

Thesis
A283ea
c.2

INSTITUTO COSTARRICENSE DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y GANADERAS
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
TURRIALBA, COSTA RICA
DICIEMBRE 2000
RECIBIDO
ESCUELA DE POSGRADUADOS

EVALUACION DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ
ASOCIADO CON *Eucalyptus deglupta* O *Terminalia ivorensis*
E IMPLICACIONES METODOLOGICAS

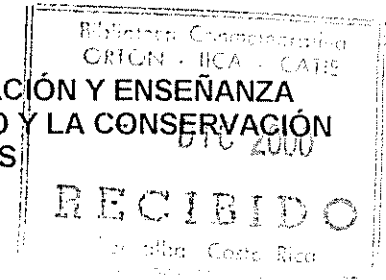
POR

AMILCAR AGUILAR CARRILLO

CATIE

Turrialba, Costa Rica
2000

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADUADOS



**Evaluación de Sistemas Agroforestales con café
asociado con *Eucalyptus deglupta* ó *Terminalia ivorensis*
e implicaciones metodológicas**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgraduados, 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

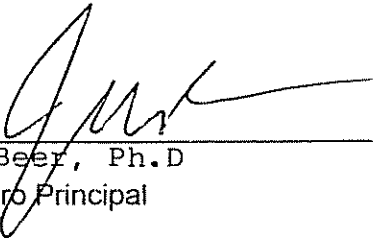
AMÍLCAR AGUILAR CARRILLO

Turrialba, Costa Rica
Diciembre, 2000


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

MAGISTER SCIENTIAE

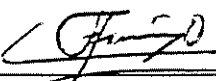
FIRMANTES:




John Beer, Ph.D
Consejero Principal



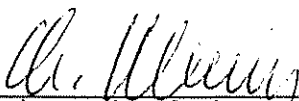
Philippe Vaast, Ph.D
Miembro Comité Consejero




Francisco Jiménez, Ph.D
Miembro Comité Consejero



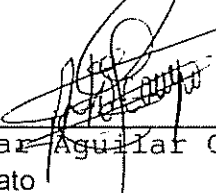
Charles Staver, Ph.D
Miembro Comité Consejero



Christoph Kleinn, Ph.D
Miembro Comité Consejero



Gilberto Páez, Ph.D
Director y Decano de la Escuela de Posgraduados



Amilcar Aguilar Carrillo
Candidato

DEDICATORIA

A la memoria de mi Madre y mi querida Abuelita Julia

A mi esposa Gioconda y mis hijas Claudia Fernanda y María Alejandra

A mi Padre por su apoyo y su entrega en mi educación

NICARAGUA

***" Yo te ofrezco el acero en que forje mi empeño
la caja de armonía que guarda mi tesoro
la peña de diamantes del ídolo que adoro
y te ofrezco mi esfuerzo, y mi nombre y mis sueños"***

R. Darío

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la Salud y la Fe necesarias para culminar esta etapa de mi vida

A Mis hermanos Sandra, Marlon y Luis Alberto

A doña Ruth, mi suegra por toda la ayuda que me brindó en estos dos años de estancia en CATIE

Al Pueblo y gobierno de Noruega por financiar mis estudios a través del Programa Regional de MIP y Agroforestería en Café de CATIE con sede en Nicaragua.

A cada uno de los miembros de mi comité asesor por su tiempo y sus aportes para culminar esta tesis.

Al personal de la "Biblioteca Orton" por su hospitalidad, su colaboración y su amistad durante mis dos años de estancia en CATIE.

A mis compañeros de promoción por su solidaridad, su amistad y por la oportunidad que me brindaron de conocer y compartir momentos muy amenos durante estos dos años.

A cada uno de los compañeros y compañeras de maestría. Gracias por su solidaridad y su amistad, gracias por soportarme como parte de la familia de los "AGROFOS 99-00".

A Johnny Pérez y Gustavo López. Su colaboración fue muy determinante para llevar a feliz término la fase final de esta maestría

Un agradecimiento especial para el Ing. Rudolf van Kanten estudiante de doctorado en CATIE por su apoyo y su amistad. Gracias van Kanten.

Mi agradecimiento al Dr. Eduardo Somarriba docente e investigador del Area de Cuencas y Sistemas Agroforestales de CATIE por su apoyo durante estos dos años y su colaboración para el desarrollo de esta tesis.

Al Sr. Alberto Volio Esquivel propietario de la finca "Verde Vigor" donde desarrollé la fase de campo de este estudio y al personal técnico de esta finca.

Mi agradecimiento al personal técnico de la Agencia Regional de ICAFE en la ciudad de Pérez Zeledón y de manera especial al Ing. Carlos Fonseca por su apoyo para el desarrollo de este estudio.

A los técnicos del CIRAD y ACSAF de CATIE por toda su colaboración y asesoría para culminar esta Tesis.

Finalmente deseo agradecer a los bachilleres Manuel Menjivar y Gabriel Ureña que colaboraron como asistentes de campo en todas las actividades de campo que se ejecutaron para completar esta tesis.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
1.3	<i>Hipótesis de trabajo</i>	3
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	<i>Respuesta del café bajo condiciones sombra artificial</i>	4
2.2	<i>Respuesta biofísica del café en asocio con árboles maderables o especies leguminosas</i>	5
2.2.1	<i>Efectos sobre las variables de desarrollo vegetativo</i>	5
2.2.2	<i>Efecto sobre las variables relacionadas con la productividad del café</i>	6
2.3	<i>Variables biofísicas más correlacionadas con la producción de frutos en café</i>	9
2.4	<i>Criterios para desarrollar metodologías de muestreo y estimar tamaños óptimos de muestra</i>	9
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1	<i>Localización y descripción del sitio de estudio para la fase de campo</i>	12
3.2	<i>Tratamientos evaluados</i>	13
3.3	<i>Dimensiones de la parcela experimental y la parcela útil para los tratamientos evaluados</i>	13
3.4	<i>El desarrollo de las observaciones en el campo</i>	14
3.5	<i>Variables de respuesta evaluadas en las plantas de café</i>	16
3.6	<i>Criterios para el análisis de distancia en los tratamientos con maderables</i>	21
3.7	<i>Criterios para estratificar las plantas de café</i>	22
3.8	<i>Medición del tiempo requerido para cuantificar las variables de respuesta medidas en las plantas de café</i>	23
3.9	<i>Metodología para el análisis estadístico de la información</i>	23
3.9.1	<i>Análisis del componente arbóreo</i>	24
3.9.2	<i>Análisis estadísticos para las variables de respuesta medidas en café</i>	24
3.9.3	<i>Análisis estadísticos para seleccionar las variables que mejor explicaron el número de frutos por planta</i>	26
3.10	<i>Metodología para estimar los tamaños óptimos de muestra y criterio para comparar eficiencia de muestreo</i>	27
4	RESULTADOS.....	29
4.1	<i>Crecimiento de <i>T. ivorensis</i> y <i>E. deglupta</i></i>	29
4.2	<i>Efecto de los árboles maderables sobre la disponibilidad de RAFA</i>	29
4.3	<i>Interacciones biofísicas café - maderables</i>	31
4.3.1	<i>Efecto de los maderables en el café como factor principal</i>	31
4.3.2	<i>Efecto de la distancia y su interacción con las dos especies maderables</i>	32
4.3.3	<i>Efecto de los estratos y su interacción con las distancias</i>	38
4.4	<i>Consideraciones metodológicas</i>	41

4.4.1	<i>Tiempo requerido para cuantificar cada una de las variables observadas en el café.</i>	41
4.4.2	<i>Variables que mejor explicaron el número de frutos por planta y desarrollo de modelos predictivos para estimar el número de frutos por planta.</i>	43
4.4.3	<i>Tamaños de muestra y eficiencia de diferentes métodos de muestreo para café asociado con árboles maderables.</i>	45
5	DISCUSIÓN	48
5.1	<i>Componente arbóreo.</i>	48
5.2	<i>Interacciones biofísicas café-maderables.</i>	48
5.3	<i>Consideraciones metodológicas.</i>	51
6	CONCLUSIONES	54
7	RECOMENDACIONES	56
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXOS	63

Lista de Cuadros

N°	Título	N° de página
1	Resumen sobre la respuesta de las variables biofísicas del café bajo sombra artificial o de especies arbóreas.....	8
2	Crecimiento de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> en plantaciones de café después de 22 meses de establecimiento. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	29
3	Promedio de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) bajo los árboles de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> en un cafetal de la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	30
4	Respuesta del café a la presencia de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> con 22 meses de edad, en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	31
5	Dimensiones del café para la interacción especies maderables por distancias. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	37
6	Dimensiones del café que variaron entre estratos dentro de la planta de café en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	38
7	Variables medidas a nivel de estratos para el tratamiento a pleno sol. "Finca Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	39
8	Tiempos estimados para cuantificar variables de crecimiento y productividad para café asociado con árboles maderables en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	42
9	Resumen sobre tamaños óptimos de muestra, promedios y errores estándar de las medias para el número de frutos por planta, nudos productivos por planta y promedio de frutos por nudo productivo, mediante el muestreo irrestricto aleatorio, muestreo sistemático y muestreo por conglomerados para café asociado con <i>Eucalyptus deglupta</i> , <i>Terminalia ivorensis</i> y en pleno sol. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	46

Lista de Figuras

N°	Título	N° de página
1	Esquema de la parcela experimental y la parcela útil para los tratamientos con maderables. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	14
2	Criterios para el análisis de distancias de café asociado con <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> . Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica. (Desviación estándar de distancias reales entre paréntesis).....	21
3	Promedio de frutos y cantidad de ramas emitidas por las plantas de café asociadas con <i>Eucalyptus deglupta</i> o <i>Terminalia ivorensis</i> . Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	23
4	Disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) y proyección de sombra a una distancia de 1.5 m de los tallos de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> , comparados con pleno sol, en un cafetal de la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.	30
5	Efecto de la proximidad de los árboles maderables sobre la altura, diámetro de copa dentro de la línea, número de nudos en el tallo principal y el número de ramas primarias de las plantas de café, en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	33
6	Efecto de la proximidad de los árboles de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> sobre el diámetro del tallo, diámetro de copa hacia la calle y proyección de copa del café en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	34
7	Efecto de la proximidad de los árboles de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> sobre las ramas primarias productivas, el promedio de frutos por nudo productivo y el número de frutos por planta de café en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	35
8	Efecto de la proximidad de los árboles de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> sobre el área foliar, nudos productivos y número de frutos por rama en diferentes estratos del cafeto, en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	40

Anexos

Nº	Título	Nº de página
1	Croquis sobre la distribución de los tratamientos de <i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>Terminalia ivorensis</i> como sombra para café, en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.....	64
2	Resultados parciales de los análisis realizados para discriminar variables que mejor explicaron el número de frutos por planta.....	65
3	Resultados parciales de los análisis realizados para discriminar variables que mejor explicaron el número de frutos por planta sin incluir los nudos productivos por planta y el promedio de frutos por nudo productivo.....	69

Aguilar, C.A. 2000. Evaluación de Sistemas Agroforestales con café asociado a *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* e implicaciones metodológicas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p

Palabras claves: árboles maderables, crecimiento, *Coffea arabica*, distancias, estratos, interacciones, productividad, tamaños de muestra.

RESUMEN

Se estudió el efecto *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* sobre plantas de café (*Coffea arabica* var. Costa Rica) establecidas a diferentes distancia de los árboles, se analizó el efecto de los maderables sobre la arquitectura, crecimiento y desarrollo del café. Se desarrollaron modelos para predecir el número de frutos por planta asociadas con *E. deglupta* o *T. ivorensis*. Se comparó la eficiencia del muestreo irrestricto aleatorio, el muestreo sistemático y el muestreo por conglomerados para evaluar los socios café-maderables y se estimó el tiempo que demandaron las observaciones de campo para las variables medidas en las plantas de café. El estudio se desarrolló en un experimento establecido en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica en suelos clasificados como Ustoxic Palehumult con pH 4.6-5.2, localizada a 700 msnm, con una precipitación anual de 3853 mm.

Después de 22 meses, el crecimiento de *T. ivorensis* fue superior (dap 7.7cm; diámetro medio de copa 3.6m; proyección de copa 11.5m²; y el área basal 1.38 m² ha⁻¹) a *E. deglupta* (5.2cm; 2.4m ; 4.7m²; y 0.67 m² ha⁻¹ respectivamente). *Terminalia ivorensis* disminuyó en un 51% la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa y proyectó un 22% más de sombra a 1.5 m de distancia de sus tallos, comparada con *E. deglupta*. Al nivel de parcelas, las copas de *T. ivorensis* sombrearon directamente un 32% de los cafetos y disminuyó en un 38% la disponibilidad de RAFA comparado con condiciones de pleno sol, mientras *E. deglupta* afectó un 13% de los cafetos y disminuyó un 30% de la RAFA respectivamente.

Las plantas de café asociadas con *E. deglupta* o *T. ivorensis*, disminuyeron entre 15 y 22% respectivamente, el número de frutos por planta comparados con café en pleno sol. La cercanía de los árboles afectó en forma significativa la altura de las plantas, el número de nudos en el tallo principal y el número de ramas primarias de los cafetos. Se encontraron diferencias para la interacción entre los tratamientos con las especies maderables y las distancias. La cercanía de *T. ivorensis* afectó el diámetro del tallo, diámetro de copa hacia las calles, la proyección de copa del café, el número de ramas productivas por planta, el promedio de frutos por nudo productivo y número de frutos por planta, mientras que la presencia de *E. deglupta* no afectó las dimensiones de estas variables. *Terminalia ivorensis* disminuyó hasta un 75% el número de frutos en las plantas de café más cercanas a sus tallos, las plantas de café mostraron un crecimiento consistente en el número de frutos al alejarse de los árboles de esta especie.

La mayor cantidad de tejido nuevo en las plantas de café, se produjo en el estrato superior e intermedio. Sumando la cantidad promedio de hojas por rama en el estrato superior e intermedio, fue igual al promedio alcanzado por las ramas del estrato inferior. En el estrato medio e inferior de los cafetos, 58 y 77% de los nudos fueron improductivos respectivamente. Las plantas de café asociadas con árboles maderables, presentaron hasta un 32% menos de hojas en las ramas del estrato inferior, comparadas con estas mismas ramas en las plantas de café establecidas en pleno sol. La distancia de los árboles maderables afectó de manera significativa el promedio de área foliar de los cafetos para el estrato inferior, el promedio de nudos productivos para los estratos superior e intermedio y el promedio de frutos por rama para los tres estratos que se definieron en las plantas de

café. Los modelos de regresión lineal ajustaron en forma significativa el comportamiento creciente que mostraron estas variables al alejarse de los árboles para cada uno de los estratos citados.

Para estimar el número de frutos por planta (NFPP) asociadas con *E. deglupta* y *T. ivorensis* se generó un modelo (A), que involucra variables directamente relacionadas con la fructificación, como los nudos productivos por planta y el promedio de frutos por nudo productivo. Además un modelo alternativo (B), donde se utilizó únicamente variables de crecimiento vegetativo de los cafetos:

- A) $NFPP = 0.88 (\text{Nudos productivos por planta} \times \text{Promedio de frutos por nudo productivo})$
($R^2 = 0.98$; $p < 0.0001$)
- B) $NFPP = 474(\text{Área foliar por planta}) + 4.1(\text{Nudos totales por planta}) - 5.32(\text{Nudos no productivos por planta})$
($R^2 = 0.94$; $p < 0.0001$)

Los resultados metodológicos sugieren un tamaño de muestra entre 50 y 60 plantas para estimar el número de frutos y los nudos productivos en las plantas de café asociadas con *E. deglupta* o *T. ivorensis* y un 50% de esta muestra para estimar el promedio de frutos por nudo productivo. El muestreo sistemático resultó más eficiente para evaluar los asociados café-maderables. Para estimar los nudos productivos por planta, se sugiere una muestra de cinco ramas por planta seleccionadas en forma sistemática y considerando como punto de inicio el nudo seis dentro de las plantas; para estimar el promedio de frutos por nudo productivo, se sugiere contabilizar los frutos presentes en un nudo productivo localizado en la parte media de estas mismas ramas.

La cuantificación del área foliar por planta, por el método no-destructivo requirió alrededor de 20 minutos en plantas de dos años de edad. Cuantificar variables donde solo se contó o midió un valor por planta (ej. altura o número de nudos en el tallo), requirió menos de un minuto por planta. Para estimar el número de frutos en base a una muestra de ocho ramas por planta, necesitó alrededor de tres minutos por planta. Para cuantificar variables en todas las ramas (ej. longitud de ramas primarias o número de hojas por rama), se necesitó cerca de seis minutos por planta para cada una de las variables.

Los resultados obtenidos en este estudio, sugieren que el uso de *T. ivorensis* en sistemas agroforestales con café, requiere de podas más drásticas de sus ramas después del primer año de establecimiento y probablemente raleos más tempranos que *E. deglupta*. Es necesario considerar si en los sistemas agroforestales café-maderables, conviene plantar café a menos de un metro de distancia de los árboles. La altura de plantas, el número de nudos en el tallo principal y el número de ramas primarias por planta, fueron buenos indicadores para detectar el efecto de especies maderables sobre las plantas de café establecidas a diferente distancia de los árboles. Al nivel de estratos, la observación del área foliar para el estrato inferior, los nudos productivos y el número de frutos por rama después del nudo ocho, fueron buenos indicadores para conocer como pueden afectar los árboles maderables el desarrollo del café.

Aguilar, C.A. 2000. Evaluation of Agroforestry Systems of coffee associated with *Eucalyptus deglupta* or *Terminalia ivorensis* and methodological implications. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p.

Key words: *Coffea arabica*, distances, growth, interactions, methodology, productivity, sample size, timber trees.

SUMMARY

The effect of *Eucalyptus deglupta* or *Terminalia ivorensis* on coffee (*Coffea arabica* var. Costa Rica) plants, established at different distances from the trees, was evaluated. In particular, the effect of these timber trees on the architecture, growth and development of coffee was analyzed. Models were developed to predict the number of fruits per plant associated with *E. deglupta* or *T. ivorensis*. The efficiency of complete random sampling, systematic sampling and sampling by conglomerates to evaluate the coffee was compared. Additionally the time required for the field observations of the different coffee variables was measured. The study was carried out in an experiment established in the "Verde Vigor" farm, Pérez Zeledón, Costa Rica, in soils classified as Ustoxic Palehumult, with pH of 4.6 - 5.2, located at 700 m a.s.l., with an annual precipitation of 3853 mm.

After 22 months, the growth of *T. ivorensis* was higher (DAP 7.7cm; average crown diameter 3.6m, crown projection 11.5m²; and basal area 1.38 m² ha⁻¹) than that of *E. deglupta* (5.2cm; 2.4m; 4.7m²; and 0.67 m² ha⁻¹ respectively). *T. ivorensis* decreased the availability of photosynthetic active radiation (RAFA) by 51% and projected 22% more shade at a distance of 1.5 m from the stems, compared with *E. deglupta*. At the plot level, *T. ivorensis* crowns directly shaded 32% of the coffee plants and decreased the availability of RAFA by 38% compared to conditions of full sun, while *E. deglupta* affected 13% of the coffee plants and decreased RAFA by 30%, respectively.

Coffee plants associated with *E. deglupta* or *T. ivorensis*, had 15 and 22% less fruits respectively, compared with coffee in full sun. The proximity of the trees significantly affected the height, the number of nodes on the main stem and the number of primary branches of the coffee plants. Significant differences were observed for the interaction between the treatments timber species and distance. The proximity of *T. ivorensis* affected coffee stem diameter, crown diameter towards the alleys, crown projection, number of productive branches per plant, average fruits per productive node and number of fruits per plant, while the proximity of *E. deglupta* did not affect the dimensions of these variables. The number of coffee fruits on plants closest to the *T. ivorensis* decreased up to 75%; there was a consistent increase in the number of fruits as distance from this species increased.

The greatest quantity of new plant tissue was produced in the upper and middle strata of the coffee plants. The leaf number per branch in the upper and middle strata, was equal to the average leaf number per branch in the lower stratum. In the middle and lower strata, 58 and 77% , respectively, of the nodes were not productive. Coffee plants associated with timber trees had up to 32% less leaves in the lower branches, compared to the same branches of coffee plants exposed to full sunlight.

The proximity of the trees independent of timber tree species, significantly affected the average leaf area for the lower strata, the average number of productive nodes for the upper and middle strata and the average number of fruits per branch for all three strata. Significant fits of linear regression models, for these variables on distance to the nearest tree, were found for the above mentioned strata.

To estimate the number of fruits per coffee plant (NFPP), associated with *E. deglupta* and *T. ivorensis*, a model (A) was generated that included variables directly related with fruiting, such as the number of productive nodes per plant and the average fruits per productive node. The alternative model (B) excluded both of these variables, and it was generated using vegetative coffee plant variables only:

$$\text{A) NFPP} = 0.88 (\text{Productive nodes per plant} \times \text{Average fruits per productive node}) \\ (R^2=0.98; p<0.0001)$$

$$\text{B) NFPP} = 474 (\text{Leaf area per plant}) + 4.1(\text{Total number of nodes per plant}) - 5.32 (\text{unproductive} \\ \text{nodes per plant}) \\ (R^2=0.94; p<0.0001)$$

The methodological results suggest a sample size between 50 and 60 plants for coffee associated with *E. deglupta* or *T. ivorensis* to estimate the number of fruits and the productive nodes in coffee plants, and 50% of this sample size to estimate the average number of fruits per productive node. Systematic sampling was the most efficient method to evaluate the coffee in a timber tree association. A sample of five branches per plant selected in a systematic manner, considering node six from the top of the plant as the starting point, is suggested to estimate the productive nodes per plant. To estimate the average number of fruits per productive node, the number of fruits present on the productive nodes located in the middle part of these same branches can be counted.

Quantification of the leaf area per plant, by a non-destructive method, requires around 20 minutes in two-year-old coffee. To quantify each variable that involves one value per plant (e.g. height or stem diameter), less than one minute per plant is required. To estimate the number of fruits, based on a sample of eight branches, around three minutes per plant is needed. To quantify variables measured on all branches (e.g. length of primary branches or number of leaves per branch), close to six minutes per plant for each variables is needed.

The results obtained in this study suggest that if *T. ivorensis* is used as a coffee shade tree, more severe pruning of the branches after the first year of establishment and probably earlier thinning than for *E. deglupta* is required. It is necessary to consider if, in the coffee-timber tree agroforestry system, it is convenient to plant coffee at least at one meter from the tree. Plant height, number of nodes on the main stem, and the number of primary branches per plant, were good indicators to detect the effect of timber tree species on coffee plants established at different distances from the trees. At the level of the strata, the observation of leaf area for the lower strata, the productive nodes and the number of fruits per branch below stem node eight were good indicators of the effect of the timber trees on the development of coffee plants.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el café (*Coffea arabica* L.) se cultiva en un rango muy amplio de condiciones agroecológicas y bajo una alta diversidad en su manejo (Beer 1997; Barros *et al.* 1995; Maestri y Barros 1977; Suárez de Castro 1961). El uso de sombra para la producción de café es una discusión que aún continúa en el debate científico. Hoy se reconoce que su uso no solo depende de los efectos fisiológicos que puede provocar en el desarrollo del cultivo. Se ha logrado establecer que la conveniencia o no de la sombra va a depender de factores climáticos, edáficos y de los recursos y condiciones socioeconómicas donde se desarrolle el cultivo (Beer *et al.* 1998; Beer 1997; Muschler 1997 a).

Debido a las múltiples ventajas atribuidas al uso de la sombra en el cultivo de café, como mejorar las condiciones microclimáticas, un mejor ciclaje de nutrientes, menos desgaste productivo y la obtención de mayores ingresos por la venta o el consumo de los productos de los árboles, estos sistemas agroforestales brindan la oportunidad de desarrollar cafetales más sostenibles en términos biofísicos y socioeconómicos (Muschler 1999; Beer 1995; Montenegro *et al.*; ANACAFE 1995; Beer 1989; Huxley 1970).

El uso tradicional de especies leguminosas como sombra para la producción de café hoy está cambiando (Beer 1997; Galloway y Beer 1997; Fournier 1988; Fassbender *et al.* 1985; Fournier 1981). Los impactos de los bajos precios del café suscitados de manera periódica en el mercado internacional y un aumento creciente en los costos de producción están perfilando la necesidad de utilizar especies arbóreas que además de ofrecer servicios para el cultivo, también aporten productos comerciales para los productores.

Se ha recalcado repetidamente en la literatura agroforestal que el éxito de la agroforestería radica fuertemente en la explotación de las interacciones (Mushler, 1997 b). A pesar de existir una abundante literatura sobre el uso de sombra en cultivo de café, hoy en día resulta muy difícil tratar de comparar resultados y conclusiones de los diferentes agroecosistemas cafetaleros asociados con especies maderables. ¿Cuáles son las variables biofísicas del cultivo que resultan más sensibles a la presencia de los árboles maderables? ¿Que tipos de interacciones pueden establecerse en diferentes distancias

entre el café y los maderables? ¿Qué efecto pueden tener los maderables sobre el comportamiento biofísico en diferentes estratos de la planta de café?

Conocer como responde la planta de café asociada con *Eucalyptus deglupta* Blume y *Terminalia ivorensis* A. Chev. puede contribuir a la respuesta de las interrogantes generales planteadas anteriormente y favorecer el desarrollo de criterios metodológicos que permitan una evaluación más eficiente y un mejor entendimiento de los sistemas café - maderables.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL:

- Analizar la respuesta del café asociado con árboles maderables y contribuir al desarrollo de criterios metodológicos para la investigación en café asociado con árboles maderables.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Estimar el crecimiento y productividad comercial del café en asocio con *E. deglupta* o *T. ivorensis*.
- Evaluar la respuesta biofísica del café establecido a diferentes distancias de *E. deglupta* y *T. ivorensis*.
- Comparar el desarrollo de las ramas en tres estratos de las plantas café cultivadas en asocio con *E. deglupta* o *T. ivorensis*.
- Desarrollar criterios para predecir la respuesta productiva del café asociado con *E. deglupta* o *T. ivorensis* y desarrollar una metodología para estudiar la respuesta de plantas de café asociadas con árboles maderables.

1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO:

- H₁: La presencia *E. deglupta* o *T. ivorensis* afecta la arquitectura, el crecimiento y la producción potencial de las plantas de café.
- H₁: El efecto de *E. deglupta* o *T. ivorensis* sobre el crecimiento y productividad de las plantas de café depende de la distancia entre los árboles y el café.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

A pesar de la importancia conferida a la producción de café bajo sombra (Beer *et al.* 1998) en la literatura científica hay pocos estudios referidos a la respuesta biofísica o fisiológica de las plantas de café a la presencia de árboles maderables. Bajo esa limitante, la revisión bibliográfica que se presenta, esta concentrada en estudios realizados sobre la respuesta del café bajo sombra artificial o en condiciones de sombrero mayormente con especies leguminosas comparado con plena exposición solar y se documenta las variables biofísicas del café que han sido reportadas como más correlacionadas con los rendimientos de esta planta.

2.1 Respuesta del café bajo condiciones de sombra artificial

Fahl y Carvalho (1994) estudiaron la influencia del sombreado de 30, 50 y 100% de luz solar sobre los patrones de crecimiento de *C. arabica*. Ellos concluyeron que a mayor radiación hay un aumento del peso foliar específico y un mayor sombreado ocasionó mayores contenidos de clorofila y menor contenido de nitrógeno total por área foliar.

Ventakaramanan y Govindappa (1987), utilizando plantas de invernadero con diez meses de edad bajo sombra regulada de 25, 70 y 100% de radiación, reportaron un mayor índice de área foliar, mayor duración de las hojas y una mayor tasa de crecimiento foliar con 25 y 70% de radiación solar. Las plantas a plena exposición solar presentaron una menor altura, menor área foliar y un mayor número de hojas.

Montoya *et al.* (1961), al comparar la respuesta del café con 50, 75 y 100% de exposición solar, encontró una disminución en el número de nudos nuevos por planta y una mayor longitud de entrenudos al disminuir los niveles de radiación. Con respecto al rendimiento, reportaron una correlación positiva con la cantidad de entrenudos que se formaron el año anterior en las ramas. Esta correlación fue máxima con el 75% de radiación.

Un estudio desarrollado por Arrillaga y Gómez (1942) en Puerto Rico, reportó una correlación negativa entre el rendimiento y el crecimiento de café a plena exposición solar. Los máximos rendimientos se alcanzaron con un tercio y un medio de la radiación solar; la altura y el diámetro del tallo fueron mayores a un tercio de la radiación solar. Las plantas bajo plena exposición, presentaron hojas más pequeñas, entrenudos más cortos y

una menor extensión de las ramas. Con sombra regulada encontraron valores menos fluctuantes en cuanto a la humedad del suelo y la radiación solar de un año a otro.

2.2 Respuesta biofísica del café en asocio con árboles maderables o especies leguminosas

2.2.1 Efectos sobre las variables de desarrollo vegetativo

El café a plena exposición solar presentó un mayor número de nudos, internudos más cortos, hojas más pequeñas, mayor número de estomas por hoja, mayor número de ramas de crecimiento plagiotrópico y una menor altura (Fournier, 1988)

Las plantas de café bajo sombra, comparadas con café a plena exposición solar, presentaron entrenudos más largos en sus tallos (23%), mayor longitud de entrenudos en sus ramas (22%), mayor tamaño de las hojas (83%), una mayor área foliar por ramas (21%) y un menor número de hojas en las ramas (31%) (Kimenia y Njoroge, 1988).

Castañeda (1981) reportó disminuciones significativas de altura y diámetro para las plantas de café que crecieron en asocio con *T. ivorensis*, comparadas con café bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* Walp. O.F. Cook .

La sombra puede provocar la producción de hojas más delgadas, un mayor contenido de clorofila en las mismas y una floración menos intensa en las plantas de café (Willey, 1975).

Cannell (1975), basado en sus propias investigaciones y resumiendo los avances de otros investigadores, concluyó que bajo sombra hay una mayor producción de materia seca por hectárea. Las plantas jóvenes de café puede invertir entre un 40-45% de la producción de materia seca para la formación de hojas y la mayor tasa de fotosíntesis en café generalmente se obtiene a una temperatura 20 °C.

Suárez de Castro *et al.* (1961) reportan que, durante los primeros años de vida, el café bajo sombra tuvo mayor altura, tallos con menores diámetros, menor número de ramas primarias, mayor longitud de ramas primarias, menor número de ramas secundarias, sistema radical menos extenso y hojas más persistentes en la época seca.

Compilando información de diferentes estudios Alvin (1953) encontró que el café expuesto a una mayor radiación presentó una mayor tasa de asimilación y una menor relación de área foliar (peso seco de las plantas / área foliar); indica que a menor radiación, la intensidad relativa de crecimiento de las plantas disminuyó.

2.2.2 Efecto sobre las variables relacionadas con la productividad del café

Muschler (1998) encontró que bajo sombra intermedia y homogénea de *E. poeppigiana* (con un suministro de 30 a 50% de RAFA), el café puede producir igual rendimiento que a pleno sol, pero puede obtenerse una producción con frutos más sanos y más vigorosos. Un 80% de sombra redujo hasta un 37% el rendimiento, siendo el cv. Catimor más susceptible a estas condiciones. La producción bajo sol o con árboles podados intensivamente puede incrementar la presencia de *Cercospora coffeicola*. La sombra incrementó el peso y el tamaño de los frutos; también produjo mejoras en la calidad general del grano sobre todo para cv. Caturra.

Gopal *et al.* (1970), encontraron una mejor calidad de la bebida en café producido bajo sombra al compararlo con café producido en pleno sol.

Estivariz (1997) estudió el efecto de sombra heterogénea (*E. poeppigiana* con dos o tres podas por año) y sombra homogénea (40-60% de RAFA con *E. poeppigiana* regulada) sobre la floración y productividad del café. La sombra homogénea redujo el número de ramas productivas, el área basal productiva y un 40% del rendimiento potencial del café en comparación con la sombra heterogénea. No encontró diferencias entre el número de flores y el número de frutos en las ramas primarias.

Hernández (1995), al evaluar diferentes sistemas de café con *E. poeppigiana* y *Cordia alliodora* en un diseño sistemático para la densidad de las dos especies árboles, encontró una mejor relación cereza-grano al comparar el café producido bajo sombra vs. plena exposición solar. En este mismo experimento (Beer 1992), concluyó que el aumento en las densidades de *C. alliodora* de 100 a 260 árboles ha⁻¹ redujo la deposición de residuos de *E. poeppigiana* de 4.6 a 2.9 t ha⁻¹ año⁻¹, redujo los rendimientos de café cereza de 13.4 a 10.3 t ha⁻¹ año⁻¹ y también hubo una reducción en la formación de flores del café debido a la competencia de *C. alliodora*.

Según Fournier (1988), las plantas de café a pleno sol presentaron una mayor diferenciación de yemas florales y pueden producir entre 10-20% más que las cultivadas bajo sombra regulada, pero sus frutos son de menor tamaño. Willey (1975), también reporta una floración menos intensa en las plantas de café cultivadas bajo sombra.

En café cultivado en sistemas agroforestales, Van der Vossen (1988), encontró que bajo un 50% de sombra después de tres años, el café podría reducir hasta en un 30% sus nudos productivos, un 40% de inflorescencias por nudo y hasta un 50% de flores por inflorescencia. También menciona que en esta planta la formación de flores en sus nudos se da cuando los nudos alcanzan una edad de 5-7 meses. Estudios realizados por Suárez de Castro *et al.* (1961), también indican que el café bajo sombra regulada presentó ramas con menos nudos productivos y menor número de flores en las plantas.

Según González (1980), al evaluar plantaciones comerciales de café asociado con *C. alliodora* y *E. poeppigiana*, solo con *E. poeppigiana*, y sin sombra, no encontró diferencias significativas en el rendimiento para los distintos socios y concluyó que el número de nudos por bandola fue el mejor indicador de los rendimientos.

Muschler (1998), correlacionó la floración, la producción, el vigor y la salud de las plantas de café asociado con diferentes especies arbóreas y encontró buena compatibilidad con *Cassia grandis*, *Casuarina equisetifolia* y *E. deglupta* en condiciones climáticas sin limitaciones de agua.

Vasudeva y Ratageri (1981) evaluaron la tasa de crecimiento foliar de *C. arabica* y *C. canephora* bajo sombra en la India. Ellos concluyeron que *C. arabica* necesitó 17.70 cm² para sostener un fruto y encontraron 1-5 frutos por nudo y tres frutos por cada hoja mientras *C. canephora* necesitó 27 cm² por cada fruto

Cannell (1975) menciona que fisiológicamente la planta de café presenta limitantes para regular el balance entre sus principales órganos sumideros (frutos) y el potencial de sus fuentes (área foliar) y expone que dos hojas por nudo pueden soportar 2-3 frutos y por cada fruto el café necesita alrededor de 20 cm² de área foliar.

De la revisión bibliográfica previamente descrita, se puede resumir que los efectos principales de la sombra sobre el cultivo de café son los siguientes:

Cuadro 1. Resumen sobre la respuesta de las variables biofísicas del café bajo sombra artificial o de especies arbóreas.

Variable	Referencias
Efecto sobre las raíces y características del tallo principal	
Menor peso seco de raíces	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961)
Menor diámetro del tallo en las plantas	Castañeda (1981); Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961)
Reducción del área basal productiva	Estivariz (1997)
Mayor altura de plantas	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961); Fournier (1988); Venkataramanan y Govindappa (1987)
Menor número de nudos en el tallo principal	Fournier (1988)
Mayor longitud de entrenudos en el tallo	Kimenia y Njoroge (1988)
Menor cantidad de ramas primarias	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961)
Efecto sobre las ramas	
Menor número de entrenudos nuevos por rama	Montoya <i>et al.</i> (1961)
Mayor longitud de ramas o bandolas primarias	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961); Arrillaga y Gómez (1942)
Mayor longitud de entrenudos en las ramas	Kimenia y Njoroge (1988)
Menor número de nudos por rama	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961)
Reducción del número de ramas productivas	Estivariz (1997)
Efecto sobre las hojas y la dinámica de crecimiento de las plantas	
Hojas más grandes	Kimenia y Njoroge (1988)
Mayor índice de área foliar	Kimenia y Njoroge (1988)
Mejor relación de área foliar (área foliar / peso seco de las plantas)	Alvin (1953)
Mayor persistencia de hojas	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961); Venkataramanan y Govindappa (1987)
Mayores contenidos de clorofila en las hojas	Falh y Carvalho (1994)
Mayor tasa de crecimiento foliar	Venkataramanan y Govindappa (1987)
Menor número de hojas en las ramas	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961); Kimenia y Njoroge (1988); Venkataramanan y
Reducción en la tasa de asimilación de las plantas	Alvin (1953)
Efectos sobre variables asociadas con la productividad	
Frutos más grandes y sanos	Muschler (1995)

Variable	Referencias
Mayor peso promedio de los frutos	Muschler (1995)
Mejor relación granos / cerezas	Hernández (1995)
Mejores rendimientos en zonas bajas y períodos secos	Arrillaga y Gómez (1942)
Plantas más saludables en zonas bajas	Arrillaga y Gómez (1942)
Mejor calidad de la bebida	Gopal <i>et al.</i> (1970); Muschler (1998)
Mayor producción de materia seca por ha	Cannell (1975); Venkataramanan y Govindappa (1987)
Menor número de flores por nudo	Van der Vossen (1988); Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961); Willey (1975)
Menor número de frutos por nudo	Van der Vossen (1988); Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961)
Reducción del rendimiento de cerezas	Muschler (1995)
Maduración más tardía	Suárez de Castro <i>et al.</i> (1961)
Periodos productivos más largos	Cannell (1975)

2.3 Variables biofísicas más correlacionadas con la producción de frutos en café

A través de tres años Martín y Montes (1991) estudiaron la influencia de las variables morfológicas sobre el rendimiento de cinco variedades de café establecidas a plena exposición solar en Cuba y concluyeron que la longitud de los entrenudos en las ramas primarias fue la variable que tuvo un mayor efecto directo sobre el rendimiento. La altura, la longitud de ramas primarias, la longitud de los entrenudos y el diámetro de copa fueron las variables que se correlacionaron de manera negativa con el rendimiento. González (1980) concluyó que el número de nudos por bandola fue el mejor indicador de los rendimientos. Estivariz (1997) encontró que las variables más correlacionadas con la producción potencial fueron el diámetro de copas, la altura y el área basal productiva en las plantas de café. Salazar y Corchuelo (1988) estudiaron durante casi tres años la vida productiva de cinco cultivares de café en Colombia y encontraron que el número de ramas primarias por planta, las ramas productivas por planta, los nudos productivos por rama y el promedio de frutos por nudo, fueron las características morfológicas del café más asociadas con el rendimiento.

2.4 Criterios para desarrollar metodologías de muestreo y estimar tamaños óptimos de muestra

La experimentación agrícola es una actividad básicamente económica, en el sentido de que se busca el máximo de información al menor costo posible. Bajo esta premisa, la

determinación de tamaños y la forma de parcela experimentales ha constituido una herramienta muy importante para el desarrollo de la investigación agrícola (Oliveira y Biava, 1982). En la planificación de la investigación generalmente hay que tomar una decisión respecto al tamaño de la muestra que se utilizará para obtener la información, una muestra demasiado grande puede implicar un despilfarro de recursos y una muestra muy pequeña puede disminuir o anular la utilidad de los resultados (Cochran 1998).

Mendenhall (1982) señala que la selección del tamaño de muestra siempre ha constituido una de las primeras interrogantes al momento de planificar una investigación. Asimismo expresa que el procedimiento de muestreo y el tamaño de la muestra son los factores que controlan la cantidad total de información que puede suministrarnos una muestra. Pimentel y Chaves (1988) definen el tamaño óptimo de muestra como el tamaño que para un costo fijo minimiza la varianza de las medias para las muestras.

Según Cochran (1998), los aspectos más relevantes en la elección de un tamaño de muestra son: el límite de error deseado y la utilidad que se dará a los resultados; la elección de una ecuación que relacione el tamaño de muestra con la precisión deseada de la muestra, la cual debe de corresponderse con el enunciado de precisión y el tipo de muestreo propuesto; al establecer límites de error para diferentes subdivisiones de la población, será necesario estimar tamaños de muestra para cada subdivisión y obtener el tamaño de la muestra para la población de interés por adición de las subdivisiones; Al definirse diferentes grados de precisión para diferentes características observadas, es probable que resulten valores de " n " conflictivos, por tal razón, debe encontrarse un método para reconciliar estos valores; finalmente enfatiza sobre la necesidad de apreciar un valor de " n " que sea consistente con los recursos de muestreo disponibles.

De acuerdo con Kish (1982), el diseño de una muestra debe considerar los objetivos de la investigación y en base a ellos, considerar la selección y en la definición de la población, las mediciones y en los procedimientos de muestreo. Además, este diseño debe permitir estimaciones válidas o aproximaciones de su variabilidad de muestreo y también los aspectos prácticos, ya sea para las actividades de campo o de oficina, y por supuesto, la selección de un diseño que permita la mayor precisión (varianza mínima) al menor costo fijo disponible.

Para la investigación con café Chaves *et al.* (1992), utilizando el método de Hateway reportaron dos opciones para el tamaño de parcelas y número de repeticiones; una que contempla 19 plantas de café con cinco repeticiones u otra con seis plantas y nueve repeticiones con un margen de error de un 20 % para ambos casos. Pérez (1962), utilizando el método de máxima curvatura, reportó tamaños óptimos de parcela de 10 -12 plantas cuando hay limitaciones para el número de repeticiones y de 4-6 plantas si no hay limitaciones para un mayor número de repeticiones. Similares conclusiones obtuvo Paéz (1963), utilizando datos de cinco años de cosecha de café con experimentos en blanco. Todos estos estudios fueron desarrollados para café establecido en pleno sol.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y descripción del sitio de estudio para la fase de campo

El estudio se desarrolló en la finca "Verde Vigor" ubicada a 30 km al sur de la ciudad de San Isidro del General, en el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica. La ubicación geográfica del sitio está entre las coordenadas 9°15' a 9° 16' N y de 83° 30' y 83° 29' W a una altitud de 700 msnm y una precipitación anual de 3853 mm (Tavares *et al.*, 1999). Los suelos de la zona son Ustoxic Palehumult con pendientes que oscilan entre 0 y 33% y pH 4.6 - 5.2. Según la clasificación de Köppen, el clima corresponde al tipo tropical lluvioso (Amw). De acuerdo a Holdridge, la zona corresponde a un bosque pluvial montano bajo.

Los datos para el presente estudio se recolectaron en un ensayo con *C. arabica* cv. Costa Rica 95 establecido entre mayo y julio de 1998 con el propósito de analizar la distribución y el comportamiento dinámico de las raíces de los árboles maderables *E. deglupta* y *T. ivorensis* con y sin fertilización adicional de los árboles comparados con el sistema de sombra tradicional con sombra de *E. poeppigiana*. Este ensayo se estableció en un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones y cinco tratamientos (ya mencionados arriba) en las parcelas principales. En las sub-parcelas se están evaluando dos métodos para la fertilización del café que corresponden a la práctica de fertilización en banda y la distribución homogénea del fertilizante entre las hileras de café (Anexo 1). El café fue sembrado a 2,0 m entre hileras y 1,0 m entre plantas dentro de las hileras. En cada postura se colocaron dos o más plantas de café. Los árboles maderables fueron sembrados dentro de las líneas de café a una distancia de 6.0 × 6.0 m y *E. poeppigiana* a una distancia de 8 × 8 m también dentro de las hileras del café. El sitio donde se estableció el experimento, se cultivó previamente con caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) y para sembrar el café se hizo una preparación mecanizada.

El manejo agronómico del experimento se realizó de acuerdo al manejo comercial de la zona y de la finca donde está establecido el estudio. Regularmente se hizo un manejo intensivo, aplicando 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 Mg (fuente MgO); 1.55 kg ha⁻¹ B (fuente B₂O₃); 50 kg ha⁻¹ de S; y 42.6 kg ha⁻¹ Ca (fuente CaO). El manejo de plagas, enfermedades y malezas

también se realizó según criterios y prácticas intensivas que son normales para el resto del área comercial en la finca.

3.2 Tratamientos evaluados

Del experimento original (Anexo 1), solo se consideraron las parcelas principales donde están presentes las especies maderables *E. deglupta* y *T. ivorensis* sin fertilización adicional de los árboles y dentro de ellos, las sub-parcelas con café fertilizado en bandas. Con la selección de estos tratamientos se buscó una mayor respuesta del café a la presencia de árboles maderables; es decir, sin la fertilización directa de los árboles o en forma indirecta como resultado de una fertilización homogénea en toda el área que ocupa el cultivo, lo cual podría reducir la competencia. Además de estos tratamientos, para este estudio se incorporaron cuatro parcelas a pleno sol que se establecieron a partir del febrero del 2000 en el mismo lote experimental, con plantas de café de la misma edad y el mismo manejo agronómico que se utilizaron como un tratamiento referencial para verificar la respuesta biofísica del café a la presencia de los maderables.

3.3 Dimensiones de la parcela experimental y la parcela útil para los tratamientos evaluados

En los tratamientos con *E. deglupta* y *T. ivorensis*, la parcela experimental constó de 576 posturas de café y 32 árboles maderables, distribuidas en 24 hileras de café con 24 posturas y ocho filas de árboles con cuatro árboles en cada una de ellas en un área de 1152 m². La parcela útil la conformaron 216 posturas de café distribuidas en 18 filas con 12 posturas y la presencia de 12 árboles maderables distribuidos en seis filas con dos árboles por fila (Figura 1).

Para el presente estudio, la parcela útil se dividió en 12 sub-unidades que correspondieron al área de influencia teórica de cada árbol maderable asociado con 18 posturas café. Para el tratamiento de pleno sol, la parcela experimental tuvo alrededor de 192 posturas de café distribuidas en 12 filas con 16 posturas y la parcela útil la conformaron 120 posturas distribuidas en 10 filas con 12 plantas en cada una de ellas.

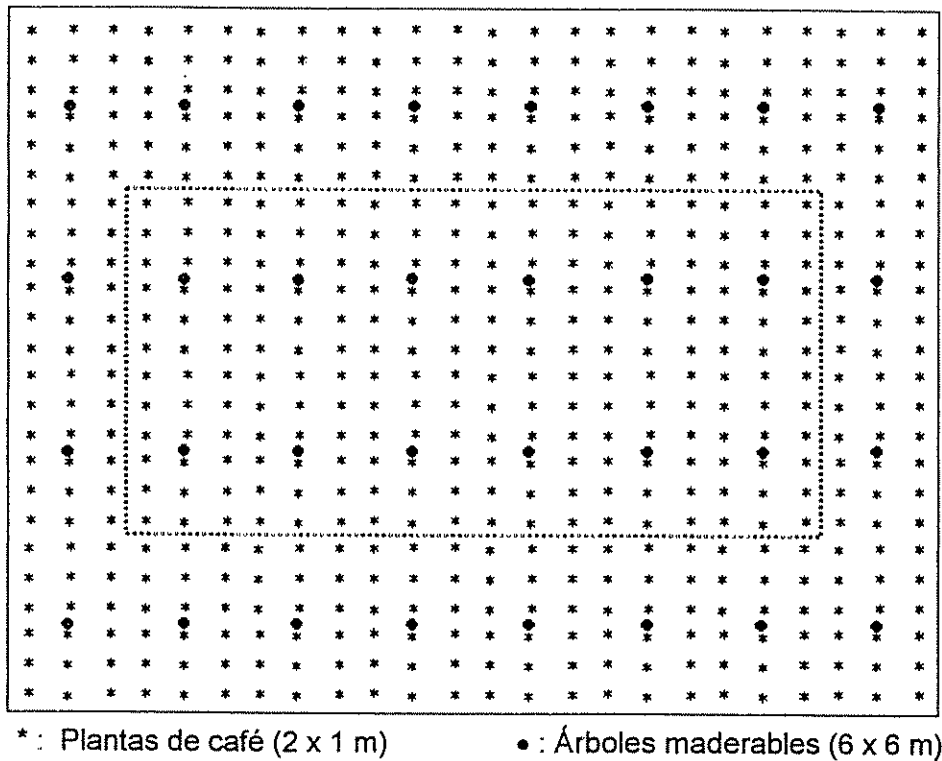


Figura 1. Esquema de la parcela experimental y la parcela útil para los tratamientos con maderables. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

3.4 El desarrollo de las observaciones en el campo

Las observaciones de campo se ejecutaron en tres fases:

La primera fase se desarrolló entre la última semana de marzo y la primera semana de abril del 2000. En esta fase se realizó la caracterización general del crecimiento y variables relacionadas con la productividad del cultivo en una muestra de 64 plantas por parcela, en los tres tratamientos y en las cuatro repeticiones del experimento original; es decir en un total de 768 plantas de café.

A cada una de las plantas de café, se midió altura total, diámetro del tallo, diámetro de copa dentro de las filas, diámetro de la copa hacia las calles, nudos totales en el tallo principal, número total de ramas primarias, ramas primarias productivas y ramas primarias no-productivas (ver metodología de medición en la sección 3.5). Todas las observaciones se realizaron en las plantas dominantes de cada postura debido a que en el plan de

siembra generalmente se establecieron dos plantas en cada sitio, a excepción del diámetro del tallo que también fue medido en las plantas acompañantes. Los criterios para elegir las plantas dominantes fueron la altura total que presentaron las plantas al momento de las observaciones o el diámetro basal cuando la altura no presentó una expresión claramente dominante. En los tratamientos con maderables, las plantas de café observadas fueron elegidas mediante una selección irrestricta al azar de cuatro sub-unidades compuestas por 18 posturas dentro de la parcela útil excluyendo dos posturas en cada una de ellas. Para el tratamiento a pleno sol, se seleccionó un bloque de 64 plantas en el centro de la parcela útil en las cuatro repeticiones.

La segunda fase se realizó entre las últimas dos semanas de mayo y las primeras dos semanas de junio del 2000. Consistió en una caracterización detallada al nivel de cada una de las ramas o bandolas en una muestra de 16 plantas de café por parcela y en las cuatro repeticiones de cada tratamiento para un total de 192 plantas. En cada una de ramas de las plantas muestreadas se le midió, longitud total, la cantidad de tejido nuevo, nudos totales, nudos productivos, nudos no-productivos, número de hojas, área foliar y frutos totales (ver metodología para su cuantificación en la sección 3.5). En los tratamientos con maderables la muestra correspondió a una de las cuatro sub-unidades que se seleccionaron para la primera fase de muestreo, excluyendo nuevamente dos posturas de la sub-unidad. La sub-unidad seleccionada fue aquella que incluyó un árbol maderable con un dap (diámetro a 1.30 m de altura) igual o más cercano al promedio general que presentó cada una de las especies maderables dentro del experimento para el mes de marzo del 2000. Para seleccionar las plantas del tratamiento a pleno sol, de las 10 filas que conformaban la parcela útil se excluyeron las filas 1 y 10, luego se eligió al azar una de las ocho filas centrales y dentro de esta fila se seleccionó al azar una planta; según su posición al inicio o al final del surco, se tomaron cinco plantas posteriores o anteriores y se adicionaron 10 plantas más de las dos filas adyacentes.

La tercera fase de campo se ejecutó entre la segunda y cuarta semana de julio del 2000. Esta fase consistió en la estimación de producción potencial del café expresada en el número total de frutos por planta en la misma muestra de 768 plantas utilizadas en la primera fase de muestreo; para esta fecha los frutos presentes tenían alrededor de 120 días de edad. En los tratamientos con maderables, también se cuantificó los niveles de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) y la cantidad de luz directa que llegó al dosel

del café (SUNFLECK) bajo cada árbol de la parcela útil y también los niveles promedios de RAFA por parcela útil, para los tres tratamientos que se evaluaron en este estudio (ver metodología de observaciones sección 3.5).

3.5 Variables de respuesta evaluadas en las plantas de café y los árboles maderables

Variables de respuesta a nivel de plantas completas

Para cuantificar cada una de las siguientes variables se tomó una muestra de 64 plantas por parcela para las cuatro repeticiones y los tres tratamientos evaluados en este estudio.

Altura de plantas (APC; cm): se midió con una regla graduada desde el nivel del suelo a la par del tallo, hasta el punto apical de las plantas.

Diámetro del tallo (DPPD; mm): utilizando un vernier o forcípula, se midió a una altura de 10 cm. Cuando cualesquiera de las plantas presentaron dos o más tallos siempre se midieron los dos tallos más dominantes por encima de la bifurcación y se calculó su diámetro promedio aplicando la siguiente fórmula:

$$\bar{d} = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$$

Donde:

- \bar{d} : diámetro promedio de las plantas
- d_1 : diámetro del tallo número 1 en la planta
- d_2 : diámetro del tallo número 2 en la planta

Nudos totales por planta en el tallo principal (NTP): se contabilizaron los nudos totales presentes en el tallo principal, incluyendo los nudos donde no estuvo presente ninguna bandola.

Diámetro de la copa dentro de la línea (PCL; cm): en cada una de las plantas de café se midió el diámetro máximo que alcanzaron las ramas dentro de la fila.

Diámetro de la copa hacia las calles (PCC; cm): en cada una de las plantas de café se midió el diámetro máximo que alcanzaron las ramas hacia las calles o entrefilas del cultivo.

Proyección de copa del café (PTCC; m²): se tomó como diámetro medio de copa la suma de los diámetros de copa dentro de la fila y hacia las calles dividida entre dos. Luego se aplicó la siguiente fórmula para calcular el área proyectada por la copa del café:

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

Donde:

PTCC : Proyección de copa del café en m²

\bar{D} : Diámetro medio de la copa (m)

Nota : Se asumió que la copa del café tiene una forma circular

Número de ramas primarias por planta (NBPP): se contaron todas las bandolas o ramas primarias presentes en las plantas de café. Se incluyeron todas las ramas que presentaron al menos dos nudos incluyendo el ápice.

Número de ramas primarias productivas (BPP): en todas las plantas se contabilizaron todas las ramas primarias que presentaron al menos un nudo productivo.

Número de ramas primarias no-productivas por planta (NBPNP): en todas las plantas se contabilizaron todas las ramas que no presentaron ningún nudo productivo.

Número de frutos por planta ó producción potencial (PPPP): para generar esta variable, se tomó un máximo de ocho ramas por planta ubicadas en las posiciones 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43 y 48 enumeradas en forma secuencial en un movimiento helicoidal considerando los nudos donde faltó una o las dos bandolas y partiendo del ápice hacia la base en el sentido de las manecillas del reloj. Estas ramas fueron seleccionadas como representativas en base a un pre-estudio de la producción por bandola. A partir del primer par de ramas, en cada planta se definió como la rama número uno, aquella cuyo ápice apuntó más en dirección norte. En cada una de estas ramas, se contabilizó el número total de frutos y también se cuantificó el número total de ramas productivas por planta. Para generar la producción potencial por planta, se obtuvo un promedio de frutos por rama, que resultó de sumar todos los frutos de las bandolas muestreadas dividido entre el

total de bandolas que generaron la sumatoria y luego se multiplicó este promedio por el total de ramas productivas que tenía cada planta.

Variables de respuesta al nivel de bandolas

Las observaciones al nivel de bandolas se realizaron de la parte apical hacia la parte basal de cada planta, enumerando cada una de las ramas en un movimiento helicoidal y siguiendo la dirección de las manecillas del reloj. La enumeración de las ramas se hizo de manera continua aún cuando en algunos nudos no estuvieron presentes una o las dos bandolas correspondientes a dicho nudo. Todas las observaciones al nivel de ramas o bandolas se hicieron en una muestra de 64 plantas por tratamiento (16 plantas por parcela y en las cuatro repeticiones del experimento).

Longitud total de ramas primarias (LTB; cm): se midió desde el punto de inserción con el tallo principal hasta el ápice de las ramas.

Tejido nuevo en las ramas primarias (TNPB; cm): esta variable esta referida al tejido joven (producido en el último ciclo de crecimiento de la planta) y aún no lignificado que presentó cada rama primaria. Para localizar esta porción, se tomó como criterios la falta de tejido leñoso, el cambio de coloración que presentó el tejido nuevo con respecto al tejido viejo y la falta de tejido productivo en esta porción de las ramas.

Nudos totales por ramas (NTPB): se sumaron los nudos totales en cada rama, incluyendo ejes primarios y secundarios.

Nudos productivos por ramas (NPPB): fue la suma de nudos productivos en los ejes primarios y secundarios de cada rama. Se consideró como un nudo productivo los nudos que presentaron al menos un fruto.

Nudos no-productivos por ramas (NNPB): fue la suma los nudos no-productivos en los ejes primarios y secundarios de cada rama. Se consideraron como nudos no-productivos aquellos que no presentaron ningún fruto.

Número de hojas por ramas (HTB): fue la suma de las hojas presentes en los ejes primarios y secundarios de cada rama. Se excluyeron las hojas en formación localizadas en los ápices de cada rama que aún no alcanzaban el ángulo de inserción máximo con respecto al eje principal de la bandola.

Area foliar por ramas AFTB (cm²): se calculó con la fórmula propuesta por Valencia (1973) que establece que el área foliar (A) es igual a: $\log(A) = 2.02501 * \log(L) - 0.57278$. De acuerdo a esta propuesta se midió la longitud total (L) de una hoja (cm) por cada nudo y se cuantificó el número de hojas presentes en cada uno de ellos. Para estimar el área foliar por bandola, se multiplicó el área foliar de cada hoja medida por el número de hojas que presentó el nudo al cual correspondía y finalmente se sumaron todas las áreas foliares de cada nudo presente en la bandola. Para esta variable también se incluyeron los ejes primarios y secundarios de cada rama.

Número de frutos por ramas (NFPB): fue la suma de los frutos presentes en cada rama, exceptuando los frutos secos o marchitos de la cosecha actual o remanentes de la cosecha anterior. Para esta variable también se contabilizaron los frutos de los ejes primarios y secundarios de cada rama.

Promedio de frutos por nudo productivo (PFNP): se generó dividiendo el número frutos por rama entre la cantidad de nudos productivos que presentó cada rama.

Variables de respuesta para los árboles maderables y/o tratamiento a pleno sol:

La información de crecimiento de los árboles fue suministrada por R. Van Kanten estudiante de doctorado en CATIE. Los datos fueron tomados en marzo del 2000 y la metodología empleada se describe a continuación:

Altura (m): se midió con una vara telescópica desde el nivel del suelo a la par de los árboles, hasta el ápice en cada uno de los doce árboles de la parcela útil.

Diámetro a la altura del pecho dap (cm): esta variable se midió con una cinta diamétrica a una altura de 1.30 m en los doce árboles de la parcela útil.

Area basal (AB; m² ha⁻¹): se cálculo el área basal ocupada por los 12 árboles de la parcela útil y luego se hizo la relación por hectárea a través de la siguiente formula:

$$AB = \frac{\text{área basal de la parcela} * 10,000}{\text{área de la parcela (m}^2\text{)}}$$

Proyección de copa (m²): para obtener esta variable, primero se calculó el diámetro promedio de copa de cada árbol en la parcela útil, que resultó de promediar el diámetro máximo de copa alcanzado por los árboles en dos direcciones; en la línea de café y perpendicular a esta línea. La proyección de copa por árbol se obtuvo aplicando la misma fórmula que se aplicó para generar la proyección de copa del café. Luego se sumó la proyección de copa de cada árbol y se dividió entre el número de árboles de la parcela útil para tener el promedio de proyección de copa por especie.

Radiación fotosintéticamente activa por parcela (RAFA; μmol m⁻² s⁻¹): en los tratamientos con maderables, de manera previa se identificaron las 19 calles o entrefilas que conformaban la parcela útil y se subdividieron en dos ambientes; calles adyacentes a los árboles y calles centrales entre las filas de árboles. Luego con un ceptómetro (Delta-T- Devices) se tomaron de manera continua entre 12-14 observaciones por calle y se anotaron los promedios obtenidos para cada una de ellas. Para obtener los niveles de RAFA por parcela se promediaron las observaciones realizadas para todas las calles de la parcela útil. Para el tratamiento a pleno sol, se siguió un procedimiento similar al descrito para los maderables, pero se observaron 10 calles por parcela y no se hizo la división por ambientes. Estas mediciones fueron hechas en la tercera semana de julio del 2000, bajo condiciones totalmente despejadas entre 11:00 a.m. y 01:00 p.m. del día.

Radiación fotosintéticamente activa (RAFA) en un radio de 1.5 m de los árboles: fue medida en la misma época y con el mismo instrumento que se midió la variable anterior (RAFA por parcela). Los datos obtenidos, resultaron de promediar cuatro observaciones por árbol a una distancia de 1.5 m alrededor de los fustes. Las observaciones se hicieron en cada uno de los cuatro puntos cardinales de los 12 árboles de la parcela útil.

Porcentaje de sombra bajo los árboles a una distancia de 1.5 m : se generó de manera indirecta a partir de la fracción de "sunfleck" medida con el ceptómetro para todos

los árboles de la parcela útil. Para cuantificar la fracción de "sunfleck" se utilizó el mismo procedimiento descrito para la variable anterior. El porcentaje de sombra por árbol, fue la fracción complementaria al "sunfleck" y el promedio de sombra por especie, resultó de promediar los 12 árboles de la parcela útil para las cuatro repeticiones del experimento.

3.6 Criterios para el análisis de distancia en los tratamientos con maderables

En este estudio se evaluaron los efectos principales al nivel de especies maderables, distancias y estratos y sus respectivas interacciones. La elección de las distancias evaluadas en los tratamientos con maderables, se basó en el arreglo teórico del cultivo y los árboles en el experimento. De acuerdo a este arreglo (Figura 2), cada árbol maderable tuvo bajo su influencia 18 plantas de café que fueron enumeradas de la 1 a la 18 y se decidió excluir de las observaciones las plantas número 7 y 12 por presentar distancias similares a las plantas número 2, 5, 14 y 17. A partir de esta selección, se midieron las distancias reales (Figura 2) entre 32 plantas de café y los árboles maderables para cada uno de los cinco rangos de distancia previamente establecidos (cuatro plantas por cada distancia para café asociado con *E. deglupta* y *T. ivorensis* en las cuatro repeticiones del experimento).

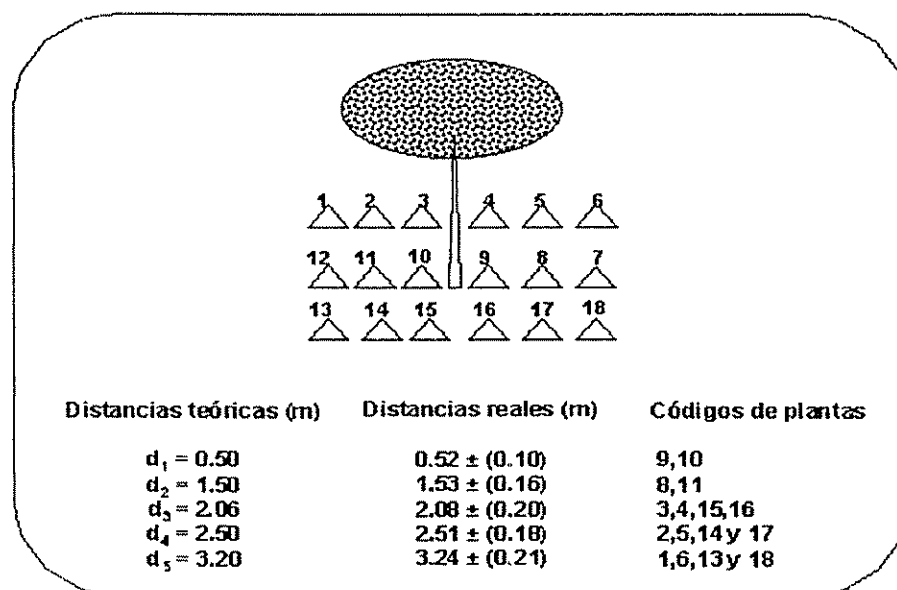


Figura 2. Criterios para el análisis de distancias de café asociado con *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis*. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica. (Desviación estándar de distancias reales entre paréntesis)

3.7 Criterios para estratificar las plantas de café

Los criterios para estratificar las ramas o bandolas en las plantas de café, resultaron de un pre-estudio realizado con los datos de la segunda fase de campo. Este fue hecho para conocer la distribución de la fructificación y la frecuencia con la que estuvo presente cada rama o bandola en el tallo principal, utilizando una muestra de 128 plantas asociadas con *E. deglupta* (64) y *T. ivorensis* (64) (Figura 3). Las primeras 12 ramas (línea discontinua con cuadrados sólidos) estuvieron presentes en casi un 100% de las plantas; alrededor de un 85% de las plantas, presentaron las primeras 26 ramas y cerca de un 64% las primeras 31 ramas. A partir de este punto, el porcentaje de plantas que tuvieron un mayor número de ramas fue más bajo.

En relación al comportamiento de la fructificación (línea continua con círculos), casi en un 100% de las plantas se inició después de la rama 12; sin embargo, la fructificación resultó poco perceptible hasta la rama número 15. A partir de este punto, hubo un incremento hasta la rama 21 y se mantuvo estable hasta la rama 36. Asimismo puede observarse que en este rango hubo menos variabilidad (ver barras de desviaciones estándar) y contribuyeron con los mayores aportes de frutos para los tratamientos por el número de plantas que tuvieron presentes esta cantidad de ramas y el promedio de frutos que presentaron estas mismas ramas. Después de la rama 36, el promedio de frutos fue muy variable y con un menor peso específico en el aporte de frutos por la menor cantidad de plantas que presentaron más de 36 ramas como se mencionó anteriormente. En correspondencia a este comportamiento, se decidió la siguiente estratificación:

- Estrato superior (Est-SU) : Primeros ocho nudos de las plantas (de las ramas 1-16). Un estrato compuesto mayormente por tejido vegetativo nuevo desarrollado por las plantas en su último ciclo de crecimiento.
- Estrato Intermedio (Est-IN): Del nudo 9 al 18 de las plantas (de la rama 17-36). Fue el estrato con mayor concentración de tejido plenamente productivo.
- Estrato inferior (Est-IF) : Del nudo 19 hasta la parte basal de las plantas (después de la rama 36). Un estrato con tejido productivo más variable y un mayor número de ramas ausentes.

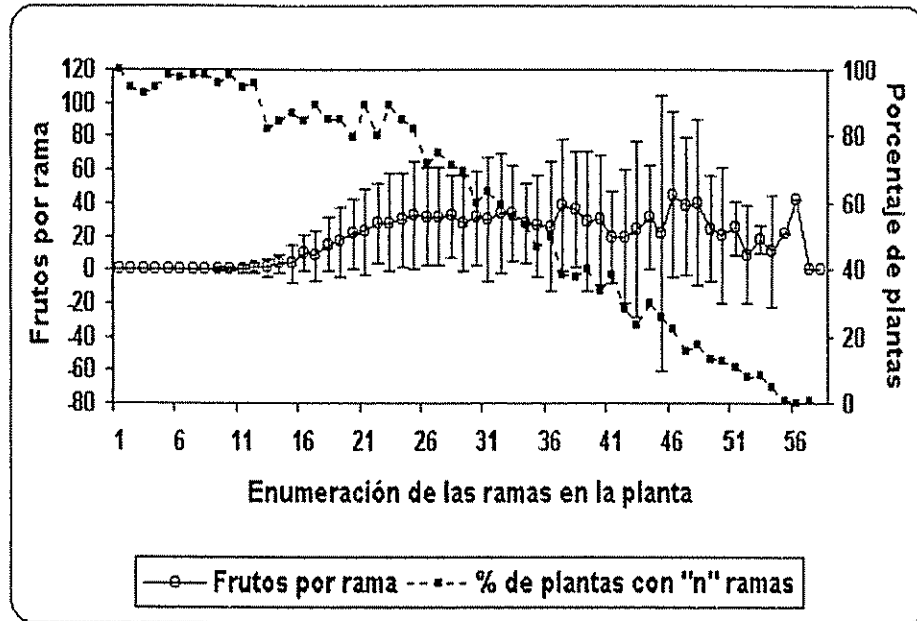


Figura 3. Promedio de frutos y cantidad de ramas emitidas por las plantas de café asociadas con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis*. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

3.8 Medición del tiempo requerido para cuantificar las variables de respuesta medidas en las plantas de café

Después de finalizar cada una de las etapas de campo, se procedió a cuantificar el tiempo individual que se requirió para medir cada una de las variables de respuesta medidas en café. Para altura, diámetro y producción potencial por planta, se tomó una muestra de 64 plantas (20 plantas asociadas con eucalipto, 20 con terminalia y 24 plantas en pleno sol) aleatorizando previamente entre bloques. Para el resto de las variables, se tomó una muestra de 18 plantas partiendo nuevamente de una aleatorización entre bloques y tomando posteriormente seis plantas por tratamiento.

3.9 Metodología para el análisis estadístico de la información

La estructuración de las bases de datos para todas las variables observadas en los maderables y en el cultivo se hizo mediante el uso la hoja electrónica Excel. El procesamiento y análisis estadístico de la información se realizó con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) V. 8

3.9.1 Análisis del componente arbóreo

Las variables de crecimiento y la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) al nivel parcela útil, se compararon mediante análisis de varianza, utilizando como modelo experimental el diseño de bloques completos al azar que se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : es la observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.
- μ : corresponde a la media poblacional
- τ_i : efecto del i-ésimo tratamiento para los maderables
- β_j : efecto de la j-ésima repetición
- ε_{ij} : es el error de medición cometido en el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición

Los niveles de RAFA y los porcentajes de sombra a 1.5 m alrededor de los fustes se compararon mediante una prueba "t" con dos observaciones para cada uno de los tratamientos. Para los porcentajes de sombra no fue necesario hacer ninguna transformación.

3.9.2 Análisis estadísticos para las variables de respuesta medidas en café.

Todas las comparaciones estadísticas del presente estudio fueron hechas para los tratamientos asociados con las dos especies maderables. El tratamiento referido a la producción en pleno sol, fueron parcelas adicionales que no entraron en la aleatorización del diseño original y se utilizó para verificar la magnitud con la que ambas especies maderables afectaron las variables de crecimiento y productividad del café; es decir como punto de referencia. Debido a que solo se observaron las plantas dominantes por postura, se utilizó el área basal de las plantas acompañantes presentes en cada postura, como covariable para todos los análisis de varianza realizados. Esta covariable resultó significativa para las variables altura de plantas, diámetro de copa dentro de la línea, diámetro de copa hacia las calles, proyección de copa del café, ramas primarias por planta, ramas primarias productivas por planta, número de frutos por planta, área foliar por

rama, nudos totales por rama y nudos productivos por rama. Cuando esta covariable resultó no significativa fue removida de los modelos.

Los datos de altura, diámetro del tallo, nudos totales por planta en el tallo principal, diámetros y proyección de copa, ramas primarias por planta, ramas primarias productivas por planta, ramas primarias no-productivas y producción potencial por planta, se analizaron mediante un diseño de parcela divididas utilizando como parcela principal la especie maderable asociada con el café y como sub-parcelas los cinco rangos de distancia previamente descritos. El modelo de análisis se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \delta_j + \alpha\delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} : Es la observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima distancia y la k-ésima repetición
- μ : Media poblacional de la variable de respuesta
- ρ_k : Efecto de la k-ésima repetición
- α_i : Efecto del i-ésimo tratamiento para la parcela principal (especies)
- ε_{ik} : Error de las parcelas principales (especies)
- δ_j : Efectos de la j-ésima distancia de los maderables hacia el café
- $\alpha\delta_{ij}$: Efectos de la interacción especies por distancias
- ε_{ijk} : Error para las distancias y las interacciones

Los datos cuantificados al nivel de ramas o bandolas como longitud, cantidad de tejido nuevo, número de hojas, área foliar, nudos totales, nudos productivos e improductivos, número de frutos y promedio de frutos por nudo productivo en cada rama, se analizaron mediante un diseño de parcelas sub-sub-divididas. La parcela principal fueron las especies maderables evaluadas; las sub-parcelas los diferentes rangos de distancia ya mencionados y las sub-sub parcelas los tres estratos dentro de cada planta descritos en la sección 3.7. El modelo de análisis se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + \rho_l + \alpha_i + \varepsilon_{il} + \delta_j + \alpha\delta_{ij} + \varepsilon_{ijl} + \gamma_k + \alpha\gamma_{ik} + \delta\gamma_{jk} + \alpha\delta\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

- Y_{ijkl} : Es la observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima distancia y el k-ésimo estrato de la l-ésima repetición
- μ : Media poblacional de la variable de respuesta
- ρ_l : Efectos de la l-ésima repetición
- α_i : Efectos de los tratamientos en las parcelas principales (especies)
- ε_{il} : Error para los tratamientos establecidos en la parcela principal
- δ_j : Efectos de la j-ésima distancia
- $\alpha\delta_{ij}$: Efectos para la interacción especies por distancias
- ε_{ijl} : Error para las distancias y la interacción especies por distancias
- γ_k : Efectos del k-ésimo estrato
- $\alpha\gamma_{ik}$: Efectos para la interacción especies por estrato
- $\delta\gamma_{jk}$: Efectos para la interacción distancias por estratos
- $\alpha\delta\gamma_{ijk}$: Efectos de la interacción especies por distancias por estratos
- ε_{ijkl} : Error para los estratos y sus respectivas interacciones

Para evaluar los efectos principales de los maderables se consideró los resultados de los ANDEVA como una prueba autosuficiente. Para comparar los efectos principales entre estratos o sus interacciones con los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey con nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). El efecto principal de las distancias se evaluó mediante ANDEVA; las comparaciones entre las distancias y sus interacciones con los tratamientos y/o estratos se hizo mediante análisis de regresión lineal estableciendo las distancias como la variable independiente.

3.9.3 Análisis estadísticos para seleccionar las variables que mejor explicaron el número de frutos por planta

Después de conocer la respuesta del crecimiento y productividad del café asociado con eucalipto o terminalia, se procedió a discriminar las variables que mejor explicaron el número de frutos por planta y que respondieron de manera significativa a la presencia de las especies maderables. Las variables medidas al nivel de cada rama que presentaron las plantas, fueron sumadas para obtener la respuesta al nivel de plantas. Este análisis se hizo con una muestra de 64 plantas por tratamiento y la discriminación se realizó con 18 variables que fueron medidas o generadas a partir de los datos de campo de este estudio.

El primer paso fue un análisis de correlación de Pearson entre todas las variables para conocer en forma preliminar las variables mas correlacionadas con el número de frutos por planta e identificar en forma preliminar las variables mas correlacionadas entre si. Luego se hizo un análisis de componentes principales para determinar que factores dominaban el conjunto de variables.

Posteriormente se utilizó el método del R^2 (modelos de regresión lineal), con la variable número de frutos por planta como la variable dependiente, para conocer en forma escalonada que porcentaje de la variabilidad podían explicar todo el conjunto de variables. Paralelamente se corrieron diferentes modelos de regresión combinado la información obtenida por el método de los R^2 y el método de "Stepwise" para la selección de variables; para todos los modelos se estudió la presencia de multicolinealidad. Después de analizar todos los pasos anteriores se seleccionó el modelo de regresión con las variables que resultaron plenamente independientes en el análisis de multicolinealidad, con un R^2 máximo y que a su vez cumplieran con atributos prácticos al momento de su muestreo en el campo; es decir, menos inversión de tiempo para su levantamiento.

3.10 Metodología para estimar los tamaños óptimos de muestra y criterio para comparar eficiencia de muestreo

Las variables elegidas para definir tamaños óptimos de muestra fueron aquellas que mejor explicaron el número de frutos por planta. De acuerdo a los resultados, se definió el tamaño óptimo de muestra para el número de frutos por planta, número de nudos productivos por planta y el promedio de frutos por nudo productivo.

Las estimaciones se realizaron según las fórmulas generales documentadas por Scheaffer *et al.* (1987), para el muestreo irrestricto aleatorio, el muestreo sistemático y el muestreo por conglomerados. Para el muestreo sistemático se empleo el mismo tamaño de muestra estimado en el muestreo irrestricto aleatorio en correspondencia a la metodología propuesta por estos mismos autores. La población base para hacer las estimaciones fueron 64 plantas por tratamiento, seleccionadas en base a la segunda etapa de campo de este estudio (ver sección 3.4). Para el muestreo por conglomerados, se estableció como criterio, el número de plantas que teóricamente podían ser afectadas por un árbol maderable (16 plantas), excluyendo nuevamente dos posturas por subunidad. Para cada una de estas variables y para los distintos métodos de muestreo

comparados, se estimó el tamaño óptimo de muestra por tratamiento utilizando un 10% como margen de error con respecto a las medias, se estimaron las varianzas de las medias, los promedios correspondientes para cada una de las variables y los errores estándar de las medias como criterio de eficiencia para comparar cada uno de los métodos de muestreo.

4. Resultados

4.1 Crecimiento de *T. ivorensis* y *E. deglupta*

Terminalia presentó los mayores promedios para todas las características observadas, excepto para altura (n.s) (Cuadro 2). Los valores alcanzados por *terminalia* (con 22 meses de edad) para el dap, diámetro medio de copa, proyección de copa y el área basal fueron superiores a eucalipto en un 32, 34, 60 y un 51 % de manera respectiva. El diámetro de copa de *terminalia*, alcanzó las plantas de café establecidas en los primeros dos rangos de distancias evaluados (1.53 ± 0.16 m), mientras eucalipto, solo influyó sobre las plantas establecidas en el primer rango (0.52 ± 0.10 m).

Cuadro 2. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* en plantaciones de café después de 22 meses de establecimiento¹. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

Dimensiones de los árboles	<i>Eucalyptus</i>	<i>Terminalia</i>
Altura (m)	4,6	4,8 n.s
Diámetro del fuste a 1.30 m (cm)	5,2	7,7 ***
Diámetro medio de copa (m)	2,4	3,6 **
Proyección de copa (m ²)	4,7	11,5 ***
Area basal (m ² ha ⁻¹)	0,67	1,38 ***

(1): datos no publicados por Rudi van Kanten

n.s = diferencias no significativas

** ; *** = diferencias significativas $p < 0.01$ y $p < 0.001$

4.2 Efecto de los árboles maderables sobre la disponibilidad de RAFA

En el tratamiento a pleno sol se cuantificó un promedio de $1876 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación fotosintéticamente activa. La RAFA alrededor de eucalipto comparada con *terminalia*, a 1.5 m del tallo, fue significativamente mayor ($p < 0.001$) y la sombra fue significativamente menor ($p < 0.0035$) (Figura 4). *Terminalia* disminuyó en un 51% la disponibilidad de RAFA y proyectó un 22% más de sombra comparada con eucalipto.

La cantidad de RAFA en las calles centrales entre los maderables fue mayor ($p < 0.0248$) que en calles adyacentes a los árboles (Cuadro 3); esta variable fue reducida en un 17% dentro de las calles centrales entre los maderables y un 44% en las calles adyacentes a los árboles, comparados con los niveles de radiación a plena exposición solar. No se

encontraron diferencias estadísticas entre los promedios generales por tratamiento, ni en la interacción tratamiento por tipo de calle; eucalipto disminuyó un 30% de la RAFA en comparación con las condiciones de pleno sol y terminalia en un 38% al nivel de toda la parcela.

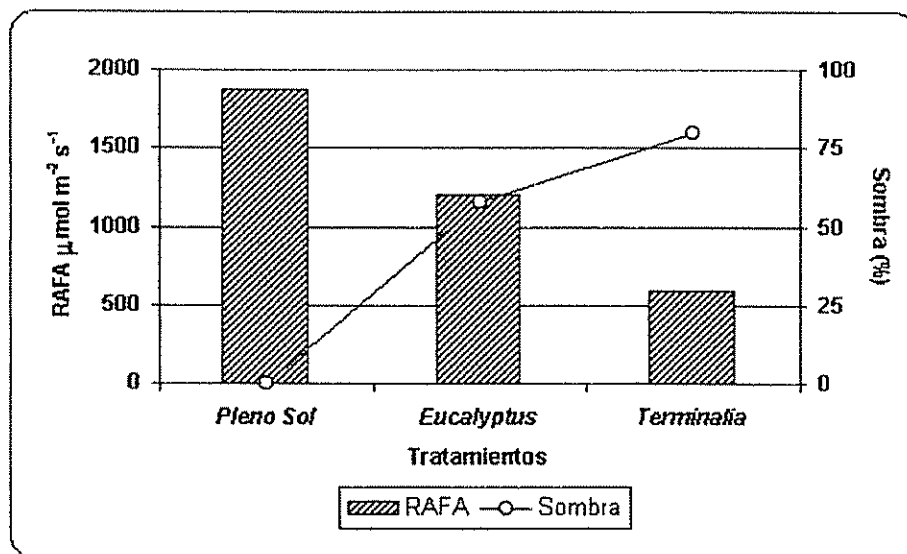


Figura 4. Disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) y proyección de sombra a una distancia de 1.5 m de los tallos de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis*, comparados con pleno sol, en un cafetal de la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

Cuadro 3. Promedio de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) bajo los árboles de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* en un cafetal de la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

	Tratamientos		Ambientes	
	<i>E. deglupta</i>	<i>T. ivorensis</i>	Calle central Entre los árboles	Calles adyacentes a los árboles
RAFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1302	1154 n.s	1544	1044 *
C.V	23	34	18	24

(n.s) = diferencias no significativas y (*) = diferencias significativas ($p < 0.025$)

4.3 Interacciones biofísicas café - maderables

4.3.1 Efecto de los maderables en el café como factor principal

De manera general, las especies maderables no afectaron las variables biofísicas observadas en las plantas de café (Cuadro 4). Solamente el número de bandolas no-productivas de café asociado con terminalia fue mayor ($p < 0.043$) en comparación con eucalipto, resultado que bien podría considerarse casual, si se observa el comportamiento del resto de las variables. En condiciones de pleno sol, el café mostró una cantidad similar de ramas no-productivas al que se encontró en café asociado con eucalipto. De acuerdo a esta evaluación, el café asociado con eucalipto y terminalia, disminuyó en un 15 y un 22% el número de frutos por planta respectivamente comparados con café en pleno sol.

Cuadro 4. Respuesta del café a la presencia de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* con 22 meses de edad, en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variable respuesta	<i>E. deglupta</i>	<i>T. ivorensis</i>	Pleno Sol
Diámetro del tallo (mm)	23	23 n.s	24
Altura de plantas (cm)	107	109 n.s	109
Nudos totales por planta en el tallo principal	26	26 n.s	27
Diámetro de copa dentro de la línea (cm)	80	78 n.s	85
Diámetro de copa hacia las calles (cm)	80	77 n.s	85
Proyección de copa del café (m ²)	0.53	0.50 n.s	0.59
N. de ramas primarias por planta	31	31 n.s	33
N. de ramas primarias productivas	22	21 n.s	25
N. de ramas primarias no-productivas	8	10 *	8
Longitud de ramas primarias (cm)	29	31 n.s	32
Tejido nuevo en las ramas primarias (cm)	8	9 n.s	9
Nº de hojas por rama	10	11 n.s	13
Area foliar por rama (cm ²)	281	336 n.s	332
Nudos totales por rama	15.5	14.4 n.s	16
Nudos productivos por rama	5	4 n.s	5
Nudos no-productivos por rama	11	10 n.s	12
Número de frutos por rama	19	19 n.s	26
Promedio de frutos por nudo	4.3	4.4 n.s	4.9
Número de frutos por planta	572	529 n.s	670

Nota : El tratamiento a pleno sol no se incluyó en las comparaciones estadísticas
n.s = diferencias no significativas y * = diferencias significativas ($p < 0.05$)

4.3.2 Efecto de la distancia y su interacción con las dos especies maderables

La altura ($p < 0.0026$), el número de nudos por planta en el tallo principal (0.0122) y el número de ramas primarias por planta (0.0001), fueron significativamente menores en las plantas más cercanas a los árboles; los modelos de regresión lineal, ajustaron de manera significativa estas tendencias (Figura 5). La altura y el número de nudos por planta en el tallo principal situadas alrededor de 3.25 m de los árboles, alcanzaron valores superiores a las plantas cultivadas en pleno sol (ver valores de pleno sol en Cuadro 4). El análisis de varianza detectó efectos significativos de las distancias sobre el diámetro de copa en la línea ($p < 0.025$); sin embargo, no fue posible ajustar un modelo de regresión lineal a estos datos. Para este último caso, las plantas situadas alrededor de 1.5 m del tallo de los árboles, tuvieron un diámetro inferior a las plantas establecidas a 0.5 m de distancia de los árboles.

La interacción entre los maderables y las diferentes distancias evaluadas, afectaron significativamente el diámetro del tallo ($p < 0.0075$), diámetro de copa hacia las calles ($p < 0.0045$), proyección de copa del café (0.0186), número de ramas primarias productivas por planta ($p < 0.0225$), promedio de frutos por nudo productivo ($p < 0.0188$) y número de frutos por planta ($p < 0.0156$). Para todas estas variables, los modelos de regresión lineal ajustaron en forma significativa, el aumento creciente que mostraron las plantas de café al alejarse de los tallos de terminalia (Figuras 6 y 7).

Para las variables de crecimiento que fueron afectadas por la interacción distancias por especies maderables (Figura 6), se observó que las mayores diferencias entre ambas especies se presentaron en las plantas de café establecidas hasta 1.5 m. A partir de los dos metros, el tipo de sombra no afectó el desarrollo de los cafetos. Sobre las variables asociadas con la producción del café (Figura 7), nuevamente las diferencias fueron más notorias en las plantas establecidas a 1.5 m de distancia para ambas especies maderables. Sin embargo, estas variables mostraron más sensibilidad a la presencia de eucalipto; los cafetos a 3.25 m de los terminalia, alcanzaron un mayor promedio de frutos por nudo productivo y un mayor número de frutos por bandola, comparadas con las plantas correspondientes de eucalipto.

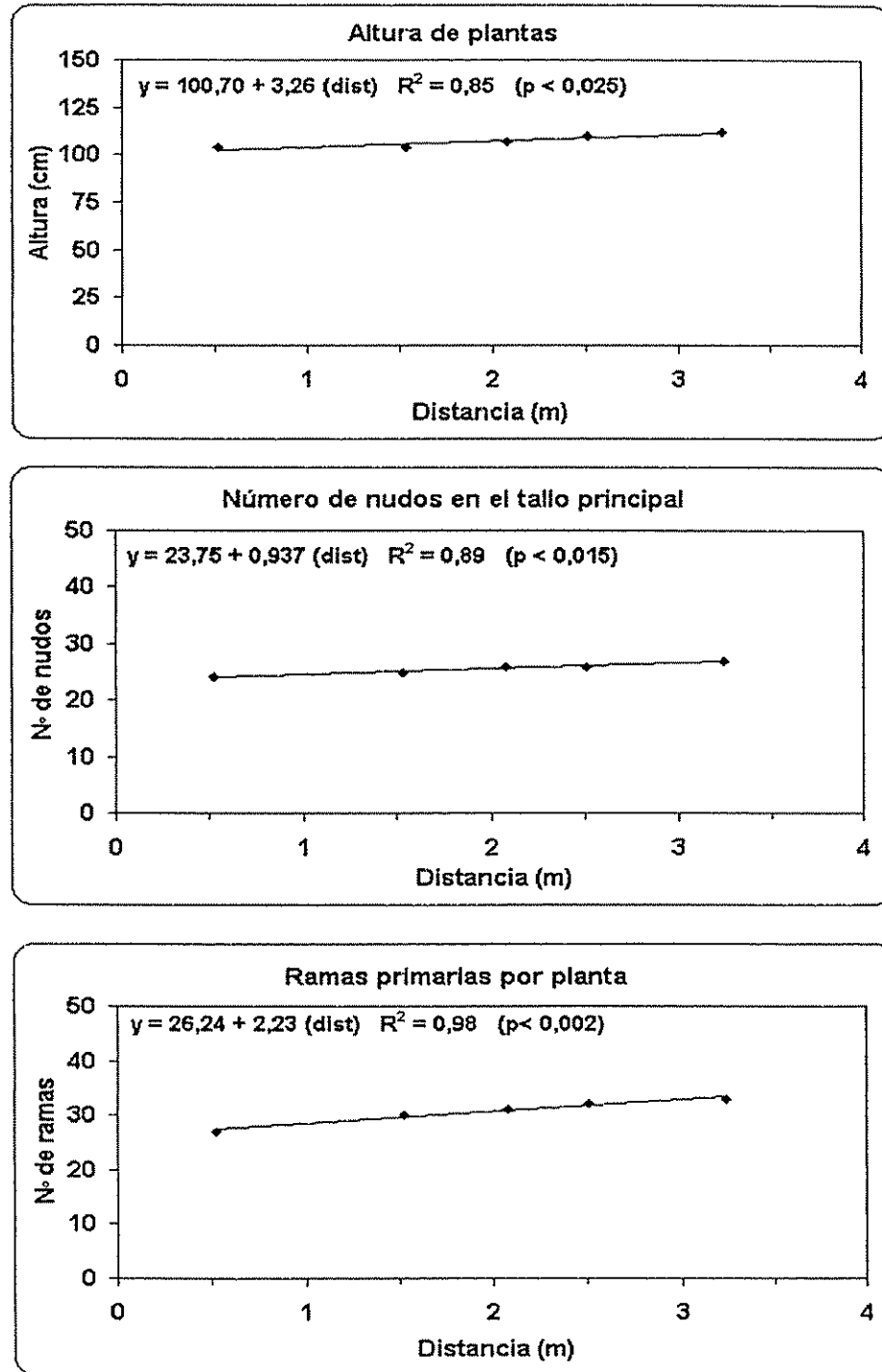


Figura 5. Efecto de la proximidad de los árboles maderables sobre la altura, diámetro de copa dentro de la línea, número de nudos en el tallo principal y el número de ramas primarias de las plantas de café, en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

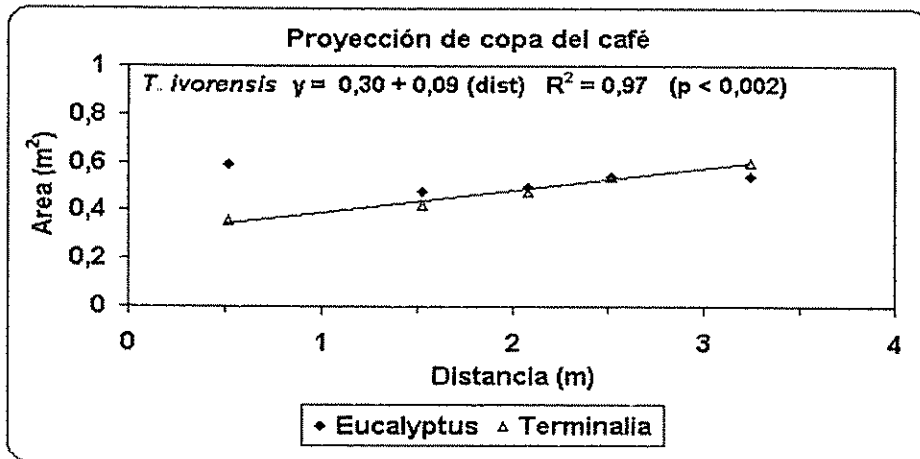
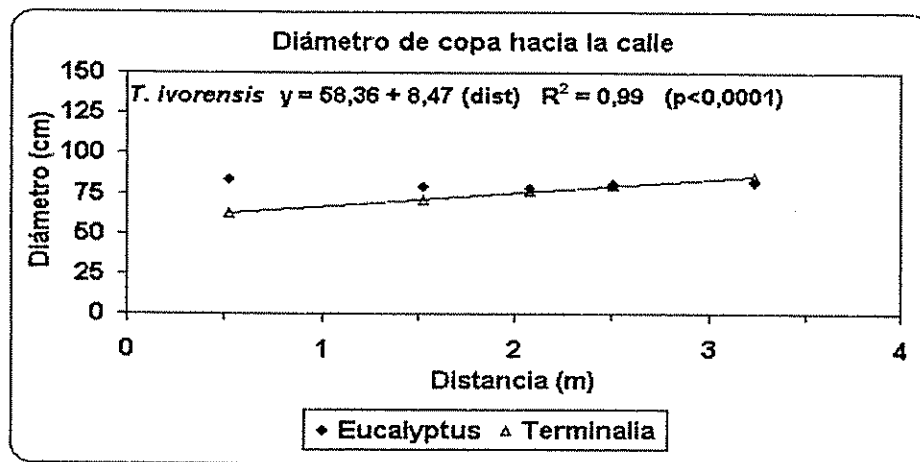
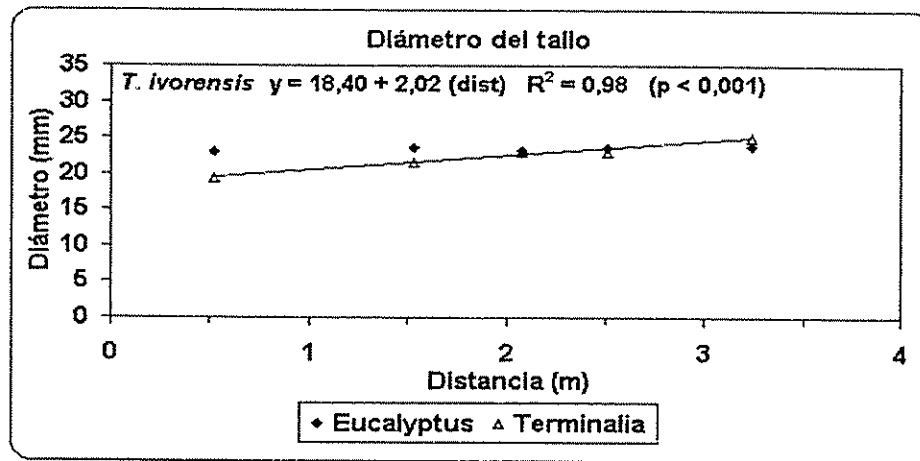


Figura 6. Efecto de la proximidad de los árboles de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* sobre el diámetro del tallo, diámetro de copa hacia la calle y proyección de copa del café en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

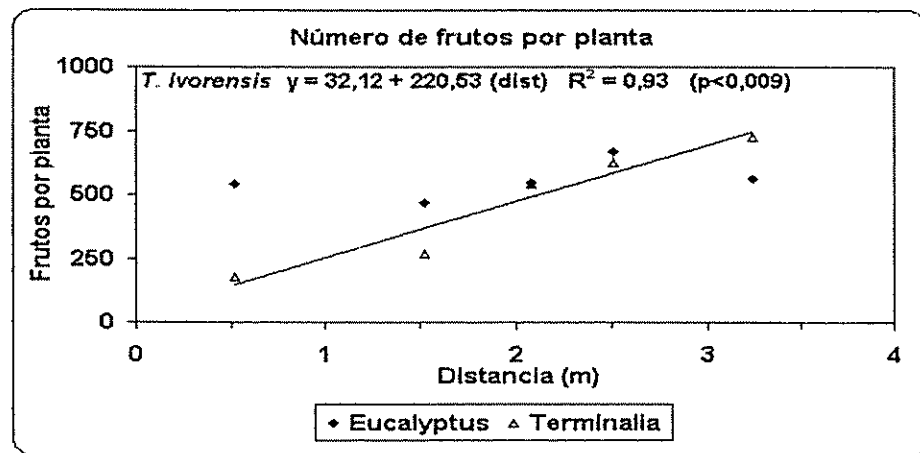
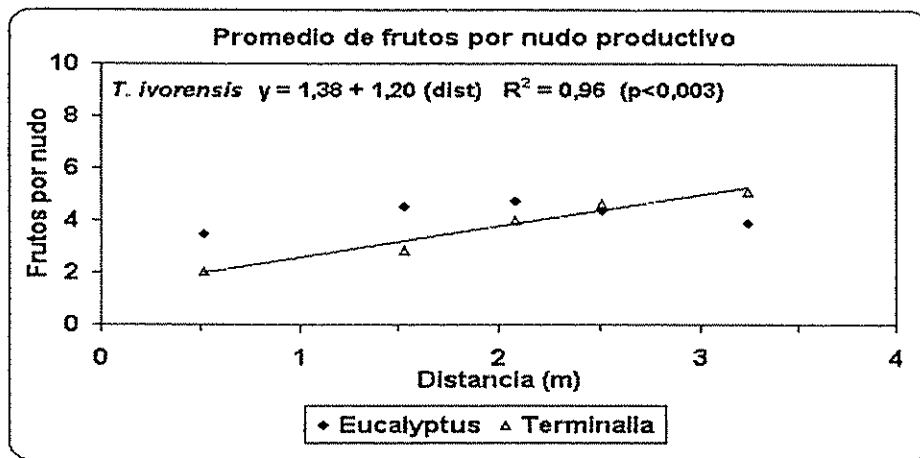
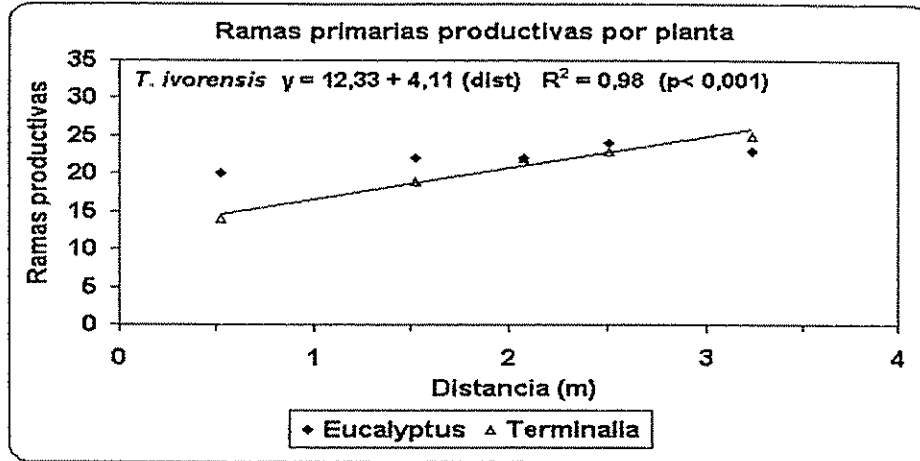


Figura 7. Efecto de la proximidad de los árboles de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* sobre las ramas primarias productivas, el promedio de frutos por nudo productivo y el número de frutos por planta de café en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

Por otro lado, es importante destacar que aunque no se detectaron diferencias estadísticas para el área foliar, nudos productivos y el número de frutos por rama asociadas con terminalia (Cuadro 5), las tendencias mostradas por estas variables, si evidenciaron efectos de esta especie sobre las plantas de café más cercanas a los árboles, sin embargo, los coeficientes de variación que alcanzaron estas variables para las diferentes distancias oscilaron entre 85-125; 127-240; y 150-260 respectivamente, lo cual podría explicar la no significancia de las mismas.

La longitud de ramas primarias, tejido nuevo por ramas primarias, número de hojas por rama, nudos totales por rama, ramas primarias no productivas y nudos no-productivos por rama, no fueron afectados de manera significativa por las distancias o por la interacción de las dos especies maderables con las diferentes distancias evaluadas. De manera general, las diferentes variables medidas en café no se mostraron sensibles a la cercanía de eucalipto. La excepción fue el área foliar por rama, que mostró cierto incremento en las plantas más alejadas de los tallos de esta especie (Cuadro 5).

Cuadro 5. Dimensiones del café para la interacción especies maderables por distancias. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	<i>E. deglupta</i>						<i>T. ivorensis</i>					
	Distancia (m)						Distancia (m)					
	0.52	1.53	2.08	2.51	3.24		0.52	1.53	2.08	2.51	3.24	
Altura de plantas (cm)	107	105	107	109	108 n.s		100	103	107	111	116 n.s	
Diámetro del tallo (mm)	23	24	23	24	24 n.s		19	22	23	23	25 **	
Nudos por planta en el tallo principal	25	25	26	26	26 n.s		24	25	26	26	28 n.s	
Diámetro de copa en la línea (cm)	83	75	78	81	80 n.s		66	69	77	80	85 n.s	
Diámetro de copa hacia la calle (cm)	84	79	78	81	82 n.s		63	71	76	80	86 *	
Protección de copa del café (m ²)	0.59	0.48	0.51	0.54	0.54 n.s		0.36	0.42	0.48	0.50	0.60 **	
Ramas primarias por planta	29	30	31	32	31 n.s		26	29	32	32	35 n.s	
Ramas primarias no-productivas	9	8	9	9	8 n.s		12	10	10	10	10 n.s	
Ramas primarias productivas	20	22	22	24	23 n.s		14	19	22	23	25 **	
Longitud de ramas primarias (cm)	24	26	25	26	26 n.s		24	24	26	29	30 n.s	
Tejido nuevo en las ramas primarias (cm)	8	10	10	10	10 n.s		11	11	11	11	11 n.s	
Hojas totales por rama	8	8	8	8	8 n.s		8	8	9	10	10 n.s	
Area foliar por rama (cm ²)	199	209	221	242	233 n.s		242	215	270	301	332 n.s	
Nudos totales por rama	11	10	10	11	11 n.s		10	9	10	10	13 n.s	
Nudos no-productivos por rama	8	7	7	7	8 n.s		8	8	7	7	8 n.s	
Nudos productivos por rama	2,8	3,2	3,1	4,1	2,9 n.s		1,2	1,6	3,1	3,6	4,1 n.s	
Número de frutos por rama	11	15	16	19	14 n.s		3	5	15	21	24 n.s	
Frutos por nudo productivo	3,5	4,5	4,7	4,4	3,9 n.s		2,0	2,9	4,0	4,7	5,0 *	
Total de frutos por planta	541	471	547	670	563 n.s		180	266	540	625	727 **	

n.s = diferencias no significativas (*) = diferencias significativas (p < 0.02) (**) = diferencias significativas (p < 0.005)

4.3.3 Efecto de los estratos y su interacción con las distancias

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p < 0.0001$) para todas las variables medidas al nivel de estratos. El efecto fue más notorio para la longitud de las ramas primarias, tejido nuevo por ramas primarias, total de hojas por rama, nudos totales y nudos no-productivos por rama (Cuadro 6).

El promedio de longitud de ramas primarias del estrato inferior superó en un 54 y un 23%, la longitud promedio para las ramas del estrato superior e intermedio respectivamente; la mayor cantidad de tejido nuevo en la planta, se produjo en los estratos superior e intermedio; el promedio de hojas por rama para el estrato superior más el intermedio, fue igual al promedio alcanzado por el estrato inferior; el promedio de nudos totales por rama para el estrato inferior, superó en un 75 y en 65% al promedio alcanzado por los estratos superior e intermedio, respectivamente y el 100% de estos nudos fueron no-productivos para el estrato superior (tejido vegetativo nuevo en su mayoría), en un 58% para el estrato intermedio y en un 77% para el estrato inferior.

Cuadro 6. Dimensiones del café que variaron entre estratos dentro de la planta de café en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	Estrato superior (nudos 1- 8)	Estrato intermedio (nudos 9-18)	Estrato inferior (nudos >19)
Longitud de ramas primarias (cm)	18 c	30 b	39 a
Tejido nuevo en las ramas primarias (cm)	13 a	8 b	5 c
Total de hojas por rama	7 b	8 b	15 a
Nudos totales por rama	5 c	12 b	26 a
Nudos no-productivos por rama	5 b	7 b	20 a

Nota: medias con letras iguales no difieren entre si Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

La interacción estratos por distancia, afectó el promedio de área foliar por rama ($p < 0.0058$), el promedio de nudos productivos por rama ($p < 0.0280$) y el promedio de frutos por rama ($p < 0.0139$). Al nivel de estratos, la regresión lineal para observar el comportamiento de los estratos a diferentes distancias de los árboles, ajustó en forma significativa: el área foliar para el estrato inferior, el promedio de nudos productivos por rama para los estratos superior e intermedio; y el promedio de frutos por rama para los tres estratos (Figura 8). En la mayor parte los casos, el promedio al nivel de estratos

aumentó a mayores distancias de los árboles maderables, a excepción el número de nudos productivos por rama, para el estrato inferior.

El área foliar tuvo un comportamiento similar, a los resultados obtenidos en los estratos sin el efecto de la interacción. Los estratos superior e inferior, se mostraron poco sensibles al efecto de las distancias. Para los nudos productivos por rama, a pesar de que el modelo de regresión lineal no ajustó de manera significativa su comportamiento creciente para el estrato inferior, si mostró sensibilidad a la cercanía de los árboles. Se observó que en las plantas más distantes a los árboles, los estratos intermedio e inferior, presentaron una mayor cantidad de nudos productivos. Sobre la cantidad de frutos por rama, los mejores ajustes se encontraron en los estratos superior e intermedio y de manera similar a la variable anterior, en las plantas mas alejadas de los árboles, estos estratos presentaron una mayor cantidad de frutos por rama.

Al comparar las plantas cultivadas en pleno sol (Cuadro 7) con las plantas asociadas con las especies maderables, no se presentaron diferencias notables al nivel de estratos, a excepción del número de hojas por bandola en el estrato inferior, donde los tratamientos con maderables redujeron el número de hojas hasta un 32% con respecto a pleno sol.

Cuadro 7. Variables medidas a nivel de estratos para el tratamiento a pleno sol. "Finca Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables	Estrato Superior (nudos 1-8)	Estrato intermedio (nudos 9-18)	Estrato Inferior (nudos >19)
Longitud de ramas primarias (cm)	19	32	45
Tejido nuevo en ramas primarias (cm)	14	8	6
Total de hojas por rama	8	10	21
Area foliar por rama (cm ²)	213	265	495
Nudos totales por rama	6	12	30
Nudos no-productivos por rama	5,2	6,1	21,0
Nudos productivos por rama	0,40	6,3	9,1
Número de frutos por rama	2	37	37
Promedio de frutos por nudo productivo	5,0	6.0	3,6

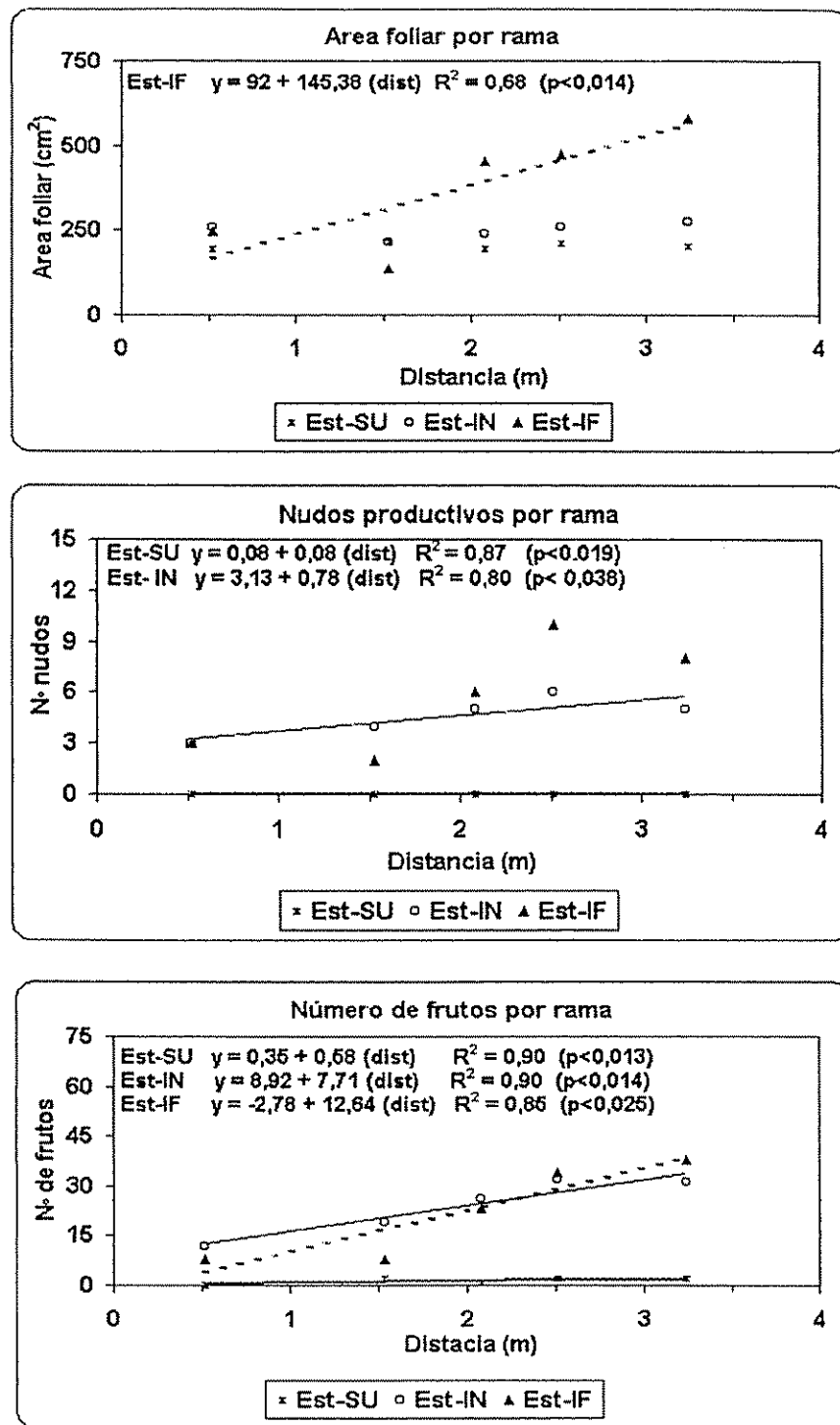


Figura 8. Efecto de la proximidad de los árboles de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* sobre el área foliar, nudos productivos y número de frutos por rama en diferentes estratos del cafeto, en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

4.4 Consideraciones metodológicas

4.4.1 Tiempo requerido para cuantificar cada una de las variables observadas en el café

Esta estimación se separó en dos grandes grupos de variables (Cuadro 8); el primero, corresponde a las variables donde se midió o se contó un solo valor por planta y el segundo grupo, corresponde a las variables que fueron medidas para cada rama o bandola presente en las plantas muestreadas. Para efectuar las comparaciones entre grupos o variables individuales se tomó como punto de referencia, el tiempo estimado para medir el área foliar debido a que esta variable demandó la mayor cantidad de tiempo para las observaciones de campo.

El tiempo estimado para cuantificar todas las variables del primer grupo, no superó el tiempo utilizado para cuantificar el área foliar, aún cuando el método utilizado para estimar esta última, solo necesitó la observación de un 50% de las hojas en la planta y solo la medición de la longitud en cada hoja. Dentro de este primer grupo, se destacó la cuantificación de las ramas primarias no productivas con un 4%, el número de ramas primarias por planta con un 7% y la cuantificación de la producción potencial con un 15%, como las variables que requieren mayor inversión de tiempo.

Para las variables medidas al nivel de cada rama o bandola, la mayoría requirió cerca de un 30% (siete minutos) del tiempo respecto a la medición del área foliar, exceptuando la cuantificación de los nudos productivos por rama que demandó cerca de un 19% de tiempo, muy similar a la cuantificación de la producción potencial por planta (variable del primer grupo). Dicho de otra manera, cualquiera de las variables que se deseen medir al nivel de cada rama, puede demandar un esfuerzo similar al tiempo necesario para medir todas las variables del primer grupo correspondiente a las variables donde solo se cuantificó un solo valor por planta.

Cuadro 8. Tiempos estimados para cuantificar variables de crecimiento y productividad para café asociado con árboles maderables en la finca "Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica.

Variables de respuesta medidas en café	Plantas observadas	Tiempo promedio por planta ⁽¹⁾ (s)	% respecto a la medición de área foliar
Grupo N° 1			
1. Altura de plantas (cm)	64	11	0,8
2. Diámetro del tallo (cm)	64	13	1,0
3. Nudos totales por planta en el tallo principal	18	27	2,0
4. Diámetro de copa dentro de la línea (cm)	18	10	0,7
5. Diámetro de copa hacia la calle (cm)	18	13	1,0
6. Ramas primarias por planta	18	87	6,8
7. Ramas primarias no productivas	18	53	4,1
8. Número de frutos por planta ⁽²⁾	64	189	14,8
Grupo N° 2⁽³⁾			
9. Longitud de bandolas (cm)	18	380	29,7
10. Tejido nuevo en las ramas primarias (cm)	18	340	26,6
11. Total hojas por rama	18	390	30,5
12. Área foliar por rama (metodología propuesta por Valencia (1973))	18	1277	100
13. Nudos totales por rama	18	370	28,9
14. Nudos productivos por rama	18	240	18,8
15. N° de frutos por rama	18	387	30,3

(1) : Tiempo invertido por dos personas.

(2) : Para esta variable se muestrearon 8 bandolas por planta.

(3) : Cada variable fue medida en todas las ramas o bandolas presentes en las plantas de café.

4.4.2 Variables que mejor explicaron el número de frutos por planta y desarrollo de modelos predictivos para estimar el número de frutos por planta

Utilizando como criterio un $R \geq 0.75$, el análisis de correlación por la prueba de Pearson identificó la variable compuesta (TFP = nudos productivos totales x promedio de frutos por nudo productivo), los nudos productivos totales por planta (independiente), la proyección de copa del café, el promedio de frutos por nudo productivo (independiente), el área foliar por planta, el diámetro de copa hacia las calles, la longitud promedio de ramas primarias y el diámetro de copas dentro de la línea, como las variables más correlacionadas con el número de frutos por planta en el orden de importancia mencionados (Anexo 2).

A través del método de coeficiente de regresión, se determinó que el conjunto de las variables medidas en este estudio explicaron un 98% de la variación en el número de frutos por planta. Después de involucrar más de tres variables en los modelos de regresión, hubo muy pocos cambios en el R^2 de los mismos. La variable compuesta (TFP), las hojas totales por planta y el promedio de frutos por nudo productivo, explicaron un 97% de la variación en el número de frutos en las plantas de café.

Por el método de "Stepwise", la variable compuesta (TFP) explicó 96% de los frutos en las plantas de café. Esta prueba también seleccionó el promedio de frutos por nudo productivo (independiente), las hojas totales, los nudos no productivos, el diámetro del tallo y la proyección de copa del café, adicionando en su conjunto un 2% al modelo generado por esta prueba.

Considerando los resultados anteriores junto con el diagnóstico de multicolinealidad y el tiempo necesario para cuantificar cada una de estas variables en el campo, se llegó al siguiente modelo:

$$\text{FTPP} = 0.88 (\text{NPPP} \times \text{PFNP}) \quad (R^2 = 0.98 \quad P < 0.0001)$$

Donde:

FTPP : Frutos totales por planta

NPPP : Nudos productivos por planta

PFNP : Promedio de frutos por nudo productivo

Es importante destacar que la variable promedio de frutos por nudo productivo, fue la relación entre el número de frutos y número de nudos productivos por rama. La decisión de excluir el resto de las variables que estuvieron correlacionadas con el número de frutos por planta, se debió al poco aporte que hicieron estas variables para explicar la variación en el número de frutos por planta.

Una vez definido el modelo anterior, se probó la generación de nuevos modelos excluyendo los nudos productivos totales por planta (NPTPP) y el promedio de frutos por nudo productivo (PFNP), para conocer si otras variables no relacionadas directamente con la producción potencial, eran capaces de generar un modelo predictivo con igual grado de robustez al modelo anterior. Este nuevo grupo de variables (ver anexo 3), logró explicar un 90% de la variabilidad mostrada por el número de frutos por planta; después de involucrar más de tres variables nuevamente los modelos de regresión experimentaron pocos cambios en el R^2 de las distintas combinaciones. La presencia del área foliar, nudos totales y los nudos no productivos por planta, explicaron un 89% de esta característica. A través del método de "Stewise", la proyección total de copa del café explicó un 69% de esta variable, seguida por los nudos totales en las plantas con un 10% y el área foliar con un 7%. A partir de estos datos se generó el siguiente modelo:

$$\text{FTPP} = 474 (\text{AFPP}) + 4.1 (\text{NTRPP}) - 5.32 (\text{NNPPP}) \quad (R^2 = 0.94 \quad p < 0.0001)$$

Donde:

FTPP	: Frutos totales por planta
AFPP	: Área foliar por planta (m^2)
NTRPP	: Nudos totales en las ramas
NNPPP	: Nudos no productivos por planta

4.4.3 Tamaños de muestra y eficiencia de diferentes métodos de muestreo para café asociado con árboles maderables

Para estimar el número de frutos por planta, los tamaños óptimos de muestra en los tratamientos con maderables se dieron en un rango de 50 a 62 plantas para los tres tipos de muestreo comparados (Cuadro 9). El café asociado con eucalipto, demandó el menor tamaño de muestra, comparado con terminalia. Entre los muestreos, el mayor tamaño lo demandó el muestreo por conglomerados. El menor error estándar para eucalipto, se dio mediante el empleo del muestreo sistemático, para terminalia se alcanzó con el muestreo irrestricto aleatorio; sin embargo, para esta especie, los errores estándar estimados presentaron diferencias mínimas para los tres tipos de muestreo comparados.

Para estimar el número de nudos productivos por planta, el tamaño óptimo de muestra osciló en un rango muy similar a la variable anterior (entre 50 y 60 plantas) para las dos especies maderables. Para esta variable, prácticamente no hubo diferencias entre los tamaños de muestra demandados por los distintos métodos de muestreo comparados. El menor error estándar para eucalipto, se obtuvo mediante el empleo del muestreo sistemático, mientras que para terminalia, se alcanzó con el muestreo por conglomerados.

Para estimar el promedio de frutos por nudo productivo, los tamaños óptimos de muestra se dieron en un rango más amplió (34 y 60 plantas) que el número de frutos y los nudos productivos por planta, para ambas especies maderables. Para los tratamientos con maderables, el menor error estándar se obtuvo con el muestreo sistemático. Eucalipto, nuevamente demandó menores tamaños de muestra para esta variable, en comparación con terminalia.

De manera general, el número de frutos y los nudos productivos totales por planta mostraron una mayor variabilidad que el promedio de frutos por planta. Respecto a los distintos socios, la presencia de terminalia causó una mayor variabilidad sobre el comportamiento del café, mientras que el café bajo plena exposición solar se mostró menos variable, en comparación con el café asociado a las dos especies maderables.

Cuadro 9. Resumen sobre tamaños óptimos de muestra, promedios y errores estándar de las medias para el número de frutos por planta, nudos productivos por planta y promedio de frutos por nudo productivo, mediante el muestreo irrestricto aleatorio, muestreo sistemático y muestreo por conglomerados para café asociado con *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y en pleno sol. Finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica.

	C.V	Muestreo irrestricto aleatorio			Muestreo sistemático			Muestreo por conglomerados		
		"n"	Medias	Error Estándar	"n"	Medias	Error Estándar	"n"	Medias	Error estándar
<i>E. deglupta</i>										
Frutos por planta	76	50	544	25,36	50	494	15,78	60	502	25,57
Nudos productivos por planta	77	50	104	5,39	50	102	3,46	56	107	4,69
Promedio de frutos por nudo	42	34	4,57	0,22	34	4,48	0,09	56	4,22	0,2
<i>T. ivorensis</i>										
Frutos por planta	101	55	542	27,89	55	570	28,55	62	510	28,12
Nudos productivos por planta	75	50	98	5,29	50	118	6,56	60	96	4,58
Promedio de frutos por nudo	58	44	4,64	0,22	44	4,11	0,09	60	3,98	0,17
Pleno Sol										
Frutos por planta	56	43	871	43,07	43	813	28,51	56	966	31,08
Nudos productivos por planta	48	39	173	8,19	39	137	11,7	57	175	13,23
Promedio de frutos por nudo	27	21	5,32	0,26	21	5,58	0,17	23	5,28	0,22

En las plantas cultivadas en plena exposición solar, las estimaciones sobre los tamaños de muestra para el muestreo irrestricto aleatorio y sistemático fueron inferiores en un 22% para el número de frutos y el número de nudos productivos por planta, comparado con ambas especies maderables. Para el promedio de frutos por nudo productivo, el tamaño de muestra se redujo en un 52% comparado con terminalia y en un 38% comparado con eucalipto. En general, para estas condiciones, los menores errores estándar para todas las variables, se obtuvieron mediante el empleo del muestreo sistemático.

5. DISCUSIÓN

5.1 Componente arbóreo

Los resultados obtenidos para ambas especies maderables, muestran que aproximadamente a los dos años, terminalia alcanzó un mayor desarrollo que eucalipto bajo las condiciones del sitio donde se desarrolló este estudio. Las condiciones climáticas de la zona en cuanto a precipitaciones, altura e iluminación no constituyeron limitantes para el crecimiento de ambas especies (Sánchez, 1994; Castañeda, 1981). Sin embargo, el pH y las precipitaciones de la zona, apuntan hacia limitaciones con disponibilidad de P y esto podría afectar el desarrollo de eucalipto (Cannon 1984; CATIE; 1986). Por otro lado, la mayor copa de terminalia, caracterizada por diferentes estratos o verticilos desde una temprana edad y un follaje más denso que eucalipto, también podría constituir un factor muy importante para explicar las mayores dimensiones en diámetro y área basal que alcanzó esta especie dada su mayor capacidad para captar energía solar (Warbington y Levitan, 1992; Sánchez, 1994), aún cuando los datos reportados en este estudio sobre diámetro y la proyección de copa de terminalia, fueron afectados por acciones de poda en las ramas inferiores de esta especie antes de cuantificar estas variables.

Sobre la mayor reducción en la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa y una mayor cantidad de sombra mostrada bajo los árboles por terminalia, también podría atribuirse a las dimensiones y la arquitectura de copa que presenta esta especie, caracterizada por ramificaciones laterales muy horizontales y con hojas localizadas en las partes terminales de sus ramas y con mayores dimensiones comparadas con las hojas de eucalipto. Aunque nuevamente debe destacarse, que las acciones de poda sobre terminalia comentadas en el párrafo anterior, también afectaron los valores reportados para esta especie sobre la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa

5.2 Interacciones biofísicas café-maderables

A los dos años de establecimiento, terminalia mostró mayores probabilidades de establecer una competencia temprana con el café en comparación con eucalipto. La reducción de la radiación fotosintéticamente activa, la mayor área proyectada por su copa y la cantidad de sombra que puede proyectar esta especie alrededor de sus tallos,

indican probablemente una mayor competencia por luz. De acuerdo a los datos cuantificados para ambas especies, la copa de terminalia pudo sombrear hasta un 32% de los cafetos, mientras que eucalipto solo afectó un 13%. Si embargo, si el efecto de eucalipto, comparado con terminalia, mantiene la tendencia mostrada en este estudio, reduciendo en el café el número de hojas, el área foliar, la cantidad de tejido nuevo por ramas y también el número de frutos por planta comparado con café en pleno sol, a mediano plazo también podría resultar negativo para la producción del café bajo las condiciones de manejo intensivo de esta finca.

Bajo este manejo, la competencia por nutrientes de ambas especies maderables, puede resultar menos probable, debido a los altos niveles de fertilizantes químicos y los aportes de materia orgánica que se efectúa en el sitio de estudio y los lotes comerciales (Casper y Jackson 1997).

Aunque no se evidenciaron efectos significativos sobre el incremento en la longitud de ramas primarias y el área foliar por rama que mostró el café asociado con terminalia, es posible atribuir este comportamiento, a la mayor cantidad de sombra que ocasionó esta especie sobre un mayor porcentaje de plantas de café comparado con eucalipto, como hemos mencionado en párrafos anteriores. Kimenia y Njoroge (1988); Suárez de Castro *et al.* (1961); Arrillaga y Gómez (1942), reportaron que una mayor cantidad de sombra podría ocasionar resultados semejantes a los que se obtuvieron en este estudio. Asimismo, la reducción en el número de nudos productivos y el número de frutos por rama que mostró el café asociado a esta misma especie, pueden asociarse a una mayor reducción de la radiación fotosintéticamente activa (Estivaris, 1997; y Muschler, 1998) o quizás un menor aprovechamiento de los fertilizantes aplicados en el manejo de este experimento en un mayor porcentaje de plantas que fueron afectadas por las copas de terminalia; dado que en las plantas más distantes a los árboles, se encontró una mayor cantidad de nudos productivos y frutos por rama muy similares a los resultados que mostraron las plantas en pleno sol.

Sobre el análisis de distancia hacia los maderables, solo se encontraron diferencias significativas para variables biofísicas del café asociado con terminalia, lo cual ratifica la discusión de los párrafos anteriores. El resultado obtenido sobre el número de frutos por planta, puede considerarse como uno de más impactantes en el análisis de distancia que

se hizo en este estudio; los datos muestran que terminalia podría reducir hasta un 75% el número de frutos de las plantas de café más cercanas a sus tallos e incrementos consistentes en la medida en que los cafetos están más distantes, mientras que la presencia de eucalipto, no mostró ningún efecto sobre los cafetos establecidos a diferentes distancias de sus tallos para esta variable, Muschler (1998) ya había reportado que *E. deglupta* podía considerarse como una especie compatible para la producción de café.

Por otro lado, la tendencia observada para altura de plantas y variables relacionadas con la longitud de ramas primarias, como el diámetro de copa dentro de la línea, diámetro de copa hacia la calle y proyección de copa del café asociado con terminalia; tuvieron un comportamiento contradictorio con los resultados repostados por Suárez de Castro *et al.*, (1961) y Fournier, (1988). Ellos encontraron una mayor altura y una mayor longitud de ramas primarias para café cultivado bajo sombra, mientras los resultados de este estudio parecieran indicar lo contrario, es decir que a medida que las plantas crecen fuera de la copa de terminalia o incluso de eucalipto, alcanzan una mayor altura y una mayor longitud de copas. Estos resultados, probablemente se expliquen por un mejor aprovechamiento de los altos niveles de fertilizantes que se aplican en el lote experimental por las plantas más expuestas a la radiación solar (Carvajal, 1972).

Debido a los criterios que se utilizaron para la estratificación, los resultados a este nivel, concordaron con la dinámica de crecimiento que presenta esta planta. Es decir, las diferencias en edad entre los estratos, se correspondió con un mayor crecimiento de tejido nuevo en los estratos superior e intermedio; las ramas de los estratos intermedio e inferior alcanzaron la mayor cantidad de nudos y el estrato inferior mostró un alto porcentaje de nudos improductivos, pero a su vez, este estrato mostró la mayor cantidad de hojas y área foliar por planta, por lo cual este estrato podría constituir una fuente importante de recursos energéticos para las plantas. Estos resultados probablemente se expliquen por una mayor disponibilidad de luz para los estratos superiores e intermedio en las plantas de café.

Al nivel de las interacciones estratos por las distancias hacia los árboles maderables, el área foliar se mostró más sensible a la presencia de los árboles en el estrato inferior, este resultado podría atribuirse a una mayor concentración de ramas secundarias en este

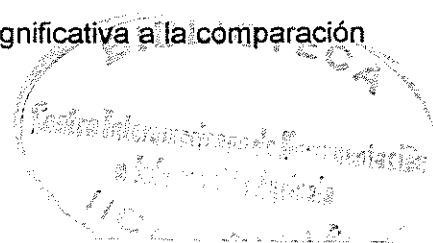
estrato. En los resultados de este estudio, no se documentó el comportamiento de las ramas secundarias en las plantas de café, pero si se observó una concentración casi total de este tipo de ramas en este estrato y una mayor iluminación para las plantas más distantes de los árboles, favoreció una mayor área foliar en este estrato. El promedio de nudos productivos y el número de frutos por rama para los tres estratos evaluados, se incrementó a medida que las plantas estuvieron más lejos de los árboles, este comportamiento fue consistente con los resultados de Van der Vossen, 1988; Willey, 1975; y Suárez de Castro *et al.*, 1961, quienes encontraron que bajo sombra, las plantas de café pueden reducir el número de flores y el número de frutos por nudo.

A parte de la falta de significancia estadística, se sabe que la investigación para estos sistemas no puede ser concluyente a corto plazo; es de esperar que la magnitud de las interacciones va a aumentar con el desarrollo de los árboles y que su valoración no esta referida únicamente al cultivo. Sin embargo, esta información puede tener utilidad para las acciones de carácter silvicultural que deben implementarse con las especies maderables aquí evaluadas y sobre todo para terminalia, para la cual debe de razonarse si conviene su establecimiento en la densidad que fue decidida para este estudio o bien sobre podas más fuertes aún a una temprana edad y raleos más tempranos.

5.3 Consideraciones metodológicas

La información que se generó sobre la estimación de tiempos para cuantificar en el campo las distintas variables de respuesta medidas en las plantas de café, pueden resultar relevantes como una herramienta de planificación. Con las variables donde solo se midió o se contó un solo valor por planta (ej. altura de plantas o diámetro del tallo), la información generada puede tener una utilidad inmediata para otros estudios, mientras que para las variables que fueron medidas al nivel de todas las ramas que presentaron las plantas (ej. nudos totales o número de frutos por ramas), pueden servir de guía para estimar cuanto tiempo se requería cualquiera de estas características al muestrear un menor número de ramas por planta.

Otro aspecto que debe ser considerado junto con los tiempos requeridos para el muestreo, es la susceptibilidad que presentaron cada una de las variables observadas al efecto de los árboles maderables. Por ejemplo, el número de ramas primarias no-productivas, fue la única variable que respondió de manera significativa a la comparación



entre especies maderables; el número de ramas primarias por planta, fue la variable que presentó el R^2 más alto para observar la respuesta del café a diferentes distancias de los maderables, las cuantificación de diámetros ya sea del tallo o de la copa del café (hacia las calles o dentro de la línea), fueron muy sensibles a la interacción distancias por especies maderables; el número de ramas productivas por planta, también fue sensible a las interacción distancias por especies maderables y demandó poco tiempo para su evaluación en el campo. A nivel de estratos, el número de nudos productivos por rama, fue la variable que requirió un menor tiempo entre las variables medidas a este nivel y resultó sensible en los dos estratos productivos que presenta la planta de café.

Desde el punto de vista de los maderables; los resultados obtenidos para estimar el número de frutos y los nudos productivos por planta, sugieren un tamaño de muestra entre 50 y 55 plantas utilizando el muestreo irrestricto aleatorio y el sistemático; y la posibilidad de tomar solamente 34 - 44 plantas de esta muestra, para estimar el promedio de frutos por nudo productivo.

Para café asociado con eucalipto o en plena exposición solar, el muestreo sistemático resultó más eficiente para estimar cualquiera de las tres variables seleccionadas. En el caso de terminalia, la eficiencia para estimar las distintas variables fue similar para los tres tipos de muestreo comparados; solamente se destaca el muestreo sistemático para estimar el promedio de frutos por nudo productivo y el muestreo por conglomerados para estimar los nudos productivos por planta. Los resultados anteriores, parecen congruentes con las características mencionadas por Scheaffer *et al.*, (1987) para los tipos de muestreo que fueron comparados; el muestreo sistemático resultó más apropiado para condiciones más regulares, como es el caso de las plantas cultivadas bajo sol o bien el caso de café asociado con eucalipto que experimentó una menor variabilidad en la RAFA y menores fluctuaciones estacionales, dado que mantiene sus hojas durante todo el año. Para el café asociado con terminalia el muestreo sistemático no se mostró tan consistente y aparentemente, cualesquiera de los métodos de muestreo pueden ser útiles para estimar las características aquí evaluadas. Este comportamiento podría atribuirse a una condición más heterogénea para este asocio, ya que terminalia tuvo efectos muy fuertes para las plantas de café más cercanas a sus tallos, mientras que las plantas más distantes se vieron poco afectadas por su sombra.

Respecto a los modelos que se generaron para predecir el número de frutos por planta, el modelo más robusto fue el que involucró los nudos productivos por planta y el promedio de frutos por nudo productivo. De acuerdo a los resultados reportados por (Mendez *et al.* 1980; Cilas y Descroix, 1993), para estimar las dos variables incluidas en este modelo, se sugiere una muestra de cinco ramas por planta seleccionadas mediante un muestreo sistemático aleatorio a partir del nudo 6. La sugerencia del punto de inicio dentro de las plantas se basa en el comportamiento de la fructificación, que mostraron las plantas de café asociadas con las dos especies maderables o en plena exposición solar en este estudio. En cada una de las plantas seleccionadas, primero debe cuantificarse el número total de ramas productivas; después en cada una de las cinco ramas seleccionadas se sugiere contar todos los nudos productivos y contabilizar el número de frutos en un solo nudo o glomérulo ubicado en la parte media de estas ramas. Para estimar el número de nudos productivos por planta, primero debe promediarse la cantidad de nudos productivos presentes en las cinco ramas muestreadas y luego multiplicar este promedio por la cantidad de ramas productivas. Para estimar el promedio de frutos por nudo productivo por planta, solo deben promediarse la cantidad de frutos presentes en los cinco nudos muestreados por planta (un nudo por cada rama)

En el modelo alternativo que se generó al excluir las variables directamente relacionadas con la producción como nudos productivos totales y el promedio de frutos por nudo productivo, no se incluyó la proyección total de copa debido a la alta colinealidad que mostró esta variable con los nudos totales y el área foliar por planta. Este nuevo modelo, a pesar de que no involucra variables como las citadas al inicio de este párrafo, mostró un R^2 muy significativo (0.94) para explicar el número de frutos por planta, sin embargo, incluye variables que demandan una buena cantidad de tiempo para su evaluación en el campo, como el caso del área foliar y su uso implicaría la necesidad de generar métodos de muestreo que permitan una buena estimación al nivel de plantas para favorecer un uso más práctico del mismo.

6. CONCLUSIONES

Componente arbóreo

- Las dimensiones de terminalia para el dap, diámetro medio de copa, proyección de copa y el área basal fueron superiores a eucalipto en un 32, 34, 60 y un 51% respectivamente.
- Terminalia disminuyó en un 51% la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa y proyectó un 22% más de sombra en un radio de 1.5 m de alrededor sus tallos, comparada con eucalipto.
- Al nivel de parcelas, las copas de terminalia sombrearon directamente un 32% de los cafetos y disminuyó en un 38% la disponibilidad de RAFA comparado con condiciones de pleno sol, mientras eucalipto sombreo un 13 % de los cafetos y disminuyó un 30% de la RAFA respectivamente.

Interacción biofísicas café - maderables

- El café asociado con eucalipto o terminalia disminuyó en un 15 y en un 22% el número de frutos por planta, comparados con café en pleno sol de manera respectiva.
- La cercanía de los árboles, afectó en forma significativa la altura de plantas, el número de nudos en el tallo principal y el número de ramas primarias por planta. La regresión lineal, ajustó en forma significativa el comportamiento creciente que mostraron estas variables al alejarse de los árboles.
- En su primera cosecha comercial, el desarrollo vegetativo y la productividad del café no se mostró sensible a la presencia de eucalipto. Terminalia, disminuyó hasta un 75% el número de frutos en las plantas de café más cercanas a los árboles y mostraron un aumento consistente en el número de frutos al alejarse de los tallos de esta especie.
- Las especies maderables por distancias, afectaron significativamente las dimensiones del diámetro del tallo, diámetro de copa hacia las calles, proyección de copa del café, número de ramas primarias productivas por planta, promedio de frutos por nudo

productivo y número de frutos por planta. La regresión lineal ajustó en forma significativa el aumento creciente mostrado por estas variables al alejarse de los tallos de terminalia.

- El modelo de regresión lineal ajustó en forma significativa el comportamiento creciente del área foliar para el estrato inferior, el promedio de nudos productivos por rama para los estratos superior e intermedio y el promedio de frutos por bandola para los tres estratos que se definieron en la planta de café al alejarse de los árboles.

Aspectos metodológicos

- Para cuantificar el área foliar por planta por un método no-destructivo propuesto por Valencia, (1973) requiere alrededor de 20 minutos por planta, en café de dos años de edad.
- Para cuantificar variables como la altura, diámetro del tallo, nudos por planta en el tallo principal, proyección de copa del café, número de ramas primarias y número de ramas primarias no-productivas, se requiere menos de un minuto por planta.
- Para estimar el número de frutos en base a una muestra de ocho ramas por planta, se necesita alrededor de tres minutos por planta.
- Para cuantificar la longitud de ramas primarias, tejido nuevo en ramas primarias, el número de hojas en las ramas, los nudos totales en las ramas, nudos productivos y número de frutos por ramas, se necesitan cerca de siete minutos por planta para cada una de ellas.
- El número de frutos en las plantas de café (NFPP), asociadas con eucalipto o terminalia puede predecirse a través de los siguientes modelos:

$$\text{NFPP} = 0.88 (\text{Nudos Productivos Totales por Planta} \times \text{Promedio de Frutos por Nudo Productivo})$$

$$\text{NFPP} = 474 (\text{Área foliar por planta}) + 4.1 (\text{Nudos totales en las ramas}) - 5.32 (\text{Nudos no productivos por planta})$$

- Para estimar el número de frutos y los nudos productivos por planta, los resultados sugieren un tamaño de muestra entre 50 y 60 plantas para café asociado con las especies maderables y la posibilidad de tomar un 50% de estas plantas, para estimar el promedio de frutos por nudo productivo.
- Para estimar los nudos productivos se sugiere una muestra de cinco ramas por planta seleccionadas en forma sistemática y considerando como punto de inicio el nudo seis dentro de las plantas y para estimar el promedio de frutos por nudo productivo contabilizar los frutos presentes en un nudo productivo localizado en la parte media de estas mismas ramas.

7. RECOMENDACIONES

Componente arbóreo

- Por las características de crecimiento que presenta terminalia al asociarse con café, parece necesario podas más drásticas de sus ramas después del primer año de establecimiento y probablemente raleos más tempranos que eucalipto.
- Vale la pena considerar si en los sistemas agroforestales café - maderables, conviene plantar café a menos de un metro de distancia de los árboles.

Interacciones biofísicas

- Es necesario ratificar las tendencias mostradas por el asocio café - eucalipto - terminalia por un mayor período de tiempo para establecer conclusiones más sólidas al respecto.

Aspectos metodológicos

- La investigación café - maderables en los primeros años de establecimiento, además de comparar resultados por parcela, debe incluir información para diferentes ambientes y distancias entre los componentes de estos sistemas.
- La altura de plantas, el número de nudos en el tallo principal y el número de ramas primarias por planta, parecen buenos indicadores para detectar el efecto de especies maderables sobre las plantas de café establecidas a diferentes distancias de los árboles.
- Al nivel de estratos, la observación del área foliar para el estrato inferior y los nudos productivos y el número de frutos por rama después del nudo ocho dentro de las plantas, parecen buenos indicadores para conocer como pueden afectar los árboles maderables el desarrollo de las plantas de café.
- Sobre los modelos generados para estimar el número de frutos por planta, los tamaños óptimos de muestra y la eficiencia de los distintos métodos de muestreo que fueron comparados, hay que considerar que resultaron de una primera cosecha

comercial y bajo condiciones experimentales, por lo cual se recomienda verificar su consistencia al menos en un ciclo más de cosecha y paralelamente validar estos resultados en áreas comerciales con las especies maderables aquí tratadas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alvin, P. 1953. Algunos estudios sobre la fisiología del cafeto. *Suelo Tico* 8(29): 58-62.
- ANACAFE 1995. La importancia de la sombra en el cafetal. *Agroforestería en las Américas* 4(13): 25-27.
- Arrillaga, G; Gómez, L.A. 1942. Effect of solar radiation intensity on the vegetative growth and yield coffee. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 23(4):73-90.
- Barros, R.S; Maestri, M; Braga, R.A. 1995. Coffee crop ecology. *Tropical Ecology* 36(1): 1-19.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Beer, J. 1997. Café bajo sombra en América Central: ¿hace falta mas investigación sobre este sistema agroforestal exitoso?. *Agroforestería en las Américas* 4(13): 4-5.
- Beer, J. 1995. Efectos de los árboles de sombra sobre la sostenibilidad de un cafetal. *Boletín PROMECAFE* 68:13-18.
- Beer, J.W 1992. Production and competitive effects of the shade trees *Cordia alliodora* and *Erythrina poeppigiana* in an agroforestry systems with *Coffea arabica*. Ph.D Thesis. Oxford, University of Oxford. 223 p.
- Beer, J.W. 1989. Experiencias con árboles de sombra en cafetales en Costa Rica. In *Seminario Avances en la Investigación Agroforestal*. (1985, Turrialba, Costa Rica). *Actas. Turrialba, Costa Rica, CATIE, GTZ*. p. 187-195
- Cannel, M.G.R. 1975. Crop physiological aspect of coffee bean yield: A review. *Journal of Coffee Research* 5(1/2): 7-20
- Cannon, P. 1984. La optimización de la fertilización de Eucalyptus en algunos suelos Andepts. In *_____ Fertilización forestal en el Valle del Cauca*. Cartón de Colombia. Informe de Investigación N° 8. p 133-150.
- Casper, B.B; Jankson, R.B. 1997. Plant competition undergroud. *Ann.Rev. Ecol. Syst.* 28: 545-570.
- Castañeda A, L.A. 1981. Comportamiento de *Terminalia ivorensis* A.Chev. asociada con cultivos anuales y perennes en su segundo año de crecimiento. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 101 p.
- CATIE. 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central: resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico N° 86. 222 p.

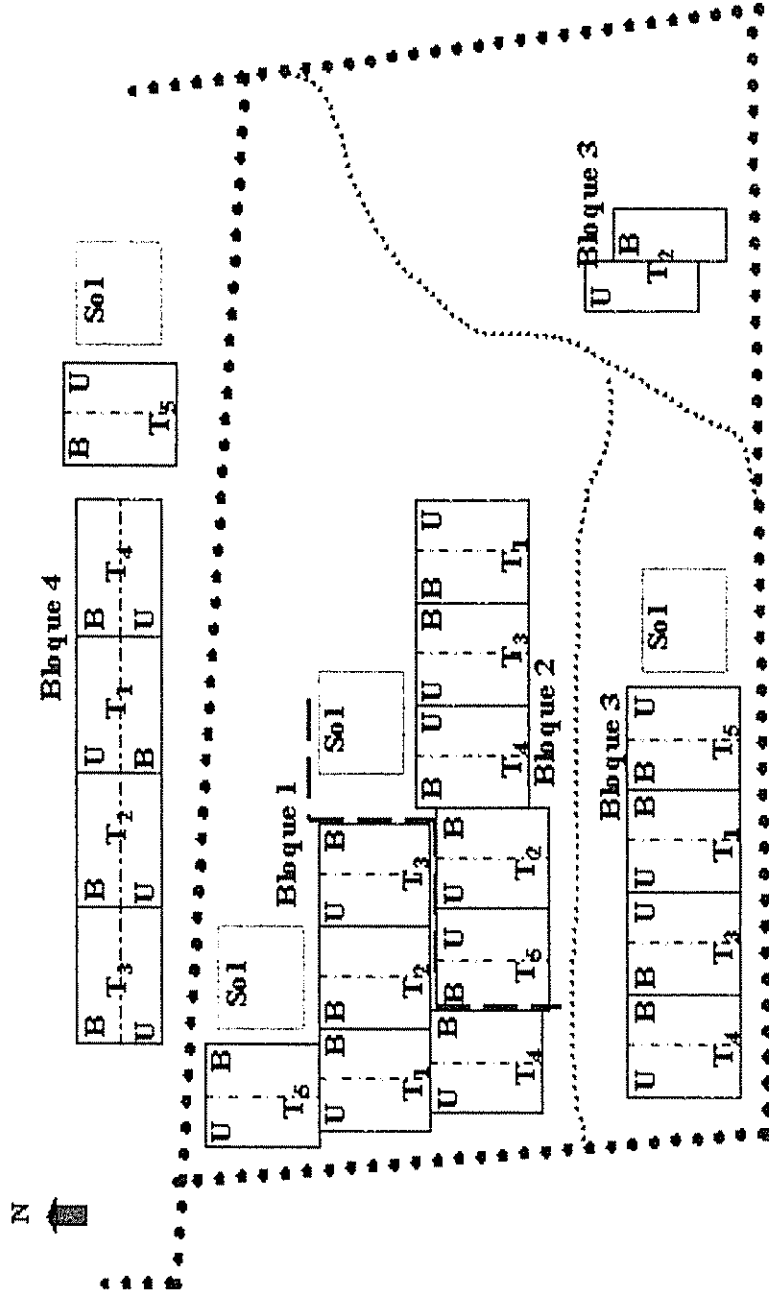
- Carvajal, J.F. 1972. Cafeto - cultivo y fertilización. Berna, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa. 141 p.
- Chaves, C.B; Sánchez, H; Rodríguez, H. 1992. Tamaño, forma y número de parcelas para ensayos de café variedad Caturra. CENICAFE 43(2):43-60.
- Cilas, C; Descroix, F. 1993. Estimation des rendements en café. Documento interno de CIRAD. 14 p.
- Cochran, W. G. 1998. Técnicas de muestreo. México, D.F, Compañía Editorial Continental. 505 p.
- Estivaris, C. J. 1997. Efecto de la sombra sobre la floración y producción de *Coffea arabica* vr. Caturra después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p.
- Fahl, J.I; Cavalho, C.M. 1994. Influence of shade on physiological traits related to growth on species of coffee. Internacional Symposium on high coffee tree density. Londrina, P.R, Brasil. p.289.
- Fassbender, H.W; Alpizar, L; Heuvel, J; Enriquez, G; Fölster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica, 3. Modelos de materia orgánica y los elementos nutritivos. Turrialba 35: 403-413.
- Fournier, L.A 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o la sombra: Un enfoque agronómico y ecofisiológico. Agronomía Costarricense 12(1):131-146.
- Fournier, L.A. 1981. Importancia de los sistemas agroforestales en Costa Rica. Agronomía Costarricense 5(1-2): 141-147.
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 163 p.
- González G, L.E. 1980. Efecto de la asociación de laurel (*Cordia alliodora*) sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) con y sin sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 110 p.
- Gopal, N.H; Ramaiah, P.K; Narasimhaswamy, R.L. 1970. Shade for *arabica coffee* in India. Indian Coffee 34(10):265-267.
- Hernández, O.R. 1995. Rendimiento y análisis financiero del sistema agroforestal café (*Coffea arabica* cv. Caturra) con poró (*Erythrina poeppigiana*) bajo diferentes densidades de laurel (*Cordia alliodora*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 70 p.
- Huxley, P.A. 1970. Some aspects of the physiology of arabica coffee. In Long Aston Symposium (2, 1969, Long Aston, R.V). Proceeding. Bristol, University of Bristol. p 255-268.

- Kimemia, J.K; Njoroge, J.M. 1988. Effect of shade on coffee. A review. Kenya Coffee 53(622):387-391.
- Kish, L. 1982. Muestreo de encuestas. México, D.F., Editorial Trillas. 736 p.
- Maestri, M; Barros,R.S. 1977. Coffee. In alvin P de T.; Kozłowski, T.T. Ecophysiology of tropical crops. New York, Academic Press. p 249 - 278.
- Martín, J.V; Montes, S. 1991. Influencia de variables morfológicas en el rendimiento en cinco variedades de café. Cultivos Tropicales 12(3): 86-88.
- Mendenhall, W. 1982. Inferencia estadística para muestras grandes. In _____ Introducción a la probabilidad y a la estadística. México, D.F, Editorial Iberoamérica. 619 p.
- Méndez, I; O' Reilly, F; Rincón, G. S; Tubilla, A. 1980. Sistema de muestreo para estimar la cosecha de café en México. Departamento de probabilidad estadística e I.O. UNAM. Departamento de estadística. IMECAFE. Jalapa, Veracruz, México. 22 p.
- Montenegro, J; Ramírez, G; Blanco-Metzler, H. 1997. Evaluación del establecimiento y crecimiento inicial de seis especies maderables con café. Agroforestería en las Américas. 4(13): 14-20.
- Montoya, L.A; Sylvain, P.G; Umaña,R. 1961. Effect of light intensity and nitrogen fertilization upon growth differentiation balance in *Coffea arabica* L. Coffee 3(11):97-103.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica (Materiales de enseñanza N° 45). CATIE 139 p.
- Muschler, R.G. 1998. Tree-crop compatibility in agroforestry: Production and quality of coffee grown under managed tree shade in Costa Rica. Thesis Ph.D. Florida, University of Florida. 216 p.
- Muschler, R.G. 1997 a. Sombra o sol para un cafetal sostenible: Un nuevo enfoque de una vieja discusión. In Simposium Latinoamericano de caficultura (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. San José, Costa Rica, IICA-PROMECAFE. p 471-476.
- Muschler, R.G. 1997 b. Interacción de componentes. In _____. Agroforestería. Centro de agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 541 p.
- Muschler, R.G. 1995. Efectos de diferentes niveles de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vr. Caturra y Catimor. Resúmenes II semana científica CATIE 4,5 y 7 de 1995. Turrialba, Costa Rica. 75 p.
- Oliveira, E de O.; Biava, M. 1982. Bibliografía sobre tamanho e forma de parcelas experintais. EMBRAPA, Unidade de Execução de pesquisa de Âmbito Estadual de Rio Branco - UEPAE Rio Branco, Brasília. 189 p.

- Páez, B.G. (1963). Estudio sobre el tamaño y forma de parcela de café. Proceedings of the Caribbean Region American Society for Horticultural Science (Estados Unidos). 7: 69-79
- Pérez, G.J. 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. 5 p.
- Pimentel, G.F; Chaves, R. 1988. A amostragem ótima em inventário florestal. IPEF 38: 17-22
- Salazar, J.N; Corchuelo, G; Clavijo, P.J. 1988. Características morfológicas asociadas con el rendimiento del café. Agronomía Colombiana. 4: 69-85
- Sánchez, S. A 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. grandis* bajo tres niveles de plantación a nivel de fincas, en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 94 p.
- Scheaffer, R.L; Mendenhall, W; Ott, L. 1987. Elementos de muestreo. México, D.F, Grupo editorial Iberoamerica. 320 p.
- Suárez de Castro, F; Montenegro, L; Aviles, P.C; Moreno, M.M; Bolaños, M. 1961. Efectos del sombrero en los primeros años de vida de una cafetal. Turrialba 3(10): 81-102.
- Suárez de Castro, F. 1961. Sistemas de siembra y de cultivo del café en América. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Suplemento N° 9. p. 11.
- Tavares, F.C; Beer, J; Jiménez, F; Schroth, G; Fonseca, C. 1999. Costa Rican farmers' experience with the introduction of timber trees in their coffee plantations. In Semana Científica CATIE (4, 1999, Turrialba, Costa Rica). Logros de la Investigación para el nuevo milenio: Actas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 490 p.
- Van der Vossen, H.A.M. 1988. Physiological aspects of coffee in agroforestry systems. Proceedings of the international seminar on coffee technology. Chiang Mai, Thailandia, Research and Development Centre. 327 p.
- Vasudeva, N; Ratageri, M.C. 1981. Studies on leaf to crop ratio in two commercial species of coffee grown in India. Journal of Coffee Research 11(4):129-136.
- Valencia, A.G. 1973. Relación entre el índice de área foliar y la productividad del café. CENICAFÉ 24(4): 79-89.
- Ventakaramanan, D; Govindappa, D.A. 1987. Shade requirement and productivity of coffee. Journal of Coffee Research 17(2): 16-39.
- Wabington, R; Levitan, J. 1992. How to estimate canopy cover using maximum crown width / dbh relationship. In Proceeding of the stand technologies. An international Multiple Resource Conference. EEUU. p 319-328.
- Willey, R.W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. Horticultural abstracts 45(12):791-798.

ANEXOS

Anexo 1. Croquis sobre la distribución de los tratamientos de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* como sombra para café en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica



T₁: *Eucalyptus deglupta* sin fertilizar T₂: *Eucalyptus deglupta* fertilizado T₃: *Terminalia ivorensis* sin fertilizar
 T₄: *Terminalia ivorensis* fertilizado T₅: *Erythrina poeppigiana* sin fertilizar
 Combinados con café fertilizado en bandas (B) o de manera uniforme (U)

Sol: Tratamiento a pleno sol con fertilización en bandas

Anexo 2. Resultados parciales de los análisis realizados para discriminar variables que mejor explicaron el número de frutos por planta.

A. Análisis de correlación por Pearson

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 128

	Frutos totales por planta (FTPP)
Longitud promedio de ramas primarias (LPDB)	0.77522 0.0001
Total de tejido nuevo por planta (TTNPP)	0.64462 0.0001
Hojas totales por planta (HTPP)	0.67786 0.0001
Área foliar por planta (AFPP)	0.80973 0.0001
Nudos totales en las ramas por planta (NTRPP)	0.70324 0.0001
Nudos productivos totales por planta (NPTPP)	0.89103 0.0001
Nudos no productivos por planta (NNPPP)	0.40328 0.0001
Promedio de frutos por nudo productivo (PFNP)	0.82059 0.0001
Altura de plantas (APC)	0.64002 0.0001
Nudos totales en el tallo principal (NTP)	0.27269 0.0018
Diámetro de copa dentro de la línea (PCL)	0.75145 0.0001
Diámetro de copa hacia las calles (PCC)	0.78497 0.0001
Proyección de copa del café (PTCC)	0.82837 0.0001
Diámetro del tallo (DPPD)	0.72690 0.0001
Ramas primarias por planta (NBPP)	0.62170 0.0001
Ramas primarias no productivas (NBPNP)	-0.17652 0.0462
Ramas primarias productivas (NBP)	0.66365 0.0001
Variable compuesta NPTPP x PFNP (TFP)	0.98215 0.0001

B. Resultados parciales análisis de componentes principales

Rotation Method: Varimax

Orthogonal Transformation Matrix

	1	2	3	4
1	0.76840	0.49977	0.39122	-0.08210
2	-0.24226	-0.11786	0.75250	0.60097
3	-0.37230	0.82761	-0.25613	0.33294
4	0.46072	-0.22672	-0.46378	0.72197

Rotated Factor Pattern

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4
FTPP	0.85763	0.28332	0.22155	-0.16270
LPDB	0.80066	0.40778	0.21436	0.01856
TTNPP	0.75712	0.20949	0.22032	0.21700
HTPP	0.53020	0.72398	0.18177	0.09331
AFPP	0.70540	0.58471	0.11564	0.05745
NTRPP	0.42504	0.85062	0.22588	-0.09925
NPTPP	0.67678	0.49410	0.28213	-0.19748
NNPPP	0.13349	0.95270	0.13370	0.00041
PFNP	0.86392	-0.06157	0.22848	-0.17346
APC	0.56886	0.27299	0.49708	-0.03695
NTP	0.08507	0.04831	0.86858	0.29111
PCL	0.73693	0.38647	0.28162	-0.08940
PCC	0.75934	0.40477	0.26972	-0.06607
PTCC	0.79673	0.42502	0.23309	-0.07544
DPPD	0.52483	0.46431	0.49037	-0.18994
NBPP	0.44791	0.26951	0.79515	0.03760
NBPNP	-0.10037	-0.01153	0.10417	0.93791
NBP	0.46751	0.26196	0.71814	-0.33553
TFP	0.83971	0.31373	0.19550	-0.15339

Variance explained by each factor

FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4
7.626499	4.061690	3.036129	1.322293

C. Discriminación de variables por el método de R²

R-square Variables in Model

ln		
1	0.9646165	TFP
1	0.7939404	NPTPP
1	0.6861958	PTCC
1	0.6733734	PFNP
1	0.6556668	AFPP
1	0.6161748	PCC
1	0.6009585	LPDB
1	0.5646833	PCL
1	0.5283873	DPPD
1	0.4945500	NTRPP
1	0.4594907	HTPP
1	0.4155401	TTNPP
1	0.4096261	APC
1	0.3865079	NBPP
1	0.1626344	NNPPP
1	0.0743595	NTP
2	0.9723314	PFNP, TFP
2	0.9673449	NBPP, TFP
2	0.9671006	TTNPP, TFP
2	0.9670795	AFPP, TFP
2	0.9670213	LPDB, TFP
2	0.9669751	HTPP, TFP
2	0.9660789	NPTPP, TFP
2	0.9659766	APC, TFP
2	0.9654201	PCC, TFP
2	0.9654010	DPPD, TFP
2	0.9650126	NTRPP, TFP
2	0.9649948	PCL, TFP
2	0.9647962	NTP, TFP
2	0.9647346	NNPPP, TFP
2	0.9646566	PTCC, TFP
2	0.9228121	NPTPP, PFNP
3	0.9752520	HTPP, PFNP, TFP
3	0.9747888	AFPP, PFNP, TFP
3	0.9734700	PFNP, NBPP, TFP
3	0.9732834	PFNP, APC, TFP
3	0.9730278	PFNP, DPPD, TFP
3	0.9729293	LPDB, PFNP, TFP
3	0.9729277	TTNPP, PFNP, TFP
3	0.9726273	NNPPP, PFNP, TFP
3	0.9726142	NTRPP, PFNP, TFP
3	0.9725276	PFNP, PCL, TFP
3	0.9724997	PFNP, PCC, TFP
3	0.9724483	PFNP, NTP, TFP
3	0.9723731	NPTPP, PFNP, TFP
3	0.9723720	PFNP, PTCC, TFP
3	0.9723255	HTPP, NTRPP, TFP
3	0.9712876	HTPP, NNPPP, TFP

16 0.9801627

LPDB, TTNPP, HTPP, AFPP, NTRPP, NPTPP, NNPPP, PFNP, APC, NTP, PCL, PCC, PTCC, DPPD, NBPP, TFP

D. Discriminación por el Método de Stepwise

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable FTFP

Step	Variable Entered Removed	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	TFP	1	0.9646	0.9646	73.9891	3434.9804	0.0001
2	PFNP	2	0.0077	0.9723	32.8204	34.8538	0.0001
3	HTPP	3	0.0029	0.9753	18.4779	14.6339	0.0002
4	NNPPP	4	0.0011	0.9764	14.2400	5.8020	0.0175
5	DPPD	5	0.0005	0.9769	13.1693	2.9003	0.0911
6	PTCC	6	0.0005	0.9774	12.2551	2.7929	0.0973

E. Modelo final propuesto para estimar número de frutos por planta o producción potencial

NOTE: No intercept in model. R-square is redefined.

Dependent Variable: FTFP

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	65501989.448	65501989.448	6490.585	0.0001
Error	127	1281664.5522	10091.846868		
U Total	128	66783654			
Root MSE	100.45818	R-square	0.9808		
Dep Mean	536.89063	Adj R-sq	0.9807		
C.V.	18.71111				

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
TFP	1	0.888092	0.01102341	80.564	0.0001
Variable	DF	Tolerance	Variance Inflation		
TFP	1	1.00000000	1.00000000		

F. Collinearity diagnostics

Number	Eigenvalue	Condition Index	Var Prop TFP
1	1.00000	1.00000	1.0000

Anexo 3. Resultados parciales de los análisis realizados para discriminar variables que mejor explicaron el número de frutos por planta sin incluir nudos productivos por planta y el promedio de frutos por nudo productivo.

A. Análisis de correlación por Pearson

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 128

	Frutos totales por planta (FTPP)
Longitud promedio de ramas primarias (LPDB)	0.77522 < .0001
Total de tejido nuevo en las plantas (TNPP)	0.64462 < .0001
Hojas totales por planta (HTPP)	0.67786 < .0001
Área foliar por planta (AFPP)	0.80973 < .0001
Nudos totales en las ramas por planta (NTRPP)	0.70324 < .0001
Nudos no productivos por planta (NNPPP)	0.40328 < .0001
Altura de plantas (APC)	0.64002 < .0001
Nudos totales en el tallo (NTP)	0.27269 0.0018
Diámetro de copa en la línea (PCL)	0.75145 < .0001
Diámetro de copa hacia las calles (PCC)	0.78497 < .0001
Proyección de copa del café (PTCC)	0.82837 < .0001
Diámetro del tallo (DPPD)	0.72690 < .0001
Ramas primarias por planta (NBPP)	0.62170 < .0001
Ramas primarias no productivas (NBPNP)	-0.17652 0.0462
Ramas primarias productivas por planta (NBP)	0.66365 < .0001

B. Resultados parciales análisis de componentes principales

Rotation Method: Varimax

Orthogonal Transformation Matrix

	1	2	3
1	0.70656	0.70624	-0.04460
2	0.49033	-0.44315	0.75047
3	-0.51025	0.55212	0.65940

Rotated Factor Pattern

	Factor1	Factor2	Factor3
FTPP	0.63754	0.56418	-0.22439
LPDB	0.59967	0.67382	-0.12983
TTNPP	0.57362	0.50627	0.01876
HTPP	0.35719	0.85527	0.07027
AFPP	0.41733	0.81831	-0.04095
NTRPP	0.34514	0.86787	-0.00069
NNPPP	0.08160	0.87298	0.12707
APC	0.73166	0.36998	-0.01537
NTP	0.68294	-0.04249	0.59664
PCL	0.65378	0.57852	-0.18814
PCC	0.63231	0.62317	-0.15143
PTCC	0.63409	0.65073	-0.19032
DPPD	0.67306	0.51724	-0.06117
NBPP	0.85088	0.30133	0.24838
NBPNP	-0.11685	0.03714	0.88196
NBP	0.85890	0.27307	-0.11207

Variance Explained by Each Factor

Factor1	Factor2	Factor3
5.6820368	5.6644924	1.3969316

C. Discriminación de variables por el método de R²

R-Square Selection Method

Number in Model	R-Square	Variables in Model
1	0.6862	PTCC
1	0.6557	AFPP
1	0.6162	PCC
1	0.6010	LPDB
1	0.5647	PCL
1	0.5284	DPPD
1	0.4946	NTRPP
1	0.4595	HTPP
1	0.4404	NBP
1	0.4155	TTNPP
1	0.4096	APC
1	0.3865	NBPP
1	0.1626	NNPPP
1	0.0744	NTP
1	0.0312	NBPNP
2	0.8039	NTRPP, NNPPP
2	0.7569	AFPP, PTCC
2	0.7306	AFPP, DPPD
2	0.7293	AFPP, PCC
2	0.7225	AFPP, PCL

2	0.7172	AFPP, APC
2	0.7138	PTCC, DPPD
2	0.7115	PTCC, NBP
2	0.7077	AFPP, NBP
2	0.7041	LPDB, PTCC
2	0.7021	NTRPP, PTCC
2	0.7011	TTNPP, PTCC
2	0.7004	PTCC, NBPP
2	0.6997	HTPP, PTCC
2	0.6949	APC, PTCC
3	0.8883	AFPP, NTRPP, NNPPP
3	0.8555	LPDB, NTRPP, NNPPP
3	0.8440	HTPP, NTRPP, NNPPP
3	0.8408	TTNPP, NTRPP, NNPPP
3	0.8332	NTRPP, NNPPP, PTCC
3	0.8286	NTRPP, NNPPP, PCC
3	0.8189	NTRPP, NNPPP, PCL
3	0.8168	NTRPP, NNPPP, NBP
3	0.8147	NTRPP, NNPPP, NBPP
3	0.8117	NTRPP, NNPPP, DPPD
3	0.8083	NTRPP, NNPPP, APC
3	0.8043	NTRPP, NNPPP, NBPNP
3	0.8039	NTRPP, NNPPP, NTP
3	0.7891	AFPP, NNPPP, DPPD
3	0.7877	AFPP, NNPPP, PTCC
4	0.8947	AFPP, NTRPP, NNPPP, DPPD
4	0.8928	LPDB, AFPP, NTRPP, NNPPP
4	0.8922	AFPP, NTRPP, NNPPP, NBP
4	0.8921	AFPP, NTRPP, NNPPP, PTCC
4	0.8915	AFPP, NTRPP, NNPPP, PCC
4	0.8911	AFPP, NTRPP, NNPPP, APC
4	0.8905	AFPP, NTRPP, NNPPP, PCL
4	0.8902	AFPP, NTRPP, NNPPP, NBPP
4	0.8900	HTPP, AFPP, NTRPP, NNPPP
4	0.8898	AFPP, NTRPP, NNPPP, NBPNP
4	0.8891	TTNPP, AFPP, NTRPP, NNPPP
4	0.8884	AFPP, NTRPP, NNPPP, NTP
4	0.8673	LPDB, HTPP, NTRPP, NNPPP
4	0.8584	LPDB, TTNPP, NTRPP, NNPPP
4	0.8572	LPDB, NTRPP, NNPPP, APC
14	0.9029	LPDB, TTNPP, HTPP, AFPP, NTRPP, NNPPP, APC, NTP, PCL, PCC, PTCC, DPPD, NBPP, NBPNP

D. Discriminación por el Método de Stepwise

Summary of Stepwise Selection

Step	Variable Entered Removed	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	C(p)	F Value	Pr > F
1	PTCC	1	0.6862	0.6862	241.108	275.52	< .0001
2	AFPP	2	0.0707	0.7569	160.805	36.38	< .0001
3	NNPPP	3	0.0308	0.7877	126.974	17.99	< .0001
4	NTRPP	4	0.1043	0.8921	7.5704	118.92	< .0001
5	DPPD	5	0.0044	0.8964	4.5021	5.13	0.0253
6	PTCC	4	0.0017	0.8947	4.5058	2.03	0.1569
7	HTPP	5	0.0019	0.8966	4.2947	2.24	0.1369
8	PTCC	6	0.0021	0.8987	3.8460	2.51	0.1154

E. Modelo final propuesto para estimar número de frutos por planta o producción potencial

Dependent Variable: FTPP

NOTE: No intercept in model R-Square is redefined.

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	63418242	21139414	785.17	< .0001
Error	125	3365412	26923		
Uncorrected Total	128	66783654			

Root MSE	164.08319	R-Square	0.9496
Dependent Mean	536.89063	Adj R-Sq	0.9484
Coeff Var	30.56175		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Tolerance
AFPP	1	474.69327	48.53306	9.78	< .0001	0.09190
NTRPP	1	4.07865	0.27083	15.06	< .0001	0.01885
NNPPP	1	-5.32356	0.31948	-16.66	< .0001	0.02864

Parameter Estimates

Variable	DF	Variance Inflation
AFPP	1	10.88095
NTRPP	1	53.05889
NNPPP	1	34.91952

F. Collinearity diagnostics

Number	Eigenvalue	Condition Index	-----Proportion of Variation-----		
			AFPP	NTRPP	NNPPP
1	2.90581	1.00000	0.01031	0.00221	0.00329
2	0.08261	5.93077	0.71095	0.01251	0.10611
3	0.01157	15.84591	0.27875	0.98528	0.89060

Collinearity Diagnostics(intercept adjusted)

Number	Eigenvalue	Condition Index	-----Proportion of Variation-----		
			AFPP	NTRPP	NNPPP
1	2.90581	1.00000	0.01031	0.00221	0.00329
2	0.08261	5.93077	0.71095	0.01251	0.10611
3	0.01157	15.84591	0.27875	0.98528	0.89060