integro y guía profesional para realizar la tesis.

- A mis profesores consejeros: John Beer por su apoyo científico y guía profesional en la redacción la tesis y Francisco Jiménez por su guía profesional y apoyo moral.

-A Geovana, Flor, Maye, Marlen y Gerardo por su apoyo en el trabajo de campo y generosidad como también a las familias Salazar, Montero y Rojas por su hospitalidad en la zona Esmeralda.

- A los propietarios y administradores de la Finca Esmeralda, especialmente al Ing. Carlos Brenes por permitir el seguimiento de la parcela experimental instalada en los cafetales de la finca.

-A mis hermanos y familiares que me dieron su apoyo moral desde Bolivia, Estados Unidos y Argentina.

- A todas las personas que de una u otra manera me colaboraron para llevar adelante el trabajo de tesis y al mismo tiempo me brindaron su apoyo moral, espiritual y de amistad.

- A Costa Rica por haberme acogido en su tierra .

ESTIVARIZ COCA, J. 1997. Shade effect on flowering and production of *Coffea arabica* var Caturra, after a complete pruning in Turrialba, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

SUMMARY

Keywords: *Erythrina poeppigiana*, "poró", *Coffea arabica*, coffee, shade, Costa Rica, production, flowering, pruning, growth

The objectives of this research were to compare *Coffea arabica* L. var. Caturra flowering and production (1) under homogeneous and heterogeneous shade of *Erythrina poeppigiana* shade, and (2) at different distances from shade trees. The homogeneous shade was provided by tall trees which were selectively pruned to allow 40 to 60% of the photosynthetically active radiation (PAR) in the open. The heterogeneous shade was provided by trees which were pollarded twice a year, allowing >80% PAR during the year. The first production of the coffee plantation was evaluated three years after a complete pruning. The experiment was established in 1994, in a commercial farm located at "La Esmeralda", Turrialba (1000 masl, 2700 mm, 20°C, 9° 55' 16" N and 83° 43' 17" O, Typic Hapludand, life zone: premontane very humid forest).

Coffee's behavior was evaluated at individual productive branch and whole plant levels. For the branch' level study two plagiotropic branches were selected at random in 36 and 35 plants under homogeneous and heterogeneous shade, respectively. The evaluated parameters were: flowering, vegetative growth and fructification. There were no significant differences among the number of flowers and fruits per branch between both shades. Nevertheless, the conversion rate from flower to fruit was lower under homogeneous shade (1.6 flowers per fruit vs 1.8) indicating higher conversion efficiency under homogeneous shade. Distance to the nearest tree did not show a significant effect on flowering. The five flowering peaks under both shade types were related to precipitation and temperature patterns of the area.

The work on the whole-plant level was conducted on 139 and 140 plants under heterogeneous and homogeneous shade, respectively. The evaluated parameters were potential production (number of immature fruits per plant) and vegetative growth (plant dimension, productive basal area and total basal area). The homogeneous shade reduced the number of productive branches, the productive basal area and the bush dimensions, reducing the potential production by 41% in relation to the heterogeneous shade (1091 vs 1838 fruits per plant, respectively). Distance to the nearest tree did not show a significant effect on potential production. The variables more related to production were: crown diameter, height and productive basal area.

In the absence of nutrient, water or temperature limitations for coffee, given the high fertility and moisture conditions and the optimum elevation for coffee at the study site, light was the production - limiting factor under homogeneous shade. Nevertheless, it is possible that production differences will be lower in the future due to a reduction of coffee vigor, which is usually stronger under heterogeneous shade. If a strong production reduction occurs under homogeneous shade during subsequent years, shading could be reduced through selective pruning and/or elimination of select trees.

In order to evaluate the long term sustainability of the heterogeneous shade system, the costs of stronger reduction of plant vigor and soil fertility of higher weed intensity and of potential reduction of coffee quality reduction should be considered. Likewise, there should be taken into consideration the contribution of the homogeneous shade to protect the soil during the first two years after the complete pruning which is of great importance for coffee plantations on steep slopes. If the above mentioned aspects are included, homogeneous shade system with a shading level adjusted to the agroecological environment could be the best option to consider for the development of an ecologically sustainable coffee system.

ESTIVARIZ COCA, J. 1997. Efecto de sombra sobre la floración y producción de *Coffea arabica* var Caturra, después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

RESUMEN

Palabras claves: *Erythrina poeppigiana*, poró, *Coffea arabica*, café, sombra, Costa Rica, producción, floración, poda, crecimiento.

Los objetivos del presente estudio fueron comparar la floración y producción de *Coffea arabica* L. var. Caturra (1) bajo dos niveles de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) con sombra homogénea y heterogénea de *Erythrina poeppigiana*, y (2) a diferentes distancias de los árboles de sombra. La sombra homogénea resultó de árboles altos que fueron selectivamente podados para permitir 40 a 60 % de RAFA. La sombra heterogénea resultó de árboles que fueron totalmente podados dos veces por año, permitiendo >80% de RAFA en el transcurso del año. El café fue evaluado en su primera producción en el tercer año después de una poda completa. El experimento fue establecido en 1994 en una finca comercial situada en la Esmeralda de Turrialba (1000 msnm, 2700 mm, 20°C, 9° 55' 16" N y 83° 43' 17" O, suelo Typic Hapludand y zona de vida: bosque muy húmedo premontano)

La respuesta del café fue evaluada a nivel de bandolas productivas individuales y a nivel de planta completa. Para el estudio a nivel de bandolas fueron seleccionadas aleatoriamente 2 ejes plagiotrópicos por planta en 36 y 35 plantas bajo sombra homogénea y heterogénea respectivamente. Los parámetros evaluados fueron: floración, crecimiento vegetativo y fructificación. No hubo diferencias significativas entre el número de flores y frutos por bandola (eje plagiotrópico) entre ambas sombras. Sin embargo, la tasa de conversión de flor a fruto fue menor bajo sombra homogénea (1.6 flores por fruto vs 1.8) indicando mayor eficiencia de conversión bajo sombra heterogénea. La distancia al árbol más cercano no tuvo efecto significativo sobre la floración. Los cinco picos de floración bajo ambos tipos de sombra estuvieron relacionados con los patrones de precipitación y temperatura en la zona.

El estudio a nivel de planta completa se realizó en 139 y 140 plantas de *C. arabica* var. Caturra bajo sombra heterogénea y homogénea respectivamente. Los parámetros evaluados fueron producción potencial (número de frutos inmaduros por planta) y crecimiento vegetativo (dimensiones de las plantas, área basal productiva y área basal recepada). La sombra homogénea redujo el número de bandolas productivas, área basal productiva y dimensiones del arbusto, resultando en una reducción de la producción potencial (41%) con relación a sombra heterogénea (1091 vs 1838 frutos por planta respectivamente). La distancia al árbol más cercano no tuvo efecto significativo

en la producción potencial. Las variables más relacionadas con la producción fueron: diámetro de copa, altura y área basal productiva.

En las condiciones de alta fertilidad, humedad y temperaturas óptimas para café en el sitio de estudio, la luz fue el limitante para la producción en sombra homogénea. Sin embargo, es probable que la diferencia de producción será menor en el futuro debido al agotamiento de las bandolas productivas del café, comunmente más pronunciado en sombra heterogénea. Si ocurriera una fuerte reducción de producción bajo sombra homogénea en los siguientes años, se podría reducir el sombreado por podas ligeras y/o un raleo de árboles.

Para evaluar la sostenibilidad a largo plazo del sistema de sombra heterogénea se deben considerar los costos por el mayor desgaste de plantas y fertilidad del suelo, la mayor intensidad de malezas y la reducción potencial de la calidad de café en este sistema. Asimismo, se debe valorizar el aporte de sombra homogénea a la protección del suelo en los primeros dos años después de la poda completa. Este es de gran importancia para cafetales en pendiente. Si se incluyen estos factores, un sistema de sombra homogénea cuyo nivel de sombreado es ajustado al ambiente agroecológico podría ser la mejor opción a considerar para un desarrollo del sistema de café ecológicamente sostenible.

INDICE

	Páginas
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
SUMMARY.....	v
RESUMEN.....	vii
INDICE.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE CUADROS.....	xvi
CAPITULO 1.....	1
1.1. INTRODUCCION GENERAL.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVO ESPECIFICOS.....	3
1.3. HIPOTESIS.....	4
1.4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	5
CAPITULO 2 EFECTO DE SOMBRA SOBRE EL CRECIMIENTO, FLORACION Y FRUCTIFICACION DE BANDOLAS DE <i>Coffea arabica</i> var. Caturra.....	7
2.1. INTRODUCCION.....	7
2.2. MATERIALES Y METODOS.....	10
2.2.1. Descripción del área de estudio.....	10
2.2.2. Descripción del sitio.....	11
2.2.3. Establecimiento y manejo.....	11

2.2.4. Establecimiento de parcelas de muestreo.....	13
2.2.5. Caracterización del microclima.....	15
2.2.6. Diseño de muestreo.....	16
2.2.7. Variables evaluadas.....	18
2.2.8. Análisis de datos.....	18
2.3. RESULTADOS.....	19
2.3.1. Microclima.....	19
2.3.2. Efecto de sombra homogénea y heterogénea sobre longitud, número de nudos, flores y frutos por bandola.....	25
2.3.3. Relaciones entre variables de floración.....	28
2.3.4. Dinámica de floración.....	29
2.4. DISCUSION.....	30
2.4.1. Microclima.....	30
2.4.2. Efecto de la sombra homogénea y heterogénea sobre la longitud, número de nudos, flores y frutos por bandola.....	31
2.4.3. Dinámica y efecto de sombra sobre la floración.....	32
2.4.3. Efecto de la distancia cafeto-poró y la relación de la floración y sus variables vegetativas.....	33
2.5. CONCLUSIONES.....	36
2.6. RECOMENDACIONES.....	37
2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	38
CAPITULO 3 EFECTO DE SOMBRA DE <i>Erythrina poeppigiana</i> (Walpers) O.F. Cook SOBRE LA PRODUCCION DE <i>Coffea arabica</i> var Caturra.....	42

3.1. INTRODUCCION.....	42
3.2. MATERIALES Y METODOS.....	44
3.2.1. Caracterización de los suelos.....	44
3.2.2. Caracterización del tejido vegetal.....	45
3.2.3. Diseño de muestreo.....	46
3.2.4. Variables vegetativas y de localización.....	47
3.2.5. Análisis de datos.....	48
3.3. RESULTADOS.....	49
3.3.1. Caracterización de los suelos.....	49
3.3.2. Caracterización del tejido vegetal.....	51
3.3.3. Efecto de sombra homogénea y heterogénea en variables vegetativas y de producción del café.....	52
3.3.4. Relación de las variables medidas con la producción en sombra homogénea y heterogénea.....	56
3.4. DISCUSION.....	60
3.4.1. Efecto sombra sobre la producción.....	60
3.4.2. Efecto sombra sobre las variables vegetativas.....	62
3.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
3.6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	66
CAPITULO 4.....	69
4.1 DISCUSION Y CONCLUSIONES GENERALES.....	69
4.1.1. Consideraciones ambientales para el uso de sombra homogénea.....	69

4.1.2. Papel del poró en la producción de café con sombra en la Finca la Esmeralda.....	69
4.1.3. Floración y producción en la Esmeralda.....	70
4.1.4. Importancia de la sombra homogénea para la biodiversidad.y la fijación de carbono.....	72
4.2 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Páginas
1	Relieve del área de estudio y cafetos muestreados (tratamientos) con sombra homogénea (parte superior) y sombra heterogénea (parte inferior). Para mayor claridad se omitieron los cafetos del borde. La Esmeralda, Turrialba.	14
2	Determinación de los estratos I, II y III en las áreas de cafetos con sombra homogénea y heterogénea. Estratos I distancia de los cafetos desde el poró hasta 1.5 m, II distancia desde 1.5 a 3m y III mayores a 3m.	17
3	Temperaturas máximas, mínimas y medias durante el período diciembre 1996 hasta agosto 1997 en cafetales bajo sombra homogénea y heterogénea en la Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas de <u>E. poeppigiana</u> fueron en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97; y en sombra homogénea 11/05/97.	21
4	Humedad relativa máxima, mínima y media durante el período marzo (1=tercera semana) hasta agosto de 1997 en cafetales bajo sombra homogénea y heterogénea en la Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas de <u>E. poeppigiana</u> fueron en sombra heterogénea 10/03/97 y 30/08/97 en sombra homogénea 11/05/97.	22
5	Precipitación total por semana para el período diciembre 1996 hasta agosto 1997 en La Esmeralda y Turrialba (1=primera semana de diciembre)	23
6	Radiación fotosintéticamente activa (RAFA) de enero hasta agosto de 1997 en los tratamientos con "sombra homogénea" y "sombra heterogénea". Las podas en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97 y en homogénea fue el 11/05/97	24
7	Longitud de bandola de cafetos de 3 años después de una poda baja o recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores entre estratos con la misma letra no difieren significativamente (t, $\alpha=0,05$).	26

- 8 Número de nudos de cafetos de 3 años después de una 26
recepta con sombra homogénea y heterogénea para los
estratos I, II y III. Valores entre estratos con la misma letra no
difieren significativamente (Mann-Whitney, $\alpha=0,05$).
- 9 Número de frutos por bandola de cafetos de 3 años después 27
de una recepta con sombra homogénea y heterogénea entre
sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III.
Valores entre estratos y tratamientos con la misma letra no
difieren significativamente (Mann- Whitney, $\alpha=0.05$).
- 10 Número de flores por bandola de cafetos de 3 años después 27
de una recepta con sombra homogénea y heterogénea para
los estratos I, II y III. Valores entre estratos y tratamientos con
la misma letra no difieren significativamente ($\alpha=0,05$).
- 11 Dinámica de antesis floral por semana de cafetos de 3 años 30
después de una recepta con sombra homogénea y
heterogénea y la precipitación acumulativa semanal. La
Esmeralda, Turrialba.
- 12 Correlaciones lineales entre el número de flores por bandola 35
y la distancia al árbol de poró en sombra homogénea y
heterogénea.
- 13 Correlaciones entre el número de frutos y número de flores 35
por bandola en sombra heterogénea y homogénea.
- 14 Determinación de los estratos I, II y III en las áreas de cafetos 47
con sombra homogénea y heterogénea. Estratos I distancia
de los cafetos desde el poró hasta 1.5 m, II distancia desde
1.5 a 3m y III distancia de los cafetos mayores a 3m.
- 15 Altura de los cafetos de 3 años después de una recepta con 54
sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III.
Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra
no difieren estadísticamente (t, $\alpha=0,05$).
- 16 Diámetro de copa de los cafetos de 3 años después de una 54
recepta con sombra homogénea y heterogénea para los
estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos
con la misma letra no difieren estadísticamente (t, $\alpha=0,05$).

- 17 Area basal productiva de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente (Mann Whitney, $\alpha=0,05$). 55
- 18 Area basal recepada de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente (Mann Whitney, $\alpha=0,05$). 55
- 19 Número de frutos de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente (Mann Whitney, $\alpha=0,05$). 56
- 20 Correlaciones lineales de las variables de producción de los cafetos vs diámetro de copa y área basal productiva en sombra homogénea y heterogénea con sus respectivos modelos de regresión. 58
- 21 Correlaciones lineales de las variables de producción de los cafetos vs altura y distancia al árbol más cercano de poró en sombra homogénea y heterogénea y sus respectivos modelos de regresión. 59

LISTA DE CUADROS

CUADROS		Páginas
1	Actividades de manejo agronómico de <i>C. arabica</i> var Caturra con <i>E. poeppigiana</i> en la finca Esmeralda S.A., en la Esmeralda de Turrialba.	11
2	Manejo agronómico en el área experimental	13
3	Población total por estrato, varianza, número de muestras asignadas en el premuestreo, número definitivo de muestras por estrato dentro de cada área y el error máximo de muestreo...	17
4	Promedio de temperaturas máxima, mínima y media para los meses de diciembre 1996 hasta agosto 1997. La Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97; y en homogénea fue el 11/05/97.	20
5	Promedio de humedad relativa máxima, mínima y media desde la segunda semana de marzo hasta agosto de 1997. La Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97; y en homogénea fue el 11/05/97.	20
6	Precipitación mensual desde diciembre 1996 - agosto 1997 Esmeralda y Turrialba (Costa Rica).	23
7	Significancia de los parámetros de la regresión lineal de floración y producción por bandola (variable dependiente) y variables vegetativas y de localización (variables independientes).	28
8	Nivel de fertilidad química de los suelos (0-30 cm), en áreas útiles con sombra homogénea y heterogénea.	50
9	Condiciones de los elementos en el tejido de las plantas de café con sombra heterogénea y homogénea.	51
10	Significancia de los parámetros de la regresión lineal de producción por planta (variables dependientes) y variables vegetativas y de localización (variables independientes).	57

CAPITULO 1

1.1. INTRODUCCION GENERAL

El café es una planta perenne que proporciona la materia prima (semillas) para elaborar una bebida estimulante de consumo mundial. Su cultivo se ha extendido por todas las zonas tropicales de Africa, Asia, Oceanía y América (FAO, 1995). La producción mundial de café verde en 1995 fue de 5.603.000 toneladas métricas; de esta producción Costa Rica aportó el 2,54% (FAO, 1995).

La región cafetalera de Costa Rica con mejores condiciones agroecológicas se localiza en el Valle Central (zona óptima). Zonas como Turrialba y San Carlos son consideradas sub-óptimas, por condiciones limitantes de temperatura, bajo contenido de bases en los suelos y la ausencia de una estación seca definida (Rojas, 1987; Rojas, 1989). Una alternativa para posibilitar producción de café más estable, sostenible y menos riesgosa en estas zonas sub-óptimas, podría ser a través de socios arbóreos, que pueden favorecer un mejor aprovechamiento del potencial del sitio, moderar el microclima y reducir exigencias del cultivo. Sin embargo, estos sistemas presentan ventajas y desventajas (Budowski, 1980; Beer, 1987; Rivera y Gómez, 1992).

En la zona de Turrialba, el poró gigante (*Erythrina poeppigiana* Walpers O.F.Cook) es el árbol más difundido en los sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) debido a su fácil establecimiento, adaptación y capacidad de rebrotar después de repetidas podas (Beer, 1988; Ramírez, 1993). A través de las podas se aporta materia orgánica al suelo importante para el ciclaje de los

nutrientes y conservación de la fertilidad de los suelos (Beer, 1988). El manejo tradicional de la *E. poeppigiana* en esta zona incluye podas completas 2 ó 3 veces al año (Glover y Beer, 1986; Russo y Budowski, 1986). Sin embargo, este sistema puede exponer al cafetal a factores ambientales desfavorables (temperaturas elevadas del suelo y aire, mayor intensidad de luz) con posibles consecuencias negativas sobre el cultivo (Barradas y Fanjul, 1986; Muschler, 1998).

Otro aspecto que resalta la importancia del uso de árboles de sombra en cafetales, es su aporte para disminuir la erosión de los suelos (Bermudez, 1980; Gomez, 1972; Rivera y Gómez, 1992). Esta acción beneficiaría el sistema de renovación de cafetales mediante la poda por recepa, que consiste en la eliminación de la parte aérea de la planta mediante un corte que se realiza a una altura de 0.30 a 0.40 m del suelo. La poda por recepa es un sistema fácil y sencillo, pero que puede permitir erosión por la exposición del suelo (Ramirez, 1996).

Sin embargo, para recomendar el uso o no de los árboles de sombra en el área de estudio, debemos conocer sus efectos sobre el crecimiento vegetativo, floración y producción del cafeto. Si bien, existe información sobre la floración ó producción del café con sombra, ésta fue obtenida por separado (Alvim, 1977; Crisosto *et al.*, 1992; Drinnan y Menzel, 1995; ICAFE, 1996; Muschler, 1997; Ramírez, 1993 y Schuch, 1992). Por consiguiente, el presente estudio evaluó el efecto de sombra homogénea y heterogénea de *Erythrina poeppigiana* sobre la floración y producción de un cafetal recepado en la Esmeralda, Turrialba.

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto de dos tipos de sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*) y la influencia de la distancia *C. arabica* var Caturra - *E. poeppigiana*, sobre la floración y producción de café (*C. arabica* var. Caturra).

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comparar el efecto de sombra heterogénea (manejada en forma tradicional con dos podas al año) y sombra homogénea (manejada para dar 40-60% de radiación fotosintéticamente activa al café) de *Erythrina poeppigiana* en la floración y producción de *C. arabica* var. Caturra.
- Evaluar la influencia de la distancia entre los *C. arabica* var Caturra y la *Erythrina poeppigiana* en la floración y producción del cultivo.
- Determinar las variables vegetativas de los cafetos (altura, diámetro de copa, área basal recepada y productiva) que están más relacionados con la producción.

1.3.HIPOTESIS

De acuerdo a los objetivos específicos planteados, se probaron las siguientes hipótesis :

Ho = No existen diferencias de floración y producción del *C. arabica* var Caturra entre parcelas que tienen sombra heterogénea y sombra homogénea de *E. poeppigiana*.

Ho = La distancia de los *C. arabica* var Caturra a los árboles de *E. poeppigiana* no tiene influencia, en la floración y producción del cultivo.

Ho = Los parámetros vegetativos del cultivo de *C. arabica* var Caturra (altura, diámetro de copa, área basal, recepada y productiva) no están relacionadas con la producción.

Para cumplir con estos objetivos en el capítulo dos se presenta el estudio del efecto de sombra de *E. poeppigiana* sobre el crecimiento, floración y fructificación de las bandolas de *C. arabica* var. Caturra. En el capítulo tres se presenta el estudio correspondiente al efecto de sombra de *E. poeppigiana* sobre la producción *C. arabica*. El capítulo cuatro discute e integra ambos temas brindando las conclusiones generales de la presente investigación.

1.4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- ALVIM, P. de T. 1977.** Factors affecting flowering of coffee. *Journal of Coffee Research (India)* 7(1): 15-25.
- BARRADAS, V.; y FANJUL, L. 1986.** Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 101-112.
- BERMUDEZ, M. 1980.** Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) P.F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* (R. y P.) Cham). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., Programa Universidad de Costa Rica/ CATIE. 74p.
- BEER, J. 1987.** Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5 : 3-13.
- , 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114.
- BUDOWSKI, G. 1980.** Compilación de las ventajas y desventajas de sistemas agroforestales (Presencia de árboles en cultivos alimenticios o en pastos), en comparación con monocultivos. Programa de Recursos Naturales Renovables. CATIE. 2p.
- CRISOSTO, C. ; GRANTZ, D. y MEINZER, F.C. 1992.** Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). *Tree Physiology* 10: 127-139.
- DRINNAN, J. E. y MENZEL, C. M. 1995.** Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). *Journal of Horticultural Science* 70(1): 25-34.
- FAO (ITALIA). 1995.** Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. Colección FAO: Estadística N° 130. vol 39 p 171.
- GLOVER, N. y BEER, J. 1986.** Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 4 : 77-87.
- GOMEZ, A. 1972.** CENICAFE. Avances Técnicos Tomo I Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. pp: 23-28.

- ICAFFE (PROGRAMA COOPERATIVO INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA). 1996. Informe anual de labores 1995. Heredia, Costa Rica. Investigación y Transferencia de Tecnología en el Cultivo del Café. 203p
- MUSCHLER, R. 1998. Tree crop compatibility: Effects of shade and selected tree species on coffee (*Coffea arabica* L.) in Costa Rica. Ph D dissertation university of Florida, Gainesville, USA (in preparation).
- , 1997. Efectos de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. In Memorias del 18vo Simposio Latinoamericano de Caficultura. Setiembre 1997. San José, Costa Rica. pp. 157-162.
- RAMIREZ, L. G. 1993. Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. *Erythrina in the New and Old Worlds*. In *Erythrina in the New and Old Worlds*. Westley S B. and Powel M. H. (eds). USA, Nitrogen Fixing Tree Association pp:121-124.
- RAMIREZ, J. E. 1996. Poda y manejo de *Coffea arabica* L. ICAFFE. Centro de Investigaciones en Café. San José, Costa Rica. 60 p.
- RIVERA, H. y GOMEZ, A. 1992. El sombrío en los cafetales protege los suelos de la erosión. In Avances técnicos números 114 al 184, CENICAFE tomo II. Héctor Ospina (ed). Colombia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. pp: 223 -230.
- ROJAS, O. 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. San José, Costa Rica. IICA. Serie Publicaciones Misceláneas N° A1/OCR-87-007. 83 p.
- -----, 1989. Determinación del potencial agroecológico para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. Turrialba (Costa Rica). 39(3): 279-287.
- RUSSO, R y BUDOWSKI, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry Systems* 4: 145-162.
- SCHUCH, U. ; FUCHIGAMI, L. y NAGAO, M. 1992. Flowering, ethylene production, and ion leakage of coffee in response to water stress and gibberellic acid. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117(1):158-163.

CAPITULO 2

EFECTO DE SOMBRA SOBRE EL CRECIMIENTO, FLORACIÓN Y FRUCTIFICACIÓN DE BANDOLAS DE *Coffea arabica* var. Caturra.

2.1.INTRODUCCION

El café es una planta con floración típicamente gregaria. Sin embargo, dependiendo de los patrones climáticos de la región, la floración puede ser estacional o no (Alvim, 1977). En regiones ecuatoriales (0 a 4° de latitud sur o norte) existen dos patrones de floración: en regiones donde no se presentan estaciones secas y húmedas definidas, la floración puede presentarse durante todo el año; y en aquellas donde existen estaciones definidas la floración es periódica, como ocurre en regiones ecuatoriales de Kenia, Tanzania y Colombia (Barros *et al.*, 1977; Camargo, 1985; Cannell, 1971). Sin embargo, la floración no es periódica en regiones cuyas estaciones no difieren marcadamente en temperatura y precipitación como ocurre en Turrialba (Newton, 1952).

En regiones situadas en latitudes elevadas (fotoperíodos cortos), con estaciones secas y temperaturas moderadamente frías, es difícil identificar el factor crítico para el inicio de la floración (Barros *et al.*, 1977).

Los factores que afectan la floración son principalmente el estrés hídrico y las relaciones hormonales. Alvim (1961) realizó un estudio sobre el efecto secuencial del déficit hídrico seguido por riego en la floración del café en la costa desértica del Perú. Concluyó que la deficiencia hídrica era necesaria para interrumpir el reposo de las yemas florales. Por otra parte, Frederico y Maestri (1970) observaron en Vicosa, Brasil, que una precipitación de 14,3 mm posterior a un período de déficit hídrico, fue suficiente para interrumpir la dormancia de

los botones florales, iniciándose la floración 12 días después. Magalhaes y Angelocci (1976) estudiaron diferentes niveles de estrés hídrico previos al riego que interrumpieron la dormancia de los botones florales y plantearon de esta manera la existencia de umbrales de estrés hídrico. Asimismo, Astegiano *et al.* (1988) determinaron que el movimiento del agua en los botones florales (flujo apoplástico) fue mayor en aquellos que provenían de plantas de café que fueron sometidas a estrés hídrico, lo cual les permitió alcanzar la turgencia necesaria para interrumpir la dormancia.

Por lo tanto, el control del déficit hídrico y riego podría ser un método para sincronizar la floración del café (Crisosto *et al.*, 1992). Sin embargo, el estrés hídrico puede reducir la tasa fotosintética hasta un 90% (Kanechi *et al.*, 1996) y ser perjudicial durante el período de inicio de la floración (Drinnan y Menzel, 1994).

Por otra parte, las relaciones hormonales tienen influencia en la floración de los cafetos que actúan de manera combinada con el estrés hídrico. Así, Alvim (1958) estudió el efecto de las aplicaciones de diferentes concentraciones de ácido giberílico (G.A.) (0, 5, 10, 20, 50, y 100 ppm) en plantas de *C. arabica* L. variedad típica de 10 años de edad. Encontró la necesidad de cierto estrés hídrico para que el GA interrumpa la dormancia de los botones florales. Van der Veen (1968) estudió el efecto de hormonas (GA, ácido indol acético (IAA) y cinetinas) en la interrupción de dormancia de *C. canephora* var. Robusta y observó que la dormancia sólo se interrumpió en botones florales que recibieron aplicación de pasta de lanolina al 1% de GA, no sucedió de igual manera con las otras hormonas utilizadas. Adicionalmente, estudió el efecto inhibitorio del ácido absísico (ABA) y observó que los botones florales que recibieron la aplicación de pasta de lanolina con 200 ppm de ABA permanecieron en dormancia 3 o 4 meses más que los botones florales testigo, a pesar que la planta fue sometida a estrés hídrico y posterior riego.

Browning (1973), al estudiar la dormancia en botones florales de *C. arabica* (plantas de 6 años) encontró, que posterior a la interrupción de la dormancia por la secuencia de estrés hídrico y riego, la concentración de ácido giberílico en los botones se incrementó significativamente, resultado que fue confirmado por Briceño *et al.* (1992).

Schuch *et al.* (1992) estudiaron el efecto combinado de estrés hídrico y ácido giberílico en la interrupción de la dormancia de botones florales en plantas de café (más de dos años de edad). Encontraron que la dormancia se interrumpió con riego posterior en las plantas que alcanzaron un potencial hídrico foliar igual o menor a -2.65 MPa en las hojas y de -4.0 MPa en los botones florales. El potencial hídrico foliar para interrumpir dormancia fue inferior al obtenido por Magalhaes y Angelocci (1976). Esta diferencia podría ser debida según Schuch, *et al.* (1992) a la edad de la planta, variedad, tiempo de muestreo y posición de la muestra de cada estudio. Asimismo, se confirmó la existencia de umbrales de potenciales hídricos (Magalhaes y Angelocci, 1976) para interrumpir la dormancia en botones florales. Por otra parte, observaron la efectividad de aplicaciones de GA para posibilitar la antesis.

La temperatura también es otro de los factores importantes en el crecimiento vegetativo e inicio de la floración del café (Drinan y Menzel, 1995; Gopal y Vasudeva, 1973; Jaramillo y Guzmán, 1984; Kumar y Tieszen, 1980; Mes, 1957; Nunes *et al.*, 1968). El rango de temperaturas óptimas para el café se sitúa entre 15 a 24 °C, por encima de 25 °C la tasa fotosintética disminuye y temperaturas superiores a 30 °C dañan las hojas (Willson, 1985).

No hay evidencias sólidas que el fotoperíodo podría ser un factor importante en el inicio de la floración del café (Cannell, 1972; Monaco *et al.*, 1978). Sin embargo, Piringer y Borthwick (1955), al estudiar la influencia del fotoperíodo en la floración, concluyeron que el café era una planta de día corto.

Otro aspecto que no fue estudiado profundamente, es el efecto de los árboles de sombra sobre la floración, tema de particular importancia para las regiones cafetaleras en las cuales se utilizan sistemas agroforestales, cuyo efecto de los árboles es mucho más que sólo sombra (Willey, 1975). Este efecto abarca un conjunto de interacciones, desde el ciclo de nutrientes en el suelo hasta cambios en el microclima (Aranguren *et al.*, 1982; Barradas y Fanjul, 1986; Glover y Beer, 1986).

El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto de sombra heterogénea (manejada en forma tradicional con dos podas al año) y sombra homogénea (manejada para dar 40%-60% de radiación fotosintéticamente activa al café) de *Erythrina poeppigiana* (poró) en el crecimiento vegetativo, la floración y fructificación de *Coffea arabica* var Caturra. Además evaluar la influencia de la distancia entre los cafetos con el poró sobre el crecimiento vegetativo, floración y fructificación del cultivo.

2.2 MATERIALES Y METODOS

2.2.1. Descripción del área de estudio

El sitio experimental se localizó en la finca " Esmeralda S.A." ubicada en la zona de la Esmeralda del cantón Turrialba, provincia de Cartago en Costa Rica, a una altitud de 1000 msnm, 9°55'16" N y 83°43'17" O. Los suelos son de origen volcánico cuaternario (AID/RIC, 1965), textura franco arenosa y clasificados como Typic Hapludand (com. pers. Muschler, 1996). Zona de vida bosque muy húmedo premontano (bmh-P), según la clasificación de Holdridge (Tosi, 1969). La vegetación predominante estuvo constituida por plantaciones de café en asocio con poró. La precipitación anual fluctúa entre 2500 a 3000 mm (MAG, 1982) y los meses con menor precipitación son: febrero, marzo y abril. Por falta de datos meteorológicos del sitio la temperatura promedio anual se

calculó de 19.6°C basado en la temperatura promedio anual del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza que es de 22°C, asumiendo la gradiente de 0.6°C/100 m de elevación.

2.2.2. Descripción del sitio

La finca "Esmeralda S.A." abarca 75 hectáreas cuya actividad principal es el cultivo del café (*Coffea arabica* var. Caturra y Catimor) en asocio con poró (*Erythrina poeppigiana*). El manejo agronómico es intensivo e incluye altos niveles de insumos (Cuadro 1, com. pers. Rojas, G. 1996).

Las enfermedades y plagas más frecuentes del café en la finca son: roya (*Hemileia vastatrix* Bert y Br), chasparria (*Cercospora coffeicola* Berk y Coke), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk et Curt) y nemátodos (*Meloidogyne* spp).

Cuadro 1 Actividades de manejo agronómico de *C. arabica* var Caturra con *E. poeppigiana* en la finca Esmeralda S.A., en la Esmeralda de Turrialba.

Actividades	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cosecha	x	x						x	x	x	x	x
Replante	x										x	x
Fertilización	x		x			x				x		
Destija		x										
Poda del Poró		x						x				
Herbicidas		x		x				x				
Fungicidas	x					x						
Nematicidas			x									

2.2.3. Establecimiento y manejo

El área experimental se instaló en un sistema agroforestal (SAF) de café (*Coffea arabica* var. Caturra) - poró (*Erythrina poeppigiana*) de nueve años de

edad (4500 plantas ha⁻¹ de café a 1.3 x 1.7m y 123 árboles ha⁻¹ de poró a 9 x 9 m). El café tuvo una poda baja o recepa (eliminación de la parte aérea de la planta mediante un corte que se realiza a una altura de 0.30 a 0.40 m del suelo) en febrero de 1994 después de 6 años de plantación. Los árboles de poró fueron establecidos mediante estacas al mismo tiempo que la plantación de café. Para fines del estudio, se permitió que 17 árboles de poró se desarrollen sin poda desde 1988 generando un área de café bajo sombra homogénea (1740 m²), la superficie restante se mantuvo con sombra heterogénea.

La RAFA promedio fue de 51% y 96% en sombra homogénea y sombra heterogénea respectivamente, durante el período de estudio.

El manejo agronómico del SAF fue el mismo en todo el área experimental (5175 m²) y es característico de la zona Esmeralda, Turrialba (Cuadro 2). Las fertilizaciones son equivalentes a 274,5 kg N, 30 kg P, 90 kg K, 57 kg Mg, 12 kg Bo y 33 kg Ca por ha y año.

Cuadro 2. Manejo agronómico en el área experimental.

Producto	Epoca de aplicación	Dosis ha ⁻¹ por aplicación	Observaciones
<u>Herbicidas</u>			
Roundup + GoalCE (Glifosato) (Oxifluorfen)	febrero	1 litro+ ½ litro	Los dos productos se mezclan para preparar 200 litros de solución
Gramoxone + Gardoprim (Paraquat) (Terbutilazina)	abril y agosto	1 litro + ½ litro	Los dos productos se mezclan para preparar 200 litros de solución.
<u>Nematicidas</u>			
Counter (S-tert-butiltiometil 0,0-dietil)	marzo	75 kg	Aplicación en forma granular
<u>Fungicidas</u>			
Cobre Sandoz + Atemic (Oxido cuproso 58WP)(Cyprocomazd)	enero y junio	1 kg + 400 cc en cada aplicación	Los dos productos se mezclan para preparar 400 litros de solución
<u>Fertilizantes</u>			
18-5-15-6-2	enero y junio	300 kg en cada aplicación	Aplicación en forma granular
Magnesamón	octubre	300 kg	Aplicación en forma granular
Nutrán	marzo	300 kg	Aplicación en forma granular

2.2.4. Establecimiento de parcelas de muestreo

Se delimitaron dos parcelas de muestreo sin repeticiones, una con sombra homogénea de un dosel cerrado de poró y otra con sombra heterogénea de poró podado cíclicamente. Cada parcela tenía 300 cafetos que fueron las unidades muestrales, definiéndose un área útil de 150 plantas de café por parcela que fue el tratamiento (6 filas de 25 cafetos) separadas por un borde de 9 filas de cafetos (Figura 1).

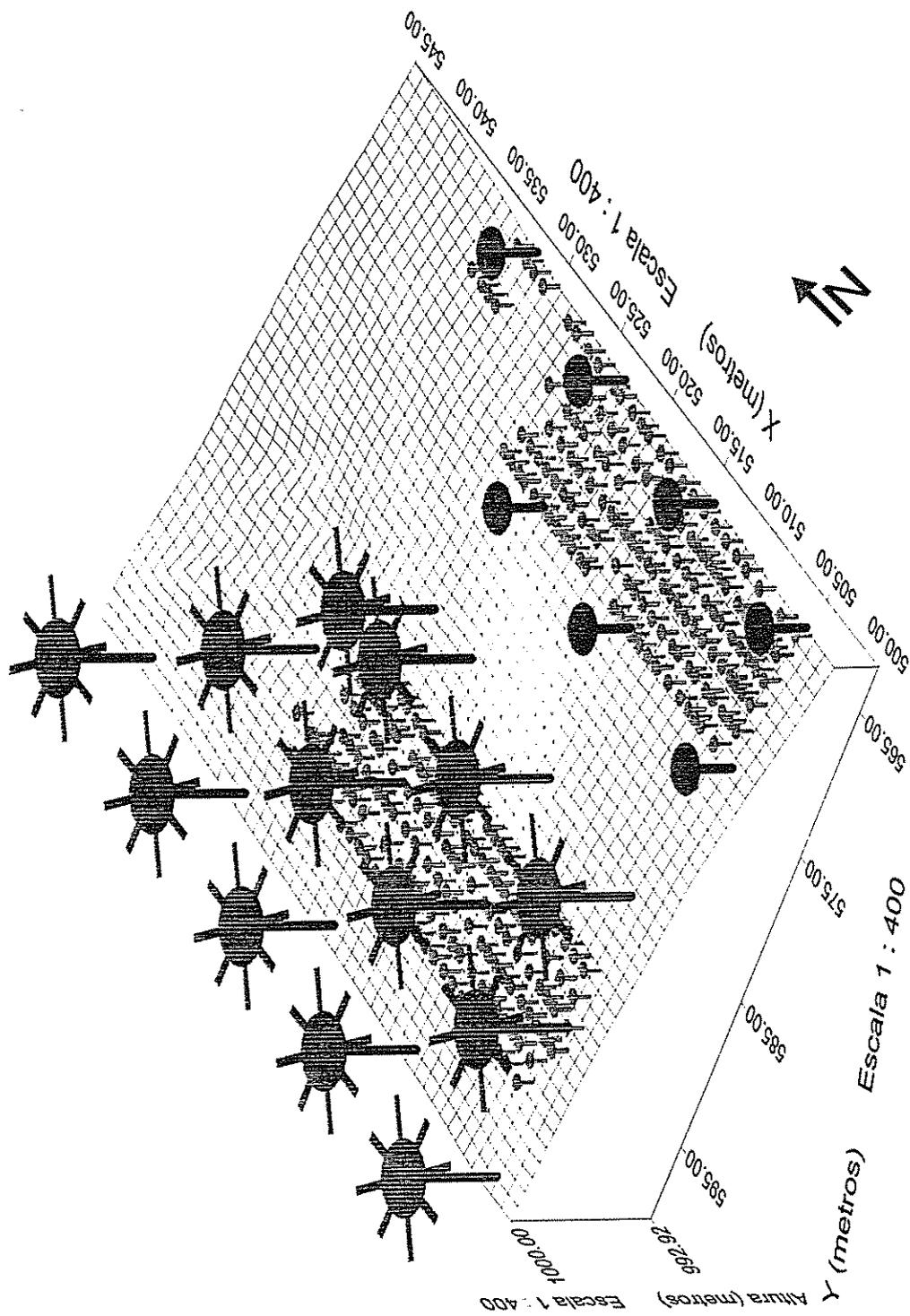


Figura 1. Relieve del área de estudio y cafetos muestreados (tratamientos) con sombra homogénea (parte superior) y sombra heterogénea (parte inferior) Para mayor claridad se omitieron los cafetos del borde. La Esmeralda, Turrialba.

En la parcela de sombra heterogénea los árboles de poró fueron manejados con poda total de ramas del tronco a una altura de 1.5 a 2.3 m dos veces por año, tarea con la cual se controló la sombra y el crecimiento de los árboles que no pasaron de 3.7 m de altura durante el período de evaluación. Los árboles nunca llegaron a formar un dosel uniforme, tuvieron un rango de RAFA sobre el café de 80 a 100%. El diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de los árboles de poró fue de 23 cm.

La sombra homogénea resultó de porós que fueron manejados con poda selectiva de ramas para permitir un promedio de 40 a 60% de radiación fotosintéticamente activa sobre el café. Los árboles presentaron un dosel cerrado durante el período de estudio. La altura promedio de los árboles fue de 15 m con un DAP promedio de 39 cm.

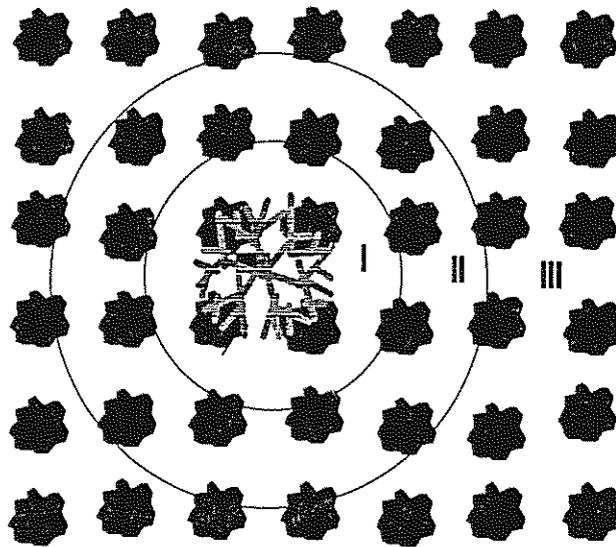
2.2.5. Caracterización del microclima

Se realizó la caracterización del microclima para el período de estudio (diciembre de 1996 a agosto 1997) con la instalación de una caseta meteorológica en cada parcela de muestreo, a una altura de 1.50 m. Se registró la temperatura (°C) y humedad relativa del ambiente (%) bihoraria con un termohigrógrafo de tambor. La precipitación se midió diariamente a 200 m fuera del área experimental con un pluviómetro cilíndrico (capacidad 280mm). La radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{moles m}^{-2}\text{s}^{-1}$) se midió con un Ceptómetro Sunfleck encima de cada planta de cafeto entre 11:00 am a 14:00 pm cada 15 días con cielo despejado, desde enero hasta agosto.

2.2.6. Diseño de muestreo

La floración se evaluó durante el período de enero a junio (1997). Las plantas de café fueron seleccionadas en cada tratamiento de acuerdo a un muestreo aleatorio estratificado (MAE), según la distancia a la *E. poeppigiana* (Scheafer *et al.*, 1987), con un nivel de confianza de 0.05 (95%). Se aplicó esta estratificación para determinar si había efecto particular de la cercanía de la *E. poeppigiana* sobre la floración del café. Se definieron tres estratos en cada tratamiento. El estrato I agrupó a todas las plantas que se localizaron a una distancia menor a 1.5 m de los árboles de poró; el estrato II las que estuvieron entre 1.5 a 3 m y el estrato III las que se situaron a más de 3 m (Figura 2). Se seleccionó dos ejes plagiotrópicos (bandolas) de la parte media de cada cafeto mediante un muestreo aleatorio.

Se definió un tamaño de muestra para cada tratamiento (cafetos con sombra homogénea y heterogénea) de 30 plantas. La asignación de la muestra a los estratos se realizó con datos de un pre-muestreo de botones florales (Cuadro 3) y empleando la relación de Neyman (Scheafer *et al.*, 1987). Se incrementó el número mínimo indicado de individuos muestreados por estrato como previsión ante la posibilidad de pérdida (muerte o daño) de individuos seleccionados.



Estratos I, II y III



Arbol poró



Cafetos

Figura 2. Determinación de los estratos I, II y III en Los tratamientos de cafetos con sombra homogénea y heterogénea. Estratos I distancia de los cafetos desde el poró hasta 1.5 m, II distancia desde 1.5 a 3m y III mayores a 3 m.

Cuadro 3. Población total por estrato, varianza, número de muestras asignadas en el pre-muestreo y número definitivo de muestras por estrato dentro de cada área y el error máximo de muestreo.

Condición de la parcela	Estratificación por distanciamiento	Población total por estrato (N)	Varianza (s^2) por estrato	Unidades experimentales asignadas con el pre-muestreo	Unidades experimentales consideradas en el estudio	Error máximo (%) para cada muestra independiente
Sombra heterogénea	Distancia: del árbol a 1.5m	$N_1 = 20$	$S^2_1 = 789,6$	$n_1 = 5$	$n_1 = 6$	12
	1.5 a 3 m	$N_2 = 42$	$S^2_2 = 806,5$	$n_2 = 10$	$n_2 = 12$	
	> a 3m	$N_3 = 88$	$S^2_3 = 475,2$	$n_3 = 15$	$n_3 = 17$	
Sombra homogénea	Distancia: del árbol a 1.5m	$N_1 = 16$	$S^2_1 = 665,6$	$n_1 = 4$	$n_1 = 6$	13
	1.5 a 3 m	$N_2 = 43$	$S^2_2 = 174,2$	$n_2 = 6$	$n_2 = 8$	
	> a 3m	$N_3 = 91$	$S^2_3 = 441,00$	$n_3 = 20$	$n_3 = 22$	

2.2.7. Variables evaluadas

Las variables fueron medidas en dos períodos. El primer período de enero a junio se evaluó el número de flores abiertas por conteo, con una frecuencia de dos veces por semana, las cuales se marcaron con una muesca en la corola para evitar confusión. La distancia (m) de *C. arabica* al árbol más cercano de *E. poeppigiana* se midió a principios de enero (DIST).

El segundo período fue desde junio hasta agosto (después de la última floración) se midieron las variables: longitud de la bandola en cm (medido desde el ápice de la bandola hasta su unión al eje ortotrópico); número de nudos (conteo del número de nudos a lo largo de la bandola), número de frutos (conteo del número total de frutos semimaduros y verdes considerando la producción potencial).

2.2.8. Análisis de datos

Se determinaron los siguientes estadígrafos a nivel de la población total y por tratamiento: desviación estándar, moda, varianza, rango y distribución para las variables: número de flores (FLOR), longitud de bandola (LARG), número de nudos (NUDO) y número de frutos (FRUT) por bandola. El nivel de significancia adoptado para el análisis estadístico fue de 0.05.

Para comparar los parámetros evaluados se utilizaron las pruebas: paramétricas "t", prueba F y tukey para las variables que tuvieron distribución normal y no paramétricas Mann-Whitney, Kruskal Wallis para aquellas de distribución no normal.

a) Entre tratamientos: prueba "t" para FLOR, LARG y Mann-Whitney para FRUT, NUDO;

- b) Entre estratos I, II y III dentro de cada tratamiento para sombra homogénea se utilizaron: pruebas F y Tukey para LARG, y Kruskal Wallis para FLOR, FRUT, NUDO; en sombra heterogénea se utilizaron: pruebas F y Tukey para FLOR, FRUT, LARG y Kruskal Wallis para NUDO;
- c) Entre estratos de los dos tratamientos: pruebas "t" para FLOR, LARG y Mann-Whitney para NUDO y FRUT.

Además, se realizaron análisis de correlación lineal para cada tratamiento entre las siguientes variables: distancia del cafeto al poró más cercano (DIST), FLOR, FRUT y NUDO. El grado de asociación lineal fue evaluado con el coeficiente de correlación de Pearson para las variables que presentaron distribución normal y con el coeficiente de rangos de Spearman para las no normales. Todos los análisis se hicieron utilizando el módulo SAS/STAT del SAS (SAS Institute, 1992)

2.3 RESULTADOS

2.3.1. Microclima

Los datos promedios mensuales de temperaturas y humedad relativa máximas, mínimas y promedio se presentan en los cuadros 4 y 5, los promedios semanales en las figuras 3 y 4. La precipitación acumulativa mensual de la Esmeralda y Turrialba se detalla el cuadro 6 y los promedios semanales en la figura 5.

Cuadro 4. Promedio de temperaturas máxima, mínima y media para los meses de diciembre 1996 hasta agosto 1997 La Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97; y en homogénea fue 11/05/97.

Meses	Temperatura media de café con sombra heterogénea (°C)			Temperatura media de café con sombra homogénea (°C)		
	Promedio	Máximas	Mínimas	Promedio	Máximas	Mínimas
Diciembre 1996	18,2	21,7	16,0	18,1	20,8	16,0
Enero 1997	18,7	23,2	14,9	17,7	22,5	13,9
Febrero	17,9	21,2	15,6	17,9	20,8	15,8
Marzo	18,5	22,9	15,0	18,2	22,5	14,9
Abril	19,8	24,2	16,4	19,3	23,9	16,1
Mayo	19,4	22,5	16,9	18,8	22,2	16,6
Junio	20,3	24,3	17,4	19,9	23,9	17,2
Julio	20,7	24,5	18,1	19,8	23,3	17,4
Agosto	20,3	24,1	17,4	20,0	23,5	17,6

Cuadro 5. Promedio de humedad relativa máxima, mínima y media desde la segunda semana de marzo hasta agosto 1997 La Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97; y en homogénea fue 11/05/97.

Meses	Humedad relativa media de café con sombra heterogénea (%)			Humedad relativa media de café con sombra homogénea (%)		
	Promedio	Máximas	Mínimas	Promedio	Máximas	Mínimas
Marzo	86,5	94,7	59,0	84,7	97,5	57,4
Abril	86,8	94,9	62,0	85,0	97,7	60,8
Mayo	89,7	95,1	72,0	92,0	97,9	76,3
Junio	89,1	94,7	69,2	89,1	97,6	69,4
Julio	88,9	95,2	69,2	92,0	97,3	74,7
Agosto	89,4	94,9	71,3	91,3	97,4	74,8

Se observa que la temperatura del aire y humedad relativa fueron en general muy similares en los dos tratamientos. No obstante, la temperatura promedio en sombra homogénea fue 0.5 °C menor que en sombra heterogénea. La humedad relativa fue 0.6 % mayor en sombra homogénea que en sombra

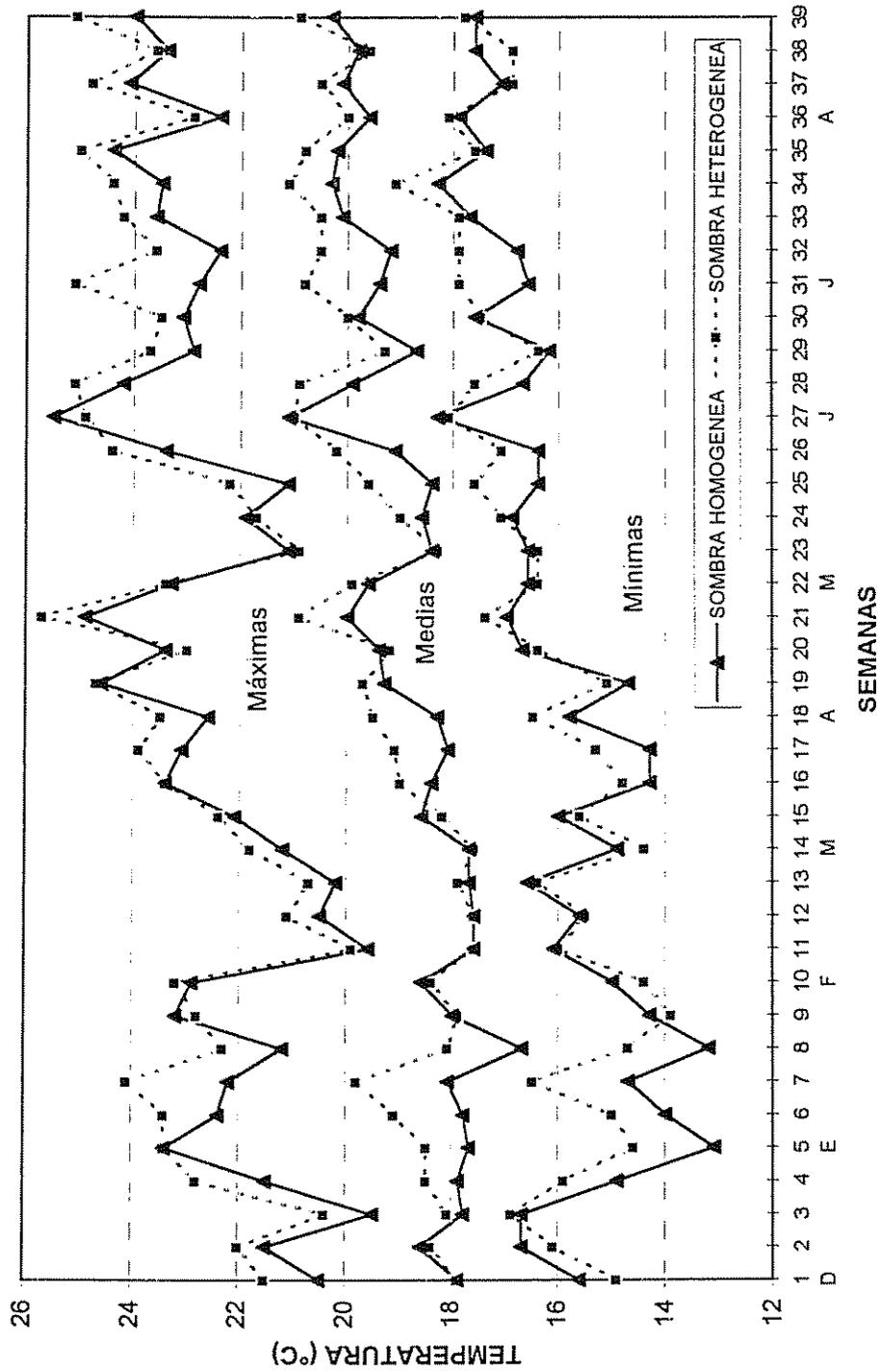
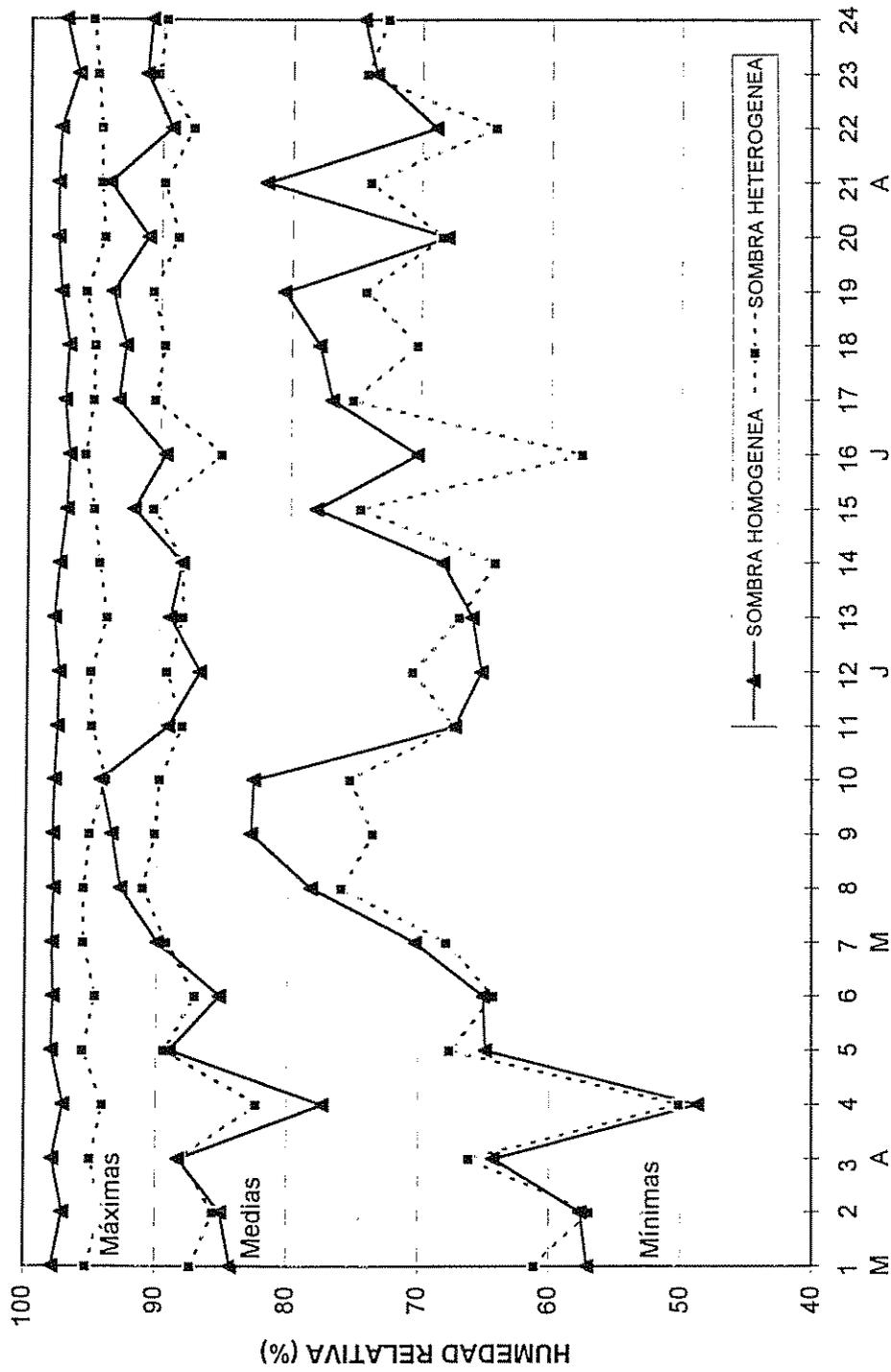


Figura 3 Temperaturas máximas, mínimas y medias durante el periodo diciembre 1996 hasta agosto 1997 en cafetales bajo sombra homogénea y heterogénea en la Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas de *E. poeppigiana* fueron en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97; y en sombra homogénea 11/05/97.



SEMANAS

Figura 4 Humedad relativa máxima, mínima y media durante el periodo marzo (1=tercera semana) hasta agosto 1997 en cafetales bajo sombra homogénea y heterogénea en la Esmeralda, Turrialba (Costa Rica). Las podas de *E. poeppigiana* fueron en sombra heterogénea 10/03/97 y 30/08/97; en sombra homogénea 11/05/97.

heterogénea para el período entre marzo y agosto. No se presenta la totalidad del registro de humedad debido a que entre enero y principios de marzo se identificó un desperfecto en el sensor de humedad. Las mayores diferencias de temperatura se produjeron cuando el dosel de sombra homogénea era más denso, situación que se produjo en el mes de enero con temperatura promedio 1°C mayor en sombra heterogénea. Las menores diferencias de temperaturas se produjeron al final de enero y durante febrero, probablemente por la defoliación de los árboles de *E. poeppigiana* en sombra homogénea. Se observó también cierto incremento de temperatura después de las podas en sombra homogénea y heterogénea.

Cuadro 6 Precipitación mensual desde diciembre 1996 - agosto 1997 en La Esmeralda y Turrialba (Costa Rica).

Meses 1996-1997	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto
Precipitación Turrialba (mm)	370	205	377	45	78	546	304	354	439
Precipitación Esmeralda (mm)	414	145	462	72	85	637	369	435	450

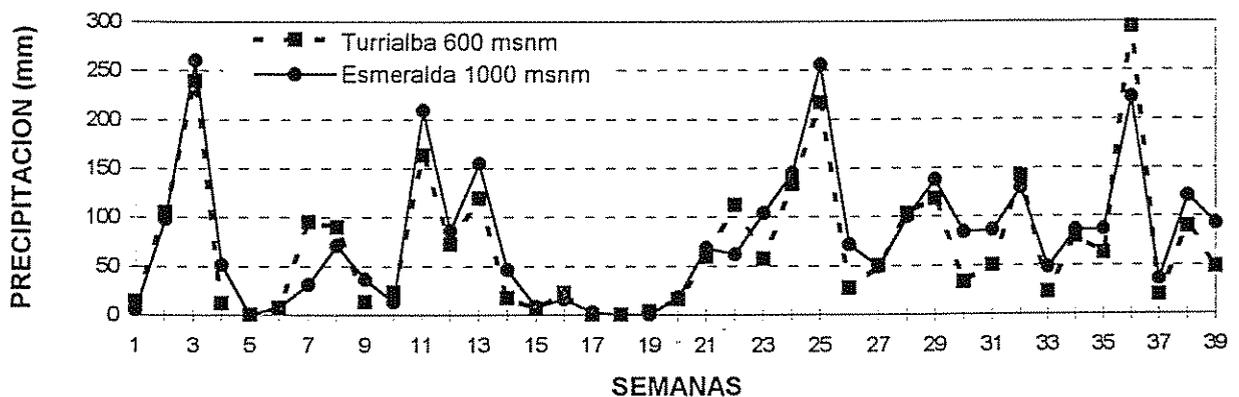


Figura 5 Precipitación total por semana para el periodo diciembre 1996 hasta agosto 1997 en La Esmeralda y Turrialba(1=primera semana de diciembre).

La precipitación en la Esmeralda presentó una tendencia similar a la registrada en la estación meteorológica del CATIE, aunque debe notarse que fue ligeramente superior debido a su localización en la parte alta de la cuenca.

La radiación fotosintéticamente activa (RAFA) medida durante el período de enero hasta agosto (1997) en sombra homogénea y heterogénea (Figura 6).

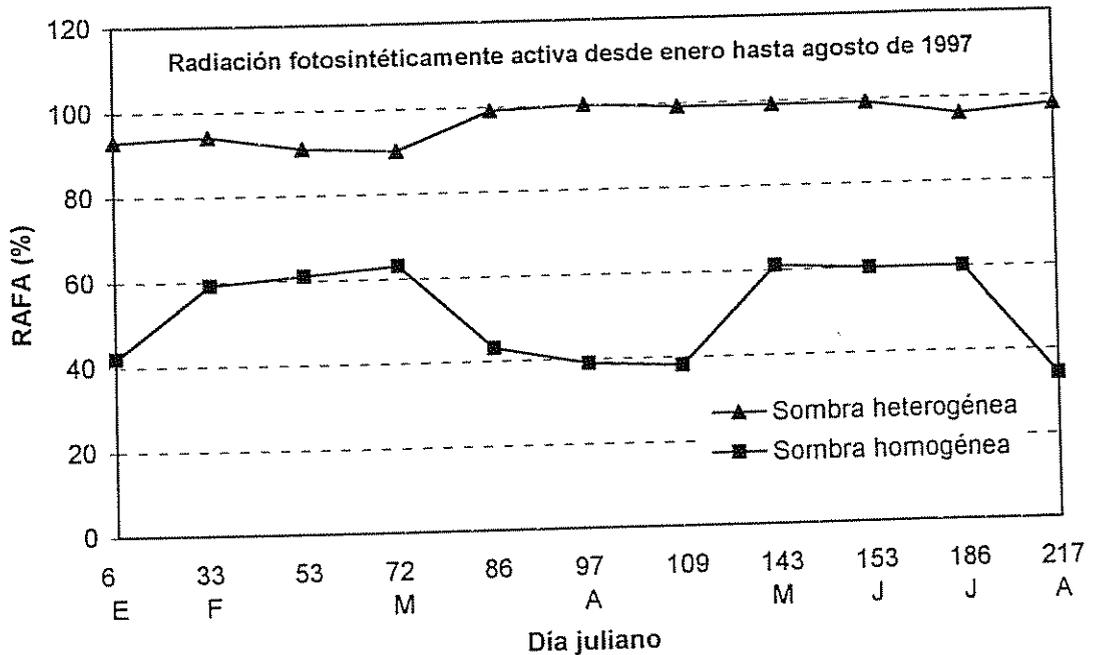


Figura 6 Radiación fotosintéticamente activa (RAFA) de enero hasta agosto de 1997 en los tratamientos con "sombra homogénea" y "sombra heterogénea". Las podas en sombra heterogénea fueron 10/03/97 y 30/08/97; y en homogénea fue el 11/05/97.

Como se observa fue necesario controlar el dosel de sombra homogénea con poda dirigida pero cabe destacar que la caída natural de hojas del poró entre finales de enero, febrero redujo la necesidad de la poda selectiva en el primer período.

2.3.2. Efecto de sombra homogénea y heterogénea sobre longitud, número de nudos, flores y frutos por bandola

Longitud y número de nudos por bandola

La longitud y número de nudos por bandola fueron mayores en sombra heterogénea que en sombra homogénea (Figuras 7 y 8). Sin embargo, entre estratos dentro de cada área fueron similares. No obstante, en sombra heterogénea hubo tendencia a bandolas más largas y con más nudos en cafetos más cercanos a la *E. poeppigiana*, lo cuál podría deberse a que los beneficios del poró (ciclaje de nutrientes, mulch en el suelo, fijación de nitrógeno, etc.) pueden ser mayores para cafetos cercanos al árbol. Además, después de la poda de los árboles el mulch no es distribuido y se concentra alrededor de la *E. poeppigiana* en sombra heterogénea. En contraste en sombra homogénea no hubo diferencias.

Por otra parte, la longitud de la bandola entre estratos de los dos tratamientos fue similar para el estrato III y diferente para los estratos I y II (prueba t, $p < 0.05$). El número de nudos por bandola entre estratos de ambas áreas fué diferente para el estrato I y similar para los estratos II y III (Figuras 7 y 8).

Flores y frutos por bandola

El número de flores y frutos por bandola no fue diferente entre tratamientos, entre estratos dentro de cada tratamiento, ni entre estratos de tratamientos diferentes (sombra homogénea y heterogénea) (Figuras 9 y 10). Cabe destacar que aunque no hubieron diferencias significativas, el café en sombra heterogénea tuvo tendencia a producir más flores y frutos en el estrato I que en sombra homogénea. Este comportamiento coincide con las diferencias en la longitud y número de nudos por bandola.

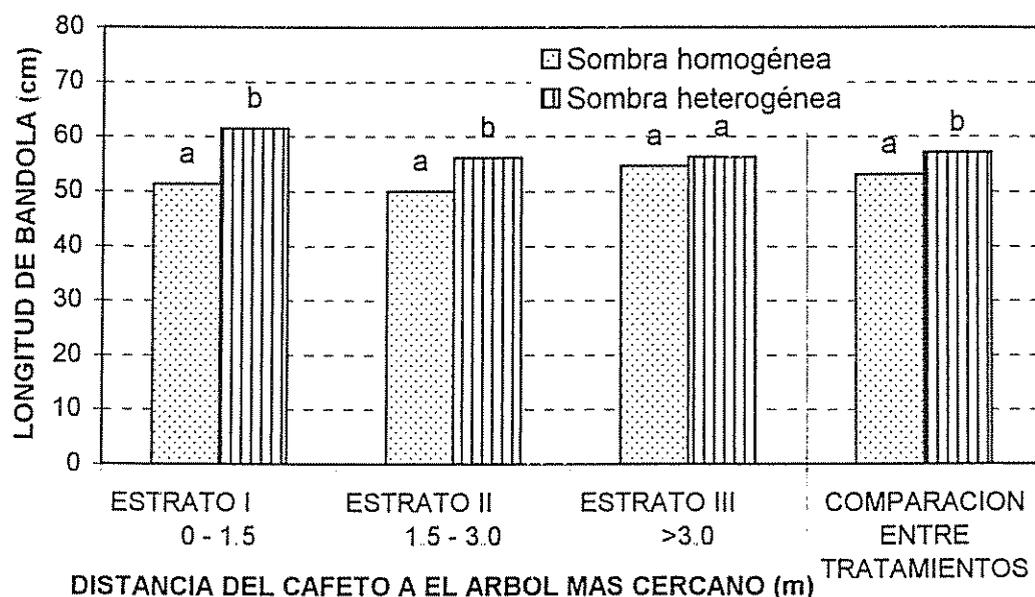


Figura 7 Longitud de bandola de cafetos de 3 años después de una poda baja o recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores entre estratos y tratamientos con misma letra no difieren significativamente ($t, \alpha = 0.05$).

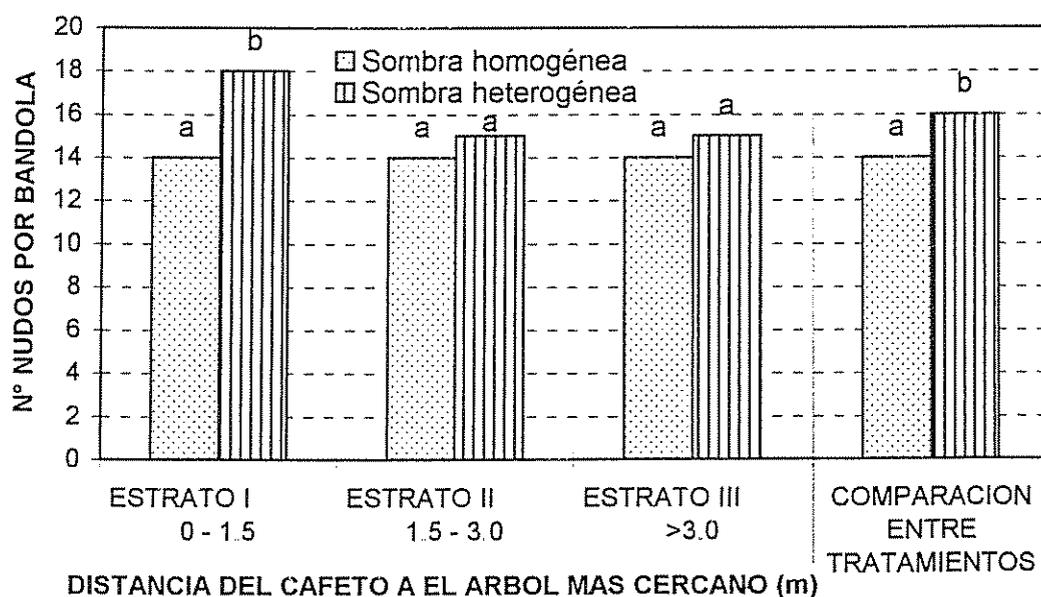


Figura 8 Número de nudos de cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores entre estratos y tratamientos con la misma letra no difieren significativamente (Mann - Whitney, $\alpha = 0.05$).

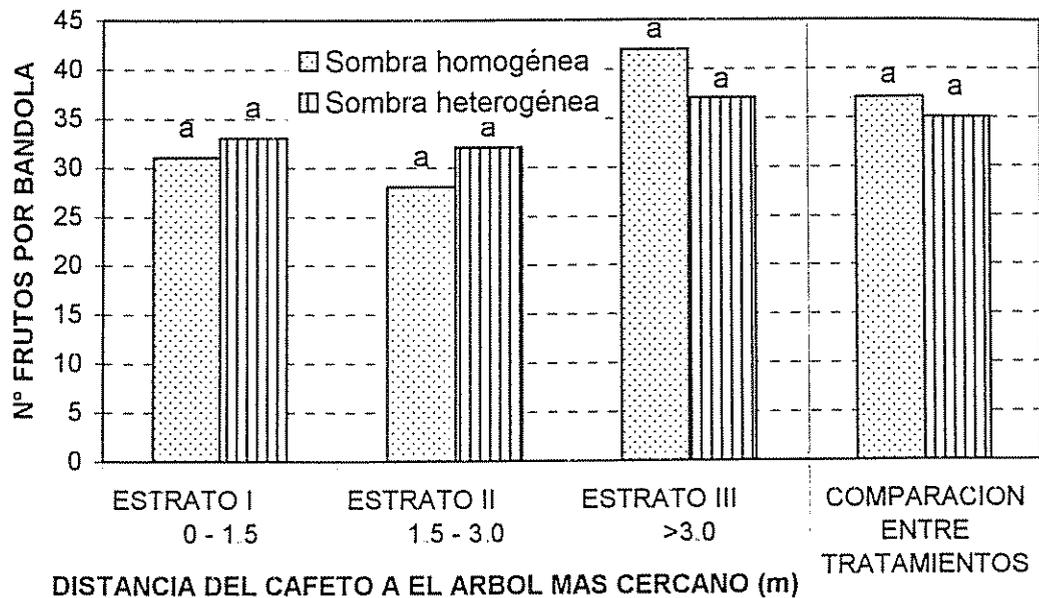


Figura 9 Número de frutos por bandola de cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores entre estratos y tratamientos con la misma no difieren significativamente (Mann-Whitney, $\alpha = 0.05$).

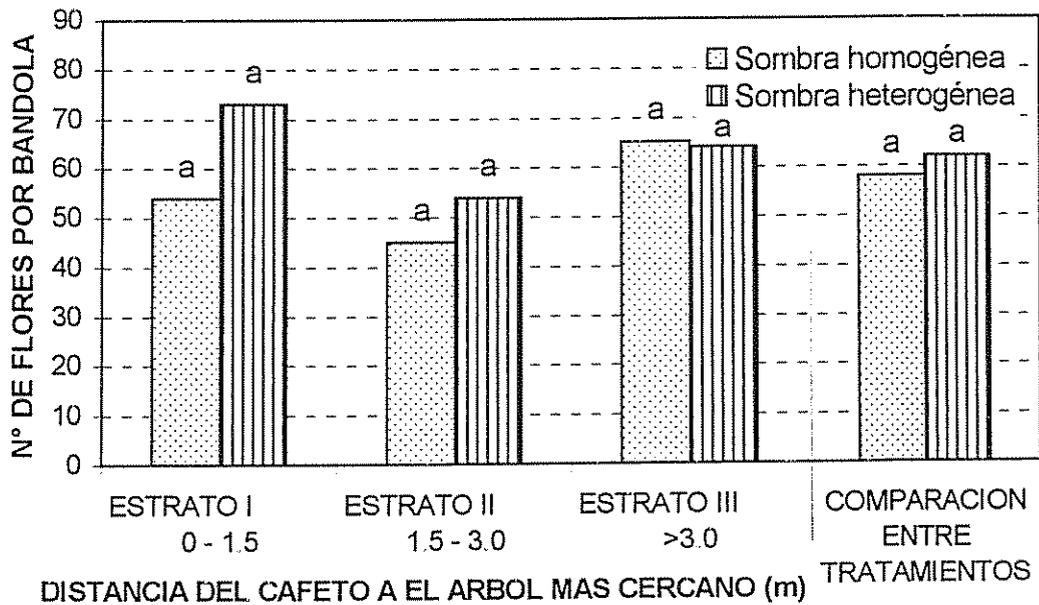


Figura 10 Número de flores por bandola de cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores entre estratos y tratamientos con la misma letra no difieren significativamente ($\alpha = 0.05$).

2.3.4. Relaciones entre variables de floración

Las correlaciones de Pearson realizadas en sombra homogénea, presentaron coeficientes positivos significativos ($\alpha=0,05$) de 0.85; 0.53 y 0.52 para las relaciones números de flores con número de frutos, nudos y longitud de bandola, respectivamente. Por otra parte en sombra heterogénea la única correlación lineal significativa se presentó entre las variables número de flores vs número de frutos, siendo la correlación de 0.82. No hubo correlación lineal significativa entre número de flores vs la longitud ó el número de nudos por bandola.

Se hizo análisis de regresión lineal para determinar mejor la relación entre número de flores por bandola (FLOR) y las variables vegetativas (NUDO y LARG), y número de frutos (FRUT) y FLOR, determinandose la significancia de los modelos y parámetros de la regresión (Cuadro 7).

Cuadro 7. Significancia de los parámetros de la regresión lineal de floración y producción por bandola (variable dependiente) y variables vegetativas y de localización (variables independientes).

Tratamiento	Variables	Significancia de la regresión Prob > F	Significancia del intercepto Prob > T	Significancia de la pendiente Prob > T	R ² (%)
Sombra homogénea	Frut=f(Flor)	0.0001**	0.8772 (NS)	0.0001**	71
	Flort=f(Nudo)	0.0001***	0.0846 (NS)	0.0001**	25
	Flor=f(Larg)	0.0001**	0.0280*	0.0001**	29
	Flor=f(Dist)	0.0252*	0.0001**	0.0252*	7
Sombra heterogénea	Frut=f(Flor)	0.0001**	0.4174 (NS)	0.0001**	68
	Flor=f(Nudo)	0.1491 (NS)	0.629 (NS)	0.1491 (NS)	3
	Flor=f(Larg)	0.4990(NS)	0.0445*	0.4990 (NS)	0.6
	Flor=f(Dist)	0.7935 (NS)	0.0001**	0.7935 (NS)	0.1

**Altamente significativo, * significativo y NS no significativo.

En sombra homogénea se observa que los modelos de FRUT vs FLOR, FLOR vs NUDO ó LARG fueron altamente significativos y FLOR vs DIST sólo fue significativo en esta condición. Sin embargo, los interceptos no fueron significativos en las regresiones FRUT vs FLOR y FLOR vs NUDO y la totalidad de coeficientes fueron significativos en sombra homogénea. En sombra heterogénea por el contrario sólo fue significativa la regresión FRUT vs FLOR y las restantes fueron no significativas.

Relaciones flor/fruto, fruto/nudo y flor/nudo

La relación flor/fruto fue diferente entre áreas (prueba Mann-Whitney, $p < 0.05$) con una relación mediana de 1.8 flores por fruto en sombra heterogénea y 1.6 flores en sombra homogénea. Las relaciones fruto/nudo y flor/nudo no fueron diferentes en sombra homogénea y heterogénea (prueba t y Mann Whitney, $p < 0.05$) sus relaciones fueron: fruto/nudo 2.6 y 2.2 y flor/nudo 4.1 y 3.9 respectivamente.

2.3.4. Dinámica de floración

La dinámica de la antesis floral (Figura 12) tuvo un comportamiento similar en sombra homogénea y heterogénea. Se observa cinco picos de floración, una principal (mes abril) y cuatro menores, durante todo el período de evaluación de las bandolas. Hubo mayor número de flores en sombra heterogénea al inició del período de floración y al final.

Los déficit hídricos estimularon la formación de botones florales, mientras que excesos de precipitación redujeron la antesis. Pero, bajas precipitaciones rompieron la dormancia de los botones

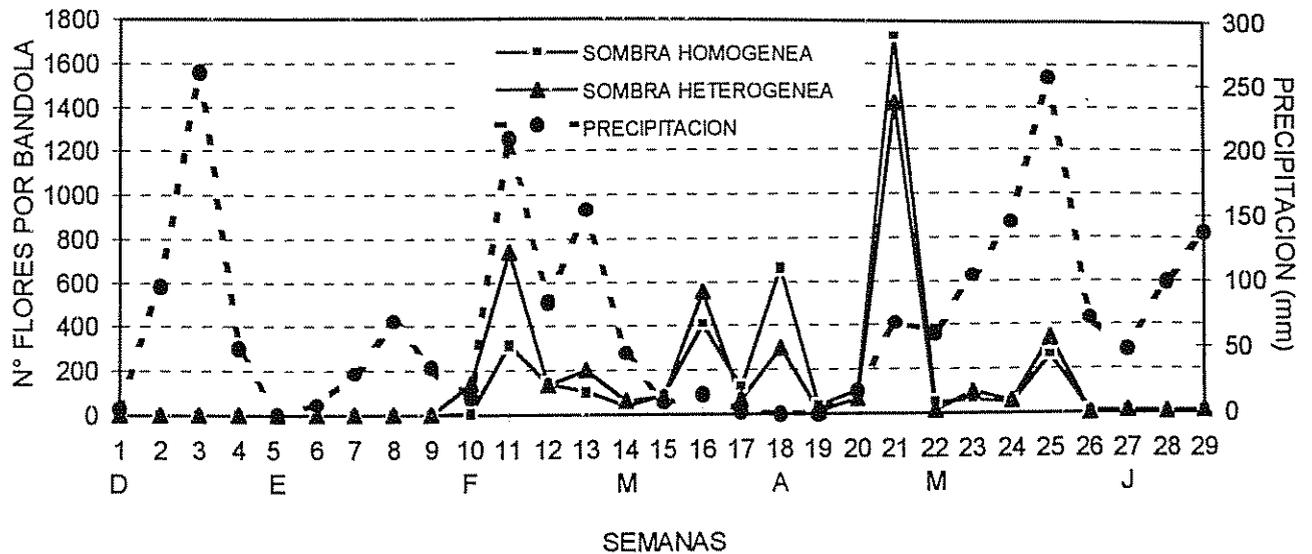


Figura 11 Dinámica de antesis floral por semana de cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea y la precipitación acumulativa semanal. La Esmeralda, Turrialba.

2.4. DISCUSION

2.4.1. Microclima

Las condiciones microclimáticas no presentaron diferencias claras en humedad relativa ni en temperatura (temperatura promedio general 0.5 °C mayor en sombra heterogénea y humedad relativa promedio 0.6 % mayor en sombra homogénea) que difieren de investigaciones anteriores (Barradas y Fanjul, 1986). Esto debido, posiblemente a las diferencias en altitud, latitud y precipitación anual. Otra característica que podría explicar estos resultados, fueron la ocurrencia de nubosidad en horas de la tarde en la Esmeralda, producto de condensaciones del vapor de agua que ascienden de las partes bajas de la cuenca, dando lugar a lluvias y neblina. Además, la parcela en sombra homogénea es relativamente pequeña con relación al área total de café con sombra heterogénea, que unido al movimiento del aire en horas de la tarde pudo haber causado la homogenización de las condiciones ambientales. Las

mayores diferencias de temperatura entre ambas condiciones se presentaron entre horas 10:00 am y 14:00 pm.

La RAFA fue mayor en sombra heterogénea que en sombra homogénea debido a la diferencia de doseles de sombra. Las variaciones que se presentaron en sombra heterogénea fueron debidas al manejo tradicional de la *E. poeppigiana* en la Esmeralda que incluyó dos podas totales anuales (en marzo y finales de agosto) en donde el desarrollo de las copas fue pequeño. Esta práctica, común en la zona de Turrialba (Russo y Budowski, 1986; Glover y Beer, 1986), no permite el desarrollo de las copas sobre todo en elevaciones subóptimas para la *E. poeppigiana* (poró gigante). El vigor de la *E. poeppigiana* a 1000 msnm en la Esmeralda es menor que en zonas más bajas como Turrialba (obs. pers.).

En sombra homogénea la variación en RAFA se debió a un proceso natural y otro inducido. Entre finales de enero y mes de febrero se observó una sincronización de la formación de botones florales del café con la pérdida de hojas de la *E. poeppigiana*. Esto podría ser debido a cierto nivel de déficit hídrico que estimuló a los poros de sombra homogénea a perder sus hojas y entrar a la fase de floración (Borchert, 1980). Posterior a este fenómeno hubo un abundante rebrote de la *E. poeppigiana*, el cuál fué controlado con poda selectiva de las ramas en el mes de mayo para mantener una RAFA de 40 a 60%.

2.4.2. Efecto de la sombra homogénea y heterogénea sobre la longitud, número de nudos, flores y frutos por bandola.

La diferencia fenotípica que se observó por el efecto sombra, fue en la longitud y número de nudos por bandola, lo cual fue mayor en sombra heterogénea que en sombra homogénea. (Figuras 7 y 8). Esto posiblemente debido a la mayor RAFA que estimula una mayor síntesis de biomasa favorecida

por temperaturas ambientes menores a 25 °C que no disminuirían la tasa fotosintética (Kumar y Tieszen, 1980 ; Nunes *et al.*, 1968). La longitud y número de nudos por bandola entre estratos de los dos tratamientos fue diferente para el estrato I, diferente para longitud de bandola entre estratos II y similar para las dos variables para los estratos III. La diferencia de estratos I con mayor longitud para las bandolas en sombra heterogénea puede deberse a la mayor RAFA que reciben los cafetos que están más cerca a la *E. poeppigiana* que en sombra homogénea.

La correlación lineal entre todas las variables (número de flores, frutos, nudos y longitud de bandola) en sombra homogénea presentaron mayor grado de asociación que en sombra heterogénea. Esto posiblemente está relacionado con las condiciones climáticas y de protección del dosel de sombra, que permitieran un crecimiento y floración más uniforme de las bandolas que presentan entrenudos cortos y parejos. Por el contrario el crecimiento de las bandolas con sombra heterogénea son irregulares.

2.4.3. Dinámica y efecto sombra sobre la floración

La dinámica de la antesis floral estuvo muy relacionada con la distribución de la precipitación y temperatura (Figuras 11 y 4), factores que son importantes porque están ligados a la ocurrencia de déficit hídrico que es primordial para la sincronización de la antesis del café (Alvim , 1961 ; Frederico y Maestri, 1970 y Crisosto *et al.*, 1992). Así, el pico más alto de antesis floral del café tanto en sombra homogénea como heterogénea se presentó la cuarta semana de abril que fue posterior a la época más seca del período de medición, con dos semanas sin lluvias. Este período permitió que los botones florales alcancen el estado 4 (botones florales próximos a abrirse) (Camayo y Arcila, 1996; Crisosto *et al.*, 1992). El desarrollo de los botones se vió también favorecido por el incremento de la temperatura en el mes de abril (figura 4) (Mes, 1957; Gopal y Vasudeva, 1973). La combinación de déficit hídrico seguidos por precipitaciones

y temperaturas más altas favorecieron la interrupción de la dormancia floral resultando en el pico más alto de la antesis al final de abril (Frederico y Maestri, 1970).

El patron de antesis floral observado señala claramente cinco picos de floración, con una floración principal y cuatro menores (floración no estacional), comportamiento característico de aquellas regiones con ausencia de estaciones secas y húmedas definidas (Alvim, 1977; Cannell, 1971 y Camargo, 1985).

El efecto de sombra homogénea se manifestó en una tendencia a incrementar el número de flores desde la primera floración hasta el pico más alto. En contraste, sombra heterogénea presentó una mayor variación entre los picos de floración.

Al evaluar el efecto sombra sobre la floración de las bandolas individuales entre los dos tratamientos, no se detectaron diferencias significativas. Pero a nivel de plantas enteras se observó mayor floración en sombra heterogénea (obs. pers.). Esto pudo deberse al menor número de bandolas productivas por planta que presentaron los cafetos en sombra homogénea comparados con cafetos en sombra heterogénea (prueba Mann Whitney, $p < 0.05$) evaluado mediante un muestreo aleatorio de 21 plantas en cada área. Las medianas de bandolas por planta fueron 76 y 45 en sombra heterogénea y homogénea respectivamente. La diferencia del número de bandolas y la existencia de mayor radiación fotosintéticamente activa en sombra heterogénea pudieron haber sido los factores importantes para que exista mayor floración por planta en sombra heterogénea que en sombra homogénea.

2.4.4 Efecto de la distancia cafeto-poró y la relación de la floración y sus variables vegetativas

Las correlaciones entre el número de flores por bandola y la distancia de cada cafeto al árbol de poró más cercano en ambas condiciones de sombra

fueron bajas (Figura 12). Sin embargo, en sombra heterogénea la cercanía del árbol no tuvo influencia particular sobre el número de flores por bandola. Esto puede ser explicado por el manejo agronómico intensivo, características de los suelos (andisoles profundos), la disponibilidad del recurso agua (zona de vida bosque muy húmedo premontano) y la ausencia de un posible efecto de sombra del poró por la copa reducida. Por otra parte, en sombra homogénea los cafetos más alejados presentaron cierta tendencia a producir mayor número de flores, que puede ser por efecto de menor competencia por luz.

Las correlaciones lineales entre el número de frutos vs número de flores por bandola fueron altas (Figura 13) para sombra homogénea y heterogénea, se observa una mayor correlación en sombra homogénea que puede ser debido a que las condiciones ambientales son más uniformes.

La relación flor: fruto fue menor en sombra homogénea (1.6) que en sombra heterogénea (1.8), lo cual nos indica una mayor conversión de flores a frutos bajo sombra homogénea, posiblemente es el resultado de una fisiología más estable del cafeto en esas condiciones. En contraste, con cafetos en sombra heterogénea que fueron expuestos con mayor frecuencia a temperaturas excesivas y al impacto directo de gotas de lluvia condiciones tienden a reducir el número de flores y su conversión a frutos (Kumar, 1982).

En lo referente a los modelos de regresiones lineales cabe destacar que el modelo que explicó una mayor proporción de la variación en producción por bandola fue FRUT vs FLOR con 71 y 68% en sombra homogénea y heterogénea respectivamente. El modelo de FLOR vs DIST, no fue significativo para sombra heterogénea, pero fue significativo en sombra homogénea, sin embargo explica una baja proporción (7%) de la variación en floración (Cuadro 7 y figura 12).

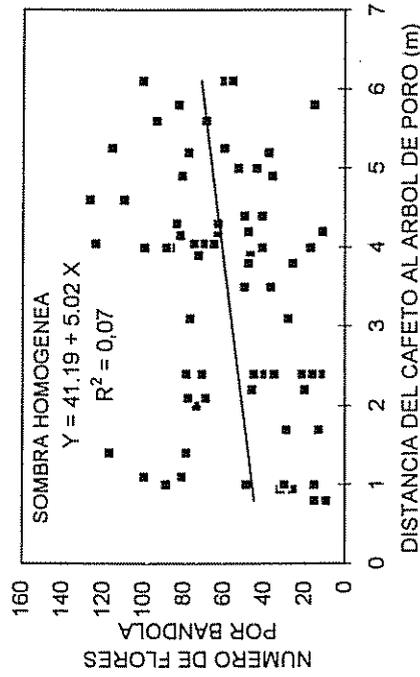
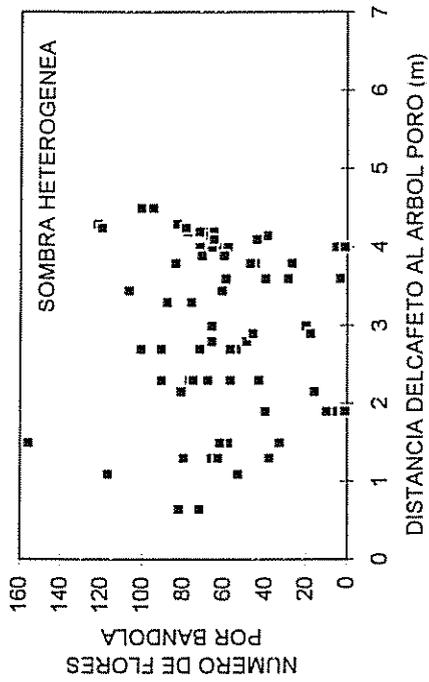


Figura 12 Correlaciones lineales entre el número de flores por bandola y la distancia al árbol de poró en sombra homogénea y heterogénea.

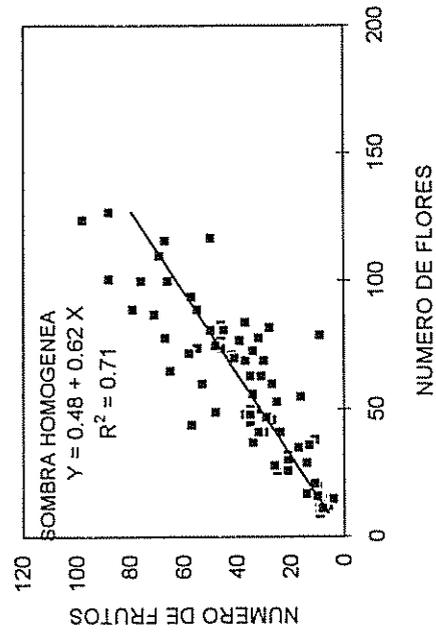
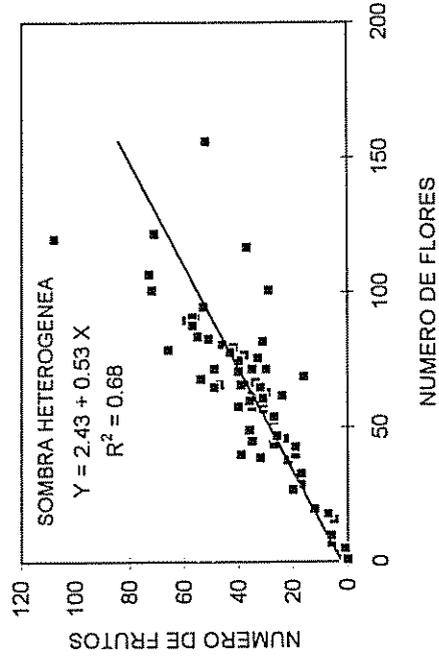


Figura 13 Correlaciones entre el número de frutos y número de flores por bandola en sombra heterogénea y homogénea.

2.5. CONCLUSIONES

- ⇒ La temperatura del aire y la humedad relativa no difirieron fuertemente en cafetales con sombra homogénea y sombra heterogénea. Posiblemente la alta nubosidad, elevación y viento tanto como parcelas relativamente pequeñas fueron responsables de las diferencias.
- ⇒ La dinámica de la antesis floral presentó sincronización con la distribución de las lluvias y la temperatura.
- ⇒ La Esmeralda presentó un patrón de floración por bandola no estacional con un pico de floración principal (abril) y cuatro menores (desde febrero hasta junio).
- ⇒ No hubo diferencias en patrones de floración en sombra homogénea y heterogénea.
- ⇒ El número de flores por bandola fue similar en sombra homogénea y heterogénea con un promedio de 58 y 62 respectivamente.
- ⇒ Los cafetos con sombra heterogénea tuvieron mayor número de bandolas productivas que los de sombra homogénea (medianas de 45 y 76 bandolas productivas por planta en sombra homogénea y heterogénea respectivamente).
- ⇒ Existe una mayor conversión de flor a fruto en sombra homogénea (1.6) que en sombra heterogénea (1.8).

⇒ No hubieron efectos asociados a la distancia de los cafetos al poró más cercano sobre la floración en bandolas individuales tanto en sombra homogénea como en sombra heterogénea.

2.6 RECOMENDACIONES

⇒ Se sugiere continuar estudios de floración para evaluar si en el transcurso del tiempo esta floración aumenta, disminuye o se mantiene. Esto está relacionado con las producciones futuras y cosechas de los cafetos

⇒ Se recomienda incrementar el número de bandolas en evaluación por cafeto en futuros estudios para incrementar la precisión de las estimaciones de floración en condiciones de campo. Esto requerirá reducir el número de individuos en evaluación.

⇒ Se sugiere una estratificación de las bandolas para un mejor muestreo, en bandolas de estrato alto, medio y bajo de los cafetos, de esta manera se estima mayor posibilidad de captar la variación de floración a nivel de planta.

⇒ Para el manejo del cafetal en la finca, que tiene por objetivo maximizar la producción, el uso de sombra heterogénea (manejo tradicional del poró con dos podas anuales) produjo mayores floraciones y producciones actuales, pero esto posiblemente tenga consecuencias a largo plazo por el deterioro ambiental que significa un sistema intensivo de producción. Se recomienda incrementar las densidades de los árboles de poró, con podas hasta un 80% de la biomasa, lo cual puede disminuir la cantidad de insumos que contaminan el ambiente y erosión de los suelos en esas pendientes.

2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AID/RIC. 1965. Costa Rica Analisis Regional de Recursos Físicos. Esc. 1:750.000. s.p. Color.
- ALVIM, P. de T. 1958. Estímulo de la floración y fructificación del cafeto por aspersiones con ácido giberílico. Turrialba 8(2) : 64-72.
- . 1961. Deficiencia de agua como un requisito para la floración del cafeto. Turrialba 11(4) : 162-163.
- . 1977. Factors affecting flowering of coffee. Journal of Coffee Research (India) 7(1) : 15-25.
- ARANGUREN, J. ; ESCALANTE, G. y HERRERA, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. Plant and Soil 67 : 247-258.
- ASTEGIANO, E. D. ; MAESTRI, M. y ESTEVAO, M. DE M. 1988. Water stress and dormancy release in flower buds of *Coffea arabica* L. : water movement into the buds. Journal of Horticultural Science 63(3) : 529-533.
- BARRADAS, V. y FANJUL, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. Agricultural and Forest Meteorology 38: 101-112.
- BARROS, R ; MAESTRI, M. y COONS, M. 1977. The physiology of flowering in coffee: a review. Journal of Coffee Research 8: 29-73
- BORCHERT, R. 1980. Phenology and ecophysiology of tropical trees: *Erythrina poeppigiana* O.F. Cook. Ecology 61(5):1065-1074
- BRICEÑO, J. ; MORA, G. y ARIAS, O. 1992. Desarrollo del cafeto (*Coffea arabica*). II. Niveles endógenos de ácido absicico y giberelinas. Agronomía Costarricense 16(1): 131-135.
- BROWNING, G. 1973. Flower bud dormancy in *Coffea arabica* L. I. Studies of gibberellin in flower buds and xylem sap and of abscisic acid in flower buds in relation to dormancy release. Journal of Horticultural Science 48: 29-41.
- CAMARGO, A. P. de. 1985. Florescimento e frutificacao de cafe arabica nas diferentes regioes (cafeeiras) do Brasil. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 20(7):831-839.

- CAMAYO, G. C. y ARCILA, P. J. 1996.** Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. var colombiana. CENICAFE 47(3): 121-139.
- CANNELL, M. G. R. 1971.** Seasonal patterns of growth and development of Arabica Coffee in Kenya. Part III Changes in the photosynthetic capacity of the trees. Kenya Coffee 36: 68-74.
- , **1972.** Photoperiodic response of mature trees of Arabica coffee. Turrialba 22(2) : 198-206.
- CRISOSTO, C. ; GRANTZ, D. y MEINZER, F.C. 1992.** Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). Tree Physiology 10: 127-139.
- DRINNAN, J. E. y MENZEL, C. M. 1994.** Synchronization of anthesis and enhancement of vegetative growth in coffee (*Coffea arabica* L.) following water stress during floral initiation. Journal of Horticultural Science 69: 841-849.
- , **y MENZEL, C.M. 1995.** Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). Journal of Horticultural Science 70(1):25-34.
- FREDERICO, D y MAESTRI, M. 1970.** Ciclo de crescimento dos botões florais de café (*Coffea arabica* L.). Revista Ceres (Brasil). 27(92):171-181.
- GLOVER, N. y BEER, J. 1986.** Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. Agroforestry Systems 4: 77-87.
- GOPAL, N. H. y VASUDEVA, N. 1973.** Physiological studies on flowering in arabica coffee under South Indian conditions. I. Growth of flower buds and flowering. Turrialba, Costa Rica 23(2):146-153.
- JARAMILLO, A. y GUZMAN, O. 1984.** Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L. variedad Caturra. Cenicafé 35(3): 57-65.
- KANECHI, M. ; UCHIDA, N. ; YASUDA, T. y YAMAGUCHI, T. 1996.** Non-stomatal inhibition associated with inactivation of rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. Plant Cell Physiology 37(4):455-460.
- KUMAR, D. y TIESZEN, L. 1980.** Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. Experimental agriculture 16: 13-19.

- KUMAR, D. 1982.** Primary investigations into some flowering abnormalities of Coffee in Kenya. *Kenya Coffee* 47 : 16-24.
- MAG - IMN (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL). 1982.** Precipitación promedio anual en Costa Rica durante el período 1961 - 1980. M.A.G. Esc. 1: 1.000.000. Color.
- MAGALHAES, A. y ANGELOCCI, L. 1976.** Sudden alterations in water balance associated with flower bud opening in coffee plants. *Journal of Horticultural Science* 51: 419-423.
- MES, M. G. 1957.** Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. I. The influence of temperature on the initiation and growth of coffee flower bud. *Portugaliae Acta Biologica Serie (A)* 4(4): 328-334.
- MONACO, L.C. ; MEDINA, H.P. ; SONDAHL, M.R. y ALVES DE LIMA, M.M. 1978.** Efeito de dias longos no crescimento e florescimento de cultivares de cafe. *Bragantia* 37(4): 25-31.
- NEWTON, O. 1952.** A preliminary study of the growth and flower habits of *Coffea arabica* L. Tesis Mag. Sc. IICA. Turrialba, Costa Rica. 37 p.
- NUNES, M. A. ; BIERTHUIZEN, J.F. y PLOEGMAN, C. 1968.** Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Botanica Neerlandica* 17(2): 93-102.
- PIRINGER, A. A. y BORTHWICK, H. A. 1955.** Photoperiodic responses of coffee. *Turrialba* 5(3): 72-77.
- RUSSO, R y BUDOWSKI, G. 1986.** Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry Systems* 4: 145-162.
- SAS. INSTITUTE . 1992.** SAS user's guide. Raleigh, N.C. USA. (sp.)
- SCHEAFER, R. ; MENDENHALL, W. y OTT, L. 1987.** Elementos de muestreo. Grupo editorial Iberoamérica. 321 p.
- SCHUCH, U. ; FUCHIGAMI, L. y NAGAO, M. 1992.** Flowering, ethylene production, and ion leakage of coffee in response to water stress and gibberellic acid. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117(1):158-163.

- TOSI, J. 1969. Mapa ecológico de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del Mundo de L. R. Holdridge. Escala 1 : 750000. San José, Costa Rica. Centro Científico Tropical.
- WILLEY, R. W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. Horticultural Abstracts 45(12): 791-798.
- WILLSON, K.C. 1985. Climate and soil. In Coffee Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. Clifford, M. N. and Willson, K. C. (eds). London, Croom Helm. pp: 97-107.
- VAN DER VEEN, R. 1968. Plant hormones and flowering in coffee. Acta Botanica Neerlandica 17(5) : 373-376

CAPITULO 3

EFFECTO DE SOMBRA DE *Erythrina poeppigiana* O.F. Cook SOBRE LA PRODUCCION DE *Coffea arabica* var caturra.

3.1. INTRODUCCION

La presencia de un árbol con relación al café implica muchos otros efectos adicionales además de su sombra (Willey, 1975), desde efectos en el ciclo de los nutrientes en el suelo, hasta cambios en el microclima de la plantación (Aranguren *et al.*, 1982; Glover y Beer, 1986; Barradas y Fanjul, 1986).

Las ventajas y desventajas de los árboles de sombra en sistemas agroforestales que incluyen al café implican la consideración de aspectos biológicos, climatológicos, de conservación de suelos y económico-sociales (Beer, 1987; Budowski, 1980; Herzog, 1994; Teketay y Tegineh, 1991). Además, actualmente se considera el valor de los árboles de sombra del café como refugios de la biodiversidad animal (Perfecto *et al.*, 1996).

La información bibliográfica sobre el efecto de los árboles de sombra en la producción de café, es escasa y varía según la región de estudio. Así, Ramírez (1993) estudió la producción de café (var. Caturra) con diferentes niveles de fertilizantes con y sin sombra podada de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook, en Turrialba, Costa Rica (650 msnm, 22.5 °C de temperatura promedio anual y 2700 mm de precipitación anual). Encontró que bajo sombra requirió un 50% menos de fertilizante para alcanzar producciones similares a las obtenidas

a plena exposición solar (promedio de 8 años de producción). Sin el uso de fertilizantes la producción bajo sombra fue significativamente superior (65%) que a pleno sol. Sin embargo, a niveles altos de fertilización (1320 kg ha^{-1}) no existió diferencias significativas en la producción con y sin sombra. Después de 10 años de cosecha (café cereza) la producción bajo sombra fue en promedio superior en 16% a la producción a plena exposición solar (ICAFE, 1994).

Otro estudio similar (ICAFE, 1996) en producción de café con y sin sombra de *Erythrina fusca* realizado en San Isidro, Costa Rica (1375 msnm, 20 °C y 2100 mm de precipitación anual) obtuvo resultados muy diferentes después de 6 años de cosecha. La producción de café cereza a pleno sol fue en promedio superior a la obtenida bajo sombra para casi todos los niveles de fertilización, excepto el nivel cero. La diferencia de producción de café entre el trabajo de Ramírez (1993) y ICAFE (1996) posiblemente se explique por la especie de sombra utilizada, el piso altitudinal, la diferencia de radiación solar y la calidad del sitio.

Muschler (1995a) cuantificó el efecto de diferentes niveles de sombra de *Erythrina poeppigiana* (0 a 80% de sombra) sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor en la zona de Turrialba. Encontró, que niveles de sombra que redujeron la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) hasta un 50% no afectaron significativamente la producción, pero cuando se redujo hasta un 30% bajo la producción de café entre 30-40%. Por otra parte, los frutos de las parcelas sombreadas fueron más grandes y sanos, lo cuál coincidió con investigaciones anteriores (Abruña *et al.*, 1966; Aldazábal y Alarcón, 1994). Restando los frutos secos y momificados que se presentaron en mayor proporción en la parcela a pleno sol la producción del café bajo sombra de poró alto (50% de RAFA) llegó

al 96% comparado con la producción a pleno sol. Por tanto el autor recomendó la utilización de sombra permanente de *Erythrina poeppigiana* con 40% de RAFA como la más adecuada para el café en la zona cafetalera baja de la Vertiente Atlántica de Costa Rica.

El propósito del presente trabajo fue comparar el efecto de sombra homogénea y heterogénea de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook sobre la producción del café después de una poda completa. Asimismo evaluar si este efecto estuvo asociado a la distancia entre los cafetos y los árboles de poró (*E. poeppigiana*) más cercanos. Finalmente determinar las variables del cafeto que estuvieron más relacionadas con su producción en cada tipo de sombra.

3.2 MATERIALES Y METODOS

El sitio experimental se localizó en la finca " Esmeralda S.A." ubicada en la zona de la Esmeralda del cantón Turrialba, provincia de Cartago en Costa Rica. Las parcelas experimentales se establecieron en 1994. Detalles sobre el área de estudio, sitio, manejo y establecimiento de la parcela, y la caracterización del microclima se dan en las secciones 2.2.1 a 2.2.5 del capítulo 2.

3.2.1. Caracterización de los suelos

Se recolectaron dos muestras compuestas por tratamiento en febrero de 1997. Cada muestra estuvo compuesta por cinco submuestras colectadas al azar a una profundidad de 0-30 cm y muestreados con barreno entre las calles de las plantas de café. Los análisis físico-químicos fueron realizados en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Turrialba, Costa Rica) según las metodologías de Díaz-Romeu y Hunter (1978). Las

metodologías fueron: pH del suelo en agua a relación 1: 2.5; acidez extraíble con solución neutral de KCl 1 M, titulación con NaOH 0.1 M con indicador fenolftaleína. P, K, Fe, Cu, Zn y Mn extraídos con solución Olsen modificado en relación 1: 10 cuya determinación fue: P por colorimetría con azul de molibdeno y los demás elementos por absorción atómica. Ca y Mg extraídos con KCl 1M en relación 1: 10 y determinados por absorción atómica. Materia Orgánica por oxidación con $K_2Cr_2O_7$ 1M y determinada por titulación con $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$ 0.1 M. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y bases intercambiables extraídos con solución de Acetato de Amonio 1 M pH 7.0 en relación 1: 10, bases intercambiables determinadas por absorción atómica, CIC por extracción del Acetato de Amonio con NaCl al 10% y determinada por titulación con H_2SO_4 0.02N. Textura por el método de Bouyoucos y densidad aparente con metodología estándar (Forsythe, 1980).

3.2.2. Caracterización del tejido vegetal

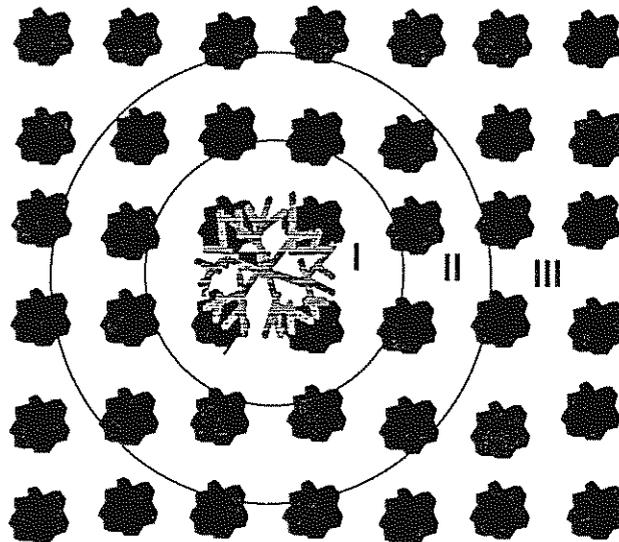
Para caracterizar el estado nutricional de los cafetos en cada parcela, se colectaron cuatro muestras compuestas foliares, dos en cada tratamiento. Cada muestra compuesta (120 hojas) se recolectó a partir de 15 cafetos elegidos aleatoriamente, de los cuales se colectaron el cuarto par de hojas en ejes plagiotrópicos (bandolas) de la parte superior y orientados a los cuatro puntos cardinales (Carvajal, 1984). Las muestras se obtuvieron a principios de enero antes de la fertilización, cuando las plantas empezaban a formar los botones florales.

Las muestras fueron analizadas en los laboratorios del CATIE según las metodologías de Díaz-Romeu y Hunter (1978). Las metodologías fueron: N por el método Kjeldahl. P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn y S por digestión húmeda de la

muestra con mezcla de ácidos nítrico-perclórico y determinación: P por colorimetría, S por turbidimetría y los restantes elementos por absorción atómica. B calcinación de la muestra y determinación por colorimetría.

3.2.3. Diseño de muestreo

La producción fue evaluada en cada tratamiento, en la totalidad de cafetos mediante un muestreo irrestricto (Scheaffer, 1987). Sin embargo, para determinar si la distancias de los cafetos a los árboles de poró ejercen alguna influencia en la producción, se definieron tres estratos en cada tratamiento. El estrato I agrupó a todas las plantas que se localizaron a una distancia menor a 1.5 m de los árboles de poró; el estrato II las que estuvieron entre 1.5 a 3 m y el estrato III las que se situaron a más de 3 m (Figura 14). Además se realizó un muestreo aleatorio de 21 cafetos por tratamiento para determinar el número de bandolas por planta.



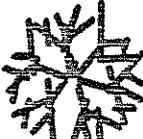
Estratos I,II y III  Arbol poró  Cafetos

Figura 14 Determinación de los estratos I, II y III en los tratamientos de cafetos con sombra homogénea y heterogénea. Estratos: I distancia de los cafetos desde el poró hasta 1.5m, II distancia desde 1.5 a 3 m y III distancia de los cafetos mayores a 3m.

3.2.4. Variables vegetativas y de localización

Las variables consideradas para evaluar la producción del cafetal se dividieron en parámetros vegetativos y de localización. Los parámetros vegetativos para cada planta de café fueron: producción potencial a través de un conteo del número total de frutos semimaduros y verdes antes de la cosecha, diámetro basal del tronco remanente después de una poda baja o recepa (se denomina así a la eliminación de la parte aérea de la planta mediante un corte que se realiza a una altura aproximada de 0.30 a 0.40 m del suelo) medido en mm a 10 cm del nivel del suelo y el diámetro basal de los ejes ortotrópicos

productivos (en mm) medido a 10 cm del punto de inserción al tronco, altura total (en cm) medido desde el nivel del suelo hasta la altura promedio de los dos ápices más altos, diámetro de copa (en cm) considerando el promedio de los diámetros perpendiculares de la copa y el diámetro a la altura del pecho (dap en cm) del poró y número de bandolas (ejes plagiotrópicos). El parámetro de localización fue la distancia (DIST en m) de cada cafeto al árbol de poró más cercano.

3.2.5. Analisis de datos

Tres años después de la instalación del área experimental (1994 a 1997) el tratamiento de café con sombra heterogénea contó con 139 plantas (7 perdidas) y con sombra homogénea 140 plantas (5 perdidas). Se eliminó la información proveniente de plantas que habían sido dañadas (ejes ortotrópicos rotos), como los cafetos de los bordes. Previo a cualquier comparación ya sea entre tratamientos, estratos dentro de un mismo tratamiento o estratos de tratamientos diferentes, se determinaron los siguientes estadígrafos de la población a ser comparada: desviación estandar, moda, varianza, rango y distribución normal para las variables: altura del cafeto (H), diámetro de copa (DC), área basal productiva (ABP), área basal del tronco remanente despues de una poda baja o recepa (ABR), área basal del árbol de poró más cercano (ABAR), número de frutos potenciales por arbusto (FRUT) y número de bandolas (EJE) por cafeto. El nivel de significancia adoptado para el análisis estadístico fue de 0.05.

Para comparar los parámetros evaluados se utilizaron las siguientes pruebas :

- a) Entre tratamientos: prueba "t" para H y DC, Mann-Whitney para ABP, ABR y FRUT.

- b) Entre estratos I, II y III dentro de cada tratamiento se utilizaron: pruebas F y Tukey para H, ABP; Kruskal Wallis para ABR y FRUT.
- c) Entre estratos de los dos tratamientos: pruebas "t" para H, DC y Mann-Whitney para ABP, ABR y FRUT.

El número de bandolas (EJE) se comparó sólo entre tratamientos por la prueba de Mann-Whitney.

También se realizaron análisis de correlación lineal entre las siguientes variables para cada tratamiento: DIST, H, DC, ABP, ABR, ABAR, RAFA (Radiación fotosintéticamente activa en %) y FRUT. El grado de asociación lineal fue evaluado con el coeficiente de correlación de Pearson para las variables que presentaron distribución normal y con el coeficiente de rangos de Spearman para las no normales. Posteriormente se realizó el análisis de regresión lineal para cada tratamiento con la variable FRUT como dependiente y las restantes como independientes. Todos los análisis fueron realizados con el módulo SAS/STAT del SAS (SAS Institute, 1996)

3.3 RESULTADOS

3.3.1. Caracterización de los suelos

La fertilidad fue clasificada como baja a mediana (Cuadro 8).

Cuadro 8 Nivel de fertilidad química de los suelos (0 - 30 cm), en áreas útiles con sombra homogénea y heterogénea.

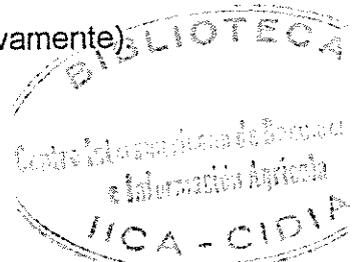
Variables	Unidad	Valor promedio y condición	
		Sombra homogénea	Sombra heterogénea
pH en agua	unidades pH	4.8 (B)	4.6 (B)
Acidez	cmol(+) L ⁻¹	0.58 (M)	0.67(M)
Saturación de Acidez	%	32 (M)	50.8 (A)
Suma de cationes	cmol(+) L ⁻¹	1.25 (B)	0.66 (B)
CICE	cmol(+) L ⁻¹	1.84 (B)	1.3 (B)
Ca	cmol(+) L ⁻¹	0.94 (B)	0.42 (B)
Mg	cmol(+) L ⁻¹	0.25 (B)	0.15 (B)
K	cmol(+) L ⁻¹	0.06(B)	0.08 (B)
P	mg L ⁻¹	0.1(B)	1.05(B)
Zn	mg L ⁻¹	1.1 (B)	1.01(B)
Mn	mg L ⁻¹	12.2 (M)	10.02(M)
Cu	mg L ⁻¹	12.7(M)	12.6 (M)
Materia Orgánica	%	20.0(M)	20.3(M)

Condiciones : A = Alta, M = Media y B = Baja .(Criterios según Bertsch, 1995).

La comparación estadística sólo dió diferencia significativa para el contenido de Mg (prueba t, $p < 0.05$). Sin embargo ambos tratamientos presentan condiciones bajas de Mg desde el punto de vista de fertilidad.

Como se puede observar en el cuadro 8, las condiciones de pH y saturación de acidez indican posibles problemas de toxicidad de aluminio en sombra homogénea y heterogénea. Asimismo ambas parcelas presentan bajo contenido en bases (Ca, Mg y K) y CICE lo cuál indica una baja fertilidad, común para los suelos volcánicos (Bertsch, 1995), el P estuvo en condición baja en ambos casos. El contenido de materia orgánica estuvo en condición media en ambos tratamientos, niveles considerados comunes para suelos volcánicos (10 a 20%). Esto se debe a la capacidad de la alófana de formar complejos organominerales con la materia orgánica (Bertsch, 1995).

Con respecto a las propiedades físicas, ambos tratamientos presentaron suelos profundos, de textura franco-arenosa y densidades aparentes bajas (0.5 y 0.46 g/cm³ en sombra heterogénea y homogénea respectivamente).



3.3.2. Caracterización del tejido vegetal

Los resultados del análisis químico con su respectiva condición de acuerdo a Chaverri *et al* 1957, citado por Carvajal (1984) se detallan en el cuadro 9.

Cuadro 9 Condiciones de los elementos en el tejido de las plantas de café con sombra heterogénea y homogénea.

Elemento	Unidades	Sombra homogénea	Sombra heterogénea
Ca	%	0.72 (B)	0.76 (B)
Mg	%	0.36 (A)	0.27 (M)
K	%	0.46 (D)	0.68 (D)
P	%	0.10 (B)	0.12 (M)
N	%	2.54 (M)	3.6 (A)
S	%	0.13 (B)	0.16 (B)
B	mgkg ⁻¹	53.9 (B)	53.2 (B)
Cu	mgkg ⁻¹	18.56 (A)	20.62 (A)
Mn	mgkg ⁻¹	231.15 (A)	380.05 (A)
Zn	mgkg ⁻¹	5.06 (D)	6.51 (D)

Condiciones : A = Alta, M = Media, B = Baja y D = Deficiente. (Criterios según Bertsch, 1995).

Zn y K se encontraron en niveles deficientes en sombra homogénea y heterogénea. P se encontró en contenidos medios y bajos en sombra heterogénea y homogénea respectivamente, pero no reflejan la diferencia en contenido hallada en suelos. El Ca de manera similar estuvo en contenido bajo en ambas condiciones. El comportamiento general guarda relación con el

contenido de nutrientes en el suelo y reflejan la importancia de la fertilización en estas condiciones.

3.3.3. Efecto de sombra homogénea y heterogénea en variables vegetativas y de producción del café

Altura de los cafetos

Los cafetos en sombra heterogénea fueron más altos que los de sombra homogénea (prueba t, $p < 0.05$), posiblemente a causa de la mayor RAFA recibida. Entre estratos dentro de cada área útil fueron similares, pero fueron diferentes entre estratos de las dos áreas (prueba t, $p < 0.05$). En la figura 15 se observa que los cafetos en sombra heterogénea del estrato I (los más cercanos a el árbol de poró) tendieron a ser más altos y tuvieron mayores diámetros de copa, lo cual podría ser a los beneficios (ciclaje de nutrientes, fijación de nitrógeno, mulch etc) recibidos del árbol. Beneficios dados por la poda total de las ramas del poró, biomasa (mulch) que no se distribuye uniformemente.

Diámetro de copa

Los diámetros de copa de los cafetos con sombra heterogénea fueron mayores que los con sombra homogénea (prueba t, $p < 0.05$). Entre estratos dentro de cada tratamiento fueron similares, pero entre estratos de ambos tratamientos los diámetros de copa fueron diferentes para el estrato II (prueba t, $p < 0.05$) y fueron similares para los estratos I y III (Figura 16).

Área basal productiva

Se encontró que el área basal productiva fue diferente entre sombra homogénea y heterogénea (prueba Mann Whitney, $p < 0.05$) con mayor área basal productiva por planta en condiciones de sombra heterogénea. Entre estratos dentro de cada tratamiento fue similar, pero entre estratos de ambos tratamientos fue diferente para los estratos II y III (prueba Mann-Whitney,

$p < 0.05$) y similar para el estrato I de ambos tratamientos (Figura 17). La similitud de área basal productiva entre estratos I de las dos áreas posiblemente podría deberse porque los cafetos fueron afectados por la sombra por encontrarse cerca del árbol de poró.

Área basal recepada

Las áreas basales recepadas fueron similares en condiciones de sombra homogénea y sombra heterogénea. Esto respalda el marco conceptual de este trabajo en sentido que no hubo un efecto de sitio diferente en ambos tratamientos. La comparación entre estratos dentro de cada tratamiento como era de esperarse no presentó diferencias significativas para el área basal recepada. De manera similar, no hubieron diferencias significativas entre las plantas de los estratos I, II y III de ambas condiciones de sombra (Figura 18).

Producción

La producción de frutos por cafeto fue significativamente mayor (41%) en sombra heterogénea que en sombra homogénea (prueba Mann-Whitney, $p < 0.05$) (Figura 19). La producción entre estratos dentro de cada área fue similar, por tanto no hubo evidencia que la distancia del café al poró más cercano afectó la producción de las plantas del café, que coincide con investigaciones anteriores que no encontraron efectos negativos con densidades altas de poró sobre la producción del café (Beer, 1992). La comparación de la producción entre estratos I, II y III de ambos tratamientos con sombra homogénea y heterogénea fueron diferentes para todos los estratos (Figura 19).

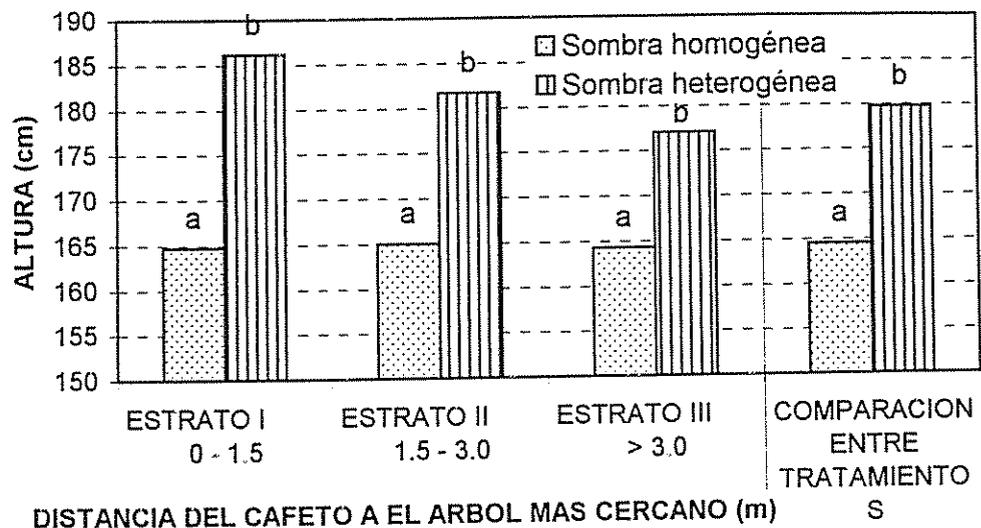


Figura 15 Altura de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente ($t, \alpha=0,05$).

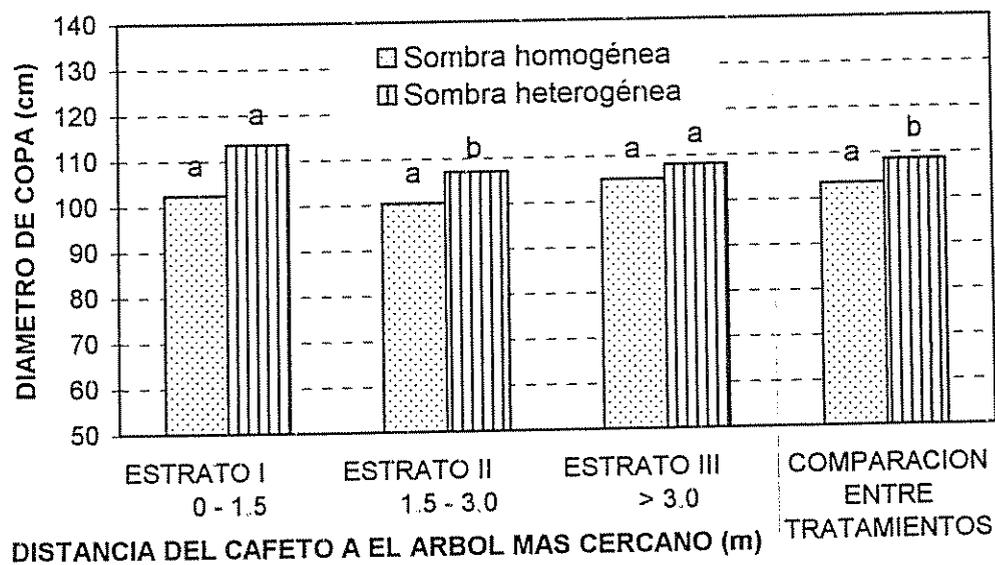


Figura 16 Diámetro de copa de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente ($t, \alpha=0,05$).

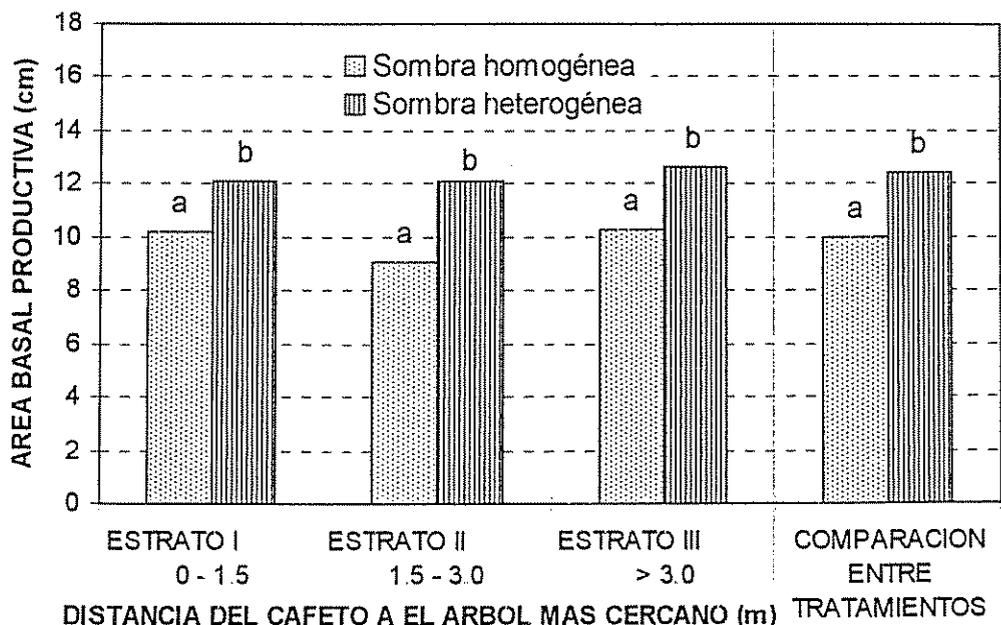


Figura 17 Area basal productiva de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente (Mann Whitney, $\alpha=0,05$).

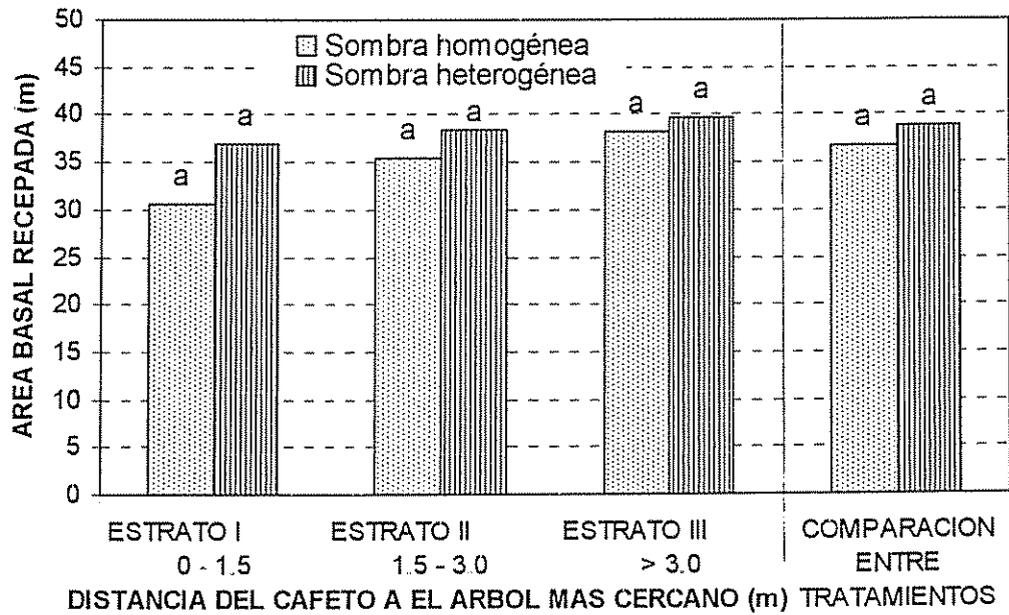


Figura 18 Area basal recepada de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente (Mann Whitney, $\alpha=0,05$).

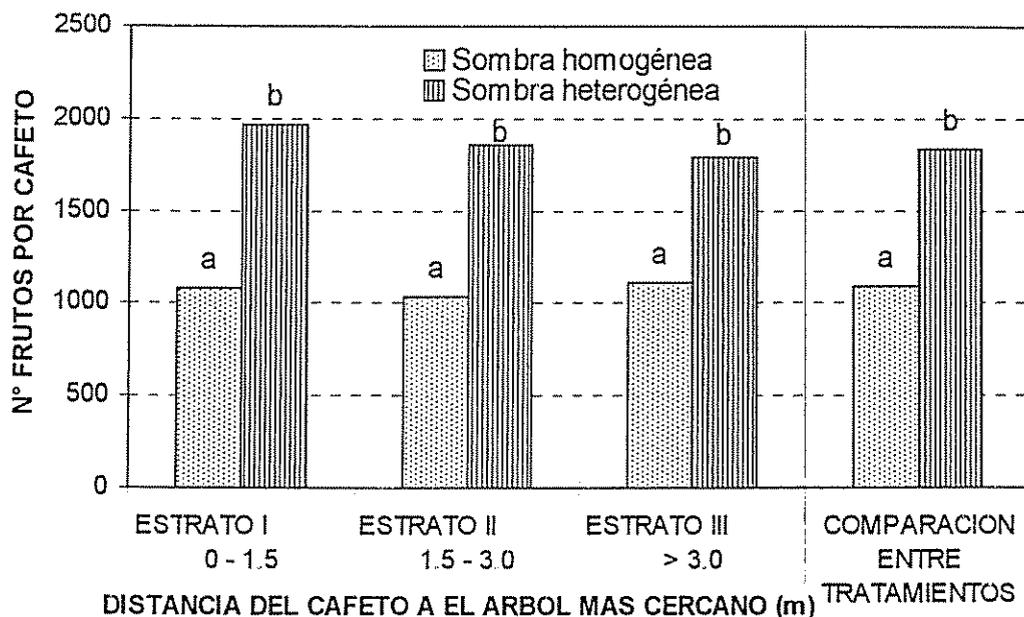


Figura 19 Número de frutos de los cafetos de 3 años después de una recepa con sombra homogénea y heterogénea para los estratos I, II y III. Valores dentro de estratos y tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente (Mann Whitney, $\alpha=0,05$).

La comparación del número de bandolas (EJE) entre tratamientos (Mann-Whitney, $\alpha = 0.05$) fue mayor en sombra heterogénea (76) que en sombra homogénea (45).

3.3.4. Relación de las variables medidas con la producción en sombra homogénea y heterogénea

Para realizar una primera aproximación a la relación que existe entre la producción y las variables medidas tanto en sombra homogénea como heterogénea se utilizó el análisis de correlación lineal de la variable "frutos por arbusto" ó producción (potencial) con las restantes variables vegetativas y de localización. El grado de asociación lineal se evaluó con el coeficiente por rangos de Spearman (Glass y Stanley, 1988) debido a que la variable

producción presentó distribución no normal. Adicionalmente se elaboraron diagramas bivariados, entre la variable producción y las restantes variables.

Las variables que mostraron mayor grado de asociación lineal con la producción en sombra homogénea y heterogénea fueron: diámetro de copa, área basal productiva y altura de la planta lo cuál está de acuerdo con estudios anteriores que modelaron estas relaciones (Beer, 1992) (Figuras 20 y 21). La distancia del café al poró más cercano mostró escasa correlación con la producción, de la misma manera el gráfico de dispersión muestra un patrón aleatorio. Finalmente para determinar mejor la relación entre la variable FRUT y las variables vegetativas y de localización se realizaron análisis de regresión lineal, determinandose la significancia de los modelos y parámetros de la regresión (cuadro 10)

Cuadro 10. Significancia de los parámetros de la regresión lineal de producción (variable dependiente) y variables vegetativas y de localización (variables independientes).

Tratamiento	Variables	Significancia de la regresión Prob>F	Significancia del intercepto Prob > ITI	Significancia del coeficiente Prob >ITI	R ² (%)
Sombra homogénea	Frut=f (DC)	0.0001**	0.0001**	0.0001**	62
	Frut=f (H)	0.0001**	0.0001**	0.0001**	38
	Frut=f(ABP)	0.0001**	0.1742 (NS)	0.0001**	41
	Frut=f(DIST)	0.3231 (NS)	0.0001**	0.3231(NS)	0.7
Sombra heterogénea	Frut=f (DC)	0.0001 **	0.0001**	0.0001**	50
	Frut=f (H)	0.0001**	0.0001**	0.0001**	19
	Frut=f(ABP)	0.0001**	0.0676(NS)	0.0001**	27
	Frut=f(DIST)	0.9088 (NS)	0.0001**	0.9088(NS)	0

** altamente significativo y NS no significativo.

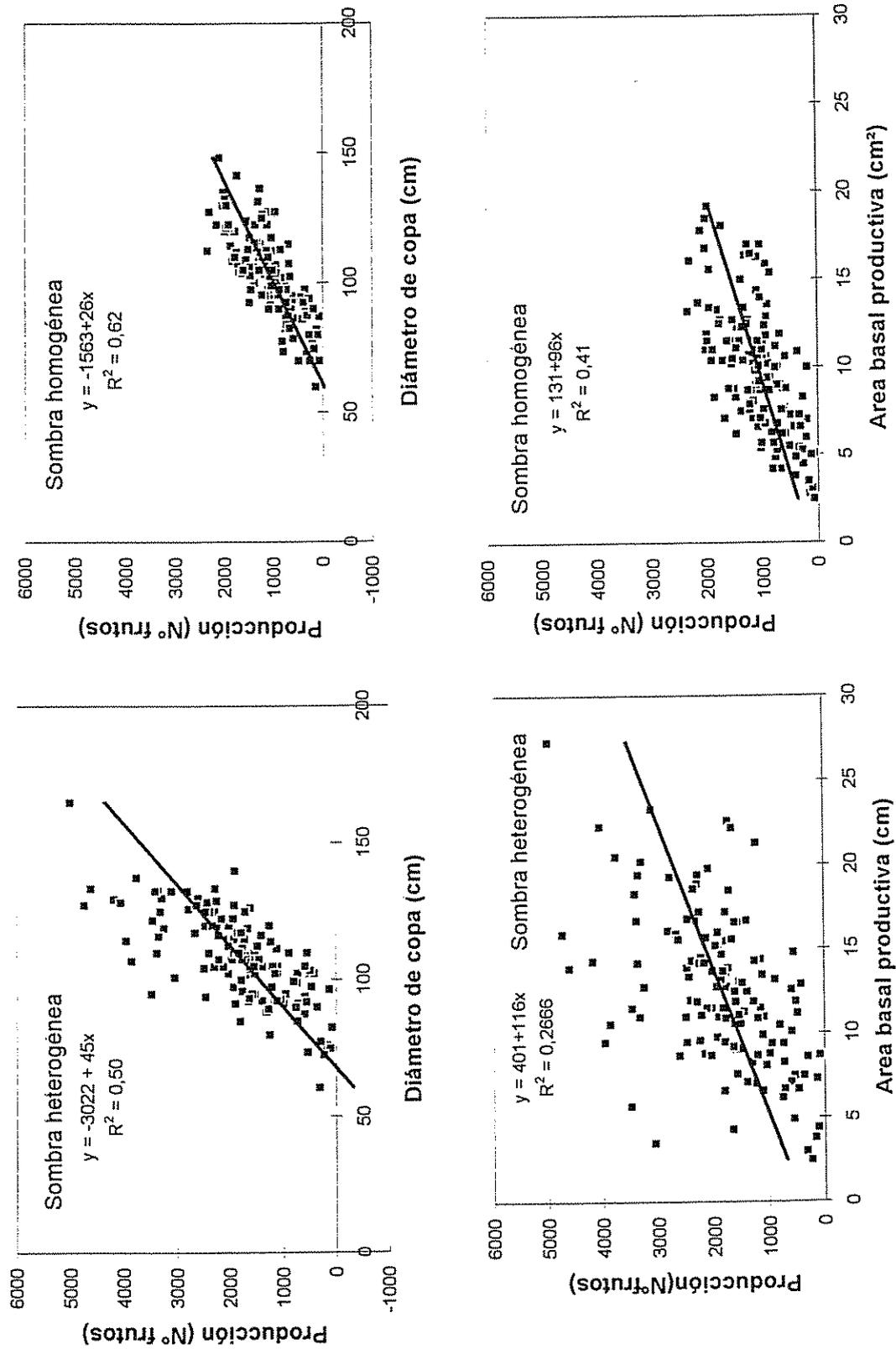


Figura 20 Correlaciones lineales de las variables de producción de los cafetos vs diámetro de copa y area basal productiva en sombra homogénea y heterogénea con sus respectivos modelos de regresión.

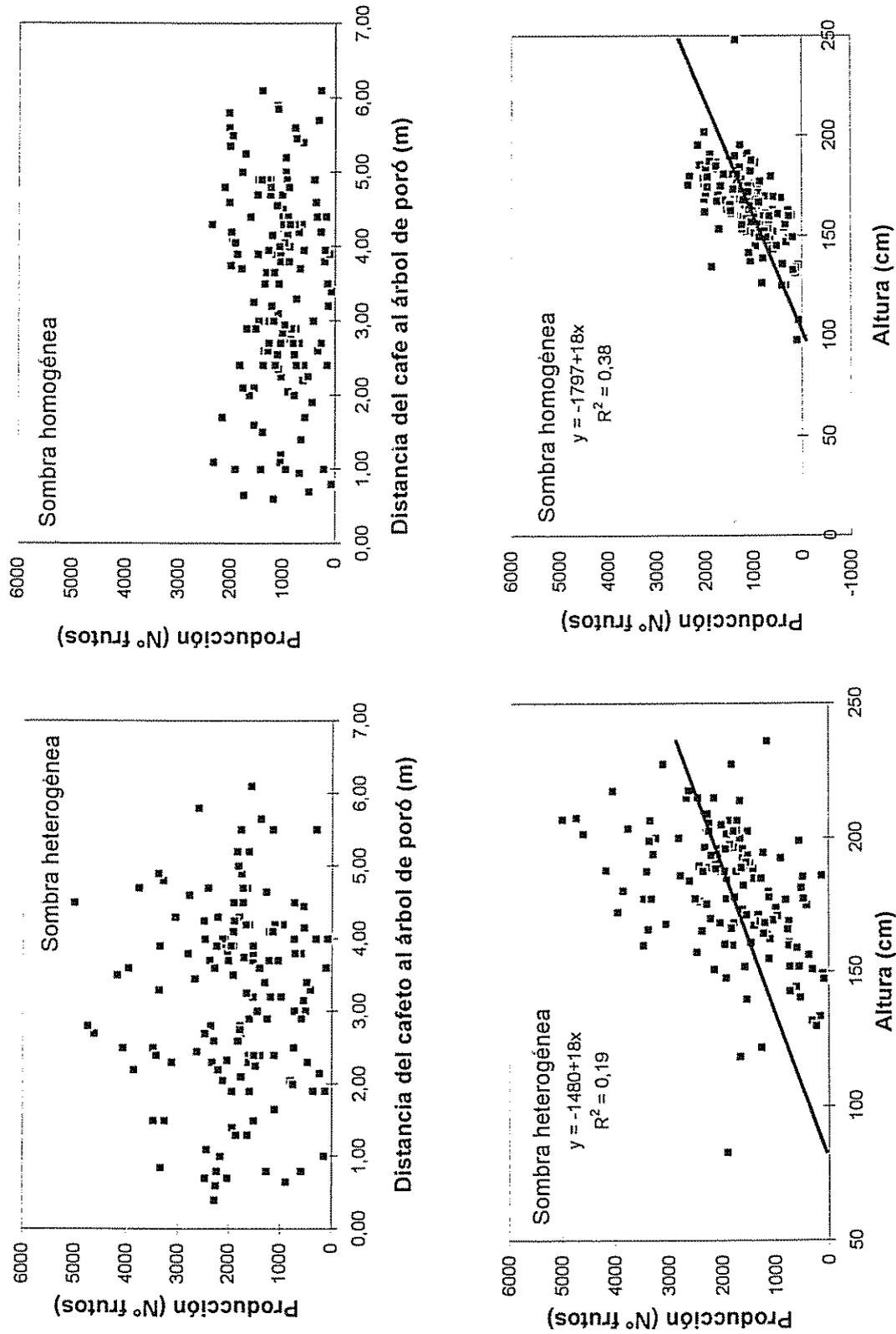


Figura 21 Correlaciones lineales de las variables de producción de los cafetos vs altura y distancia al árbol más cercano de poró en sombra homogénea y heterogénea y sus respectivos modelos de regresión.

Los diagramas bivariados (figuras 20 y 21) indican además mayor dispersión de los datos en sombra heterogénea que en sombra homogénea. Existe una mayor asociación lineal entre las variables FRUT y DC en condiciones de sombra homogénea que en sombra heterogénea. El grado de asociación lineal entre FRUT vs H y FRUT vs ABP fue menor en sombra homogénea y heterogénea. Los modelos de regresión lineal de producción potencial (FRUT) vs DC, H y ABP fueron significativos, sin embargo el intercepto no fue significativo para el modelo FRUT vs ABP tanto en sombra homogénea como heterogénea. La regresión de FRUT vs DIST no fue significativa tanto en sombra homogénea como heterogénea.

3.4. DISCUSION

3.4.1. Efecto sombra sobre la producción

Las diferencias significativas en producción potencial (número de frutos) entre sombra homogénea y heterogénea nos conducen a discutir los factores que pudieron haber incidido en este resultado :

Temperatura

La Esmeralda esta situada a 1000 msnm, por tanto las temperaturas serán menores que a elevaciones menores. Así en sombra heterogénea las temperaturas promedio mensuales máximas fueron menores a las registradas en Turrialba (620 m.s.n.m.) para el mismo período de medición. Por tanto la temperatura no sería un factor limitante de la producción en la Esmeralda ya que no llega a niveles que provoquen estrés y disminución de la tasa fotosintética, como ocurre a temperaturas mayores a 25 °C (Nunes *et al.*, 1968; Kumar y Tieszen, 1980; Cannell, 1985).

Suelos

El área de estudio presentó suelos profundos con buenas propiedades físicas, adecuadas para realizar un manejo intensivo (Bertsch, 1995). Asimismo la baja fertilidad química fue compensada por los elevados niveles de fertilización. Esto permite suponer que la competencia por nutrientes entre el árbol y los cafetos no fue determinante.

Agua

La Esmeralda al pertenecer a la zona de vida de bosque muy húmedo premontano se caracteriza por tener precipitaciones frecuentes, que como se observa en la figura 5 para el período de estudio fue ligeramente superior a la precipitación de Turrialba.

En síntesis la competencia por nutrientes y agua entre el árbol y el cultivo fue minimizada por el manejo agronómico y las condiciones de sitio favorables (suelos profundos, lluvias abundantes, buen drenaje).

Considerando lo anterior, la diferencia de la producción (Número de frutos) puede ser debida a la reducción de radiación fotosintéticamente activa en sombra homogénea, la cual sería el factor limitante (Willey, 1975). Los resultados confirman los planteamientos de Muschler (1997b) acerca del efecto de la sombra en situaciones "óptimas" de suelo para el cultivo del café.

El efecto de sombra sobre los cafetos, se manifestó en una reducción de la actividad fotosintética (menor RAFA) con una menor producción de ejes plagiotrópicos que posiblemente fue la causa más importante para la menor producción de frutos en sombra homogénea. No obstante debe tomarse en cuenta que los datos se refieren al primer año de producción después de una poda baja que se evaluó la producción potencial de los frutos.

3.4.2 Efecto sombra sobre las variables vegetativas.

Se pudo observar una menor altura, diámetro de copa y área basal productiva en sombra heterogénea. Esto podría deberse a la mayor disponibilidad del recurso RAFA en estas condiciones lo cuál habría estimulado a una mayor producción de biomasa y por lo tanto mayor crecimiento que en sombra homogénea.

Por el contrario en sombra homogénea posiblemente por tener una menor cantidad de RAFA debido al dosel de los árboles de sombra, se observó un menor desarrollo de las plantas de café. No obstante debe destacarse que la evaluación se realizó en plantas del tercer año después de la poda y en el primer año de producción plena, por lo tanto es posible que esta situación pueda invertirse en el futuro, especialmente la referida a la altura de las plantas en relación a sombra heterogénea. Otro aspecto que llamó la atención fue que hasta el momento del estudio no se observaron indicios de Etiolación en las plantas en sombra homogénea. Esto podría deberse al control de la sombra mediante la poda selectiva que se realizó en los porós, sin embargo no se descarta que pueda presentarse en el futuro.

El área basal recepada fue similar en ambas condiciones de sombra lo que indicaría la ausencia de diferencias en efectos del suelo entre ambos tratamientos. Esto confirma las observaciones iniciales y respalda la elección adecuada del área experimental de tal manera que otros efectos ambientales fueran similares en ambas condiciones de sombra, permitiendo de esta manera evaluar el efecto sombra minimizando los demás efectos, situación difícil de alcanzar en condiciones de campo.

Si bien no se detectaron diferencias significativas asociadas a la distancia entre café y poró en ambas condiciones de sombra, se observaron tendencias

a un mayor desarrollo en altura y diámetro de copa en plantas de cafeto situadas en el estrato I (1.5 m del poró) en sombra heterogénea. Esta dificultad en detectar diferencias significativas podrían deberse al tamaño de muestra (debido a la baja densidad de porós en la zona de estudio), a la compensación de efectos negativos y positivos del poró sobre el cafeto o a la ausencia de efectos del poró sobre el cafeto, las dos últimas suposiciones confirmarían el concepto que la planta de poró es compatible con el cafeto.

Otro aspecto cualitativo que se observó fue el agotamiento de los cafetos en sombra heterogénea a causa de una mayor producción y menores períodos de vida útil de las hojas; ambas situaciones merecen ser consideradas desde el punto de vista de sostenibilidad ecológica. Este aspecto destaca las ventajas del uso de sombra homogénea que ocasiona menor agotamiento de las plantas de cafeto y probablemente un mayor tiempo de vida útil (productiva) de la planta.

Con referencia a las relaciones entre las variables productivas y variables vegetativas y de localización, se observó mayor grado de asociación entre éstas variables en sombra homogénea que en sombra heterogénea, lo cuál puede ser efecto de condiciones fisiológicas más estables en sombra homogénea.

Asimismo se observó que los frutos en sombra homogénea fueron más grandes y sanos que los de sombra heterogénea, coincidiendo con investigaciones anteriores. (Abruña *et al*, 1966; Aldazábal y Alarcón, 1994; Muschler, 1997a). Esta situación podría reducir las diferencias a nivel de producto comercial (café pergamino) entre ambas condiciones de sombra y debería ser considerada en investigaciones futuras.

De acuerdo a las variables observadas (vegetativas y de producción) en los cafetos con sombra homogénea, se esperaría lo siguiente : a) menor declinación de la producción el siguiente año en comparación a sombra

heterogénea b) menor necesidad de recurrir a la poda para recuperar la planta
c) menor gasto en uso de herbicidas. Esto brinda una oportunidad de continuar los estudios sobre las relaciones café-poró (mucho más que sólo sombra) para conocer el tiempo de vida útil de un cafeto bajo estos dos tipos de sombra , información que no se generó aún. En el largo plazo se esperaría que la reducción en producción de los cafetos en sombra homogénea sea compensada por una producción más estable y con menos insumos que posiblemente permitan un mayor ingreso neto, conservando al mismo tiempo el medio ambiente.

Las tendencias del mercado señalan un incremento de la preferencia por cafés orgánicos (The economist, 1997) cuya producción requiere el uso de sombreamiento con la ventaja de un menor uso de insumos costosos y que contaminan el medioambiente. Este aspecto apoya el uso de sombra homogénea pues sus uso tiene mayor probabilidad de permitir producción con bajos niveles de insumos y por tanto ser ecológicamente sostenible a largo plazo.

3.5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ⇒ La sombra homogénea redujo la producción en un 41 % (1997) en relación a sombra heterogénea, bajo condiciones de manejo agronómico intensivo, en la Esmeralda, Turrialba.

- ⇒ No se encontraron efectos significativos (positivos o negativos) del poró sobre los cafetos, con respecto a la distancia que los separa. Esto sugiere que el poró es una especie compatible con el café.

- ⇒ Las variables más relacionadas con la producción fueron : diámetro de copa, altura y área basal productiva tanto en sombra homogénea como heterogénea.
- ⇒ El efecto de sombra sobre los cafetos, se manifestó en una reducción de la actividad fotosintética (menor RAFA) con una menor producción de ejes plagiotrópicos productivos.
- ⇒ Se recomienda proseguir la evaluación de los cafetos en sombra homogénea y heterogénea para comparar las fluctuaciones de producción año tras año, y si fuera posible hasta la renovación de los cafetos
- ⇒ Se hipotetiza que el sistema óptimo de poda (ejes ortotrópicos y plagiotrópicos) será diferente para los cafetos con sombra homogénea que con sombra heterogénea.
- ⇒ Es importante investigar sobre la diversidad biológica que generarían los cafetales con sombra homogénea en comparación con sombra heterogénea, para valorar su papel como refugio de la biodiversidad.

3.6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABRUÑA, F. ; SILVA, s. y CHANDLER, J. V. 1966.** Effects of yields, shade and varieties on size of Coffee Beans. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. (3) : 226-230.
- ALDAZABAL, M. y ALARCON, O. 1994.** Fisiología del cafeto en condiciones de montaña. III. Influencia del sol y la sombra en el crecimiento del fruto. Centro Agrícola (Cuba) 21(3) : 5-9.
- ARANGUREN, J. ; ESCALANTE, G. y HERRERA, R. 1982** Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. Plant and Soil 67 : 247-258.
- BARRADAS, V. y FANJUL, L. 1986.** Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. Agricultural and Forest Meteorology 38 : 101-112.
- BEER, J. 1987.** Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. Agroforestry Systems 5 : 3-13.
- , **1992.** Production and competitive effects of the shade trees Cordia alliodora and Erythrina poeppigiana in an agroforestry system with Coffea arabica. Thesis Ph. D. Oxford, UK. University of Oxford. 230p.
- BERTSCH, F. 1995.** Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 77 p.
- BUDOWSKI, G. 1980.** Compilación de las ventajas y desventajas de sistemas agroforestales (Presencia de árboles en cultivos alimenticios o en pastos), en comparación con monocultivos. Programa de Recursos Naturales Renovables. CATIE. 2p.
- CANNELL, M. G. R. 1985.** Physiology of the coffee crop. In Coffee Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. Clifford, M.N. and Willson, K.C. (eds). London, Croom Helm. pp : 108-134.
- CARVAJAL, 1984.** Cafeto, cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 254 p.
- DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. 1978.** Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Proyecto Centroamericano de fertilidad de suelos. CATIE, Turrialba. 61 p.

- FORSYTHE, W. 1980.** Física de suelos. Manual de laboratorio. IICA. San José, Costa Rica. 212 p.
- GLASS, G. y STANLEY J. 1988.** Métodos estadísticos aplicados a las Ciencias Sociales. Prentice Hall. México. 597 p.
- GLOVER, N. y BEER, J. 1986.** Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 4 : 77-87.
- GUJARATI, D. 1992.** Econometría. Mc Graw Hill. Mexico. 597 p.
- HERZOG, F. 1994.** Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Cote d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27 : 259-267.
- ICAFE-MAG (PROGRAMA COOPERATIVO INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA - MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA). 1994.** Informe anual de labores 1993. Heredia, Costa Rica. ICAFE-MAG. 322p.
- ICAFE (PROGRAMA COOPERATIVO INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA). 1996.** Informe anual de labores 1995. Heredia, Costa Rica. Investigación y Transferencia de Tecnología en el Cultivo del Café. 203p.
- KUMAR, D. y TIESZEN, L.L. 1980.** Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Experimental agriculture* 16 : 13-19.
- MUSCHLER, R. 1997a.** Efectos de diferentes niveles de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. *In* Memorias del 18vo Simposio Latinoamericano de Caficultura. Setiembre 1997. San José, Costa Rica. pp : 157-162
- . **1997b.** Sombra o sol para un cafetal sostenible : un nuevo enfoque de una vieja discusión *In* Memorias del 18vo Simposio Latinoamericano de Caficultura. Setiembre 1997. San José, Costa Rica. pp : 471-476
- NUNES, M. A. ; BIERTHUIZEN, J.F. y PLOEGMAN, C. 1968.** Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Botanica Neerlandica* 17(2) : 93-102.
- PERFECTO, I. ; RICE, R. ; GREENBERG, R. y VAN DER VOORT, M. E. 1996.** Shade coffee : a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46(8) : 598-608.

- RAMIREZ, L. G. 1993.** Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. *Erythrina in the New and Old Worlds. In Erythrina in the New and Old Worlds.* Westley S.B. and Powel M. H. (eds). USA, Nitrogen Fixing Tree Association pp:121-124.
- SAS INSTITUTE . 1996.** SAS user's guide. Raleigh, N.C. USA. (sp.)
- SCHEAFFER, R. ; MENDENHALL, W. y OTT, L. 1987.** Elementos de muestreo. Grupo editorial Iberoamérica. 321 p.
- TEKETAY, D. y TEGINEH, A. 1991.** Shade trees of coffee in Harerge, Eastern Ethiopia. *The international Tree Crops Journal* 7 : 17-27.
- THE ECONOMIST. 1997.** International Coffee green, as in greenbacks. 342 (8002): 42
- WILLEY, R. W. 1975.** The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45 (12) : 791-798.

CAPITULO 4

4.1. DISCUSION Y CONCLUSIONES GENERALES

4.1.1. Consideraciones ambientales para el uso de sombra homogénea

Los resultados del presente estudio permiten concluir que la determinación de niveles adecuados de sombra está condicionada a factores ambientales determinados por: altitud del lugar, características climáticas, pedológicos, niveles de insumos, como también considerar variedad de café y objetivos del cultivo (Muschler, 1997).

En las condiciones ambientales de la Esmeralda con temperaturas óptimas para café, humedad relativa alta, abundante precipitación, altitud 1000 msnm y suelos profundos de origen volcánicos, con altos niveles de insumos (manejo agronómico intensivo y variedades mejoradas) y el objetivo de maximizar la producción una sombra homogénea no sería la mejor elección (condiciones para la producción de 1997-1998). Sin embargo, se sugiere incrementar la densidad de porós manejados tradicionalmente para que mediante las podas de las ramas del árbol incremente el mulch obteniendo una mayor cobertura del suelo, para proteger el suelo, especialmente en pendientes. Esto podría reducir la dependencia de la fertilización y el riesgo que ello implica considerando la inestabilidad de precios del café en el mercado internacional.

4.1.2.. Papel del poró en la producción de café con sombra en la Finca la Esmeralda

La producción de café con sombra homogénea en zonas como la Esmeralda (1000 msnm) y con niveles de insumos altos, nos induce a revisar el papel del poró en estos sistemas:

El papel del poró como fuente de nutrientes en estos sistemas de producción comercial con niveles elevados de fertilización es minimizado (Ramírez, 1993). Por otra parte, en condiciones ambientales con temperaturas máximas menores a 25 °C, como ocurre en la Esmeralda, el papel del poró para reducir estrés ambiental también es minimizado. Por tanto, su papel en estas condiciones estaría más relacionado con el aporte de mulch para protección del suelo y posible longevidad del cultivo de café lo cual ocasionaría renovación de los cafetos con una menor frecuencia.

En el caso de la sombra heterogénea y en sombra homogénea se combinan funciones de protección del suelo y de regulación de la actividad fotosintética del café con posibles efectos sobre la longevidad del cultivo. Sin embargo, no debe perderse de vista que en sombra homogénea hay una acumulación de nutrientes en la biomasa del árbol que no son devueltos al suelo y que tiende a incrementarse conforme la poda del árbol es menos frecuente (Russo y Budowski, 1986).

Desde un punto de vista netamente económico el poró no sería la mejor opción para árbol de sombra permanente, dado que actualmente no tiene valor comercial. Esto permite concluir que existe la necesidad de identificar especies con valor comercial, que sean compatibles con el café y que puedan adaptarse a diferentes zonas ecológicas, como ocurre con el Laurel (*Cordia alliodora*) en zonas bajas.

4.1.3. Floración y producción en la Esmeralda

La floración no periódica registrada en la Esmeralda permite identificar el principal factor por la cual la zona de Turrialba sea considerada como subóptima para el cultivo del café (Rojas, 1989) que es la ausencia de un período seco definido (Newton, 1952). La ausencia de un período seco se debe a la distribución relativamente uniforme de la precipitación a lo largo del año que fue

la principal causa por los cinco picos de floración (antes) en la Esmeralda; que afectaron la dinámica de producción y maduración del fruto (Fournier y Herrera, 1983). La maduración gradual del fruto implica un incremento de los costos de recolección que pueden representar hasta un 63 % de los costos de producción de una finca comercial de la zona (com. pers. Carlos Brenes, 1997). Esto también tiene implicaciones de mayor daño a las plantas por la recolección que podría reducir la vida productiva de los cafetos

Otro beneficio de la sombra homogénea podría ser el de regular la actividad fotosintética del cafeto evitando niveles excesivos de RAFA y reduciendo el agotamiento de la planta. La reducción de RAFA bajo sombra homogénea no disminuyó la cantidad de flores por bandola pero si redujo la cantidad de flores y frutos por planta. En cambio el cafeto en sombra heterogénea posiblemente expresa toda su capacidad productiva de un año a otro, teniendo una producción bianual. El punto crítico es determinar si el mayor tiempo de producción, menores costos de reemplazo de cafetos e insumos contaminantes compensen la reducción en la producción por efecto de la sombra homogénea.

Hoy en día, se está aumentando la preferencia por cafés orgánicos o amigables con el medio ambiente, el cual genera mayor presión para la conservación del medio ambiente. Posiblemente los estudios sobre efectos de la sombra permitirán elegir opciones que mejoren la producción rentable con menor daño al medio ambiente. Pero también, hace falta estudios socio-económicos que respalden la producción de un cafetal manejado con asocio de árboles.

4.1.4. Importancia de la sombra homogénea para la biodiversidad y la fijación de carbono.

Otra ventaja que debe ser evaluada es el beneficio que recibe la sociedad de los cafetales con sombra homogénea. Los árboles de sombra al

brindar un refugio a la fauna, contribuyen a preservar especies que de otro modo desaparecerían, especialmente en sitios fuertemente deforestados (Perfecto *et al*, 1996). Por otra parte, debe considerarse su papel como corredores biológicos para la avifauna que permitiría conectar bosques fragmentados permitiendo así, beneficios adicionales como la dispersión de semillas de especies forestales.

Los árboles de sombra también cumplirían otros roles importantes como la fijación de dióxido de carbono, constituyéndose en un reservorio de carbono proveniente de diferentes la fuentes de emisión (atmosfera, fábricas, incendios forestales, etc.) (Sarre, 1994)

4.2. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- FOURNIER, L. y HERRERA de FOURNIER, E. 1983. Una década de observaciones fenológicas en (*Coffea arabica* L.) en ciudad Colón, Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 31(2): 307-310.
- MUSCHLER, R. 1997. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusión. In *Memorias del 18vo Simposio Latinoamericano de Caficultura*. Setiembre 1997. San José, Costa Rica. pp. 471-476.
- NEWTON, O. 1952. A preliminary study of the growth and flower habits of *Coffea arabica* L. Tesis Mag. Sc. IICA. Turrialba, Costa Rica. 37p.
- RAMIREZ, L. G. 1993. Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. *Erythrina in the New and Old Worlds*. In *Erythrina in the New and Old Worlds*. Westley S.B. and Powel M. H. (eds). USA, Nitrogen Fixing Tree Association pp:121-124.
- ROJAS, O. 1989. Determinación del potencial agroecológico para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. Turrialba (Costa Rica). 39(3): 279-287.
- RUSSO, R y BUDOWSKI, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry Systems* 4: 145-162.
- PERFECTO, I. ; RICE, R. y VAN DER VOORT, M. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46(8): 598-608.
- SARRE, A. 1994. Los bosques tropicales como sumideros de carbono. *Actualidad Forestal Tropical* 2(2):6