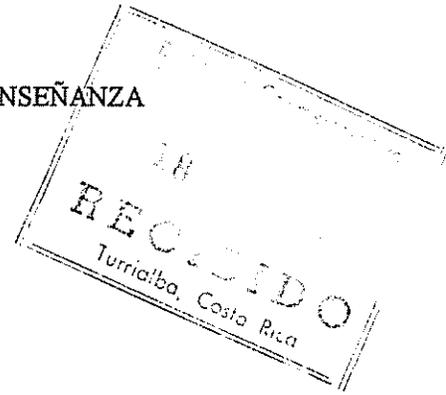


Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* L.
en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia,
Costa Rica.

JOBERT C. ANGRAND

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSTGRADO



PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO

Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia, Costa Rica.

Tesis sometida a consideración de la escuela de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae

Por

✓
Jobert C. Angrand

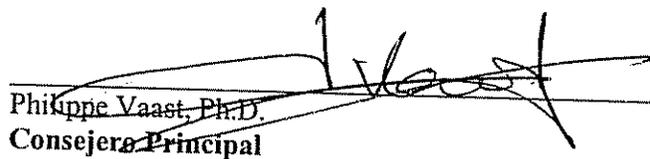
Turrialba, Costa Rica

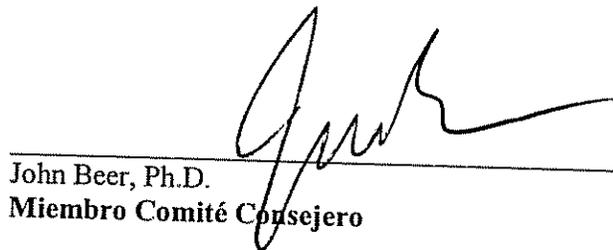
Diciembre 2002

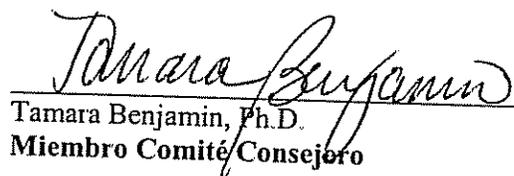
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

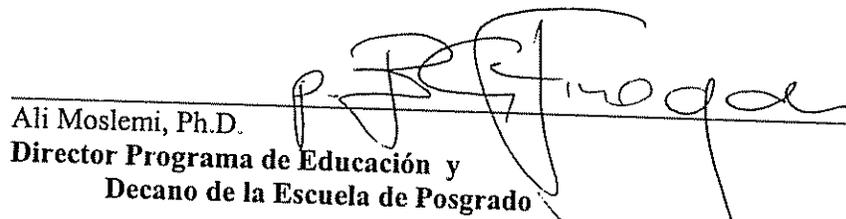
MAGISTER SCIENTIAE

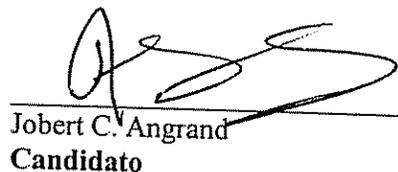
FIRMANTES:


Philippe Vaast, Ph.D.
Consejero Principal


John Beer, Ph.D.
Miembro Comité Consejero


Tamara Benjamin, Ph.D.
Miembro Comité Consejero


Ali Moslemi, Ph.D.
Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado


Jobert C. Angrand
Candidato

DEDICATORIA

A mis padres, Paul C. Angrand y Marie Mercie Louis, quienes nunca fallan para apoyarme en todo sentido.

**An loné peyisan Ayisyen pou kouraj li
(Al agricultor haitiano por su destreza).**

AGRADECIMIENTOS

A Dios mi guía de siempre.

A mis hermanas y hermanos, Marie Asmine, Junia, Garry Paul, Guercy, Chenet, Serge, Rosly para sus cariños.

A mis primos Limar y Harry Angrand para sus aportes para preparar mi viaje para Costa Rica..

Al Doctor Alfredo Menard, Director regional de IICA (Oficina de Haití) para su gran apoyo.

A Los agrónomos Jean Arsène Constant, Philippe Hervé para sus apoyos.

A FOKAL (Fondasyon Konesan Ak Libété) para financiar mi viaje hasta Costa Rica

Al CATIE para financiar mis estudios y la formación que me llevó.

Al Ministerio de Agricultura de Recursos Naturales y de Desarrollo Rural (MARNDR) y a IICA regional Haití para sus apoyos.

A la Doctora Celia Harvey Coordinadora del Departamento de Agroforesteria para sus ideas y su apoyo.

Al Departamento de Agroforesteria del CATIE ,proyectos AGSAF y CASCA para sus apoyos

Al Doctor Philippe Vaast mi Consejero Principal para su apoyo en todo sentido y su simplicidad en la transmisión de muchos conocimientos y permitirme a culminar esta tesis.

A los miembros del Comité consejero para sus ideas y sus recomendaciones en el mejoramiento de este trabajo.

Al Estudiante de Doctorado Nicolás Frank para sus correcciones de la forma del texto y sus ideas.

Al Estudiante de Doctorado Rudolf van Kanten para sus ideas y su aporte en este trabajo.

A los propietarios de la finca Verde Vigor, mas específicamente los empleados y trabajadores de la oficina local, para permitirme de realizar el trabajo en el sitio y por sus apoyos.

Al centro de Investigación del Instituto de Café de Costa Rica (CICAFE) oficina regional Heredia para permitirme de realizar una parte de esta investigación en su campo experimental.

A todos los profesores del CATIE para sus paciencias.

A todo el Personal de la Escuela de Postgrado y de la Biblioteca Orton para sus apoyos y sus grandes calores humanas.

A mi compatriota Gina Baker, su esposo Reinhold Muschler, sus dos hijas Malaika y Naomy para sus apoyos y sus hospitalidades.

A todos en un sentido u otro que me han apoyado, compartir momentos conmigo durante mi estancia de estudio en Costa Rica y permitir me a culminar esta Maestría les agradezco mucho.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiv
CAPITULO 1.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.	2
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	3
CAPITULO 2.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. IMPORTANCIA DE LOS ÁRBOLES EN CAFETALES.....	4
2.2. EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CAFÉ.....	5
2.3. LA FOTOSÍNTESIS DEL CAFÉ.....	6
2.4. FACTORES QUE INFLUENCIAN LA FLORACIÓN EN EL CULTIVO DE CAFÉ.....	7
2.5. DESARROLLO Y TAMAÑO DE LOS FRUTOS DE CAFÉ.....	7
2.6. METODOLOGIA DE MUESTREO.....	9
CAPITULO 3.....	10
3. MATERIALES Y METODOS.....	10
Comportamiento vegetativo y reproductivo de <i>Coffea arabica</i> en tres sistemas agroforestales comparado con pleno sol en Pérez Zeledón, Costa Rica.....	10
3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	10
3.2. ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE MUESTREO.....	11
3.3. ADQUISICION DE DATOS EN EL CAMPO.....	13
3.3.1. Caracterización de los árboles de sombra	13

3.3.2. Medición de la radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$).	14
3.3.3. Caracterización de las variables de respuestas del café según el tratamiento.	14
3.4. ANÁLISIS DE DATOS.	16
3.4.1. Análisis de variables relacionadas a los árboles.	17
3.4.2. Análisis de la RAFA.	17
3.4.3. Análisis de las variables relacionadas con el café.	17
3.4.4 . Peso de frutos.	18
3.5 RESULTADOS.	18
3.5.1. Variables relacionadas con árboles de sombra.	18
3.5.2. Radiación fotosintéticamente activa.	19
3.5.3 Variables relacionadas con el comportamiento vegetativo del café según el tratamiento.	19
3.5.4. Variables relacionadas con el comportamiento reproductivo del café en función del tratamiento.	20
3.5.5. Variables relacionadas con el comportamiento vegetativo del café en función de la distancia al árbol de sombra.	21
3.5.6. Variables relacionadas con la producción del café en función de la distancia al árbol de sombra.	22
3.5.7. Variables relacionadas con el desarrollo vegetativo y la producción de bandolas en función de su posición en la copa del cafeto.	22
3.5.8. Numero de flores y frutos por nudo productivo en función de las especies de árboles y la distancia del cafeto respecto al árbol.	24
3.6. Peso de frutos de café.	25
3.6.1. Dinámica de incremento del peso de frutos de café en el tiempo según el tratamiento.	26
3.7. DISCUSIÓN.	27
3.7.1. Variables relacionadas con los árboles de sombra.	27
3.7.2. Radiación fotosintéticamente activa.	27
3.7.3. Variables relacionadas con el comportamiento vegetativo y reproductivo del café.	28

3.7.4. Peso de frutos de café según el tratamiento.	30
3.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	30
CAPITULO 4	32
Parte B. Efectos de la carga frutal sobre la fotosíntesis y crecimiento de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en Heredia, Costa Rica	32
4.1. INTRODUCCIÓN.	32
4.2. MATERIALES Y METODOS	33
4.2.1. Localización y descripción del sitio.	33
4.2.2. Establecimiento y manejo.	33
4.3. Variables medidas	35
4.3.1. Caracterización de las bandolas seleccionadas	35
4.3.2. Fotosíntesis.	35
4.3.2.1. Fotosíntesis en hojas ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	35
4.3.2.2. Fotosíntesis en frutos ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	36
4.4.1 Análisis de las variables de respuesta del café según la carga, el aislamiento y la posición de la bandola.	36
4.5. RESULTADOS	37
4.5.1. Variables de crecimiento.	37
4.5.2. Fotosíntesis foliar y de frutos.	38
4.5.2.1. Fotosíntesis foliar	38
4.5.2.2. Fotosíntesis en frutos de café	41
4.5.2.2.1. Respuesta de fotosíntesis en frutos de café a la RAFA	42
4.6. DISCUSIÓN	43
4.6.1. Variables de crecimiento	43
4.6.2. Fotosíntesis foliar	44
4.6.3. Fotosíntesis en frutos.	45
4.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	47
Anexo A: Ubicación de los sitios del estudio	54
Anexo B: Dibujo de la selección de las diferentes bandolas en la copa de una planta de café en el ensayo de Pérez Zeledón	55
Anexo C: Analizador de carbono (ADC-Lcpro) midiendo fotosíntesis	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Valores promedio de Altura, de DAP y porcentaje de área ocupado por los árboles asociados con el café en la Finca de Verde Vigor S.A. en Pérez Zeledón, Costa Rica.....	18
Cuadro 2. Valores promedio de tres mediciones (Enero, mayo, septiembre) de diferentes variables de desarrollo vegetativo del café en distintos tratamientos de sombreamiento en la Finca Verde Vigor S.A. Pérez Zeledón, Costa Rica.....	20
Cuadro 3. Promedio de diferentes variables de producción del café a distintos tratamientos de sombreamiento en la Finca Verde Vigor S.A. Pérez Zeledón, Costa Rica.....	21
Cuadro 4. Valores promedio de variables relacionadas con el desarrollo vegetativo del café en función de la distancia al árbol de sombra en la Finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	21
Cuadro 5. Promedios de datos relacionados con la producción del café según la distancia al árbol de sombra en la Finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	22
Cuadro 6. Promedios de variables relacionadas con el desarrollo vegetativo de las bandolas de café en función de su posición.....	23
Cuadro 7. Valores promedio de flores por nudo productivo para la interacción entre el tratamiento principal y la distancia del cafeto con respecto al árbol de sombra en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	24
Cuadro 8. Valores promedio de frutos por nudo productivo para la interacción tratamiento principal (eucalipto) y distancia del cafeto con respecto al árbol en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	24
Cuadro 9. Valores promedio de peso fresco y seco en gramo (g) de cerezas y granos de café 10 semanas después de la última floración (15 de marzo del 2002) según el tratamiento en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	25
Cuadro 10. Valores promedio de peso fresco y seco en gramo (g) de cerezas y granos de café 17 semanas después de la última floración (15 de marzo del 2002) según el tratamiento en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	25
Cuadro 11. Valores promedio de peso fresco y seco en gramo (g) de cerezas y granos de café 24 semanas después de la última floración (15 de marzo del 2002) según la distancia al árbol de sombra en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	26

Cuadro 12. Valores promedios de diferentes variables de respuestas de caracterización del café para 3 mediciones (mayo, julio, inicio septiembre) en pleno sol en función de la carga sin tomar en cuenta el tratamiento de las bandolas en Heredia, Costa Rica.....	37
Cuadro 13. Valores promedio (3 mediciones) de diferentes variables de respuestas del café a la posición de la bandola en la copa (estrato) del cafeto en pleno sol sin tomar en cuenta la carga y el tratamiento de la bandola, en Heredia, Costa Rica.....	38
Cuadro 14. Valores promedio (3 mediciones) de diferentes variables de respuestas del café al tratamiento de anillado de la bandola (Descortezada o no Descortezada) sin tomar en cuenta de la carga aplicada en pleno sol, en Heredia, Costa Rica.....	38
Cuadro 15. Valores promedio de la asimilación foliar neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para la interacción de los tratamientos carga y bandola descortezada o no descortezada según el nivel de RAFA, en Heredia Costa Rica.....	39
Cuadro 16. Valores promedio de la asimilación foliar neta ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de café para la interacción tratamiento de bandola – carga frutal – periodo del día para una RAFA de 300 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en Heredia Costa Rica.	40
Cuadro 17. Valores promedio de la asimilación foliar neta ($\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de café para la interacción tratamiento de bandola – carga frutal – periodo del día para una RAFA de 900 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en Heredia Costa Rica.	40
Cuadro 18. Valores promedio de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) por gramo de fruto de café según la carga en función de la RAFA ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en Heredia, Costa Rica.....	41
Cuadro 19. Valores promedio de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) por gramo de fruto fresco de café en función del tratamiento de la bandola y de la RAFA ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en Heredia, Costa Rica.....	41
Cuadro 20. Valores Promedio de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) por gramo de fruto fresco de café en función del tratamiento de la bandola y de la RAFA ($\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en Heredia, Costa Rica.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagramas de precipitaciones promedio anuales (1a) y 8 meses de 2002 (1b) en la Finca Verde Vigor Perez Zeledón Costa Rica.....	10
Figura 2. Esquema del Ensayo de la Finca de Verde Vigor Perez Zelodon Costa Rica. (E: <i>E. deglupta</i> , T: <i>T. ivorensis</i> , P: <i>E. poeppigiana</i>) (Fuente modificada de Aguilar 2000).....	12
Figura 3. Área de influencia de un árbol de sombra en la parcela útil y distribución de las plantas de café alrededor del árbol en el sitio experimental de la Finca Verde Vigor en Pérez Zeledón, Costa Rica. Cada triángulo representa un cafeto numerados de 1 a 18.	13
Figura 4. Valores de radiación fotosintéticamente activa promedio en μmol quanta $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, bajo Eucalipto, Poró, Terminalia y Pleno sol en Pérez Zeledón, Costa Rica.....	19
Figura 5. Evolución del peso de cerezas de café plantados según el árbol de sombra asociado [Eucalipto (E), Terminalia (T), Poro (P)] en comparación con el pleno sol (S), en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.....	26
Figura 6. Dibujo de la selección y de la repartición de tratamientos (carga y bandolas Descortezada (D) y No Descortezada (ND) sobre una planta de café en la Finca de CICAFFE, Heredia Costa Rica.....	34
Figura 7. Evolución de la asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}$ fruto fresco s^{-1}) en frutos de café sobre bandolas descortezadas (D/ND) en función de la RAFA, sin tomar en cuenta la carga frutal, Heredia Costa Rica.....	43

Angrand, JC. 2002. Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* L. en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia, Costa Rica. 56p.

RESUMEN

Palabras claves: Café, sistemas agroforestales, RAFA, crecimiento, carga, asimilación neta.

La primera parte de esta investigación se realizó en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica y constituyó en la evaluación del crecimiento vegetativo, la floración, la fructificación de *Coffea arabica* var. Costa Rica 95 en cuatro diferentes sistemas de cultivo: tres sistemas agroforestales y un Pleno Sol. Los tres sistemas agroforestales (SAF) fueron plantados con *Eucalyptus deglupta* Blume (Eucalipto), *Terminalia ivorensis* A. Chev (Terminalia), *Erythrina poeppigiana* Walp. O. F. Cook (Poró). El objetivo principal de esta investigación fue de contribuir a un mejor entendimiento del comportamiento vegetativo y reproductivo del café en estos SAF en comparación a su cultivo en Pleno Sol.

El desarrollo vegetativo del café fue mayor bajo los SAF comparando con Pleno Sol. Dentro de estos sistemas, los mejores resultados agronómicos para el cultivo de café se observaron bajo Terminalia seguido por Eucalipto debido a mejores condiciones micro climáticas y mas específicamente una disminución de la RAFA disponible (55 - 70 %) en comparación con el Poró y el Pleno Sol.

La floración se adelantó en Pleno Sol y igualmente en las bandolas mas expuestas a la RAFA en los SAF. El numero de flores por nudo productivo fue significativamente superior en Pleno Sol mientras que, el numero de frutos por nudo productivo fue superior bajo *E. deglupta* seguido respectivamente por *T. ivorensis* y por *E. poeppigiana*. Este resultado se explica por las tasas de caída de frutos que fueron superiores en Pleno Sol (35.7%) en comparación con aquellas bajo Eucalipto, Terminalia, Poró (14.8% , 15.5% y 28% respectivamente).

No hubo una tendencia bien definida del efecto de la distancia del cafeto respecto al árbol sobre el desarrollo vegetativo, la floración y la fructificación del café en los SAF.

Los efectos mas relevantes de la posición de la bandola en la copa del café fueron un mayor crecimiento de la parte no lignificada de la bandola y un numero mayor de frutos por nudo productivo a medida que se acerca del ápice del cafeto.

En la segunda parte de la presente investigación, los efectos de la carga y del aislamiento (descortezada) de la bandola sobre el crecimiento vegetativo, la fructificación, la fotosíntesis de

hojas y frutos de café en pleno sol fueron evaluados en el Centro de Investigación del Instituto de Café de Costa Rica (CICAFE) en Barva de Heredia, Costa Rica. El objetivo principal fue de investigar como los tratamientos principales (carga fructífera y aislamiento de bandola) influyen sobre el desarrollo vegetativo, la fotosíntesis de hojas y de frutos. Además, el segundo objetivo fue de evaluar la contribución de los frutos a su propio suministro en carbohidratos.

La carga no hubo influencia sobre el desarrollo vegetativo durante el experimento, debido posiblemente a mediciones tempranas después de la floración (5 meses) y el efecto de las demás partes de la planta. No obstante lo anterior, la asimilación foliar neta aumenta con la carga independientemente del nivel de RAFA aplicada; lo que pone en evidencia el efecto de la demanda en carbohidratos de los frutos estimulando por así la fotosíntesis foliar.

Con el aislamiento de la bandola, el área foliar disminuyó en comparación de aquellas de las bandolas no descortezadas. También, la asimilación foliar neta fue menor en bandolas descortezadas ($3.2 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en comparación con bandolas no descortezadas ($4.73 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$). A un nivel de RAFA de $300 \mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y con carga nula, las bandolas no descortezadas alcanzaron una fotosíntesis foliar superior en comparación con la bandola aislada con valores de $4.49 \mu\text{mol}$ y $1.70 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente. Eso significa que hubo un efecto fuerte de la demanda de carbohidratos de otras partes de la planta que estimula la fotosíntesis foliar cuando la bandola puede exportar su exceso de asimilación neta.

Para el nivel de RAFA $300 \mu\text{mol de quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$, independientemente de la carga frutal y del tratamiento de la bandola, la asimilación foliar neta fue superior ($4.6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en el primer periodo de medición (7:00 – 9:00 horas) en comparación con el segundo periodo (11:00 – 13:00 horas) y el tercer periodo (13:00 – 15:00 horas) donde alcanzaron valores de 3.71 y $3.63 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Se llevó a cabo la medición de la fotosíntesis sobre frutos verdes de café directamente atados sobre la planta. Los frutos fotosintetizan más a un nivel de RAFA superior a $300 \mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ con asimilación neta menos negativa para este nivel de radiación en comparación con niveles más bajo. El aislamiento de la bandola influyó sobre la fotosíntesis de los frutos con una asimilación neta menos negativa a nivel de las bandolas descortezadas.

Entonces, se puede concluir que la fotosíntesis de frutos juega un papel importante en su propio suministro de carbohidratos. No obstante más estudios son necesarios para un mejor entendimiento de este fenómeno.

Angrand, JC. 2002. Flowering, vegetative growth and photosynthesis of *Coffea arabica* L. in different culture systems in Perez Zeledón y Heredia, Costa Rica. 56p.

SUMMARY

Key words: Coffee, Agroforestry Systems, PAR, growing, productive variables, load, ring barking, net assimilation.

The first part of this research was carried out on the Verde Vigor Farm, Perez Zeledón, Costa Rica, Vegetative growth, flowering and fruit development of coffee were evaluated in three agroforestry systems in comparison to full sun. These Agroforestry systems (AF) were established with *Eucalyptus deglupta* Blume, *Terminalia ivorensis* and *Erythrina poeppigiana*, respectively. "The main objective of this research was to contribute to a better understanding of the vegetative and reproductive behaviors of *Coffea arabica* in these different systems.

Vegetative growth was superior in the AF systems than in Full Sun. The best performance was under *Terminalia* followed by *Eucalyptus* because of a better microclimatic buffering and specially a lower photosynthetic active radiation (55 to 70 % of full sun, respectively).

Flower number by productive nod was superior in Full Sun in comparison to the three AF systems. " On the other hand, fruit number by productive nod was superior under *E. deglupta*, followed by *T. ivorensis*, and then *E. poeppigiana* than under Full Sun. This is due to a higher rate of fruit drop in Full Sun (35.7 %) compared to that under *E. deglupta*, *T. ivorensis*, and *E. poeppigiana* (14.8 %, 15.5 % and 28.4 %, respectively).

" Distance to the shade tree had no significant effect regarding with vegetative growth, flower and fruit number by productive nod, and fruit weight. "

The main effects of the position of branches in the coffee canopy were a superior growth of younger branch part and a higher fruit number by nod closer to the coffee tree top.

" In the second part of the present investigation, the effects of coffee fruit load and branch ring-barking were evaluated on CICAFFE research farm, in Barva de Heredia, Costa Rica. The main objective of this research was to evaluate how the main treatments (coffee fruit load and ring-barking) influenced vegetative growth as well as leaf and fruit photosynthesis. Moreover, a second objective was to evaluate the contribution of fruit assimilation to its own carbohydrate demand. "

The fruit load did not have any significant effect on vegetative growth, possibly due to the fact that measurements were performed early in the productive cycle, *i.e* only five month after coffee flowering and due to the influence of the other parts of the coffee tree. Nevertheless, leaf net

assimilation increased with fruit load independently of the PAR level applied. This demonstrated that fruit demand stimulated leaf photosynthesis.

The leaf area of branches with ring-barking was lower than without ring-barking. The net leaf assimilation was lower on isolated branches ($3.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) in comparison with non-isolated branch ($4.73 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$). For a PAR of $300 \mu\text{mol quantum m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and without fruit load, the non-isolated branches achieved a level of photosynthesis higher than isolated branches ($1.70 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ versus $4.49 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$). This shows that there was a strong effect of carbohydrate demand from other parts of the coffee tree that stimulating the photosynthesis of the branches when they could export their excess product of assimilation.

For a PAR of $300 \mu\text{mol quantum m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and irrespective of the fruit load, leaf net assimilation was significantly higher in the morning (7:00 – 9:00 AM) with a value of $4.6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in comparison with later periods during the day 11:00 -13:00 and 15:00-17:00 with values of 3.71 and $3.63 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively.

Fruit photosynthesis was carried out directly on attached green fruit. Fruit photosynthesis was higher for a PAR level above $300 \mu\text{mol quantum m}^{-2}\text{s}^{-1}$ with a net assimilation less negative in comparison with lower PAR levels. Ring-barking had a significant effect on the fruit photosynthesis as the net assimilation was less negative on the ring-barking branches than on the non-isolated branches.

Therefore, it can be concluded that fruit photosynthesis plays an important role in its own supply of carbohydrates. Nevertheless, more studies are worth undertaking to improve our understanding of these processes.

CAPITULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El ciclo de vida de una planta perenne esta determinado por periodos sucesivos de desarrollo vegetativo y reproductivo, el café (*Coffea arabica* L.) no hace excepción a esta regla. Especie natural del sotobosque de las montañas africanas (Maestri y Barros 1977, Irigóyen 1994), su cultivo se practica en la actualidad en diferentes ámbitos al nivel mundial. Varios estudios demuestran que la tasa de crecimiento y la floración varían estacionalmente de acuerdo con los cambios en las precipitaciones, la temperatura y la duración del día (Portères 1946, Wormer 1965, Cannell 1975, Maestri y Barros 1977).

Las variedades tradicionales fueron cultivadas bajo sombra sin embargo, varios estudios han demostrado que en pleno sol el café produce más (Alvim 1958, Castillo y López, 1966), pero con mayor demanda de insumos y variación en las calidades comerciales de los granos. Este tipo de producción es menos sostenible a largo plazo tomando en cuenta la tendencia del bajo precio internacional del café, el aumento día en día de los costos de producción y el impacto negativo sobre el medio ambiente de los productos químicos utilizados (Sylvain 1981, Muschler 1997, Lyngbæk *et al.* 1999).

Los sistemas agroforestales más que nunca se presentan como parte de la solución a la crisis actual del café. Además de modificar positivamente el micro ambiente del cultivo y enriquecer el suelo en materia orgánica y nutrimentos (Russo 1983, Beer 1988, Beer *et al.* 1998, Vaast y Snoeck 1999) esos sistemas pueden reducir los costos de producción. También, los árboles a través de sus diferentes productos proveen ingresos adicionales a la finca (Espinoza 1983, Herzog 1994, Beer 1995, Llanderal y Somarriba 1999). Sin embargo, hay que reconocer que en el caso de aplicar un mal diseño y un mal manejo, los árboles en los sistemas agroforestales son fuentes de competencia para el café debido a su uso de nutrientes, agua y radiación fotosintéticamente activa (RAFA) (Boyer 1968, Castañeda, 1981, Beer 1987a, Beer *et al.* 1998, Somarriba 1999, Viera *et al.* 1999). Sin embargo, bajo una sombra bien regulada, hay mejor manejo de ciertos tipos de plagas, la producción del café puede ser más estable y prolongar la vida útil de los cafetos (Cannell 1974, ICAFE 1994, Herzog 1994, Fernández y Muschler 1999, Muschler 2001, Staver *et al.* 2001).

Las diferentes etapas fenológicas del café son definitivamente influenciadas por su ámbito cultural (Russo y Budowski 1980, Barradas y Fanjul 1986). El café, por su ciclo de desarrollo relativamente corto, es un buen modelo de estudio de comportamiento vegetativo y reproductivo de

las plantas perennes. Muchos estudios relevantes han sido dedicados sobre las ventajas y desventajas de la introducción de árboles en cafetales (Beer 1987a, Somarriba 1999, Viera 1999) y de los aspectos de fotosíntesis de hojas y de fructificación del café (Cannell 1970, 1971b, 1974, Estivariz 1997, Muschler 1998, Siles 2002). Este trabajo se enfocó más sobre los aspectos de desarrollo vegetativo, floración, fotosíntesis de hojas y frutos del café.

El trabajo se dividió en dos ensayos, el primero analizó los aspectos de crecimiento vegetativo, floración y desarrollo de frutos bajo tres sistemas agroforestales sembrados con Eucalipto (*Eucalyptus deglupta*), Terminalia (*Terminalia ivorensis*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) en condiciones sub-óptimas de Pérez Zeledón y el segundo ensayo presentó los aspectos fotosíntesis de hojas y frutos en pleno sol en condiciones óptimas de la valle central en Heredia, Costa Rica.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Contribuir al conocimiento del comportamiento vegetativo y reproductivo del café bajo diferentes tipos de sombra.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Estimar la influencia de diferentes especies de árboles en comparación con el pleno sol) en términos de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) disponible y ocupación de espacio.
- Comparar las variables de respuesta del café (crecimiento, intensidad de la floración, número y peso de frutos) a distintos árboles de sombra (Eucalipto, Terminalia, Poró) y un testigo en pleno sol.
- Evaluar el efecto de la distancia de los cafetos a los árboles asociados sobre el desarrollo vegetativo, la intensidad de la floración y la carga de frutos en los diferentes sistemas agroforestales (SAF).
- Comparar el desarrollo de frutos y la dinámica del aumento en peso de ellos en distintos SAF.
- Medir la fotosíntesis en hojas y frutos de café a dos niveles de RAFA determinados y además realizar curvas de respuesta de la fotosíntesis de frutos de café a la RAFA para evaluar su contribución a su propia demanda en términos de carbohidratos.

1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

H_0 = Los árboles de sombra influyen de manera significativa sobre el crecimiento vegetativo, la floración y la carga de frutos de los cafetos.

H_0 = La distancia del cafeto con respecto al árbol de sombra tiene efectos sobre su desarrollo vegetativo y reproductivo así como sobre la dinámica de aumento de peso de los frutos.

H_0 = La carga fructífera estimula la fotosíntesis foliar en café.

H_0 = La fotosíntesis de los frutos juega un papel importante en termino de producción de carbohidratos.

CAPITULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA.

Se han dedicado muchas investigaciones al café, su ámbito de cultivo, su fisiología, su producción y las diferentes interacciones del café con árboles de sombra. En esta revisión de literatura se trata de subrayar los estudios mas relevantes de acuerdo al objetivo de la presente investigación.

2.1. IMPORTANCIA DE LOS ÁRBOLES EN CAFETALES

Los sistemas agroforestales se caracterizan por presentar una gran diversidad de interacciones tanto entre sus componentes bióticos (plantas, organismos y microorganismos presentes), como entre estos y su medio ambiente (luz, temperatura, aire, precipitación, viento y suelo) (Fournier 1981, Fassbender 1987). El uso de los árboles en cafetales es un tema que involucra consideraciones tanto agronómicas o biológicas como socio-económicas (Alvim 1958, Alpizar *et al.* 1985, Beer 1987a, 1987b, Somarriba 1990, Herzog 1994, Fernández y Muschler 1999, Tavares *et al.* 1999, Viera *et al.* 1999, Schibli 2000). La sombra tiene un efecto de amortiguamiento de los extremos climáticos reduciendo la radiación solar que llega al café así que la temperatura (Montoya *et al.* 1961, Barradas y Fanjul 1986)

En tal sentido, la sombra tiene un efecto directo sobre la actividad fotosintética del cafeto, la intensidad de la floración y el desarrollo de los frutos (Muschler 1998). Bajo sombra existe un mejor aprovechamiento de la luz solar y una disminución de los disturbios fisiológicos del café (Boyer 1968, Alvim 1973, Huxley 1975, Kumar y Tieszen 1980, Estivariz 1997, Beer *et al.* 1998, Muschler 2001). La sombra permite al cafeto mantener una demanda baja de nutrimentos del suelo y por eso favoreciendo su cultivo en suelos de baja fertilidad, lo que implica una reducción de sus costos de producción (Muschler 1999). Bien manejado los árboles permiten de controlar las malezas dañinas (muchas son gramíneas) y proteger el suelo del cafetal debido a la cantidad de hojarasca que provee al sistema (Nestel y Altieri 1992, Staver 1999). El uso de diferentes especies (a hojas perennes y caducas) al nivel de un cafetal puede ayudar a evitar cambios bruscos debido a defoliación repentina y mantener un nivel deseable de sombra entre 35 a 60%, para el manejo de plagas en el cultivo (Staver *et al.* 2001). A parte de estas ventajas, los árboles pueden ser fuentes de competencias por agua, radiación solar y nutrientes para el cafeto (Beer 1987a, Morales y Beer 1998)

2.2. EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CAFÉ

El desarrollo vegetativo del café varía estacionalmente de acuerdo con los cambios en las precipitaciones, la temperatura y la duración del día (Cannell 1972, 1975). Wormer (1965) observó en Kenia que el periodo de desarrollo de las bandolas sigue de cerca las normas climáticas o sea que hay dos periodos de crecimiento vigoroso que coinciden con los periodos lluviosos (marzo-abril, octubre-noviembre) siendo el crecimiento mas lento en los periodos secos (Enero-marzo, julio-agosto). También Cannell (1971c) encontró que el índice de área foliar se duplica al inicio de la gran estación lluviosa en Kenia, durante este periodo mas de 60% del total neto de los carbohidratos producidos fue invertido en la producción y el desarrollo de hojas nuevas. El crecimiento de las ramas fue mas lento en la estación seca y fría y cuando los días son cortos. Durante la estación seca y caliente Cannell (1971b) reportó que el crecimiento de las raíces es mas rápido que aquello de las nuevas bandolas, lo que es lógico debido a que las raíces se desarrollan mas durante dicho periodo para proveer agua y nutrientes a la planta. También Maestri y Barros (1977) citan trabajos de Franco e Inforzato (1950) donde se obtuvo una reducción de mas de 60% del área foliar del café durante un periodo de sequía. El tallo y los raíces constituyeron relativamente fuentes de almacenamientos de materia seca durante la estación seca (Cannell 1971a). Según Maestri y Barros (1974) el periodo de mayor crecimiento de las raíces corresponde al periodo caliente y seco donde hay menor crecimiento de las ramas laterales del café. Hay que señalar según estudios realizados por Suárez de Castro (1953) mas de 52% de los raíces absorbentes del café se encuentran en los 10 primeros centímetros del suelo, hasta una profundidad de 50 centímetros se encuentra el 96.27% de los raíces absorbentes de los cafetos. Morales y Beer (1998) encontraron una distribución Horizontal y vertical casi similar de las raíces finas de café y de eucalipto lo que puede influir sobre el uso de nutrientes por ambas especies.

En regiones donde no se presentan periodos de déficit hídrico en el suelo, el crecimiento del café esta estrechamente relacionado con la disponibilidad de la radiación fotosintéticamente activa (Cannell 1975). Jaramillo y Valencia (1980), compilando informaciones sobre los elementos climáticos y el desarrollo de *C. Arabica*, reportaron que bajo las condiciones climáticas de Turrialba (Costa Rica) el mínimo crecimiento ocurrió cuando las temperaturas fueron bajas y los días cortos. En Colombia, el café crece todo el año con dos épocas de intenso crecimiento (marzo-abril y septiembre – octubre) las cuales coinciden con las épocas de floración. Estos investigadores determinaron una relación directa entre las sumas de temperaturas medias horarias y el crecimiento máximo y mínimo. El crecimiento de las plantas adultas de café fue mejor bajo sombra (Guiscafre-

Arrillaga et al.(1942) citado por Alvim 1958). Cabe señalar que según estudios reportados por Maestri y Barros (1977), el área foliar específico aumenta linealmente con la sombra (hasta 75 % de sombra), pero el número de hojas disminuye bajo estas condiciones. En este mismo estudio la máxima área foliar total por planta se obtuvo bajo 50% de sombra.

2.3. LA FOTOSÍNTESIS DEL CAFÉ.

Muchos factores influyen en la fotosíntesis del café: intensidad luminosa, temperatura, disponibilidad de agua, concentración de CO₂ en la atmósfera, nutrientes así como la edad de la hoja y el genotipo de la planta (Alvim 1958, Salisbury y Ross 1994). La capacidad fotosintética del café, y por lo tanto su potencial productiva, depende mucho de su área foliar total y su tasa neta fotosintética por unidad de superficie fotosintéticamente activa (Cannell 1971b). La tasa fotosintética neta máxima registrada por hojas de café en producción se encontró entre 7 μmol de CO₂ m⁻²s⁻¹ y un máximo de 14 μmol de CO₂ m⁻²s⁻¹ (Cannell 1985). A una temperatura del aire superior a 26°C y alta radiación luminosa, se observó una caída en la tasa fotosintética (Cannell 1971b, Kumar y Tieszen, 1976, 1980). En pleno sol, es común encontrar temperaturas superiores a 30°C al nivel de las hojas de café completamente expuestas (Cannell 1971b, Siles 2002). Siles (2002) reportó una asimilación neta más importante durante las primeras horas de la mañana. Castillo y López (1966) explican el mejor rendimiento observado en pleno sol por diferentes autores, proponiendo que, en esta condición particular, el café sembrado a alta densidad, debido a su sombra mutua provee un ambiente más favorable reduciendo tanto las intensidades luminosas incidentes como la temperatura de mayoría de las hojas.

Cannell (1970) observó que la presencia de frutos estimula la fotosíntesis total lo que implica un aumento substancial de materia seca fijada por las ramas productivas en cafetos de tres años. Este investigador indicó que el aumento de materia seca fijado en las ramas con frutos fue de 20 % más alta que aquellas sin frutos. La materia seca extra producida directamente o indirectamente por los frutos fue igual o cerca de la mitad del incremento en peso seco de esos frutos. Así una alta carga de frutos puede inducir un aumento de la fotosíntesis neta de la planta.

También Cannell (1974) ha demostrado de manera indirecta que las áreas verdes de los frutos contribuyen a la fijación de carbono y su propio incremento en materia seca. Sin embargo la tasa de fotosíntesis de frutos de café no ha sido evaluada directamente.

2.4. FACTORES QUE INFLUENCIAN LA FLORACIÓN EN EL CULTIVO DE CAFÉ

Según estudios reportados por Maestri y Barros (1977) la floración llega justo antes o simultáneamente con los periodos de máxima crecimiento de las ramas laterales en muchas regiones. Sin embargo, el efecto de la floración y de la carga de frutos sobre el crecimiento vegetativo no ha sido adecuadamente estudiado. La sequía inhibe el desarrollo de la floración, en cualquier estado de diferenciación o de evolución del crecimiento de los botones florales (Portéres 1946). Jaramillo y Valencia (1980) estableciendo una correlación lineal significativa entre el brillo solar y la evaporación sobre el número de yemas florales en las ramas plagiogeotrópicas. Según Boyer (1969) y Alvim (1973) la longitud del día y la distribución de las lluvias son los principales factores externos que controlan la floración del café. Valencia y Jaramillo (1980) reportaron que la diferenciación de las yemas es inducida por días cortos (fotoperiodismo) mientras que la floración es asociada con el inicio de las lluvias (hidroperiodismo) después de un periodo seco o a la transición de un periodo seco a un periodo húmedo. Sin embargo, la floración puede presentarse todo el año en regiones donde no existen estaciones secas y húmedas definidas (Cannell 1971c).

La exposición solar del cafetal juega un papel importante sobre la intensidad de la floración. En un ensayo en Chinchiná, Colombia, Castillo y López (1966) encontraron en cafetos de 18 meses que a diferentes intensidades de luz (25, 50, 75 y 100% de la RAFA), la floración del café aumentó con la intensidad de luz. En condiciones favorables de crecimiento, generalmente se registra un promedio de tres o cuatro inflorescencias por nudo productivo, cada una con un promedio de cuatro botones florales (Mes 1957, citado por Alvim 1973). El número de flores promedio por nudo registrado en café en las condiciones de Turrialba fue de 18 con un promedio de 13.6 frutos desarrollados por nudo (Srinivasan 1972).

Bajo sombra heterogénea de poro, Estivariz (1997) encontró más de 60 flores por bandola de cafetos de 3 años después de una resepa con un número inferior bajo sombra homogénea, mientras que el número de frutos por bandola (más de 35) fue superior bajo sombra homogénea pero, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

2.5. DESARROLLO Y TAMAÑO DE LOS FRUTOS DE CAFÉ.

Para su desarrollo, los frutos de café necesitan carbohidratos producidos por las hojas de las bandolas productivas y también de su propia fotosíntesis (Cannell 1970). Otras fuentes de carbohidratos son las bandolas no productivas y las reservas en el café. Para *C. arabica*,

Cannell (1971c) encontró que variedades como SL 28, SL 34 pueden retener más de 8000 frutos por planta, los que consumen más que el 72 % de la producción total de carbohidratos netos de la planta y representan 36 % de la materia seca total de la planta. El mismo autor indicó que lo anterior tiene como consecuencia que las bandolas y raíces se desarrollan lentamente, varias mueran y los cafetos carguen menos frutos en el siguiente año. Por consiguiente, los factores que afectan la producción o la demanda de carbohidratos tienen efectos importantes sobre el desarrollo y el tamaño de los frutos. Cannell (1971a) cortó un anillo de 2 cm de largo en la corteza (ring-barking) a los extremos de las bandolas con o sin frutos y observó que los frutos en crecimiento rápido en las ramas no-aisladas acumularon entre 60 a 90% del incremento de la materia seca de las ramas, mientras el desarrollo de la parte vegetativa de las ramas sin frutas fue casi tres veces más grande que lo de las ramas con frutas. Las ramas no-aisladas con frutos y hojas acumularon 40% más materia seca que las ramas no aisladas sin frutos, sin embargo el área foliar de ramas con frutos fue más pequeña (Cannell 1971c). Este experimento demostró la competencia por carbohidratos entre los frutos y la parte vegetativa de la rama en desarrollo. También eso demostró que una restricción de carbohidratos afecta el desarrollo de los frutos, de la parte vegetativa y puede provocar defectos en los frutos. Kumar y Tieszen (1980) en Kenya, comparando plantaciones de café de 15 meses en pleno sol y bajo sombra artificial, encontraron que una disminución de la área foliar de 9 a 4 m² por árbol aumentó la proporción de frutos de gran tamaño de 52 a 60 %, mientras que la producción decreció alrededor de 20 %. Estos investigadores observaron también, que una sombra natural alrededor de 30% incrementó la proporción de grano de gran tamaño de 49% a 58%, mientras que la producción decreció alrededor de 15 % comparado con un tratamiento a pleno sol. Hernández (1995), por su parte, encontró que el porcentaje de grano vano de *C. arabica* fue mayor a plena exposición solar (3.5%) que bajo sombra (2.5%) y que el rendimiento en termino de conversión de grano cereza a grano oro fue mayor bajo sombra que a pleno sol. Sin embargo, este investigador no encontró ninguna diferencias o una tendencia definida en el tamaño de cereza y grano oro entre sol y sombra. Cabe señalar que, según Aguilar (2000), en sistemas agroforestales de café asociadas con *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* el número de frutos disminuyó entre 15 y 22% respectivamente, comparados con café en pleno sol pero sin medir el porcentaje de defectos y el peso de los frutos.

La sombra provoca un desarrollo más lento de los frutos y por ende una maduración más tardía (Guyot *et al.* 1996). Además, la sombra bien manejada permite la obtención de frutos de buen tamaño y de categoría de exportación, cuyas condiciones de sanidad en lo que se refiere a daños por sol son mejores (Muschler, 1999, 2001). Según las observaciones de Wormer (1965) en Kenia

el gran periodo de crecimiento de frutos de café se presenta desde la séptima a la decimoséptima semana después de la floración, el endospermo alcanza el peso seco definitivo aproximadamente 30 semanas después de la floración y el fruto madura unas cinco semanas mas tarde.

Según Canell (1971c) el tamaño final de los frutos depende en gran parte de la incidencia de lluvias 4-6 meses antes de la cosecha (10-17 semanas después de la floración) periodo que corresponde al estado de rápida expansión del fruto. También, en un ensayo conducido en sectores con diferentes elevaciones y regímenes pluviales en Hawai, Cavalleto *et al* (1991) encontraron que el tamaño de los frutos fue relacionado más con las lluvias que con las elevaciones. Cannell (1975) reportó que mientras que el fruto se desarrollo Vaast *et al.* (2002) en un estudio en Heredia, Costa Rica han demostrado que el estrés hídrico, la carga de frutos, el área foliar por frutos y la sombra influyen fuertemente el tamaño de los frutos a través de sus efectos sobre la producción de carbohidratos y su distribución dentro de la planta

2.6. METODOLOGIA DE MUESTREO

Lo importante en todo tipo de investigación es de tener una muestra representativa (Scheaffer *et al.* 1986). En sistemas agroforestales con café, Chaves *et al.* (1992) estimaron que 19 cafetos con cinco distancias o seis cafetos y nueve repeticiones con un margen de error de 20 % pueden ser representativos para este cultivo. Pérez (1962) propone tamaños óptimos de muestra de 10 a 12 plantas, cuando hay limitaciones para el numero de repeticiones, y 4 a 6 plantas si no hay limitaciones para un mayor numero de repeticiones. En cuanto a la selección de bandolas para estudiar el crecimiento y la producción, Aguilar (2000) ha sugerido un tamaño de muestra de cinco bandolas por planta seleccionada en forma sistemática y considerando como punto de inicio el nudo seis dentro de las plantas. Cannell (1970, 1971a) utilizó como tratamientos, en los que aisló las ramas cortando la corteza y dejando respectivamente, un nudo de la bandola con dos ramas laterales de seis hojas cada uno con seis frutos y las comparó con ramas frutales no aisladas para estimar la contribución de los carbohidratos de las ramas laterales al crecimiento de los frutos de café. Estas metodologías muestran como cada tipo de muestreo y/o tratamiento es específico en función de la variable en estudio.

CAPITULO 3

3. MATERIALES Y METODOS

Comportamiento vegetativo y reproductivo de *Coffea arabica* en tres sistemas agroforestales comparado con pleno sol en Pérez Zeledón, Costa Rica.

3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sitio experimental se localizó en la Finca “ Verde Vigor S A. “, que abarca 770 ha y se ubica 30 km al sur de la Ciudad de San Isidoro del General (Anexo A), en el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica. El sitio se ubica a una altitud de 640 msnm, 9° 15' a 9° 16' N y de 83° 30' y 83° 29' O, bajo un clima tropical húmedo (Amw, según la clasificación de Copen) y es parte a una zona de vida de bosque pluvial de Montano bajo (Holdridge 1996). La precipitación promedio anual de la zona es 3853 mm (Figura 1) (Tavares et al. 1999). La estación húmeda empieza al inicio de mayo y se extiende hasta el fin de diciembre mientras que la estación seca se extiende entre los meses de diciembre y marzo (Figura 1b). La temperatura promedio anual es de 25,7° C.

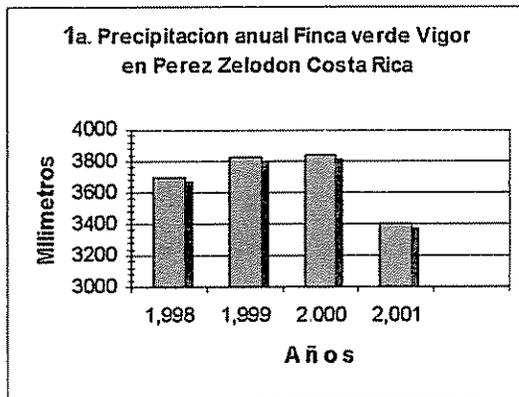


Figura 1a . precipitación promedio anual en la Finca Verde Vigor Perez Zelodon Costa Rica

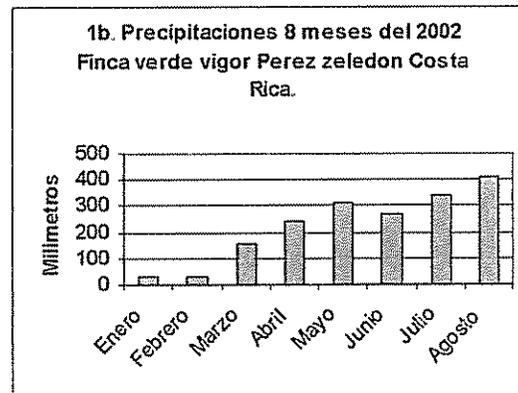


Figura 1b. Precipitación promedio de 8 meses del 2002 en la Finca Verde Vigor Perez Zelodon Costa Rica

Figura 1. Diagramas de precipitaciones promedio anuales (1a) y 8 meses de 2002 (1b) en la Finca Verde Vigor Perez Zeledón Costa Rica.

Los suelos son clasificados como Ustic Palehumults según los datos de análisis típicos de suelos de la zona reportados por diferentes autores (Alvarado 2001, Mata y Ramírez 2002) basando sobre la clasificación de USDA (1990) y presentan pendientes que oscilan entre 0 y 33%. La vegetación

predominante esta constituida por plantaciones de café en asociación con Eucalipto, Terminalia o Poró. El manejo agronómico es intensivo incluyendo aplicaciones de alrededor de 200 kg ha⁻¹ de N; 6.6 kg ha⁻¹ de P (fuente P₂O₅); 91.3 kg ha⁻¹ de K (fuente K₂O); 42 kg ha⁻¹ de Mg (fuente Mg O); 1.5 kg ha⁻¹ de B (fuente B₂O₃); 50 kg ha⁻¹ de S y 42.6 kg ha⁻¹ de Ca (fuente CaO). Se realizó practicas de manejo de plagas uso regular de herbicidas (Paraquat, Roundup) y de enfermedades foliares de manera intensiva

3.2. ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE MUESTREO.

El área de estudio se instaló en un ensayo constituido de tres sistemas agroforestales (SAF) de *C. arábica* L. cv Costa Rica 95 asociado respectivamente con Eucalipto (*Eucalyptus deglupta* Blume), Poró (*Erythrina poeppigiana* Walp. O. F. Cook), Terminalia (*Terminalia ivorensis* A. Chev) que fue establecido entre mayo y julio de 1998. Además se incluyó café en Pleno Sol, tratamiento obtenido con la emoción de los árboles de Eucalipto en febrero 2000. Estos tratamientos fueron repetidos al azar en cuatro bloques (Figura 2). El café fue plantado a 2.0 m entre hileras y 1.0 m sobre hileras, vale decir una densidad de 5000 cafetos por hectárea. Los árboles maderables fueron plantados dentro de las hileras del café a una distancia de 6 x 6 m y el Poró a una distancia de 8 x 8 m.

Una observación del estado general del ensayo y del vigor de los cafetos permitió de considerar solo los bloques 1, 2 y 4 ya que el bloque 3 presentaba muchas fallas y cafetos de muy bajo vigor por problema del sitio.

El esquema experimental fue de bloque irrestricto al azar con cuatro tratamientos (tres SAF con respectivamente sombra de *E. deglupta* y *T. ivorensis*, *E. poeppigiana* y uno en Pleno Sol) y tres repeticiones. En los tratamientos con maderables, las parcelas tuvieron 576 cafetos y 32 maderables, distribuidas en 48 hileras de café con 12 cafetos y cuatro hileras de árboles en un área de 1152 m². La parcela útil se conformara de 216 cafetos distribuidos en 6 hileras de 36 cafetos y la presencia de 12 árboles maderables distribuidos en dos hileras de seis árboles por fila, el tratamiento con *E. poeppigiana* tendrá 6 árboles. El área de la parcela útil fue de 432 m² o sea 5184 m² sobre un área experimental total de 13 824 m².

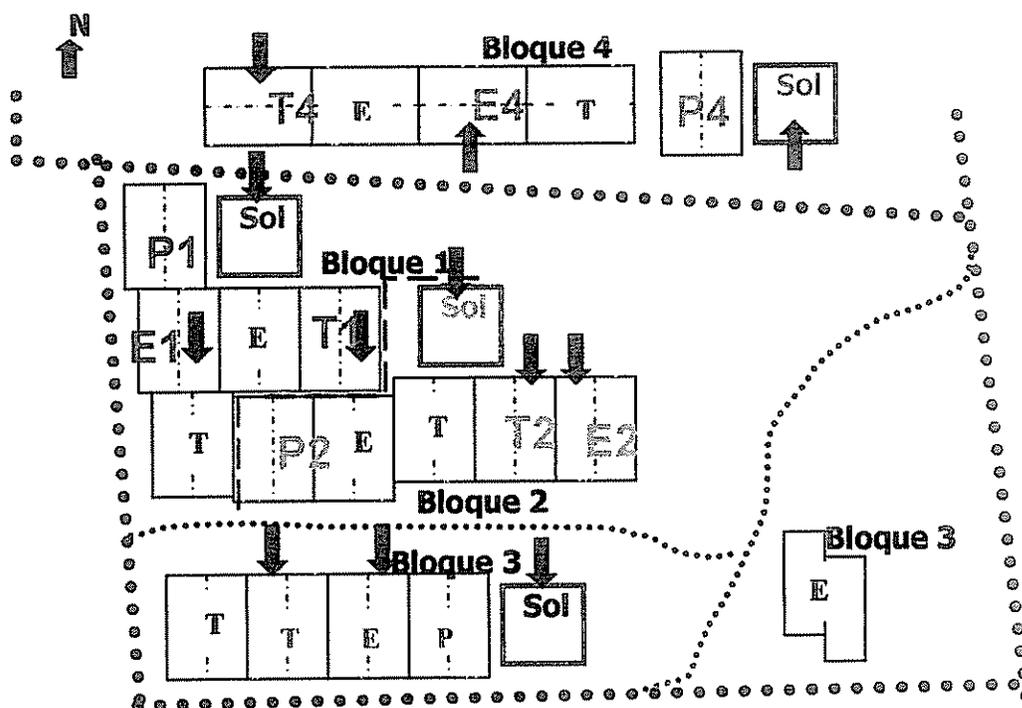
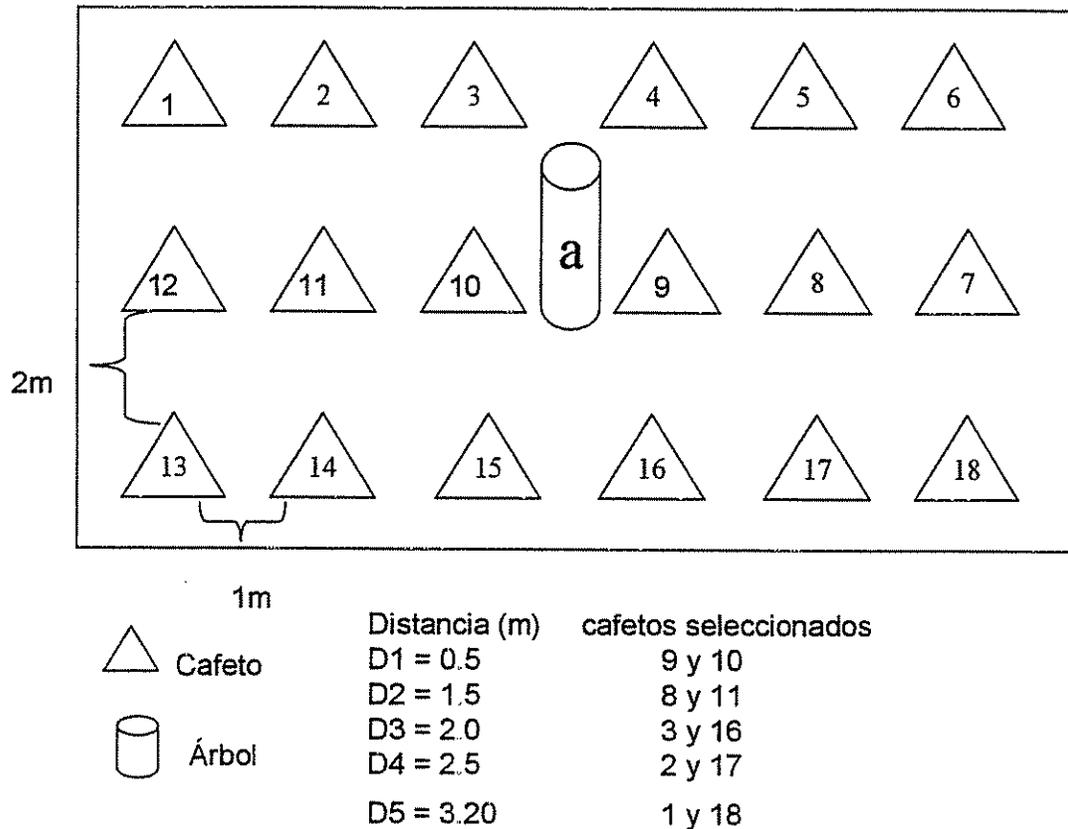


Figura 2. Esquema del Ensayo de la Finca de Verde Vigor Perez Zelodon Costa Rica. (E: *E. deglupta*, T: *T. ivorensis*, P: *E. poeppigiana*) (Fuente modificada de Aguilar 2000).

Las mediciones se realizaron sobre 20 cafetos distribuidos de manera sistemática alrededor de dos árboles en cada tratamiento en los SAF (Figura 3). De acuerdo a este arreglo, cada árbol tuvo bajo su influencia 18 cafetos que fueron enumerados de 1 a 18. Partiendo del árbol se escogió los cafetos en cinco distancias. Se decidió concentrar las mediciones en las plantas 9 y 10 para la distancia D1 (0.5 m), 8 y 11 para la distancia D2 (1.5 m), 3 y 16 para la distancia D3 (2.08 m), 2 y 17 para la distancia D4 (2,5 m), 1 y 18 para la distancia D5 (3.20 m), vale decir 4 cafetos por distancia, por tratamiento y por bloque o sea 12 cafetos por distancia en los SAF, un total de 180 cafetos a medir en los SAF. Para el tratamiento en pleno sol, la parcela útil tuvo 10 cafetos por parcela por 3 repeticiones o sea un total de 30 cafetos por el tratamiento en pleno sol. Vale decir, un total de 70 plantas por repetición y un gran total de 210 plantas por el experimento.

El manejo agronómico fue el mismo en todo el experimento y es característico de la Finca. Se realizaron aplicaciones de fertilizantes y control de malezas pero no hubo manejo de los maderables en el año del estudio (2002), mientras que *E. poeppigiana* ha sido podado en septiembre.



Fuente: Adaptada de Aguilar, 2000

Figura 3. Área de influencia de un árbol de sombra en la parcela útil y distribución de las plantas de café alrededor del árbol en el sitio experimental de la Finca Verde Vigor en Pérez Zeledón, Costa Rica. Cada triángulo representa un cafeto numerados de 1 a 18.

3.3. ADQUISICION DE DATOS EN EL CAMPO

3.3.1. Caracterización de los árboles de sombra

En la fase inicial del experimento (Enero 2002) se realizó la caracterización de las variables de altura, DAP (diámetro del tallo a la altura del pecho) y proyección de copa al nivel de los árboles en las parcelas útiles, 36 árboles de cada especie maderables y 12 árboles en el caso del *E. poeppigiana* para analizar como pueden influir sobre el micro ambiente de los cafetos. Se utilizó una barra graduada de (15 m) para medir la altura de los árboles y una cinta diamétrica para medir el DAP. Se midió la proyección del largo mayor estimado de la bandola al nivel de los árboles se calculo el diámetro interior y exterior de la copa (D_i y D_{ex}), se sacó el diámetro promedio de los

árboles con respecto a la hilera central de cafetos y después se sacó la proyección de la copa por la

formula siguiente
$$PCA = \frac{\pi \bar{D}^2}{4}$$

Donde PCA es la proyección de la copa del árbol en m².

y \bar{D} es el diámetro promedio de la copa (m).

Esta proyección de la copa dividido por el área teórico, (6m*6m) en el caso de los maderables y (8m*8m) en el caso del poro, entrega el porcentaje de área de influencia de sombra del árbol

3.3.2. Medición de la radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

La RAFA disponible para los cafetos se evaluó durante los meses de febrero (estación seca), mayo (inicio de la lluvia) y septiembre 2002 (pura estación lluviosa). En los SAF, se hizo mediciones entre las hileras de los cafetos bajo influencia de un árbol de la parcela útil (Siles 2002). Luego con un ceptometro (Line Quantum Sensor, LI-COR) un total de 48 mediciones fueron tomadas encima de los cafetos entre 10 y 13 horas con cielo despejado en una sub-unidad de los tratamientos en SAF. Antes y al final de cada medición en los SAF, se midió la radiación en pleno sol. El porcentaje de la radiación total, se calculó bajo los SAF dividiendo la radiación promedio en un sistema por la radiación en pleno sol correspondiente.

3.3.3. Caracterización de las variables de respuestas del café según el tratamiento.

De acuerdo a las metodologías que han sido adoptadas y los resultados encontrados por Portéres (1946), Cannell (1970,1971a y 1971b) y Aguilar (2000), en diferentes ensayos sobre el comportamiento fenológico del café, la metodología siguiente fue aplicado para caracterizar las variables de respuesta del café según la especie de árbol asociada en comparación con el pleno sol. La altura, el DAP, el crecimiento de las ramas, la proyección de la copa, la floración y el desarrollo de los frutos de café en los diferentes sistemas se evaluó durante los meses de enero, mayo y septiembre 2002:

- 1) **Altura del cafeto:** se hicieron las mediciones sobre los 20 cafetos seleccionados en cada parcela de SAF y los 10 cafetos de la parcela en pleno sol. Las mediciones se hicieron con una cinta métrica desde el nivel del suelo a la base del tallo, hasta el punto apical del cafeto
- 2) **Diámetro del tallo:** se midió con un vernier a una altura de 10 cm. En el caso de las plantas que presentaban dos o más tallos, se midieron siempre los dos tallos dominantes para calcular el diámetro equivalente al diámetro basal combinado de ambos tallos

3) **Proyección de copa del café (PTCC en m²):** se tomó como diámetro de copa el promedio entre el diámetro de orientación de la hilera y el diámetro perpendicular a este. Luego se aplicó la siguiente formula de área de círculo:

$$PTCC = \frac{\pi \overline{D}^2}{4}$$

Donde PTCC: Proyección de copa del café en m².

D : Diámetro de copa (m).

4) **Selección de bandolas:** Bandolas fueron seleccionados a 7 niveles dentro de la copa del cafeto, la bandola 1 fue seleccionada en el estrato 8 de la parte alta del cafeto partiendo del punto apical asumiendo como estrato inicial el primer nudo del eje principal del cafeto llevando una o dos bandolas. Esta parte fue considerada por diferentes autores como joven y poco productiva (Portéres 1946, Aguilar 2000). Las bandolas 2, 3, 4, 5, 6, 7 fueron seleccionadas sistemáticamente de cuatro en cuatro nudos en seguida o sea, en el estrato 12, 16, 20, 24, 28, 32 (Anexo B) lo que permite de evaluar la distribución de los variables de crecimiento, de área foliar de floración y de producción de cerezas al nivel de los cafetos bajo estudio. Para estas variables se incluyeran los ejes primarios, secundarios y terceros de cada bandola.

5) **Largo de bandolas:** para esta medición la metodología fue la siguiente, se midió la parte madura (lignificada) de la bandola caracterizada por un color mas oscuro y lignificada desde su unión al eje orthotrópico hasta el inicio de la parte joven caracterizada por una color mas clara. La longitud de la parte joven, no lignificada y no productiva, se midió desde su punto de unión (transición) con la parte madura hasta el ápice de la bandola. Esta metodología se repite en las tres mediciones tratando de evaluar el crecimiento de las bandolas según sus posiciones sobre el cafeto.

6) **Área foliar por bandola (cm²):** Se calculó durante los meses de enero, mayo y septiembre del 2002 el área foliar con la formula propuesta por Vaast (datos non publicados) y utilizada por Siles (2002) que establece que el área foliar (A) es igual a: numero de hojas completamente formadas (N) por el largo (L) por el ancho (l) datos promedio de una hoja por cada nudo por un factor de conversión 0.7007 o sea: $A = N * L * l * 0.7007$

De acuerdo a esta formula, se hizo la medición del largo y del ancho de una hoja por cada nudo y calcular el área foliar por nudo multiplicando por el numero de hojas presentes. La obtención del área foliar por bandola se hizo sumando las áreas foliares de todas las hojas presentes en la bandola.

7) **Nudos totales por bandola:** Se sumaron los nudos totales en cada rama, incluyendo ejes primarios y secundarios. Se hizo la suma de nudos productivos y no productivos en los ejes

primarios y secundarios de cada rama. Se consideró como un nudo productivo a los nudos que presentaban al menos un botón floral, una flor o un fruto.

8) La floración: se evaluó sumando todas las floraciones, en las bandolas seleccionadas en cada planta. Cada 10 días después de una lluvia, se hizo el conteo de todas las flores abiertas. Esas mediciones se hicieron entre el 22 de enero y el 15 de Marzo del 2002

9) Numero de frutos por bandola: Un mes después de la ultima floración se hizo el conteo de todos los frutos presentes en cada bandola, exceptuando los frutos secos de la cosecha anterior. Para esta variable también se contabilizaron los frutos de los ejes primarios y secundarios de cada bandola. Se obtuvo el numero de frutos promedio por nudo productivo dividiendo el numero de frutos por bandola entre la cantidad de nudos productivos. Este conteo fue repetido en mayo y septiembre juntos con la caracterización general de la bandola.

10) Muestreo de frutos: Para tener una idea del peso seco y fresco de cereza y granos de café, tres mediciones fueron consideradas durante de las fechas siguientes: 10 semanas, 17 semanas y 24 semanas después de la ultima floración que hubo el 15 de marzo del 2002. Se hizo una recolección de frutos al nivel de cada planta en cada tratamiento para esta variable. Se escogieron los frutos de un nudo ubicado en la parte mas productiva de dos bandolas (en la parte media-alta de la copa). Se escogieron bandolas ubicadas directamente arriba y/o a bajo de las bandolas seleccionadas para recolectar los frutos. Los frutos de una planta del mismo tratamiento ubicada a una misma distancia y en cada repeticiones fueron mezclados. El peso fresco y seco de las cerezas y de los frutos pelados fueron medidos para sacar la dinámica de aumento en peso en el tiempo según cada tratamiento.

3.4. ANÁLISIS DE DATOS.

La estructuración de las bases de datos para todas las variables observadas en los árboles y en el cultivo se hizo mediante del uso del programa Excel. El procesamiento y análisis estadístico de la información se realizó con los programas Estadística V5 edición 1997 y SAS (Statistical Analysis System) V.8.

Se hizo las comparaciones de media para las variables: RAFA, altura, área foliar, numero de flores, longitud de la bandola, numero de nudo productivos del café, numero de frutos por bandola y por nudo productivo, peso seco y fresco de frutos. El nivel de significancia adoptado fue de 5%. Para comparar los parámetros evaluados, se utilizó las pruebas de F de Duncan y Newman-Keuls.

3.4.1. Análisis de variables relacionadas a los árboles.

Para estas variables (Altura, proyección de copa, DAP) un diseño de bloques completos al azar fue utilizado, los factores de bloque (3) y de tratamientos en SAF solo fueron considerados. El efecto del tratamiento principal (especies de árboles de sombra), efecto de las repeticiones (bloques) fueron consideradas. Análisis de varianza fue utilizada y los diferentes valores promedio de Altura total, de DAP, de área basal, de proyección de la copa de los árboles fueron comparados con la prueba de DUNCAN tomando en cuenta el error debido a las mediciones efectuadas

3.4.2. Análisis de la RAFA

Para estas variables se utilizó un diseño de bloque completo al azar en parcela dividida en el tiempo. La parcela principal fue la parcela útil y se considera el efecto de bloques (3) y el efecto de fecha de mediciones (3). Análisis de varianza fue utilizada y los diferentes valores promedio de RAFA fueron comparados con la prueba de Newman-Keuls tomando en cuenta los errores debido al tratamiento principal (especies de árboles, pleno sol) y el error debido a las diferentes mediciones

3.4.3. Análisis de las variables relacionadas con el café.

Todas las comparaciones estadísticas de este estudio fueron hechas para los tratamientos con las tres especies de árboles y el tratamiento referido a la producción en pleno sol como testigo. Se hizo un análisis de varianza y comparación de las medias de estos diferentes variables según el tratamiento.

a) Para analizar los datos de altura, diámetro del tallo, crecimiento, número de nudos productivos, proyección de copa, área foliar, floración, fructificación planta, se utilizó un diseño de parcela sub-sub-sub-divididas en bloques completos irrestricto al azar (en pleno sol se incluyeron solo 10 cafetos en vez de 20 y no se analizó el efecto de la distancia) considerando los factores de tratamiento (4); bloque (3); de distancia (5); de posición o niveles de la rama (7) y de fecha (3). Donde el tratamiento principal fue la parcela útil y las sub-parcelas fueron: la distancia de los cafetos con respecto a los árboles asociados, la posición de la bandola al nivel de la copa del cafeto y la fecha de medición. Se realizó el análisis de varianza y los diferentes valores promedio más relevantes de variables relacionadas al desarrollo vegetativo, a la floración, la fructificación, peso de frutos fueron comparados con la prueba de Newman-Keuls considerando el efecto del tratamiento principal especies de árboles de sombra y pleno sol, el efecto de la distancia de los cafetos con respecto a los árboles de sombra, el efecto de la posición de las bandolas al nivel de la

copa del café. Los efectos de las interacciones especies de árboles-distancias de los cafetos, especies de árboles- posición de la bandola, distancias de los cafetos al árbol de sombra-posición de la bandola en la copa del cafeto, Fecha-tratamiento principal, fecha-distancia de los cafetos con respecto a los árboles de sombra y fecha-posición de la bandola en la copa, considerando los errores debido a estos diferentes factores y las diferentes interacciones así que el error debido a las mediciones efectuadas.

3.4.4 . Peso de frutos.

Para estas variables (peso fresco y seco fruto: cereza y granos) un diseño de bloque completamente al azar fue utilizado, los factores especies de árboles y pleno sol y de distancias. Los efectos del tratamiento principal (diferentes especies de árboles y pleno sol), de la distancia de los cafetos con respecto a los árboles sobre el peso fresco y seco de cereza y de frutos fueron analizados tomando en cuenta los errores debido a las mediciones efectuadas

Un análisis de varianza fue utilizado y se hicieron la comparación de los pesos promedio con la prueba de Duncan

3.5 RESULTADOS.

3.5.1. Variables relacionadas con árboles de sombra.

Entre los maderables no hubo diferencia en altura pero, si en DAP y al nivel de ocupación del espacio (Cuadro 1). Terminalia ocupó mas de 100% de su área teórico de establecimiento ya las ramas se traslapaban, también se nota que el eucalipto ocupa mas de 90% de su área teórico de establecimiento mientras que el poro ocupó solo 42 %, debido a poda.

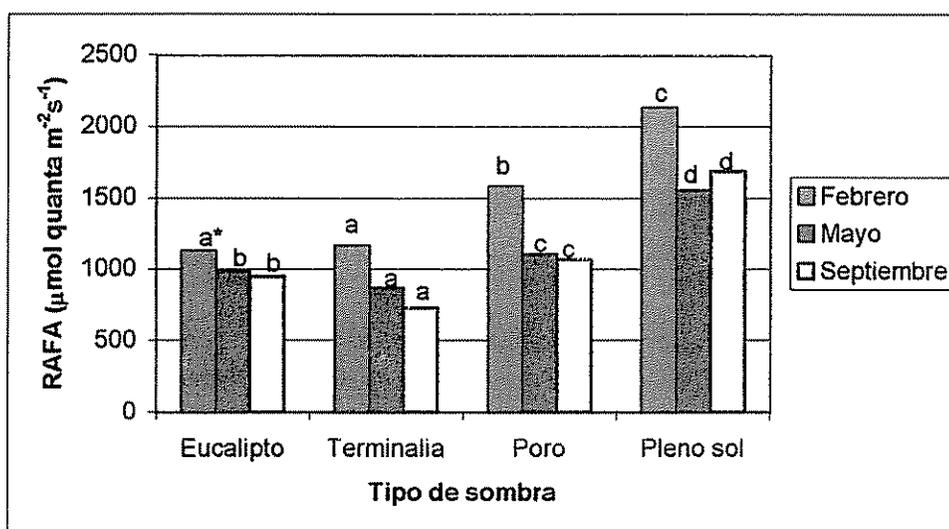
Cuadro 1. Valores promedio de Altura, de DAP y porcentaje de área ocupado por los árboles asociados con el café en la Finca de Verde Vigor S.A. en Pérez Zeledón, Costa Rica

Variables de respuesta árbol	Tratamiento principal		
	Eucalipto	Terminalia	Poró
Altura (m)	9.7 b*	9.5 b	5.2 a
DAP (cm)	11.3 a	16.8 b	18.3 b
Área proyectada de la copa (m ²)	33.0 b	44.0 c	27.3 a
% Área de establecimiento	91.5 b	122.1 c	42.7 a

*Nota : Promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes (Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$).

3.5.2. Radiación fotosintéticamente activa.

Hubo diferencias significativas entre los niveles de RAFA medidos en los diferentes SAF. La radiación más alta en los SAF fue registrada bajo Poró y la tendencia fue la misma en el tiempo, mientras que el nivel mas bajo fue registrado bajo *T. ivorensis* (figura 4). Los valores bajo *E. deglupta* tuvieron con menos fluctuaciones en el tiempo y quedaron en una posición intermedia entre aquellos de *E. poeppigiana* y *T. ivorensis*.



*Nota: Barras con la misma letra en el mismo mes no son significativamente diferente (Prueba de Newman-Keuls $\alpha = 0.05$)

Figura 4. Valores de radiación fotosintéticamente activa promedio en $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$, bajo Eucalipto, Poró, Terminalia y Pleno sol en Pérez Zeledón, Costa Rica.

3.5.3 Variables relacionadas con el comportamiento vegetativo del café según el tratamiento.

Por lo general, el desarrollo vegetativo fue mayor bajo los SAF (cuadro 2). Bajo Terminalia, los cafetos presentaron el mayor crecimiento en altura seguido por aquellos bajo Eucalipto en comparación con aquellos bajo Poró y Pleno sol entre los cuales no se encontró una diferencia significativa. La tendencia fue la misma en cuanto al crecimiento de las bandolas, diámetro al cuello del tronco, la proyección de la copa (% de área) y el área foliar, pero, en este caso los cafetos bajo Poró tuvieron mayores resultados en comparación con aquellos en pleno sol. Sin embargo no hubo diferencia en cuanto al número de nudos totales entre los tratamientos.

Cuadro 2. Valores promedio de tres mediciones (Enero, mayo, septiembre) de diferentes variables de desarrollo vegetativo del café en distintos tratamientos de sombreadamiento en la Finca Verde Vigor S.A. Pérez Zeledón, Costa Rica

Variables de desarrollo vegetativo Del café	Tratamiento principal			
	Eucalipto	Terminalia	Poró	Pleno Sol
Altura (cm)	180 b	187 c	172 a	171 a*
Diámetro al cuello del cafeto (mm)	29.4 b	30.9 c	29.2 b	27.1 a
% de Área de proyección de la copa	70.4 c	74.5 d	66.6 b	62.2 a
Largo lignificado de bandola	38.7 c	37.7 c	29.4 b	25.0 a
Largo no lignificado bandola	19.0 a	22.2 b	16.8 c	14.5 d
Área foliar por bandola (cm ²)	638 c	800 d	533 b	296 a
Incremento de área foliar (cm ²) (enero-septiembre)	292 c	368 d	236 b	136 a
Nudos totales por bandolas	20.8 a	20.5 a	20.8 a	21.1 a

*Nota : Promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes (Prueba de Newman-Keuls $\alpha = 0.05$).

3.5.4. Variables relacionadas con el comportamiento reproductivo del café en función del tratamiento.

Hubo un mayor número de nudos productivos por bandola bajo Eucalipto (Cuadro 3), pero, no se encontró diferencia para esta variable para los cafetos bajo Terminalia, Poró y Pleno sol. La distribución de la floración fue similar en todos los tratamientos con más de 75 % de la floración total en la floración 2 (22 de febrero), alrededor de 16 % en la floración 1 (8 de febrero), y solamente 3 % en la floración 3 (15 de marzo). La floración se adelantó en los cafetos en pleno sol con más de 25% en la primera floración en comparación con los cafetos bajo los SAF. Los cafetos bajo Poró tuvieron con un porcentaje (primera floración) más alto en comparación con los cafetos bajo Eucalipto y Terminalia. El número de flores por nudo productivo fue mayor en los cafetos en Pleno sol en comparación con los cafetos bajo los SAF entre los cuales no se encontró diferencia significativa.

Sin embargo, el número de frutos por nudos productivos fue mayor bajo Terminalia y Eucalipto en comparación con los tratamientos bajo Poró y pleno sol entre los cuales no se encontró una diferencia significativa. El porcentaje de caída fue mayor en los cafetos en pleno sol, seguido de aquellos bajo Poró en comparación con los cafetos bajo Eucalipto y Terminalia entre los cuales no hubo diferencia significativa.

Cuadro 3. Promedio de diferentes variables de producción del café a distintos tratamientos de sombreado en la Finca Verde Vigor S.A. Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables de producción	Tratamiento principal			
	Eucalipto	Terminalia	Poro	Pleno Sol
Nudos productivos por bandola	9.0 b*	7.5 a	7.4 a	6.7 a
Flor 1 en % flor total (8 de febrero)	19.0 a	17.8 a	20.0 ab	25.1 b
Flor 2 en % flor total (22 de febrero)	78.0 a	79.5 a	75.8 a	71.6 a
Flor 3 en % flor total (15 de marzo)	2.9 a	2.7 a	4.2 ab	3.3 ab
Flores / Nudo productivo	9.5 a	9.7 a	9.5 a	10.9 b
Frutos / Nudo productivo	7.6 b	8.0 b	6.3 a	6.2 a
Caída de frutos (%)	14.8 a	15.5 a	28.1 b	35.7 c

*Nota : Promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes. (Prueba de Newman-Keuls $\alpha = 0.05$).

3.5.5. Variables relacionadas con el comportamiento vegetativo del café en función de la distancia al árbol de sombra

Hubo diferencia significativa en cuanto a la altura, el diámetro al cuello y porcentaje de área de proyección de la copa del café en función de su distancia al árbol de sombra (Cuadro 4). Aun que no fue totalmente consistente, la tendencia fue un aumento de esos valores a medida que se aleja del árbol de sombra. No hubo una diferencia significativa en el área foliar promedio en función de la distancia de los cafetos con respecto a los árboles. Tampoco, la distancia con respecto al árbol no influyó de manera significativa el crecimiento de la bandola y el número de nudos totales por bandola.

Cuadro 4. Valores promedio de variables relacionadas con el desarrollo vegetativo del café en función de la distancia al árbol de sombra en la Finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica

Variables de respuesta	Distancias con respecto al árbol de sombra				
	3.20 m	2.50 m	2.06 m	1.50 m	0.50 m
Del café					
Altura (cm)	187 d*	177 ab	180 c	179 bc	176 b
Diámetro al cuello del café (mm)	30.8 d	29.9 bc	29.2 ab	30.3 cd	28.8 a
% de Área ocupado	71.7 b	71.0 b	69.2 a	71.9 b	68.51 a
Largo lignificado de bandola	32.9 a	36.6 b	35.9 ab	34.1 ab	35.9 ab
Largo no lignificado bandola	18.6 a	19.8 a	19.2 a	19.6 a	19.6 a
Área foliar bandola (cm ²)	571 a	672 b	624 ab	705 b	692 b
Incremento de área foliar	262 a	315 b	283 ab	317 b	316 b
Nudos totales	21.5 a	21.1 a	20.4 a	21.8 a	22.2 a

*Nota : Promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes (Prueba de Newman-Keuls $\alpha = 0.05$)

3.5.6. Variables relacionadas con la producción del café en función de la distancia al árbol de sombra.

La tendencia no fue bien definida en cuanto al número de nudos productivos por bandola; tuvieron valores altos y bajos en las diferentes distancias (Cuadro 5). No obtuvo diferencia en cuanto a la distribución de las floraciones, tampoco en cuanto al número de flores por nudo productivo. Hubo más frutos por nudo productivos en los cafetos ubicados a 1.50 m del árbol de sombra y por lo general no hubo diferencia significativa entre aquellos ubicados a las demás distancias.

Cuadro 5. Promedios de datos relacionados con la producción del café según la distancia al árbol de sombra en la Finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica

Variables de respuesta	Distancias con respecto al árbol de sombra				
	3.20 m	2.50 m	2.06 m	1.50 m	0.50 m
Del café					
Nudos productivos por bandola	7.7 a*	8.4 b	7.8 ab	7.80 ab	8.1 b
Flor 1 en % de flor total	18.4 a	23.8 b	19.5 a	19.3 ab	20.7 ab
Flor 2 en % de flor total	78.1 ab	72.0 ab	76.3 a	77.7 b	76.0 ab
Flor 3 en % de flor total	3.4 a	4.3 a	4.2 a	3.0 a	3.2 a
Flor por nudo productivos	9.7 a	9.4 a	8.9 a	10.0 a	9.7 a
Frutos por nudo productivo	7.4 bc	7.1 bc	6.7 ab	7.8 c	7.4 bc
Caida de frutos (%)	19.3 a	19.5 a	21.5 a	18.3 a	18.8 a

*Nota: Promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes. (Prueba de Newman-Keuls $\alpha = 0.05$)

3.5.7 Variables relacionadas con el desarrollo vegetativo y la producción de bandolas en función de su posición en la copa del café.

La posición de la bandola en la copa del café tuvo efectos relevantes sobre su crecimiento vegetativo y su producción (Cuadro 6). Los valores de largo no lignificado de bandola fueron mayores a medida que aumenta la proximidad del ápice del café; es decir, en las bandolas que están en las posiciones 1, 2 y 3. Por el contrario, el área foliar y el número de nudos por bandola fueron más importantes a medida que la distancia respecto al ápice del café aumentó.

En cuanto a las variables de producción, el número de nudos productivos fue mayor a medida que aumento la distancia respecto al ápice, aunque la diferencia no ha sido significativa entre las bandolas en las posiciones 3, 4, 5, 6 y 7. La floración se adelantó en la bandola una (1) que se encontró en el estrato 8; un porcentaje más alta de primera floración se registró al nivel de esta bandola. El número de flores por bandola fue más importante en las posiciones 3 y 4 disminuyendo hacia posiciones apicales y basales. Los valores mínimos se encontraron en posiciones 1 y 7. El número de frutos por nudo productivo fue más importante a medida que la distancia del ápice del café disminuyó aunque no hubo diferencia en el porcentaje de caída de frutos entre las diferentes posiciones

Cuadro 6. Promedios de variables relacionadas con el desarrollo vegetativo de las bandolas de café en función de su posición en la copa del café en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables de respuesta	Posición de la bandola al nivel de la copa del café (ápice hacia base)						
	1	2	3	4	5	6	7
Largo lignificado de bandola	19.5 a*	29.7 b	35.9 c	37.8 cd	38.4 cd	39.2 cd	40.7 d
Largo no lignificado de bandola	21.4 d	20.8 cd	20.6 cd	19.6 c	18.3 b	16.7 a	15.6 a
Área foliar de bandola (cm ²)	468 a	583 b	678 bc	630 bc	624 bc	719 c	741 c
Incremento en área foliar (cm ²)	215 a	267 b	311 bc	289 bc	283 bc	322 bc	333 c
Incremento de área foliar (%)	45.8 bc	45.8 bc	45.9 c	45.9 c	45.4 ab	44.7 a	44.9 a
Nudos totales	11.1 a	13.8 b	18.6 c	21.3 d	22.9 d	28.9 e	33.1 f
Nudos productivos	4.9 a	6.7 b	8.3 c	8.9 c	8.2 c	9.3 c	8.8 c
Flor1 en % de flor total	32.8 b	21.4 ab	19.6 a	18.5 a	18.9 a	16.7 a	19.6 a
Flor2 en % de flor total	64.1 a	74.6 bc	76.0 bc	77.7 bc	76.8 bc	80.2 bc	88.4 b
Flor3 en % de flor total	3.1 a	3.9 ab	4.3 b	3.8 ab	4.3 ab	3.1 ab	2.8 a
Flores por nudo productivo	12.2 c	10.9 b	10.2 b	8.9 a	8.7 a	8.6 a	7.9 a
Frutos por nudo productivo	9.1 c	8.2 b	7.9 b	6.7 a	6.5 a	6.5 a	5.8 a
Caida de frutos (%)	21.5 a	20.9 a	18.2 a	20.5 a	22.3 a	19.9 a	20.1 a

*Nota: Promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes. (Prueba de Newman-Keuls $\alpha=0.05$)

3.5.8. Numero de flores y frutos por nudo productivo en función de las especies de árboles y la distancia del cafeto respecto al árbol.

No hubo una tendencia bien definida en cuanto a la distancia de los cafetos con respecto a los árboles asociados (Cuadro 7). El efecto del tratamiento principal fue mas marcado. Bajo Eucalipto se registró menor variación en numero de flores en los diferentes distancias (entre aquellas no hubo diferencia significativa)

Hay que destacar que los cafetos ubicados a 1.50 m del Poró y a 0.50 m de Terminalia tuvieron con los mejores números de flores promedio por nudo productivo bajo los SAF.

No hubo ninguna tendencia significativa en cuanto al numero de frutos por nudo productivo, aunque se observa que cerca de los árboles se registra un numero de frutos mayor pero la diferencia no fue alta (Cuadro 8). El efecto del tratamiento principal se encontró una vez mas significativo para esta variable. Bajo Terminalia, hubo mayor numero de frutos por nudo productivo.

Cuadro 7. Valores promedio de flores por nudo productivo para la interacción entre el tratamiento principal y la distancia del cafeto con respecto al árbol de sombra en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Tratamiento	Distancias (m)				
	3.20 m	2.50 m	2.06 m	1.50 m	0.50 m
Eucalipto	16.0 bc*	14.7 abc	17.4 bc	13.9 abc	13.4 abc
Terminalia	11.2 ab	10.3 ab	10.5 ab	10.5 ab	19.3 c
Poró	12.7 ab	13.2 abc	9.6 a	19.5 c	12.2 ab

*Nota : Promedios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes. (Prueba de Newman-Keuls $\alpha = 0.05$)

Cuadro 8. Valores promedio de frutos por nudo productivo para la interacción tratamiento principal (eucalipto) y distancia del cafeto con respecto al árbol en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Tratamiento	Distancias (m)				
	3.20 m	2.50 m	2.06 m	1.50 m	0.50 m
Eucalipto	7.4 ab*	8.2 b	7.00 ab	7.6 ab	7.9 ab
Terminalia	8.2 b	8.0 b	7.25 ab	8.2 b	8.0 b
Poró	6.7 ab	5.7 a	5.8 a	7.00 ab	6.5 ab

*Nota : Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes. (Prueba de Newman-Keuls $\alpha = 0.05$)

3.6. Peso de frutos de café.

No hubo una tendencia bien definida de diferencia de peso fresco y seco frutos entre los diferentes tratamientos durante las tres mediciones (Cuadros 9, 10, 11). La información importante en estas mediciones es que en pleno sol a los 17 semanas los frutos alcanzaron un mayor desarrollo ante los frutos de los cafetos en SAF (Cuadro 10)

Cuadro 9. Valores promedio de peso fresco y seco en gramo (g) de cerezas y granos de café 10 semanas después de la última floración (15 de marzo del 2002) según el tratamiento en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Tratamiento	Peso fresco cerezas	Peso seco cerezas	Peso fresco granos	Peso seco granos
Eucalipto	0.59 ab*	0.14 a	0.47 a	0.11 b
Terminalia	0.64 ab	0.13 a	0.38 a	0.06 a
Poro	0.69 b	0.13 a	0.35 a	0.07 a
Pleno sol	0.51 a	0.15 a	0.41 a	0.06 a
Pr > F	0.04	0.08	0.18	0.03

*Nota: Promedios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Prueba de DUNCAN $\alpha = 0.05$)

Cuadro 10. Valores promedio de peso fresco y seco en gramo (g) de cerezas y granos de café 17 semanas después de la última floración (15 de marzo del 2002) según el tratamiento en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Tratamiento	Peso fresco cereza	Peso seco cereza	Peso fresco granos	Peso seco granos
Eucalipto	0.87 a*	0.26 a	0.65 a	0.23 a
Terminalia	0.96 b	0.24 a	0.59 a	0.22 a
Poro	0.89 ab	0.27 a	0.54 a	0.21 a
Pleno sol	1.09 c	0.37 b	0.64 a	0.30 b
Pr > F	0.000	0.000	0.19	0.02

*Nota: Valores promedio con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes. (Prueba de DUNCAN $\alpha = 0.05$)

Cuadro 11. Valores promedio de peso fresco y seco en gramo (g) de cerezas y granos de café 24 semanas después de la última floración (15 de marzo del 2002) según la distancia al árbol de sombra en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Tratamiento	Peso fresco cereza	Peso seco cereza	Peso fresco granos	Peso seco granos
Eucalipto	1.37 b*	0.45 ab	0.89 a	0.39 ab
Terminalia	1.32 ab	0.41 a	0.92 a	0.46 b
Poró	1.32 ab	0.43 a	0.93 a	0.38 ab
Pleno sol	1.24 ab	0.48 b	0.94 a	0.33 a
Pr > F	0.03	0.01	0.58	0.03

*Nota : Promedios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Prueba de DUNCAN $\alpha = 0.05$)

3.6.1. Dinámica de incremento del peso de frutos de café en el tiempo según el tratamiento.

El periodo de actividad intensa de incremento en peso de los frutos fue entre 17 y 24 semanas en los SAF, mientras que en pleno sol fue entre 10 y 17 semanas (figura 5). Los cafetos en pleno sol alcanzan mayor incremento en peso antes que los cafetos en SAF.

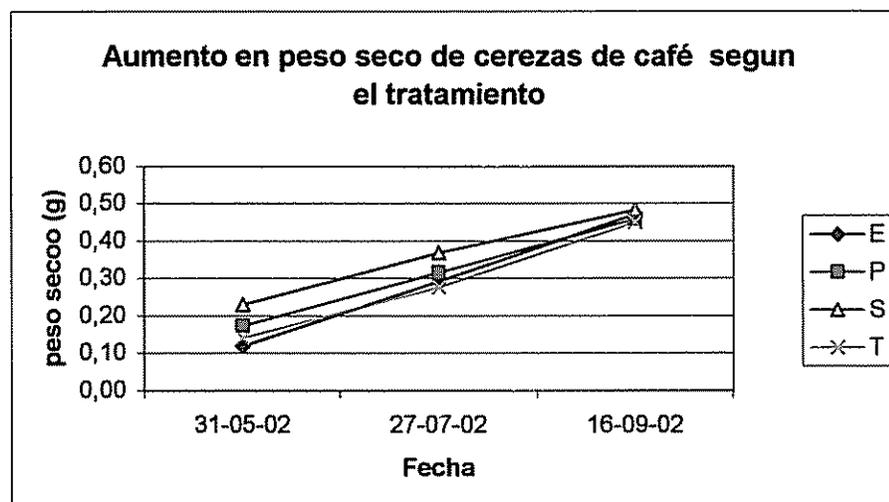


Figura 5. Evolución del peso de cerezas de café plantados según el árbol de sombra asociado [Eucalipto (E), Terminalia (T), Poró (P)] en comparación con el pleno sol (S), en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

3.7. DISCUSIÓN

3.7.1. Variables relacionadas con los árboles de sombra.

Especies de crecimiento rápido Terminalia y Eucalipto tuvieron con un buen desarrollo en este sitio no hubo diferencia significativa en altura entre ellos, datos anteriores confirmaron esta misma tendencia (Aguilar 2000 y Siles 2002) Los maderables tuvieron buena condiciones micro climáticas para sus desarrollos. Poró tuvo un crecimiento en diámetro no significativamente diferente de Terminalia. Sin embargo, hay que destacar que el Poró fue sembrado con estacas no con plántulas lo cual afecta su DAP en comparación con Terminalia y Eucalipto los cuales son plantadas con plántulas. Tomando en cuenta los datos obtenidos del año anterior reportados por Siles (2002) sobre la misma parcela, hubo un incremento de 24 % en altura para Eucalipto, 10% para Terminalia. En cuanto a área basal, hubo un incremento de 125 % para Eucalipto y 142 % para Terminalia, mientras que el incremento de proyección de copa fue de 35.39 % para Eucalipto y 17.4 % para Terminalia. Terminalia con una ocupación total de su espacio teórico de establecimiento desde el año anterior tuvo con un crecimiento mas lento de las ramas, tal no fue el caso para el Eucalipto que siguió ocupando el espacio disponible. Las condiciones climáticas del sitio (sección 3.1) favorecen el buen desarrollo de estas especies. Estos resultados confirman los estudios de Kapp et al. (1997), Dupuy y Mille (1993) y Amhed (1989) sobre la alta potencialidad de estas especies de crecimiento rápido en condiciones de buena disponibilidad de agua y de alta temperatura. Sin un manejo adecuado este nivel de desarrollo de los maderables puede ser fuentes de competencia con los cafetos para luz y nutrientes disponibles, como lo subrayaron muchos investigadores (Beer 1987a, Beer et al 1998)

3.7.2. Radiación fotosintéticamente activa.

Hubo una mayor disponibilidad de RAFA durante la medición del mes de febrero al nivel de todos los sistemas comparado a los demás mediciones (figura 4) debido a menor nebulosidad en esta época generalmente seca. No hubo necesidad de esperar que el cielo sea despejado para hacer las mediciones. Mientras que en las mediciones de mayo y de septiembre siempre hay que detener las mediciones para esperar que el tiempo se despejó. Además, los árboles de Terminalia tuvieron menos hojas en esta época seca lo que puede explicar el nivel de RAFA similar al Eucalipto registrado bajo este árbol en esta época comparando con las demás mediciones donde siempre la RAFA bajo Terminalia fue menor en comparación del Eucalipto y el del Poró. Mediciones realizadas por Van Kanten y Vaast (2002) mostró la misma tendencia. A medida que empezó a llover y que el desarrollo

vegetativo de los árboles fue mas importante, la RAFA fue menos bajo Terminalia. Dentro de los SAF, el nivel de RAFA mas alto fue registrado bajo Poró debido a podas mas o menos drásticas. El rango de RAFA registrada bajo los SAF fue entre (728 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ bajo Terminalia en septiembre y 1578 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ bajo Poro en febrero. Con este nivel de RAFA, hubo mas que suficiente luz para permitir a los cafetos bajo estos sistemas de fotosintetizar eficientemente. Nunes et al. (1968) encontraron una caída importante de la asimilación neta a un nivel de RAFA superior a 1200 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y una temperatura superior a 27 °C. Cabe de señalar que estas mediciones describen la situación de solamente el medio día que presenta una radiación solar siempre fuerte en comparación con otros periodos como el inicio del día y en la tarde. En esos periodos, se obtuvieron valores de RAFA de menor intensidad pero una tasa fotosintética mayor (Kumar y Tieszen 1976 y 1980, Siles 2002). No obstante, estas mediciones de medio día permitieron de analizar el papel de los árboles en estos periodos extremos, reduciendo ambos temperatura y radiación incidente como lo reportaron algunos autores (Boyer 1968, Beer et al 1998).

3.7.3. Variables relacionadas con el comportamiento vegetativo y reproductivo del café.

Los mejores crecimientos en altura, en largo no lignificado de bandolas, área foliar y diámetro al cuello del tallo del cafeto fueron medidos bajo los SAF. Un área foliar máximo de 800 cm^2 por bandola fue registrado bajo Terminalia siendo casi tres veces el valor a pleno sol. Con menos fluctuación de la RAFA bajo Eucalipto y supuestamente un micro-ambiente mas regulado en el tiempo, estas condiciones facilitan un buen desarrollo de los cafetos. El menor desarrollo vegetativo registrado a mayor exposición solar puede relacionarse a mayor estrés de calor de estas plantas; una temperatura bastante alta ($T > 30^\circ \text{C}$) fue registrada en el micro ambiente de hojas de café en las condiciones de Pérez Zeledón (Siles 2002). Según algunos autores (Alvim 1973, Rena et al. 1983 Kumar y Tieszen 1980) esta alta temperatura tiene una influencia negativa sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del café en pleno sol. Un mejor amortiguamiento de los extremos de temperatura por los árboles de sombra permite una mejor recuperación de los cafetos en caso de estrés hídrico y de calor. Eso resulta en un aumento de la asimilación neta total del día; lo que puede ser un elemento de explicación de esta diferencia encontrada (Boyer 1968).

Cualquier sea el tratamiento, la floración inició en el mismo periodo pero fue mas intensa al inicio en pleno sol. El numero de flores por nudo productivo fue superior a plena exposición solar como lo

mencionaron Alvim (1958), Castillo y López (1966), Boyer (1968), Aguilar (2000) y Siles (2002). Pero, el número de frutos por nudo productivo fue superior bajo sombra debido a una caída más fuerte de frutos a plena exposición solar (> 35.7%) durante el ciclo de producción en comparación con aquellas bajo Eucalipto, Terminalia, Poró (14.8 %, 15.5% y 28 % respectivamente); esta tasa es comparable a la tasa de 35% reportada por Cannell (1971a) en plantaciones en pleno sol en Kenia. Además de la regulación del micro ambiente, la disponibilidad de nutrientes en estos sistemas pueden explicar sus mejores resultados (Beer 1987 a, Vaast y Snoeck 1999).

En cuanto al factor distancia, los mayores efectos observados fueron un mayor largo de bandola lignificada a medida que se aleja de la planta debido a una mayor exposición a la radiación incidente lo que provocaría un rápido envejecimiento de los tejidos (Rena et al. 1983). La tendencia no fue bien definida en cuanto al área foliar. Tampoco el factor distancia hubo una tendencia bien definida en cuanto a la floración y la fructificación en este experimento. Estivariz (1997) trabajando en SAF con Poro hizo observaciones parecidas.

La posición de la bandola al nivel de la copa tuvo efecto sobre las variables de respuestas del café. Se obtuvo un crecimiento mayor de tejidos lignificados de los estratos inferiores (abajo) hacia el ápice, mientras que hubo más tejidos no lignificados en las bandolas ubicados en los estratos superiores (del ápice del cafeto hacia abajo). Esto es un resultado fácilmente explicable debido a que las bandolas de los estratos inferiores con más de 2 años de producción se envejecen más y tienen una mayor proporción de tejidos viejos. Estas mediciones comprueban las observaciones de Portères (1946) y de Aguilar (2000).

A mayor exposición de las bandolas, hubo un adelanto de la floración de las bandolas más expuestas (Boyer 1968, Cannell 1975, Jaramillo y Valencia 1980).

El número de flores y frutos por nudo productivo fue superior a medida que se acerca del ápice del cafeto. Las bandolas que se ubican en los estratos 8, 12 y 16 tuvieron con un mejor número de frutos por nudo productivo, aquellas bandolas que son de segunda y de primera producciones y que son consideradas como las más productivas según investigadores en café (Portères 1946, Aguilar 2000) en comparación con las bandolas que se acerca de la base que disponen de menos tejidos nuevos y que la producción reduce con el tiempo. El crecimiento de ramificaciones secundarias y tercera en estos niveles permiten de tener algo de producción (Portères 1946).

3.7.4. Peso de frutos de café según el tratamiento.

En lo referente al peso de los frutos, los tratamientos principales (Factor especies de árboles asociadas) hubieron poco efectos. A los 17 semanas después de la floración, los cafetos en Pleno sol hubieron una actividad mas intensa de incremento en peso (figura 5) y alcanzaron mayor peso en comparación con los tratamientos en SAF donde la actividad fue mas intensa entre 17 y 24 semanas. El adelanto de la floración en pleno sol debido a mayor exposición a la RAFA y consecuentemente una maduración mas temprana de estos frutos pueden explicar estos resultados. Autores como Guyot *et al.* (1996) y Vaast *et al.* (2002) observaron esta misma tendencia. Esta situación puede tener efectos sobre la calidad del café, no solo sobre el tamaño y el peso definitivo de los frutos que pueden ser inferior a aquellos bajo los SAF sino también sobre la calidad de los frutos (Guyot *et al.* 1996; Muschler 1997 y 1998)

La distancia de los cafetos con respecto a los árboles asociados no influyó sobre el peso de los frutos para el periodo de medición; estos resultados fueron similares a aquellos de Estivariz (1997) bajo Poró.

Estas mediciones presentan solo una parte del ciclo de crecimiento de los frutos de café y que por eso se supone que pudimos encontrar diferencias mas distintas al momento de la cosecha. De acuerdo a la literatura (Wormer 1965), el fruto de café llega a su peso definitivo alrededor de 30 semanas después de la floración y necesita cuatro a cinco semanas para madurar.

Las curvas de aumento en peso sigue una tendencia similar al nivel de todos los tratamientos con un periodo de rápido incremento en peso de la semana 17 y a la semana 24 lo que confirmaron las observaciones anteriores.

3.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en que se realizó el presente trabajo, aquellas condiciones consideradas como sub-optimas para el cultivo de café se puede concluir que es factible la producción en sistemas agroforestales con maderables en la zona ya que las condiciones climáticas permitan un buen desarrollo de los árboles y un desarrollo vegetativo aceptable del café.

La RAFA fue menos intensa bajo Terminalia en comparación con los demás SAF (Poró y Eucalipto) y hubo menor fluctuación en el tiempo bajo Eucalipto.

El desarrollo vegetativo de los cafetos bajo los SAF, mas específicamente bajo los maderables, fue superior en comparación con los cafetos en pleno sol. Lo que puede influir de manera positiva sobre

el próximo ciclo de producción del cafeto debido a mayor disponibilidad de tejidos nuevos al nivel de la planta. Bajo Eucalipto, hubo un mayor número de nudo productivo por bandola en comparación con Terminalia, Poró y Pleno Sol.

La floración se adelantó en los cafetos más expuestos a alta nivel de RAFA. El número de flores promedio por nudo productivo fue superior en condiciones de Pleno Sol, mientras que el número de frutos por nudo productivo fue mayor en todas las SAF debido a una menor tasa de caída de frutos.

Hubo una tendencia de incremento en peso más temprano al nivel de los frutos de los cafetos en Pleno Sol en comparación con los cafetos en SAF donde el incremento fue más atrasado.

En este ensayo sería recomendable de hacer un raleo para evitar competencia entre los árboles de sombra y los cafetos.

Estudios más amplios sobre sistemas más diversificados en cuanto a especies, densidades de árboles de sombra y intensidad del manejo, para la zona de Pérez Zeledón podría ser muy relevante para un mejor entendimiento del proceso de desarrollo vegetativo y reproductivo en estas zonas de condiciones sub-óptimas para el cultivo de café.

CAPITULO 4

Parte B . Efectos de la carga frutal sobre la fotosíntesis y crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) en Heredia, Costa Rica.

4.1. INTRODUCCIÓN

Muchos estudios han demostrado que en condiciones óptimas de producción, es decir un buen régimen diario de temperatura que oscila entre 18 °C en la noche y 23 °C, una elevación mayor de 1000 msum y un régimen de precipitación que oscila entre 1500 mm y 2500 mm anuales, el café produce más en pleno sol. Este nivel de producción implica el uso de un alto nivel de insumos (fertilizantes, fungicidas, pesticidas, herbicidas) para reducir los impactos negativos del microclima sobre la fisiología, salud y manejo de la planta, pero generalmente con una cierta pérdida en la calidad del café (Alvim 1958, Sylvain 1981, Guyot *et al.* 1996, Muschler 1997)

De hecho, al estar completamente expuesto a la radiación solar la asimilación neta foliar del café aumenta con la intensidad de la luz hasta un nivel (1000-1200 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$) donde empezó a bajar (Castillo y López 1966)

Cabe de subrayar que a una temperatura del aire superior a 26° C y una alta radiación luminosa se observó una caída en la tasa fotosintética foliar del café y consecuentemente una disminución de la producción de carbohidratos (Nunes *et al.* 1968, Kumar y Tieszen 1980, Cannell 1971b) Una forma de evitar dicho problema es el aumento de la densidad de plantación en las condiciones de pleno sol, lo que provee un micro ambiente favorable a la fotosíntesis del café debido que la sombra mutua de los cafetos reduce significativamente ambas intensidades luminosas y temperatura al nivel de las hojas (Castillo y López 1966). Sin embargo, hay que reconocer que las bandolas más expuestas tienen un mayor intensidad de floración al inicio del ciclo de producción y un desarrollo más rápido en tamaño y incremento en peso (Cannell 1975, Jaramillo y Valencia 1980)

La disponibilidad de carbohidratos en la planta durante sus periodos vegetativo y reproductivo es altamente importante para mantener su producción (Cannell 1971c). Estos carbohidratos son producidos tanto por las hojas que por los frutos (Cannell 1974). Según Wormer (1965), el problema de obtener producciones regulares en café entre años depende principalmente del suministro adecuado de carbohidratos y recursos minerales para satisfacer la necesidad de todos los órganos del cafeto durante todo el ciclo de producción y particularmente la época de fructificación. El propósito del

presente trabajo fue de comparar el efecto de dos tratamientos principales, bandola descortezada (anillada) o no descortezada y cuatro niveles de carga frutal (100, 50, 25, 0 %), sobre la fotosíntesis de hojas y frutos como también sobre el crecimiento vegetativo de las bandolas de café en condiciones de pleno sol en Heredia, Costa Rica. El objetivo final fue de determinar los factores que más influyen la fotosíntesis y el crecimiento del café.

4.2. MATERIALES Y METODOS

4.2.1. Localización y descripción del sitio.

El sitio experimental se localizó en el Centro de Investigación del Instituto de Café de Costa Rica (CICAPE) en San Pedro de Barva Heredia (Anexo A), a una altitud de 1180 msnm, suelos clasificados como Andosol con buen drenaje; un promedio de precipitación de 2200 mm, un promedio de temperatura anual de 20 °C. La zona se clasifica como sub-tropical húmeda según la mapa de la Unidad Biótica de Costa Rica (Herra y Pignataro 1993) y presenta tres a cuatro meses secos (diciembre, enero, febrero, marzo). La vegetación dominante es constituida por plantaciones de café en pleno sol y de café asociado con poro. El manejo agronómico es intensivo e incluye altos niveles de insumos, así según datos de CICAPE, los cafetos recibieron 430 kg N ha⁻¹ año⁻¹, 30 kg P ha⁻¹ año⁻¹, 100 kg K ha⁻¹ año⁻¹, 80 kg Mg ha⁻¹ año⁻¹, 5 kg B ha⁻¹ año⁻¹, divididos en 2 aplicaciones en mayo y en agosto, además de una aplicación de N en noviembre. Se hizo dos aplicaciones foliares de hidróxido de cobre (1.5 kg ha⁻¹) para la prevención de enfermedades de hojas y de frutos (*Hemileia vastatrix* y *Cercospora coffeicola*).

4.2.2. Establecimiento y manejo.

El área experimental se instaló en un ensayo de café (*Coffea arabica* L. cv Costa Rica 95) en pleno sol establecido en mayo 1997. El café fue plantado de 2.0 m entre hileras y 1.0 m sobre las hileras entre plantas. Una parcela de 20 m x 20 m fue considerada para el estudio.

Para la necesidad del estudio, se escogió un total de 24 plantas que presentan características (las bandolas presentes al nivel del estrato bajo estudio ver la esquema siguiente) necesarias para el estudio en cinco filas al nivel de la parcela. Se seleccionaron 4 estratos con dos bandolas por cada planta. El criterio utilizado fue el siguiente: se dividió la copa del cafeto en cuatro niveles: nivel alto de primera inflorescencia; Zona media-alta de segundo año de producción; zona media baja de 2 años y más de producción; y una zona baja con alta frecuencia de ramificaciones laterales productivas

Los estratos fueron seleccionados de manera sistemática, el primer estrato considerado fue el estrato 8 partiendo del ápice de la planta a partir del primer nudo del eje principal y los demás estratos fueron seleccionados de siete en siete, es decir estratos 15, 22 y 29. Con un cuchillo, se cortó y quitó de manera circular la corteza (anillo de 2cm de ancho y una profundidad que llegaba hasta la albura de la bandola) a la base (punto de unión de la bandola al eje principal) de una bandola sobre las dos de cada estrato, siempre al mismo lado para todos los estratos en los 24 cafetos. La parte descortezada fue recubierta con una pintura funguicida para evitar todas posibilidades de contaminaciones y pudriciones. Hay que señalar que la corteza fue eliminada 4 semanas después de la última floración (20 de abril 2002). Al fin, se asignó cuatro cargas (100%, 50%, 25% y 0%) al nivel de las bandolas de la siguiente forma en cada planta: una misma carga en un mismo estrato para las dos bandolas y sistemáticamente de manera gradual cada una de las cargas en cada nivel de la planta. Vale decir que tuvo 6 estratos (altos, medio-alto, medio-bajo y bajo) con cada tipo de cargas (Figura 6).

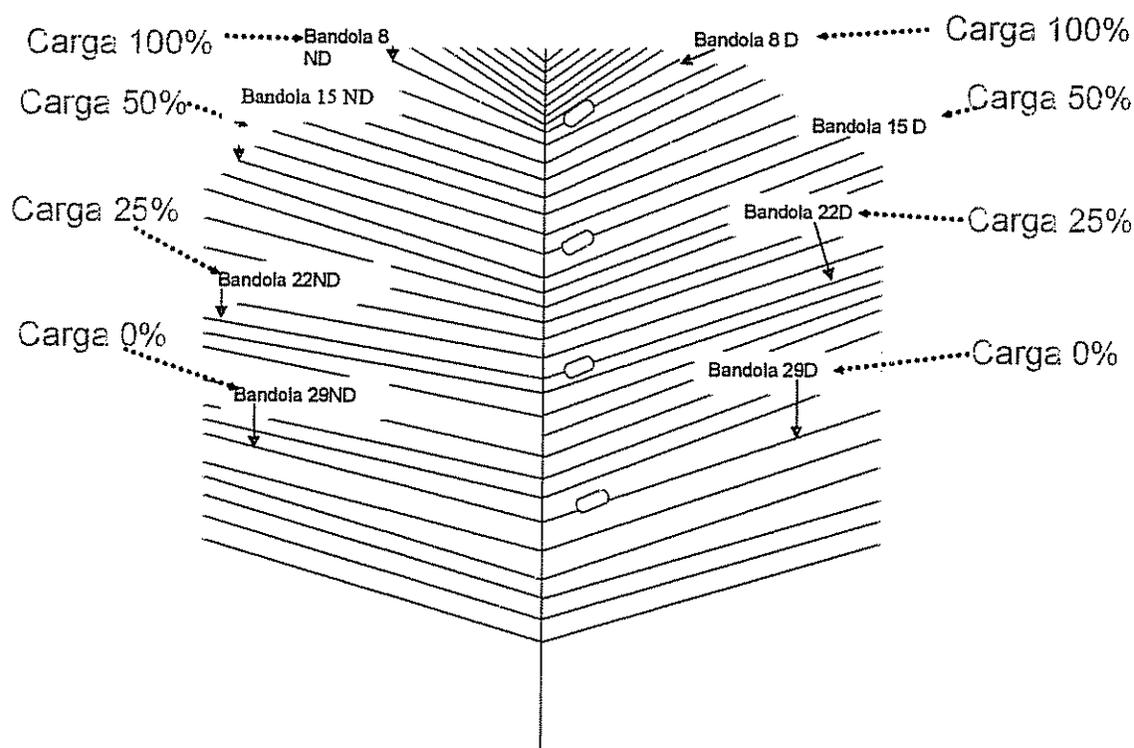


Figura 6. Dibujo de la selección y de la repartición de tratamientos (Cuatro cargas y bandolas Descortezada (D) y No Descortezada (ND) sobre una planta de café en CICAFFE, Heredia Costa Rica

El criterio para establecer las cargas fue el siguiente:

- a) En caso de la carga 100%, se dejó todos los frutos presentes en la bandola.
- b) Para la carga 50%, se eliminaron los frutos de un nudo sobre cada dos.
- c) Para la carga 25%, se eliminaron los frutos de tres nudos sobre cada cuatro
- d) y para la carga 0%, se eliminaron todos los frutos de la bandola.

4.3. Variables medidas.

4.3.1. Caracterización de las bandolas seleccionadas

Al final del mes de mayo (20 mayo del 2002), julio y septiembre se caracterizaron las bandolas seleccionadas midiendo las variables de longitud de la bandola (longitud del tejido viejo y del tejido nuevo), área foliar, número de nudos productivos, número de frutos, siguiendo la misma metodología descrita en la sección (3.3.3).

4.3.2. Fotosíntesis.

Las diferentes mediciones de fotosíntesis en el ensayo fueron realizadas en el mes de agosto 2002, 16 semanas después de la floración, periodo que coincide con el fin del crecimiento rápido de los frutos y el inicio del periodo de llenado de frutos. Este periodo del ciclo de producción se caracteriza por una alta demanda de carbohidratos y consecuentemente de gran actividad fotosintética del café.

4.3.2.1. Fotosíntesis en hojas ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

La fotosíntesis de hojas fue medida por medio de un analizador de carbono [(ADC-LCPRO (Anexo C)], fabricado por ADC BioScientific Ltd, Hoddesdon, Inglaterra, que permite no solamente medir directamente la asimilación neta (fotosíntesis) y la RAFA incidente sino también permite de establecer niveles de RAFA al nivel de la hoja estudiada y de este modo hacer secuencia temporal de mediciones con rangos de RAFA predeterminados.

Dos niveles de RAFA (300 y 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y una temperatura fija de 27° C fueron consideradas. Esas condiciones han sido consideradas como adecuadas (Nunes *et al.* 1968, Rena *et al.* 1983) para la expresión de la capacidad fotosintética del café y para permitir en este estudio de observar como influye la carga y el aislamiento de las bandolas sobre su asimilación neta.

Las mediciones se hicieron sobre hojas bien desarrolladas (tercer par de hojas contando a partir del ápice de la bandola) en los pares de bandolas seleccionadas en la zona alta (estrato 8) de los 24 plantas. Tres periodos del día fueron consideradas 7:00-9:00; 11:00-13:00 y 15-17 horas.

4.3.2.2. Fotosíntesis en frutos ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$)

La fotosíntesis en frutos de café fue medida directamente en el campo utilizando una cámara especial del analizador de carbono que permite introducir por lo menos dos nudos cargados de frutos en la cámara de intercambio gaseoso y medir la asimilación neta (Hay que notar que las hojas en los nudos frutales donde se hicieron las mediciones de fotosíntesis fueron eliminados para no influir sobre la fotosíntesis de frutos. Se mantuvieron los dos niveles de RAFA (300 y 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$), temperatura mantenida a 27 °C y tres periodos del día (7:00-9:00; 11:00-13; 15-17 horas). Además, se hicieron secuencias con 10 niveles de RAFA (0, 10, 30, 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 1500 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a intervalos de 2 minutos entre niveles de RAFA. Por esta variable, se utilizaron 15 plantas de los 18 con cargas fructíferas debido a la caída de todos los frutos en una de las bandolas seleccionadas al nivel del estrato 8 de 3 de estas plantas donde se hizo las mediciones. Los valores de asimilación neta fueron transformadas (de $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{frutos s}^{-1}$) utilizando el peso fresco de los frutos.

4.4 ANÁLISIS DE DATOS.

La estructuración de todos los datos para todas las variables observadas realizó mediante el uso del programa Excel Para el procesamiento y análisis estadístico se uso el programa Statistica V5 edición 1997.

4.4.1 Análisis de las variables de respuesta del café según la carga, el aislamiento y la posición de la bandola.

Los datos de longitud total de bandola, largo lignificado, largo no lignificado, área foliar, numero de nudos productivos, numero de frutos y los datos de fotosíntesis fueron analizados utilizando un diseño de bloque al azar en el tiempo considerando los siguientes factores: Carga (4), descortezada o no (2) y tiempo (3). Fueron analizados los efectos de la carga frutal, del tratamiento de la bandola sobre el desarrollo vegetativo, la fructificación la fotosíntesis foliar y de frutos. Se analizaron el efecto de las interacción carga y tratamiento de bandolas, carga-tiempo de medición, tratamiento de bandola y tiempo de medición, cargas-tratamiento de bandolas y tiempo de medición. de la bandola tomando en cuenta el error debido a los diferentes tratamientos aplicados y el error total de medición.

4.5. RESULTADOS.

4.5.1. Variables de crecimiento.

La carga no tuvo influencia significativa sobre el crecimiento de bandolas y el área foliar; no se observó diferencias significativas entre los valores de crecimiento de tejidos nuevos ni del área foliar (Cuadro 12). La tendencia no ha sido bien definida en cuanto a la influencia de la carga sobre el incremento del área foliar en este experimento.

Cuadro 12. Valores promedios de diferentes variables de respuestas de caracterización del café para 3 mediciones (mayo, julio, inicio septiembre) en pleno sol en función de la carga sin tomar en cuenta el tratamiento de las bandolas en Heredia, Costa Rica

Caracterización de bandolas de café	carga (%) aplicada a las bandolas del cafeto			
	100	50	25	0
Largo lignificado de bandola (m)	39.9 a*	38.3 a	37.2 a	37.9 a
Largo no lignificado de bandola (m)	11.8 a	11.2 a	11.6 a	11.1 a
Área foliar total (cm ²)	697 a	650 a	745 a	664 a
Incremento de área foliar (cm ²)	412 ab	393 ab	497 b	356 a

*Nota : promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes (Newman - Keuls $\alpha = 0.05$)

La posición de la bandola hubo efecto sobre el crecimiento de la parte no lignificada de las bandolas; esta parte fue mas importante a medida que las bandolas se ubican a mayor distancia del ápice (parte arriba) del cafeto, mientras que el crecimiento en tejido nuevo fue mas importante a medida que la distancia al ápice del cafeto disminuye (Cuadro 13).

El área foliar fue mas importante a medida que aumenta la distancia con respecto al ápice del cafeto. El incremento en área foliar sigue la misma tendencia.

En cuanto al aislamiento de la bandola, los efectos mas importantes se encontraron al nivel de área foliar total y del incremento en área foliar, siendo variables fueron significativamente superiores para las bandolas no descortezadas (Cuadro 14).

Cuadro 13. Valores promedio (3 mediciones) de diferentes variables de respuestas del café a la posición de la bandola en la copa (estrato) del cafeto en pleno sol sin tomar en cuenta la carga y el tratamiento de la bandola, en Heredia, Costa Rica.

Caracterización de bandolas de café	Estratos seleccionados			
	8	15	22	29
Largo lignificado de bandolas (cm)	20.9 a*	31.8 b	46.9 c	54.3 d
Largo sin lignificar de bandolas (cm)	12.6 a	11.7 ab	10.6 a	10.9 ab
Área foliar (cm ²)	556 a	610 a	769 b	822 b
Diferencia área foliar final-inicial (cm ²)	315 a	388 b	428 ab	488 c

*Nota : promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes (Newman - Keuls $\alpha = 0.05$).

Cuadro 14. Valores promedio (3 mediciones) de diferentes variables de respuestas del café al tratamiento de anillado de la bandola (Descortezada o no Descortezada) sin tomar en cuenta de la carga aplicada en pleno sol, en Heredia, Costa Rica.

Caracterización de bandolas de café	Tipo de tratamiento	
	Descortezada	No descortezada
Largo lignificado de bandolas (cm)	38.7 a*	38.4 a
Largo sin lignificar de bandolas (cm)	11.1 a	11.9 a
Área foliar (cm ²)	603 a	776 b
incremento en área foliar (cm ²)	318 a	492 b
Diferencia área foliar (%)	52.6 a	63.4 b

*Nota : promedios con la misma letra en la misma línea no son significativamente diferentes (Newman - Keuls $\alpha = 0.05$).

4.5.2. Fotosíntesis foliar y de frutos.

4.5.2.1. Fotosíntesis foliar

Por lo general, a plena carga (100 %) hubo una mayor asimilación foliar neta de café cualquier sea el tratamiento de la bandola (Cuadro 15). A carga nula la asimilación foliar neta, para el nivel de RAFA $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ quanta, fue solo de $1.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y pasó a $4.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para la plena carga; eso resulto en una diferencia muy alta de $2.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La tendencia fue similar

para el nivel de RAFA 900 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Entre bandolas Descortezadas y No Descortezadas, la diferencia de asimilación neta fue muy marcada con valores de 1.7 μmol CO_2 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ sin carga a 4.5 μmol CO_2 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ con plena carga con un nivel de RAFA de 300 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Con el nivel de RAFA de 900 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, la tendencia fue la misma; la asimilación neta foliar pasó de 1.4 μmol CO_2 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 3.7 μmol CO_2 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Cuadro 15. Valores promedio de la asimilación foliar neta (μmol CO_2 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para la interacción de los tratamientos carga y bandola descortezada o no descortezada según el nivel de RAFA, en , Heredia Costa Rica.

Carga (%)	RAFA 300 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$		RAFA 900 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$	
	Descortezada	No Descortezada	Descortezada	No Descortezada
100	4.4 c*	5.25 c	4.2 c	3.8 b
50	3.0 b	4.2 ab	2.3 ab	2.6 a
25	3.7 bc	5.0 bc	3.8 b	4.0 bc
0	1.7 a	4.5ab	1.4 a	3.7 b
Pr> F	0.03	0.03	0.02	0.02

*Nota : promedios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Newman - Keuls $\alpha = 0.05$)

El periodo de medición hubo efecto sobre la asimilación neta foliar. La asimilación fue mayor para un nivel de RAFA de 300 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y con valores significativamente mas altas en los primeros horas del día (Cuadro 16). Se registró asimilación netas mas importante independientemente de las horas de mediciones al nivel de las bandolas no descortezadas en comparación con las bandolas descortezada.

La tendencia no fue claramente definida para el nivel de RAFA 900 μmol quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Cuadro 17) donde hubo incidencia de la lluvia y también se puede observar que las diferencias entre las mediciones de 7:00-9:00 y 15:00-17:00 horas no fueron muy importante. La asimilación foliar neta siguió mas importante para este nivel de RAFA en las bandolas No Descortezada comparado con las bandolas Descortezadas, aunque la tendencia no fue bien definida para la medición de 11:00-13:00 horas donde para la cuarta carga y la plena carga la asimilación neta fue mas importante al nivel de las bandolas Descortezadas.

Cuadro 16 Valores promedio de la asimilación foliar neta ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de café para la interacción tratamiento de bandola – carga frutal – periodo del día para una RAFA de $300\ \mu\text{mol}$ quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en Heredia Costa Rica

Tratamiento de bandolas (D/ND)	Carga (%)	Asimilación neta [(7:00-9:00 horas) ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)]	Asimilación neta [(11:00-13:00 horas) ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)]	Asimilación neta [(15:00-17:00 horas) ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)]
D	0	2.4 a*	1.5 a	1.1 a
ND	0	5.5 c	4.2 bc	3.8 abc
D	25	4.3 bc	3.4 abc	3.2 bc
ND	25	5.3 c	4.9 c	4.7 c
D	50	3.5 ab	2.7 ab	3.0 b
ND	50	4.3 bc	3.5 abc	4.9 c
D	100	5.5 c	4.1 bc	3.6 abc
ND	100	5.9 d	5.3 c	4.6 c
Pr> F	-	0.021	0.021	0.021

*Nota : promedios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Newman – Keuls $\alpha = 0.05$)

Cuadro 17. Valores promedio de la asimilación foliar neta ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de café para la interacción tratamiento de bandola – carga frutal – periodo del día para una RAFA de $900\ \mu\text{mol}$ quanta $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en Heredia Costa Rica.

Tratamiento de bandolas (D/ND)	Carga (%)	Asimilación neta [(7:00-9:00 horas) ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)]	Asimilación neta [(11:00-13:00 horas) ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)]	Asimilación neta [(15:00-17:00 horas) ($\mu\text{ mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)]
D	0	0.7 a*	3.0 ab?	0.5 a
ND	0	2.9 b	6.5 d	2.7 bc
D	25	3.2 bc	5.6 d	2.5 bc
ND	25	4.0 cd	4.5 bc	3.5 c
D	50	2.6 b	2.9 a	1.7 b
ND	50	2.8 bc	3.2 ab	1.6 b
D	100	4.8 cd	4.8 bc	2.9 bc
ND	100	4.3 cd	3.3 ab	3.6 c
Pr> F	-	0.0002	0.0002	0.0002

*Nota : promedios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (Newman – Keuls $\alpha = 0.05$).

? incidencia de la lluvia

4.5.2.2. Fotosíntesis en frutos de café.

En todas las mediciones los frutos fuentes de almacenamiento de carbohidratos tuvieron con una asimilación neta siempre negativa, talvez debido a su alta actividad y su respiración intensa.

Se observó una influencia de la carga frutal para el nivel de RAFA 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pero la tendencia no fue bien definida. La asimilación neta fue mas negativa para el nivel de RAFA 300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en comparación con aquella registrada para el nivel de RAFA 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Cuadro 18).

Se puede observar que la asimilación neta fue significativamente mas negativa para los frutos en las bandolas no descortezada para los dos niveles de RAFA (Cuadro 19).

Cuadro 18. Valores promedio de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) por gramo de fruto de café según la carga en función de la RAFA ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en Heredia, Costa Rica.

Tratamiento	Asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) sobre frutos	
	RAFA 300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$	RAFA 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Carga 100%	-15.8 a*	-9.8 b
Carga 50%	-13.9 a	-18.1 a
Carga 25%	-14.4 a	-9.7 b
Pr> F	0.12	0.04

*Nota : promedios con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes. (Newman - Keuls $\alpha = 0.05$)

Cuadro 19. Valores promedio de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) por gramo de fruto fresco de café en función del tratamiento de la bandola y de la RAFA ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en Heredia, Costa Rica.

Tratamiento de bandola	Asimilación neta de frutos ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$)	
	RAFA 300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$	RAFA 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Descortezada	-8.8 b	-9.3 b*
No descortezada	-20.9 a	-16.5 a
Pr> F	0.001	0.02

*Nota : promedios con la misma letra en misma columna no son significativamente diferentes. (Newman - Keuls $\alpha = 0.05$)

La asimilación neta fue significativamente menos negativa para los frutos sometidos a un nivel de RAFA 300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ durante los dos primeros periodos del día (Cuadro 20) Para el nivel de RAFA 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$, la tendencia no fue bien definida, una asimilación neta menos negativa fue observada durante el periodo de 11:00 - 13:00 horas. La asimilación neta promedio de las tres mediciones fue menos negativa para la RAFA 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en comparación con la RAFA 300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Cuadro 20. Valores Promedio de asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) por gramo de fruto fresco de café en función del tratamiento de la bandola y de la RAFA ($\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en Heredia, Costa Rica.

Periodo	Asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{s}^{-1}$) sobre frutos	
	RAFA 300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$	RAFA 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$
7:00 – 9:00 h	-9.6 b	-14.9 a*
11:00 –13:00 h	-11.7 b	-6.8 b
3:00 – 5:00 h	-23.1 a	-16.1 a
Pr> F	.021	.0001

*Nota : promedios con la misma letra en misma columna no son significativamente diferentes. (Newman - Keuls $\alpha = 0.05$)

4.5.2.2.1. Respuesta de fotosíntesis en frutos de café a la RAFA

La asimilación neta en frutos de café aumenta con un aumento de la RAFA, pasando de valores mas negativos a valores menos negativos independientemente del tratamiento de la bandola (Figura 7). Los frutos en bandolas descortezadas tuvieron con una asimilación neta menos negativa que aquellos en bandolas no descortezadas. Entre 230 y 950 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para las bandolas Descortezadas se registró una tendencia de una mayor estimulación de la asimilación neta al nivel de los frutos de café. Al nivel de las bandolas No Descortezadas se registró una caída de la asimilación neta de los frutos a RAFA superior a 700 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

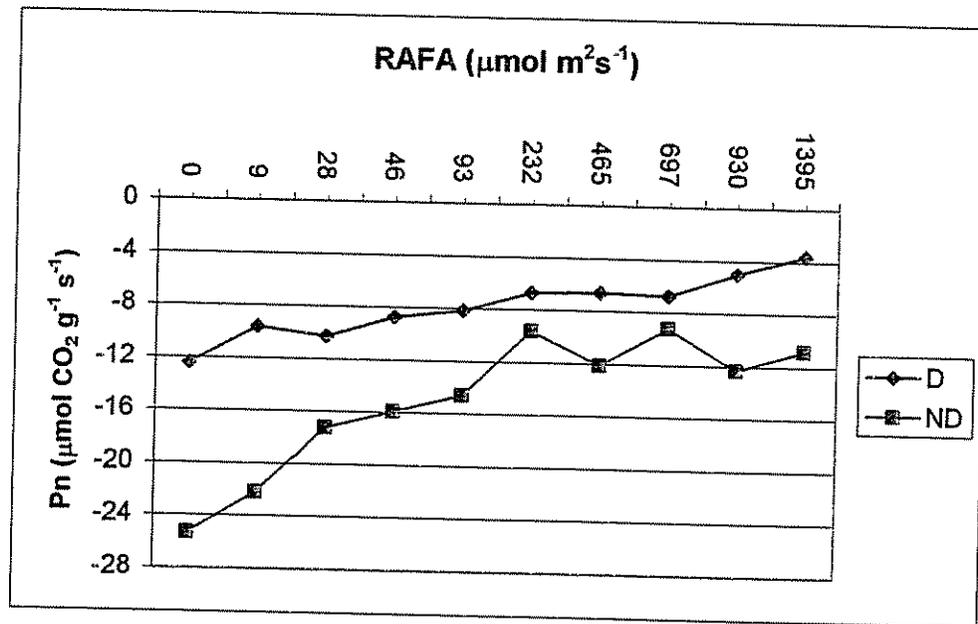


Figura 7. Evolución de la asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{g}^{-1} \text{fruto fresco s}^{-1}$) en frutos de café sobre bandolas descortezadas (D/ND) en función de la RAFA, sin tomar en cuenta la carga frutal, Heredia Costa Rica

4.6. DISCUSIÓN

4.6.1. Variables de crecimiento

Al contrario de lo que estaba previsto, no hubo efecto significativo de la carga de frutos sobre el desarrollo vegetativo de las bandolas. Otros autores (Cannell 1970, 1971c, Vaast *et al.* 2002) han demostrado que la competencia por carbohidratos disponibles al nivel de la planta puede influir sobre el desarrollo de todos los órganos. Generalmente, los frutos en crecimiento tienen una demanda más fuerte que los otros órganos en desarrollo lo que influye sobre la producción de nuevas hojas y del crecimiento de otras partes de la planta (Cannell 1970, 1971c). En el caso de este estudio, la última medición ha sido hecha en agosto, solamente 5 meses después de la floración lo que corresponde solamente al inicio del periodo de llenado de los frutos. Es muy probable la razón por la cual no encontramos diferencia significativa en cuanto al crecimiento vegetativo entre bandolas con diferentes cargas frutales. También hay que tomar en cuenta el efecto de transferencia de los demás partes de la planta que puede influir positivamente sobre el desarrollo vegetativo de las bandolas bajo estudio, siendo que el efecto de las diferentes cargas aplicadas no fue muy relevante.

Los resultados registrados en cuanto a la posición de las bandolas mostraron de manera lógica que las bandolas fueron más lignificadas a medida que su posición se aleja del ápice del cafeto. También,

el área foliar fue mas importante en los estratos inferiores debido a la presencia de mas ramificaciones laterales. El incremento en tejidos nuevos al nivel de la bandola fue superior a medida que se acerca del ápice, como fue mencionado anteriormente en el caso de la caracterización en el ensayo de Pérez Zeledón, la edad de la bandola juega más en este aspecto (sección 3.7.3).

El área foliar fue inferior en las ramas descortezadas (603 cm^2) comparado con las ramas no descortezadas (776 cm^2); estos resultados confirman los de Cannell (1971a) aunque este autor encontró una diferencia superior con 653 cm^2 para rama descortezada contra 1216 cm^2 para rama no descortezada. Las bandolas descortezadas con menos recepción de carbohidratos de parte de otras partes de la planta tuvieron con una actividad de desarrollo vegetativo inferior en comparación con las bandolas descortezadas.

4.6.2. Fotosíntesis foliar

La asimilación foliar fue mas importante a medida que la carga aumenta, cabe decir la presencia de frutos estimula significativamente la fotosíntesis foliar. Eso se puede explicar por un alto transporte de los productos de la fotosíntesis hacia los frutos debido a una demanda alta de parte de ellos y consecuentemente una limitación de la acumulación de carbohidratos dentro de las hojas. Este transporte de un medio de mas concentración de carbohidratos “hojas” a un medio de menos concentración “frutos” ha sido ilustrado por Cannell (1970, 1971c) utilizando C^{14} . La estimulación de la fotosíntesis foliar ha sido demostrado en otras plantas perennes como melocotón (Ben Mimoun et al., 1996)

El aislamiento de las bandolas intensificó el efecto de la carga de frutos sobre la fotosíntesis foliar. La asimilación neta foliar pasó de $1.7 \text{ umol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ en bandolas sin carga a $4.4 \text{ umol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ en bandola descortezada a plena carga; Eso mostró que hubo una intensa actividad de las hojas en las bandolas frutales descortezadas para satisfacer la demanda de los frutos, mientras que en bandola sin carga frutal descortezada la demanda no fue tan fuerte y consecuentemente las hojas han producido solamente para satisfacer su propio mantenimiento, su desarrollo y el crecimiento de la bandola en ausencia de otras fuentes de suministro en carbohidratos. Aunque los frutos tienen una capacidad de fotosíntesis y seguramente están fotosintetizando, necesitan carbohidratos de otras fuentes dentro de la planta para cumplir su ciclo de crecimiento y las hojas son los principales proveedores de estos carbohidratos como lo indicaron muchos investigadores (Alvim 1958, Cannell 1974, Maestri y Barros 1977, Vaast et al. 2002).

Este estudio nos permite de poner en evidencia aspectos importantes sobre el transporte de carbohidratos en la planta a través del aislamiento de bandolas. Con un nivel de RAFA de 300 umol

quanta $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$, las bandolas sin carga y descortezadas tuvieron con una asimilación neta foliar baja ($1.70 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) mientras que las bandolas no descortezadas tuvieron con una asimilación neta de $4.5 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; la tendencia fue parecida para el nivel de RAFA $900 \text{ } \mu\text{mol quanta m}^2 \text{ s}^{-1}$. Entonces, las hojas en las bandolas descortezadas con ninguna posibilidad de exportar a las bandolas vecinas o otras partes de la planta (Cannell 1970) no estuvieron estimuladas para aumentar su asimilación neta por ausencia de una demanda exterior. Al contrario en bandolas no descortezadas, hubo transferencia de carbohidratos de una bandola a otra, haciendo que las hojas tuvieron con una asimilación neta mas alta.

Los valores promedios de asimilación foliar neta registrados en Heredia fueron dos veces mayores que aquellos registrados por Siles (2002) en Pérez Zeledón independiente del periodo de medición. Eso se puede relacionar a un ambiente menos caliente (22°C) en Heredia en comparación de San Isidro ($>30^\circ\text{C}$). Una disminución la asimilación neta fue observada por Nunes (1968) por un nivel de RAFA mayor a $1200 \text{ } \mu\text{mol quanta m}^2 \text{ s}^{-1}$ y una temperatura superior a 27°C .

4.6.3. Fotosíntesis en frutos.

En todas las situaciones, la asimilación neta registrada de parte de los frutos fue negativa debido a la fuerte respiración de estos órganos. Este fenómeno se puede analizar si se considera que una asimilación neta de $0.0 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ fruto fresco s}^{-1}$ corresponde a la compensación total de los gastos de mantenimiento y de respiración de parte de los frutos mismos. Eso significa que lo menos negativa fue la asimilación neta del fruto, lo menos fue necesario de depender de las hojas en términos de asimilados para compensar esos gastos. Por lo general se registró una influencia de la carga frutal sobre la fotosíntesis de los mismos a excepción de valores significativamente menos negativas registrados para la plena carga y cuarta carga para un nivel de RAFA de $900 \text{ } \mu\text{mol quanta m}^2 \text{ s}^{-1}$ comparado con la media carga o los valores fueron mas negativas. Se puede adelantar que a mayor carga hubo mas competiciones al nivel de la bandola y el fruto tuvo que producir mas para compensar su gastos de mantenimiento y de respiración (Cannell 1970, 1971c).

En cuanto al aislamiento de las bandolas, para todos los niveles de RAFA, los frutos en las bandolas No Descortezadas mostraron un nivel mas bajo de asimilación neta (valores mas negativas) [Cuadro (19)]. Esta tendencia se confirma al nivel de las diferentes secuencias realizadas (figura 7). Un enfoque para explicar dicha situación seria considerar que no se produce una perdida de capacidad de asimilación sobre frutos de las bandolas descortezadas si no mas bien que los frutos de las bandolas descortezadas reaccionaron aumentando su tasa de asimilación, buscando a disminuir su dependencia en respuesta a una limitación en su fuente de suministro de carbohidratos de parte de las hojas

El periodo del día tuvo un efecto significativo sobre la fotosíntesis de los frutos. Para el nivel de RAFA $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, la asimilación neta fue menos negativa en las primeras horas (7:00- 9:00); vale decir que los frutos contribuyeron más a disminuir su dependencia de la fuente foliar durante este periodo comparando con los periodos 11:00-13:00 y 15:00-17:00 horas donde la asimilación fue mas negativa (menor contribución fotosintética de los frutos).

El nivel de RAFA estimula la fotosíntesis de frutos, la asimilación neta fue menos negativa para un nivel de RAFA de $900 \mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en comparación a un nivel de RAFA de $300 \mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ independientemente de la carga. Lo que es equivalente a decir que hubo mayor producción de asimilados por parte de los frutos para compensar los gastos de la respiración bajo condiciones de mayor nivel radiación solar.

En las secuencias realizadas se observó que en el rango de 100 a $900 \mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 7) hubo un aumento de la asimilación neta al nivel de los frutos, vale decir que se midieron valores menos negativas en las bandolas Descortezadas.

4.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los diferentes valores registrados al nivel de esta investigación permiten de subrayar los puntos siguientes:

El efecto mas relevante de las diferentes cargas frutales fueron en la fotosíntesis foliar y en frutos. La asimilación neta fue mas importante en bandolas cargadas, es decir que la presencia de frutos estimula la fotosíntesis foliar.

Independientemente de la carga frutal, la asimilación foliar fue superior en las bandolas no descortezadas debido a una demanda mas importante de las demás partes de la planta. Al contrario para los frutos, la asimilación neta fue menos negativa en las bandolas descortezadas.

En cuanto a la asimilación neta de parte de los frutos de café, se puede observar que esta aumenta con el aumento de la RAFA y que la carga influyó significativamente sobre la asimilación neta para un nivel de RAFA de $900 \mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Estudios sobre fotosíntesis de frutos durante periodos mas amplios y representativos del ciclo de producción y tomando en cuenta las primeras horas del día (5:30 – 7:00 horas) y de la tarde (15:00 – 17:00 horas) podrían completar estas observaciones sobre la fotosíntesis del café.

Además, secuencias de asimilación neta utilizando diferentes niveles de temperatura y de RAFA podrían clarificar el efecto de ambos factores sobre la fotosíntesis del café.

Además de los efectos del flujo de carbohidratos al nivel de las bandolas, las relaciones entre

nutrición del cafeto (el uso de nutrientes presente y suministrado al cafeto) y su comportamiento fotosintético podría ser relevante, especialmente en termino de nitrógeno.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.

Los experimentos, realizados en el marco de este estudio, ponen en evidencia la necesidad de proveer al cultivo de café el ambiente lo más favorable a su desarrollo vegetativo y reproductivo.

Hubo mejor comportamiento vegetativo del cafeto, mas específicamente en termino de crecimiento en altura y área foliar, bajo los sistemas agroforestales con maderables.

Aunque el numero de flores por nudo productivo fue significativamente superior en plena exposición solar en las condiciones de Pérez Zeledón, el numero de frutos por nudo productivo fue mayor bajo condición de sombra debido a un menor tasa de caída de los frutos en SAF.

Sin embargo seria recomendable de continuar los estudios sobre los aspectos de producción para tener mas datos en el tiempo en este sistema muy joven y pensar a un estudio mas amplio sobre sistemas mas diversificados en cuanto a especies, densidades de árboles de sombra y intensidad del manejo. Además, un monitoreo mas preciso de las condiciones micro-climáticas (temperatura y humedad del aire, RAFA) durante todo el ciclo de producción parece juicioso para entender mejor el efecto de diferentes sistemas sobre la fisiología del cafeto.

La asimilación neta foliar fue influenciada para la presencia de frutos. Cualquier sea el nivel de carga frutal, la asimilación foliar neta fue superior en las bandolas no descortezada en comparación con las bandolas descortezada debido a la transferencia de carbohidratos de una bandola a otra en respuesta a la demanda.

En cuanto a la asimilación neta de parte de los frutos de café, se puede observar que esta aumenta con el aumento de la RAFA hasta niveles de 700 - 900 $\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$. No obstante, parece necesario de investigar en mas detalles y durante todo el ciclo de producción la contribución efectiva del fruto de café a su propio suministro de carbohidratos y del aporte de los diferentes fuentes de carbohidratos su desarrollo del fruto de café.

La posibilidad de investigar más el proceso de fotosíntesis en sistemas agroforestales diversificadas con café en esta zona podría ser relevante para completar este estudio.

El estudio de diferentes fuentes de competencia tanto al nivel aérea que al nivel de las raíces seria interesante.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar, CA. 2000. Evaluación de sistemas agroforestales con café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* e implicaciones metodológicas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73p.
- Ahmed, P. 1989. Eucalyptus in agroforestry: its effects on agricultural production and economics. *Agroforestry Systems* 8: 31-38
- Alpizar, L; Fassbender, HW; Heuveldop, J; Enríquez, G; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica: Biomasa y reservas nutritivas. *Turrialba* 35 (3): 233-242
- Alvarado, A. 2001. Características taxonómicas de suelos. Documento de curso de Silvicultura de plantaciones forestales.
- Alvim, P. 1958. Recientes progresos en nuestro conocimiento del árbol de café. *Fisiología*. trad Gil Chaverri Rodriguez: *Coffee & Tea and the Flavor* 81 (11): 11-23
- 1973. Factors affecting flowering of coffee. *Journal of Plantation Crops* 1: (1-2).37-43
- Barradas, V; 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. 1987a. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea. *Agroforestry Systems* 5: 3-13
- 1987b. Experiences with coffee shade trees in Costa Rica. In Beer, JW; Fassbender, HW; Heuveldop, J. eds. Proceedings of a seminar. *Advances in Agroforestry Research* Septiembre 1 a 11. Turrialba. CR. pp.166-172
- 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade. *Agroforestry Systems* 7: 103-114
- 1995. Efecto de los árboles de sombra sobre la sostenibilidad de un cafetal. *Promocafé* 68: 13-18
- Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164
- Ben Mimoun, M., Longuenesse, J.J., Genard, M. 1996. P_{max} as related to leaf:fruit ratio and fruit assimilate-demand in peach. *Journal of Horticultural Science*. 71, 767-775
- Boyer, J. 1968. Influence de l'ombrage artificiel sur la croissance végétative, la floraison et la fructification des caféiers Robusta. *Café Cacao Thé* XII: (4). 302- 319

- 1969. Etude experimentale des effets du regime d'humidité du sol sur la croissance végétative, la floración et la fructification des cafeiers robusta. *Café Cacao Thé XIII* (3): 187-198
- Cannell, MGR. 1970 The contribution of carbohydrates from vegetative laterals to the growth of fruits on the bearing branches of *Coffea arabica*. *Turrialba* 20 (1): 15-19
- 1971a. Effects of fruiting, defoliation and ring-barking on the accumulation of dry matter in branches of *Coffea arabica* L. in Kenya. *Experimental Agriculture* 7 (1): 63-74
- 1971b. Seasonal patterns of growth and development of *Coffea arabica* L in Kenya *Kenya Coffee* 36 (422): 68-74
- 1971c. Production and distribution of dry matter in trees of *Coffea arabica* L. In Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruit. *Ann. Apl. Biol.* 67:99-120
- 1974. Factors affecting arabica coffee bean size in Kenya. *Journal of Horticultural Science* 49:65-76
- 1975. Crop physiological aspects of coffee bean yield: A review. *Journal of Coffee Research* 5 (1/2): 7-20
- 1985. Physiology of the coffee crop. In : Clifford, NM; Wilson, KC (eds), *Coffee: Botany, Biochemistry and production of beans and beverage*. Croom, Helm, London, pp. 108-134.
- Castañeda A, LA. 1981. Comportamiento de *Terminalia ivorensis* A Chey. asociada con cultivos anuales y perennes en su segundo año de crecimiento. Tesis Mag. Sc. CATIE Turrialba CR. 116 p
- Castillo, J; López, R. 1966. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. *CENICAFE* 17: 51-59
- Cavaletto, CG; Nagai, NY; Bittenbender, HC. 1991. Yield, size and cup quality of coffees grown in the Hawaii State coffee trial. ASIC, 14^{eme} coloquio, San Francisco. 674-678
- Chaves, CB; Sánchez, H; Rodríguez, H. 1992. Tamaño, forma y número de parcelas para ensayos de café variedad Catura. *CENICAFE* 43(2):43-60
- Dupuy, B; Mille, G. 1993. Timber plantations in the humid tropic of Africa. *FAO Forestry Paper* 98. Rome, Italy. 190 p.
- Espinoza, L. 1983. Estructura general de cafetales de pequeños agricultores. In Heuvelodp, J. y Espinoza, L. eds. *El Componente Arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica*. San José, Litografía e Impreta LIL, S.A. pp. 72-84.

- Estivariz Coca, J. 1997. Efecto de sombra sobre la floración y producción de *Coffea arabica* var. Catura después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba CR. 73 p
- Fassbender, HW. 1987. Modelos Edáficos de Sistemas Agroforestales. Series de material de enseñanza /CATIE, No 29, Turrialba, CR. 475 p.
- Fournier, LA. 1981. Importancia de los sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 5(1/2): 141-147
- Fernández, CE; Muschler, R.1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de café en América Central. eds. *In*: Bertrand, B y Rapidel, B (eds.). Desafíos de la caficultura en Centro América CIRAD/IRD/MAEF/IICA/PROMECAFE. San José, CR. 69-96 pp.
- Guyot, B; Gueule, D; Manez, JC; Perriot, JJ; Giron, J; Villain, L. 1996. Influence de l' altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. *Plantation Recherche Développement* 272- 283
- Herrera Soto, W; Pignataro, LDG. 1993. Mapa de la Unidad biótica de Costa Rica. San José, CR. Esc. 1: 685.000.
- Hernandez Guerra, OR. 1995. Rendimiento y análisis financiero del sistema agroforestal café (*Coffea arabica* cv caturra) con poro (*Erithrina poeppigiana*) bajo diferentes densidades de laurel (*Cordia alliodora*). Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70 p.
- Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27: 259-267
- Holdridge, LR. 1996. Ecología basada en zonas de vida. 4ed. Instituto Interamericana de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216 p.
- Huxley, P. 1975. *Tropical Agroforestry*. Blackwell Scientific. Oxford, UK. 371p.
- ICAFFE 1994. Informe anual de labores 1993. Programa Cooperativo Instituto del café de Costa Rica (ICAFFE) – Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San José Costa Rica. 322 p.
- Jaramillo, R; Valencia, A. 1980. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L. En Chinchina, Colombia. CENICAFE: 127 - 143
- Irigoyen, J. 1994. Sombreamiento en el cafetal. *Café del Salvador*, Abril-junio 1994:16-19.
- Kapp, GB; Beer, J; Lujan, R. 1997. Species and site selection for timber production on farm boundaries in the humid Atlantic lowlands of Costa Rica and Panama. *Agroforestry Systems* 35: 139-154
- Kumar, D; Tieszen, LL. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*: Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture*. 16: (1) 13-19.

-1979. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. A review. *Kenya Coffee* 44: 9-47.
-1976. Some aspects of photosynthesis and related process in *Coffea arabica* L. *Kenya Coffee* 41: 301- 306
- Llanderal, T; Somarriba, E. 1999. Shade canopy Diversity in coffee plantations in Turrialba, Costa Rica. *in* Actas de la IV Semana Científica, "Logros de la investigación para el Nuevo milenio" pp 207-210.
- Lyngbæk, AE; Muschler, RG; Sinclair, FL. 1999. productivity, Labor and variable cost of organic versus conventional coffee smallholdings in Costa Rica. *in* Actas de la IV Semana Científica, "Logros de la investigación para el Nuevo milenio" pp 216-219.
- Maestri, M; Barros, RS. 1977. Ecophysiology of arabica coffee. *In* Alvim, PT and Kozlowski, TT. *Ecophysiology of Tropical Crops*. Academic press 249-277
- Mata, RA; Ramirez, JA. 2002. Caracterización de suelos de café en el cantón de Pérez Zeledón. ICAFE-CICAFE, Heredia, Costa Rica. 101p.
- Montoya, L; Sylvain, P; Umaña, R. 1961. Effects of light intensity and nitrogen fertilization upon growth differentiation balance in *Coffea arabica* L. *Coffee* 3: 97-104.
- Morales, E; Beer, J. 1998. Distribución de raíces finas de *Coffea arabica* y *Eucalyptus deglupta* en cafetales del valle Central de Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas* 5 (17-18): 44-48
- Muschler, R. 1997. Sombra o sol para un cafetal sostenible? Un nuevo enfoque de una vieja discusión. *in* Simposio Latinoamericano de caficultura. (18, 1997, San José, Costa Rica) Memorias Campos J. Echeverri; O. Morra; L. Zamora. IICA. Ponencias, Resultados de eventos Técnicos A1 /SC no. 97-05. p. 471-476.
- 1998. Tree crop compatibility in agroforestry. Production and quality of coffee grown under managed tree shade in Costa Rica. Thesis : Doctor of Philosophy. University of Florida 219 p.
-1999. Árboles en cafetales. Módulo de enseñanza agroforestales No 5. CATIE/GTZ. Turrialba. CR. 139p.
- 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51: 131-139.
- Nestel, D; Altieri, M. 1992. The weed community of Mexican coffee agroecosystems: effect of management upon plant biomass and species composition. *Acta Ecológica* 13: 715-726
- Nunes, MA; Bierhuizen, JF; Ploegman, C. 1968. Studies on the productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica* *Acta Botanica Neerlandica* 17 9(2): 93-102.

- Pérez, GJ 1962. Estudio sobre el tamaño de parcela experimental en café. Seminario sobre diseños estadísticos y técnicas experimentales con cultivos perennes. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Centro Tropical de Investigación y Enseñanza para Graduados. Turrialba, Costa Rica. 5p.
- Portères, R. 1946. Action de l'eau, après une période sèche, sur le déclenchement de la floraison chez *Coffea arabica* L. L'Agronomie Tropicale 1: (3-4). 148-1
- Rena, AB; Caldas, LS; Jonson, CE; Pereira, AA. 1983. Fotossíntese e o depauperamento de algunas progenies de café resistentes á ferrugem. In Pocos de Caldas MG (ed.) .10 congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 29 août – 1 sept 1983. IBC, Rio de Janeiro, p. 171-172.
- Russo, R. 1983. Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook (poró) sobre la ondulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal "café-poro". Tesis Mag. , SC. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 108 p.
- Russo, R; Budowski, G. 1980. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. Agroforestry Systems 4: 145-162
- Salisbury, FB; Ross, CW. 1994. Fisiología Vegetal. Traducido de ingles por Virgilio Conzalez Vasquez ed. Grupo Editorial Iberoamerica. pp. 280-293.
- Scheaffer, RL; Mendenhall, W; Ott, L. 1986. Elementos de Muestreo. trad. Gilberto R. Sanchez y Jose R. G. Aguilar ed. Grupo Editorial Iberoamerica. 321p
- Schibli, C. 2000. Percepciones de familias productoras sobre el uso y manejo de sistemas agroforestales con café, en el norte de Nicaragua. Agroforesteria en las Américas 7 (28): 8 – 14
- Siles Gutiérrez, P. 2002. Comportamiento fisiológico del del café asociado con *Eucalyptus deglupta* Blume, *Terminalia ivorensis* A. Cev y sin sombra. Tesis M. Sc. Turrialba Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 88 p.
- Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of *Cordia alliodora* in small coffee farms. Agroforestry Systems 10: 253-263
- 1999. Descubra de maderables para regular sombra en cacao y café. Agroforesteria en las Américas 6(22): 23-24
- Srinivasan, CS 1972. Studies on yields component in *coffea arabica* L.; Observations on flower clusters and fruit set " 134, S. 12 Kaffa. Turrialba 22 (1): 27-29
- Staver, C. 1998. Managing ground cover heterogeneity in coffee under trees: replicated plots to lamer practice . In Buck, L; Lassoie, J; Fernandez, E. (eds.) Agroforestry in sustainable Agricultural Systems. Boca Raton: CRC Press pp 67-96

-Guharay, F; Monterosso, D; Muschler, RG. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: Shade-grwon coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53: 151-170
- Suárez de Castro, F. 1953. Distribución de las raíces de *Coffea arabica* L. en un suelo franco-limónoso. *Boletín Técnico Federación Nacional cafeteros, Chinchina, Colombia* 27p
- Sylvain, P. 1981. Innovaciones aerotécnicas en cafeicultura: problemas de la sombra. *COMUNIHCAFE (HN)* 1(1): 8
- Tavares, FC; Beer, J; Jimenez, F; Schroth, G; Fonseca, C. 1999. Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables en plantaciones de café. *Agroforesteria en las Américas* 6 (23): 17-20
- USDA 1990. Keys to soil taxonomy. 4th ed SMSS. Technical Monograph No. 19. Virginia Polytechnic Institute an State University; USA. 422p.
- Vaast, P; Snoeck, D. 1999 Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica y de la fertilidad de los suelos cafetaleros, In: *Desafíos de la Caficultura Centroamericana, CIRAD-PROMECAFE-IICA(Eds)*. pp. 139-169.
-Génard, M; Dauzat, J. 2002. Modeling the effects of fruit load , shade and plant water status on coffee berry growth and carbon partitioning at the branch level. *Acta Horticultural* (in press)
- Van Kanten, R; Vaast, P. 2002. Water uptake by *Coffea arabica* L. and *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* and *Erythrina poeppigiana* in coffee agroforestry systems of southern Costa Rica. manuscript 21 p. (submitted).
- Viera, CJ; Köpsel, E; Beer, J; Lock, R; Calvo, G. 1999. Incentivos financieros para establecer y manejar árboles maderables en cafetales. *Agroforesteria en las Américas*. 6 (23): 21-2
- Wormer, TM . 1965. Some physiological problems of coffee cultivation in Kenya. *Café* 6(2): 1-16

ANEXOS

Anexo A: Ubicación de los sitios del estudio

UBICACION DE SITIOS DEL ESTUDIO

Pérez Zeledón Costa Rica

Condiciones sub-óptimas

9°15'N - 83°30'W

Finca Verde Vigor.

Precipitación: 3850 mm/año

Temperatura 25,7° C

Altura : 654 msnm

Heredia, Costa Rica

Condiciones óptimas

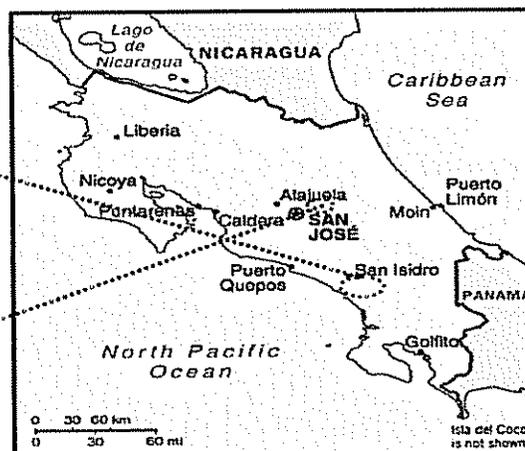
10°30'N - 84°30'W

CICAPE

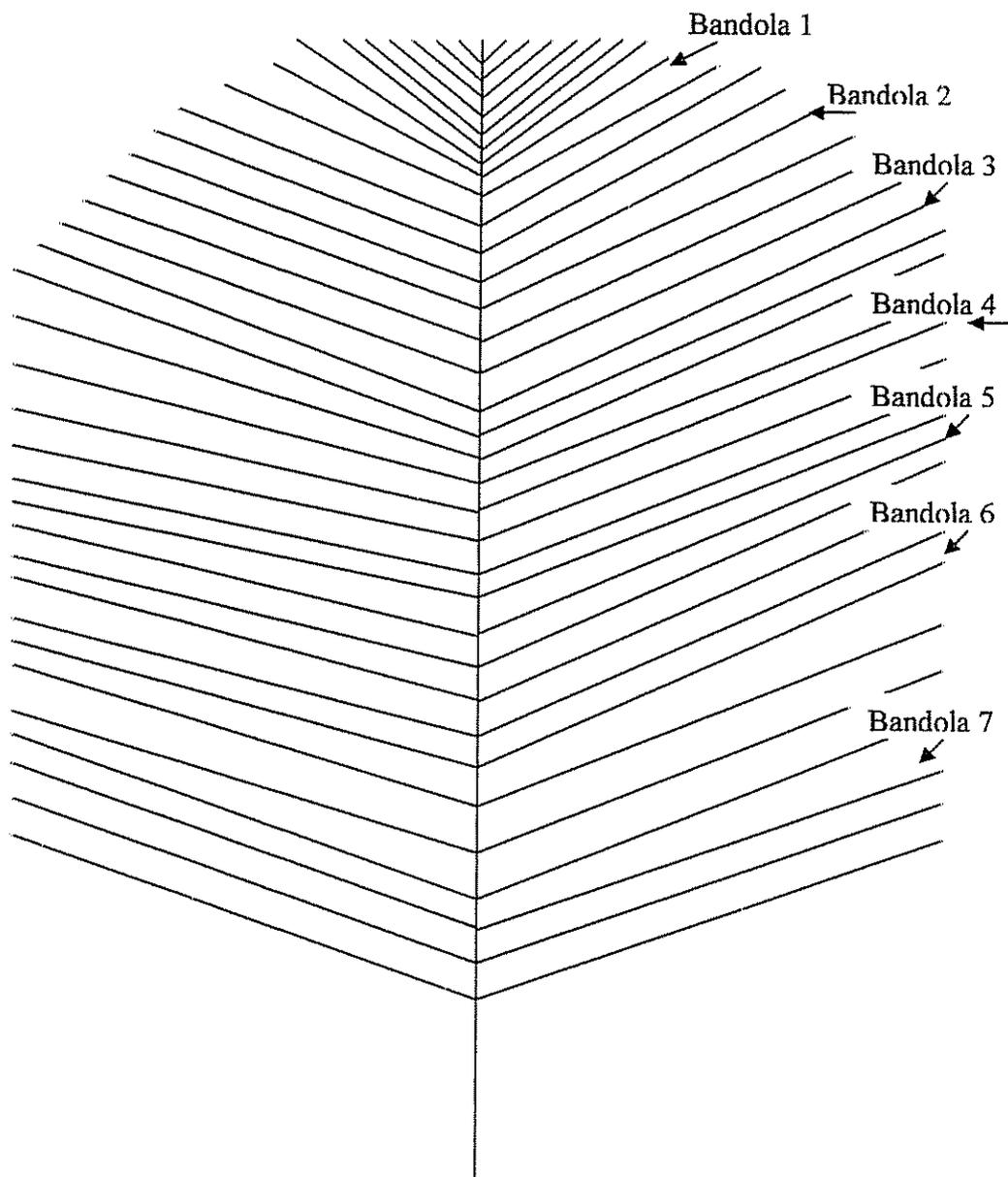
Precipitación 2200 mm/año

Temperatura 20° C

Altura: 1180 msnm



Anexo B: Dibujo de la selección de las diferentes bandolas en la copa de una planta de café en el ensayo de Pérez Zeledón



Dibujo de una planta de café presentando las bandolas seleccionadas en el Ensayo 1 que se llevó a cabo en la finca Verde Vigor en Pérez Zeledón, Costa Rica

Anexo C: Analizador de carbono (ADC-Lcpro) midiendo fotosíntesis



**Analizador de carbono midiendo
Asimilación neta en hojas y frutos**