

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

**Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies  
forestales de sombra en cafetales de tres regiones  
contrastantes de Costa Rica.**

Por:

Benito Bernardo Dzib Castillo

Turrialba, Costa Rica, Diciembre 2003

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

*Magister scientiae*

FIRMANTES:

---

Philippe Vaast, Ph. D.  
**Consejero Principal**

---

Jean-Michel Harmand, Ph. D.  
**Miembro del Comité Consejero**

---

Tangaxuhan Llanderal, M.Sc.  
**Miembro del Comité Consejero**

---

Glenn Galloway, Ph. D.  
**Director de la Escuela de Posgrado**

---

Benito Bernardo Dzib Castillo, Ing.  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

**A mis padres**

**Martha Estela Castillo Nieves  
Benito Dzib Aké**

**Por traerme a este mundo y por todo el esfuerzo que han realizado para darme una educación sin pedir nada a cambio permitiendo que llegue hasta donde estoy hoy.**

**A mis hermanos**

**Ana Isabel Dzib Castillo  
Samuel Santiago Dzib Castillo  
Guadalupe del Jesús Dzib Castillo**

**Por apoyarme y ser mis compañeros y amigos de infancia y de toda mi vida, siempre juntos en las buenas y en las malas. Todos para uno y uno para todos.**

**A mi novia Cristina Isabel Chantásig Vaca, por todo su apoyo y cariño en momentos difíciles.**

**A mis amigos**

**Juan Carlos García García  
Pedro Ignacio Mena Cobos  
Meydi Santos González  
Feliciano Ponce León  
Jaime Black Solís  
Raúl Ramos Veintimilla  
Yady Zea Escamilla  
Neidy Clavijo  
Alex Navas Panadero  
Erick Santiago Larco  
Sonia Ospina Hernández**

**Y a todas esas personas que no menciono aquí pero que están presentes en mi mente y en mi corazón y que han compartido mucho conmigo en las buenas y en las malas, momentos que no se olvidan.**

## **Agradecimientos**

**A los investigadores que formaron parte de mi comité.**

**Al gobernador del Estado de Campeche (periodo 1998-2003) Lic. Antonio González Curi, por brindarme esta oportunidad de superarme, así como a muchos jóvenes.**

**Al Lic. Mario Eduardo Rivas Preve, director general de la Fundación Pablo García del Gobierno del Estado de Campeche y a todas las personas que colaboran en esta institución, por todo su apoyo para que yo pudiera tener una estancia sin problemas durante mis estudios.**

**A la familia Galván Hernández, de la Suiza Turrialba, Costa Rica, por apoyarme en todo el trabajo de campo realizado en esa región y por permitirme ser parte de la familia.**

**Al señor Aduval Matamoros y familia, por su apoyo y amistad durante la etapa de campo en la región de Grecia-Naranjo.**

**Al Ing. Luis Salazar Salazar, regente forestal de CoopeAgri R. L. Por todo el apoyo brindado en el trabajo de campo en la región de San Isidro.**

**A la familia Cordero Gamboa, por su incondicional ayuda en el trabajo de campo realizado en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, por permitirme entrar a su hogar y ser uno más entre ellos.**

**Al los M. Sc. Jorge Carvajal, Manuel Marín, Gustavo Moran, Victoriano Cu; por su apoyo y animo para seguir adelante en mis estudios.**

**Al M. Sc. Marcelino Montero, por su apoyo y asesorías proporcionadas durante el este trabajo.**

## **Biografía**

Benito Bernardo Dzib Castillo nació en Campeche, México, el 18 de agosto de 1974. Realizó sus primeros estudios en esta misma ciudad, en la escuela primaria Eulogio Perera y en la secundaria Lic. María Lavalle Urbina, continuando en la preparatoria Lic. Ermilo Sandoval Campos. En 1993 ingresó al Instituto Tecnológico Agropecuario No. 5 (ITA No. 5) de Chiná, Campeche, para estudiar la carrera de Ingeniería Agronómica que culminó en 1998, iniciando en el mismo año su actividad profesional en la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de Campeche donde se desempeñó como supervisor de plantaciones forestales durante dos años; en el año 2000 ingresó al Programa Nacional de Reforestación (PRONARE), en donde laboró durante un año, también como supervisor de plantaciones forestales, luego de lo cual laboró en el PESPRO (sistema de servicios profesionales para el desarrollo rural) durante el 2001, al mismo tiempo que colaboraba en oikos2000, ONG dedicada a la elaboración e implementación de proyectos productivos y de desarrollo. En enero del 2002 ingresa al CATIE para estudiar su maestría en Agroforestería Tropical con subespecialidad en manejo integrado de plagas y obtener así el título de Magister Scientiae en diciembre del 2003.

## Tabla de contenido

Dedicatoria

Agradecimientos

Biografía

Resumen

Abstract

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

1.1.2 Objetivos específicos

#### 1.2 Hipótesis

### 2. Revisión de literatura

#### 2.1. Características de las especies arbóreas estudiadas

##### 2.1.1. Laurel (*Cordia alliodora* [Ruíz y Pavón] Oken)

2.1.1.1. Botánica y ecología del laurel

2.1.1.2. El laurel en sistemas agroforestales

2.1.1.3. Crecimiento y rendimiento del laurel

##### 2.1.2. Eucalipto (*Eucalyptus deglupta*)

2.1.2.1. Botánica y ecología del eucalipto

2.1.2.2. El eucalipto en sistemas agroforestales

2.1.2.3. Crecimiento y rendimiento del eucalipto

##### 2.1.3. Amarillón (*Terminalia amazonia*, Gmel.)

2.1.3.1. Botánica y ecología del amarillón

2.1.3.2. El amarillón en sistemas agroforestales

2.1.3.3. Crecimiento y rendimiento del amarillón

#### 2.2. Sombra y radiación fotosintéticamente activa

#### 2.3. Almacenamiento de carbono

#### 2.4. Maderables y cultivos

### 3. Metodología

#### 3.1 Ubicación de las áreas de estudio

3.1.1 Turrialba

3.1.2 Alajuela

3.1.3. San Isidro de Pérez Zeledón

#### 3.2. Selección de sitios para el estudio

#### 3.3. Establecimiento de parcelas temporales

#### 3.4. Mediciones en la parcela

3.4.1. Diámetro a la altura del pecho de los árboles

3.4.2. Altura de árboles

3.4.3. Porcentaje de ocupación del dosel

3.4.4. Radiación fotosintéticamente activa

3.4.5. Posicionamiento geográfico de las parcelas y altitud de las parcelas

3.4.6. Distribución de árboles en cafetales

3.4.7. Índice del ángulo uniforme

3.4.8. Índice de agregación R o de Clark Evans

#### **4. Estimación del volumen de los árboles**

4.1. Laurel (*C. alliodora*)

4.2. Eucalipto (*E. deglupta*)

4.3. Amarillón (*T. amazonia*)

#### **5. Estimación de biomasa aérea de los árboles**

5.1. Laurel (*C. alliodora*)

5.2. Eucalipto (*E. deglupta*)

5.3. Amarillón (*T. amazonia*)

5.4. Biomasa aérea total por hectárea

#### **6. Carbono aéreo almacenado en los árboles por hectárea**

#### **7. Estimación del incremento medio anual**

#### **8. Estimación del ingreso por la venta de la madera y café**

#### **9. Análisis de datos**

9.1. Biomasa aérea total de los árboles por hectárea

9.2. Incremento medio anual de la biomasa por hectárea

9.3. Porcentaje del dosel ocupado por los árboles

9.4. Porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel de los árboles

9.5. Influencia del dosel ocupado sobre la radiación fotosintéticamente activa absorbida por los árboles

9.6. Producción de café (*Coffea arabica*) antes de la caída de los precios

9.7. Producción actual de café

9.8. Ingresos por venta de madera

#### **10. Resultados**

10.1. Biomasa aérea total por hectárea de los árboles

10.2. Incremento medio anual de la biomasa aérea en árboles por hectárea

10.3. Estimación de carbono almacenado

10.4. Porcentaje del dosel ocupado por los árboles

10.5. Porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel

10.6. Relación entre porcentaje del dosel y la radiación fotosintéticamente activa absorbida por parte de los árboles

10.7. Distribución de árboles en cafetales

10.8. Producción de café antes de la caída de los precios

10.9. Producción actual de café

10.10. Estimación de ingresos por la venta de madera y café

## **11. Discusión**

- 11.1. Biomasa aérea total de los árboles por hectárea
- 11.2. Incremento medio anual de la biomasa aérea por hectárea
- 11.3. Carbono almacenado en la parte aérea de los árboles
- 11.4. Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa absorbida por los árboles
- 11.5. Porcentaje de dosel ocupado por los árboles
- 11.6. Generación de un método práctico para predecir porcentaje de radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel de los árboles
- 11.7. Distribución de árboles dentro de cafetales
- 11.8. Producción de café antes de la caída de los precios
- 11.9. Producción actual de café
- 11.10. Ingresos por venta de madera

## **12. Conclusiones**

## **13. Recomendaciones**

## **14. Bibliografía**

## **15. Lista de cuadros**

## **16. Lista de figuras**

## **17. Anexos**

- 17.1. Lista de cuadros
- 17.2. Lista de figuras



## 16. Lista de cuadros

1. Interpretación de la distribución para los posibles valores del índice de ángulo uniforme
2. Valores de comparación para el índice de Clarck-Evans
3. Variables independientes utilizadas para la regresión donde la biomasa total funge como dependiente
4. Variables utilizadas para la regresión donde el IMA de la biomasa total es la variable dependiente
5. Variables utilizadas para la regresión que nos permitió conocer la influencia de la densidad sobre la ocupación de dosel por los árboles
6. Variables utilizadas en el análisis estadístico de la RAFA absorbida por el dosel de los árboles
7. variables empleadas en el análisis para determinar como el densiómetro puede estimar indirectamente la RAFA absorbida por los árboles
8. Variables utilizadas para determinar cuales de estas influyeron en la producción de café antes de la caída de los precios
9. Variables empleadas en la determinación de los factores que influyen en la producción actual de café
10. Características de la región de La Suiza resultado del muestreo
11. Características de la región Grecia-Naranjo resultado del muestreo
12. Características de la región de San Isidro resultado del muestreo
13. Resultados del IMA estimada de la biomasa por hectárea para la especie de laurel (*C. alliodora*) en los rangos de edades estimadas y densidades de árboles en la región de La Suiza
14. Resultados del IMA estimada de la biomasa por hectárea para la especie de eucalipto (*E. deglupta*) en los rangos de edades y densidades de árboles en la región de Grecia-Naranjo
15. Resultados del IMA estimada de la biomasa por hectárea para la especie de amarillón (*T. amazonia*) en los rangos de edades y densidades de árboles en la región San Isidro
16. Resultados de biomasa y carbono total por hectárea estimada en la parte aérea de los árboles de laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza
17. Resultados de biomasa y carbono total por hectárea estimada en la parte aérea de los árboles de eucalipto (*E. deglupta*) en la región de Grecia-Naranjo

18. Resultados de biomasa y carbono total por hectárea estimada en la parte aérea de los árboles de amarillón (*T. amazonia*) en la región de La Suiza
19. Porcentaje del dosel ocupado por cada una de las especies de árboles estudiadas en cada una de las regiones
20. Porcentaje de RAFA absorbida por el dosel de los árboles de cada una de las especies de árboles estudiadas en cada región
21. Efecto de la caída de los precios del café sobre la productividad de café en las regiones estudiadas de Costa Rica
22. Ingresos económicos por la venta de madera de laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza
23. Ingresos económicos por la venta de madera de eucalipto (*E. deglupta*) en la región de Grecia-Naranjo
24. Ingresos económicos por la venta de madera de amarillón (*T. amazonia*) en la región de San Isidro
25. Ingresos por venta de café acumulada y los porcentajes de ingresos que representa la venta de la madera hasta su aprovechamiento respecto al ingreso por café

## 15. Lista de figuras

1. Región de estudio del laurel (*C. alliodora*)
2. Región de estudio del eucalipto (*E. deglupta*)
3. Región de estudio del amarillón (*T. amazonia*)
4. Distribución de árboles muestreados dentro de la parcela
5. Establecimiento de la parcela y selección de árboles para medir porcentaje de RAFA absorbida y estimar porcentaje del dosel ocupado por los árboles
6. Densiómetro esférico
- 7: Valores posibles en la distribución del índice de ángulo uniforme
8. Parcelas de 1000 m<sup>2</sup> con tres formas de distribución dentro de una plantación
9. Grafico de los resultados de la regresión entre la RAFA absorbida por el dosel y el porcentaje de dosel ocupado por los árboles

## 17. Anexos

### 17.1. Lista de cuadros

1. Formato de entrevista a productores
2. Biomasa y carbono aéreo estimados para laurel (*C. alliodora*) y sus IMAS promedio a diferentes edades estimadas en la región de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003)
3. Biomasa y carbono aéreo estimados para eucalipto (*E. deglupta*) y sus IMAS a diferentes edades en la región de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003)
4. Biomasa y carbono aéreo estimados para amarillón (*T. amazonia*) y sus IMAS a diferentes edades en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica (2003)
5. Biomasa aérea total e IMA promedio por árbol de *C. alliodora* para cada edad y densidad encontrada en los cafetales de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003)
6. Biomasa aérea total e IMA promedio por árbol de *E. deglupta* para cada edad y densidad encontrada en los cafetales de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003)
7. Biomasa aérea total e IMA promedio por árbol de *T. amazonia* para cada edad y densidad encontrada en los cafetales de San Isidro de Pérez Zeledón, San José, Costa Rica (2003)
8. Porcentaje del dosel ocupado y radiación fotosintéticamente activa (RAFA) absorbida por los árboles de laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003)
9. Porcentaje del dosel ocupado y radiación fotosintéticamente activa (RAFA) absorbida por los árboles de eucalipto (*E. deglupta*) en la región de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003)
10. Porcentaje del dosel ocupado y radiación fotosintéticamente activa (RAFA) absorbida por los árboles de amarillón (*T. amazonia*) en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica (2003)
11. Datos del manejo y producción del café antes de la caída de los precios y actualmente en la región de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003)
12. Datos del manejo y producción del café antes de la caída de los precios y actualmente en la región de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003)

13. Datos del manejo y producción del café antes de la caída de los precios y actualmente en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica (2003)
14. Ingresos estimados por venta de madera a diferentes edades y densidades de Laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003)
15. Ingresos estimados por venta de madera a diferentes edades y densidades de eucalipto (*E. deglupta*) en la región de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003)
16. Ingresos estimados por venta de madera a diferentes edades y densidades de amarillón (*T. amazonia*) en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica (2003)

## **17.2. Lista de figuras**

1. Biomasa total aérea en *C. alliodora* a diferente edad y densidad
2. Biomasa total aérea en *E. deglupta* a diferente edad y densidad
3. Biomasa total aérea en *T. amazonia* a diferente edad y densidad
4. IMA de la biomasa aérea total en *C. alliodora* respecto a la densidad
5. IMA de la biomasa aérea total en *E. deglupta* respecto a la densidad
6. IMA de la biomasa aérea total en *T. amazonia* respecto a la densidad
7. Efecto de la densidad sobre el IMA de la biomasa por árbol en *C. alliodora*
8. Efecto de la densidad sobre el IMA de la biomasa por árbol en *E. deglupta*
9. Efecto de la densidad sobre el IMA de la biomasa por árbol en *T. amazonia*
10. Fertilización de café en la región de La Suiza
11. Fertilización de café en la región de Grecia-Naranjo
12. Fertilización de café en la región de San Isidro
13. Producción de café en la región de La Suiza
14. Producción de café en la región de Grecia-Naranjo
15. Producción de café en la región de San Isidro
16. Limpiezas de café en la región de La Suiza
17. Limpiezas de café en la región de Grecia-Naranjo
18. Limpiezas de café en la región de San Isidro

## Resumen

**Dzib Castillo, Benito. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica.**

**Palabras claves:** Sombra, Biomasa, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia amazonia*, Café, Sistemas Agroforestales.

---

En 66 fincas de tres regiones contrastantes de Costa Rica, se evaluó el efecto del manejo sobre el crecimiento de la biomasa aérea e intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) de tres especies forestales maderables predominantes en sistemas agroforestales con café. Las especies estudiadas fueron laurel (*Cordia alliodora*) en la región sub-óptima de La Suiza, Turrialba; eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) en la región óptima de Grecia-Naranjo, Alajuela; y amarillón (*Terminalia amazonia*) en región sub-óptima de San Isidro, de Pérez Zeledón.

La biomasa aérea total de los árboles fue para el laurel de  $77 \pm 54$  t ha<sup>-1</sup> a una densidad de 184 árboles ha<sup>-1</sup> y a una edad de 13 años; para el amarillón de  $66 \pm 33$  t ha<sup>-1</sup> con una densidad de 373 árboles ha<sup>-1</sup> a la edad de 8 años; para el eucalipto de  $28 \pm 20$  t ha<sup>-1</sup> con una densidad de 78 árboles ha<sup>-1</sup> a la edad de 8 años. Los análisis estadísticas mostraron que la densidad y la edad de los árboles, y el manejo del cafetal fueron las variables que influyeron más sobre la biomasa aérea de los árboles.

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de las especies maderables por hectárea fue muy variable dentro de cada especie. Esto se debió principalmente a las grandes diferencias de densidades de árboles ha<sup>-1</sup> establecidos dentro de los cafetales. Se obtuvieron los siguientes resultados:  $39 \pm 27$  t C ha<sup>-1</sup> para *C. alliodora*,  $14 \pm 10$ , t C ha<sup>-1</sup> para *E. deglupta*, y  $32 \pm 16$  t C ha<sup>-1</sup> para *T. amazonia*. Este es un indicador de que los sistemas agroforestales con café están prestando un servicio ambiental mediante el almacenamiento de carbono.

Los factores que influyeron de forma positiva sobre la RAFA absorbida por el dosel de los árboles fueron la densidad, la edad, el diámetro (DAP), la altura total, el incremento medio anual (IMA) de la biomasa total aérea y la biomasa total de los árboles. Adicionalmente, se estableció que el densiómetro esférico es un instrumento barato, preciso y fácil de uso para estimar la RAFA absorbida por el dosel independientemente de los cambios bruscos de la radiación solar.

Basado en las encuestas, se observó que la caída de los precios del café durante los últimos diez años ha resultado en una reducción de productividad de los cafetales de 23% en la región óptima hasta 43-48% en las regiones sub-óptimas. También, se observó que el manejo de la sombra ganó en importancia mientras que el uso de agroquímicos disminuyó fuertemente.

Respecto a la venta de madera, se determinó que este ingreso fue diferente entre regiones y especies. Al aprovechar la madera después de 13 años, se estimó que el laurel representó el 83% de los ingresos acumulados por la venta de café. En los casos de eucalipto y amarillón, la venta de madera después de 8 años representó 6% y 54% de los ingresos acumulados por la venta de café, respectivamente.

## Abstract

Dzib Castillo, Benito. 2003. Management, carbon sequestration and revenues from three timber tree species associated to coffee in three producing regions of Costa Rica.

**Key words:** Shade, Biomass, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia amazonia*, Coffee, Agroforestry Systems.

---

Surveys were performed in 66 coffee farms to assess the effect of agricultural management on the aerial biomass and PAR (Photosynthetically Active Radiation) intercepted by three timber tree species predominant in coffee agroforestry systems of three contrasting regions of Costa Rica. The tree species were *Cordia alliodora* in the sub-optimal low-altitude region of La Suiza, Turrialba; *Eucalyptus Deglupta* in the optimal high-altitude region of Grecia-Naranjo; and *Terminalia amazonia* in the sub-optimal low-altitude region of San Isidro, Perez Zeledon.

The average total tree aerial biomass was for *C. alliodora*  $77 \pm 54 \text{ t ha}^{-1}$  with a density of 184 trees and 13 years of age; for *T. amazonia*,  $66 \pm 33 \text{ t ha}^{-1}$  with a density of 373 trees and 8 years of age; for *E. deglupta*,  $28 \pm 20 \text{ t ha}^{-1}$  with a density of 78 trees and 8 years of age. The statistical analyses showed that tree density and age as well as coffee management were the predominant factors affecting tree biomass.

The amount of carbon sequestered in the aerial part of trees varied a lot within a species due to the large differences in terms of densities observed in the coffee agroforestry systems. The following results were obtained : for *C. alliodora*  $39 \pm 27 \text{ t ha}^{-1}$  ; for *T. amazonia*  $32 \pm 16 \text{ t ha}^{-1}$  ; and for *E. deglupta*, they were  $14 \pm 10 \text{ t ha}^{-1}$ . This is an indication that coffee agroforestry systems are procuring an important environmental service.

The factors affecting the most PAR interception by the tree canopy were tree density, age, diameter, height and total tree biomass. This study also demonstrated that the densiometer is a cheap, precise and easy to use tool to assess light interception by the canopy of the three species as it can be used independently of the sudden variations in solar radiation intensity.

From the present surveys, it was shown that the decrease of coffee prices during the last ten years has resulted in a decrease of coffee productivity from 23% in the optimal region to 43-48% in the sub-optimal ones. It also illustrates that shade management has become more important while the use of agrochemical inputs strongly decreased.

Regarding sale of timber, it was shown that its importance in terms of revenue differed considerably between tree species and regions. For *C. alliodora*, the results demonstrated that sale of timber could account for 83% of accumulated coffee revenues after 13 years. For *E. deglupta* and *T. amazonia*, timber revenue after 8 years represented 6 and 54% of the accumulated coffee revenues for the period, respectively.

## 1. Introducción

El café inició su historia en Centroamérica ya hace más de dos siglos. Al principio fue solamente bebida de clérigos, gente acaudalada, y representantes de la corona española. Con el transcurso del tiempo se convirtió en un importante producto de exportación, destinado primordialmente a Europa, y luego también a Norteamérica. En Costa Rica, se establecieron las primeras plantaciones a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, las cuales fueron relativamente pequeñas pero con objetivos comerciales, inicialmente concentradas en la zona del Valle Central, poblada desde tiempos coloniales (Samper, 1999).

Durante el siglo XIX y hasta la década de los cuarenta del siglo pasado, los cafetales de Centroamérica tenían pocas variedades comerciales de *Coffea arabica* L. Las características más importantes de estos sistemas eran la baja densidad de siembra (Hasta más de 3 metros entre plantas y entre surcos) y el intenso sombreado del café por los árboles asociados. Habían plantaciones debajo de bosques “raleados”, denominados “bajo sombra natural” (Lock, 1888, citado por Fernández y Muschler, 1999).

A raíz de esta situación se consolidó una investigación sistemática sobre el café, que junto a una mayor difusión de sus resultados, dio origen a una nueva etapa para este cultivo, donde la caficultura se basó en la intensificación a través de fuertes modificaciones ambientales (Fernández y Muschler 1999). De esta manera aumentó considerablemente el número de plantas de café por área, y por consiguiente el índice de área foliar (Machado 1959, citado por Fernández y Muschler, 1999) y la luminosidad a través de podas intensivas o la eliminación de los árboles (Fernández y Muschler, 1999), otra situación que fomentó este cambio fue la introducción de variedades de porte bajo en los 70`s, las cuales permitieron tener una mayor cantidad de plantas por hectárea y por ende una mayor producción (Vaast y Snoek, 1999). Estos cambios resultaron en una transformación radical de la fisonomía del cafetal, ya que la diversidad existente en plantaciones tradicionales (más de 100 especies) y que proporcionaban sombra, frutas, productos maderables y otros beneficios se redujo, en algunos casos hasta el extremo de convertirse en monocultivos de café (Beer, 1997a).

La década de 1950 fue de expansión, ya que los precios eran altos y nuevas tecnologías estaban disponibles. Esto causó un aumento muy fuerte en la disponibilidad de café en el mercado, por lo que los precios bajaron vertiginosamente (BCCR, 1973). Los precios

inestables, resultado de fluctuaciones fuertes de la producción mundial, y la reducción del precio del café han formado el marco en el que se desenvuelve la caficultura hasta hoy día. Este marco se mantendrá probablemente en las próximas décadas (Seudieu, 1997).

El problema de la caída del precio del café ha sido la sobre oferta. Esta situación ha conducido a que los caficultores busquen otras estrategias que apunten a mejorar la competitividad del café por varios enfoques, ya sea vía calidad, promoción del consumo, diversificación de productos del café, pagos por servicios ambientales y otras formas de agregar ingresos a la empresa cafetalera. Uno de los mecanismos de acción es la de retornar a la plantación de café bajo sombra con especies forestales de valor, lo cual ofrece un café con mejores características organolépticas, además que ofrece a los caficultores la obtención de otros productos como la madera (PROMECAFE 2001).

En los años recientes también se ha buscado identificar los beneficios ambientales de este cultivo que incluyen conservación de la biodiversidad, mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, mantenimiento de los ciclos hidrológicos y reducción del efecto negativo del exceso de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, fijándolo como componente de la biomasa de los árboles y cafetos y liberando oxígeno (Alvarado *et al.*, 1999). En estas condiciones, los pagos por servicios ambientales pueden traer beneficios adicionales a los productores que establecen árboles dentro de sus cafetales (Espinoza *et al.*, 1999), tal como lo establece la ley forestal N° 7575 que a partir del año 2002, en su artículo 46 incluye a los sistemas agroforestales (SAF) dentro de los procesos a ser financiados con el pago de servicios ambientales a través del FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal), (Geocities 2003).

Para poder determinar el pago de servicios ambientales por secuestro de carbono en sistemas agroforestales, es necesario en primera instancia, hacer una estimación de la cantidad de carbono que puede almacenar el componente arbóreo, ya que generalmente tiene mayor cantidad de biomasa dentro de estos sistemas (Alvarado *et al.*, 1999). Esto permitiría tener las bases para poder calcular los pagos por servicios ambientales a los productores que implementen en sus cafetales árboles forestales.

La relevancia de investigar los sistemas agroforestales con café en Costa Rica, se debe a que cerca del 75 % del área cafetalera se maneja bajo sombra, con intensidades que van desde muy poca sombra hasta sombra excesiva (ICAFE 1998). Actualmente es común observar la



siembra de *Eucalyptus spp* y otros maderables para aprovechar créditos blandos para reforestación con estas especies (Beer *et al.*, 1997)

Este trabajo se realizó en tres regiones cafetaleras de Costa Rica (Turrialba, Grecia-Naranjo, Alajuela y San Isidro de Pérez Zeledón), donde los árboles forestales se han establecido como un componente importante de sombra dentro de los cafetales. El propósito fue estimar la cantidad de carbono que podría almacenarse en la parte aérea de tres especies forestales (amarillón: *Terminalia amazonia*, laurel: *Cordia alliodora* y Eucalipto: *Eucalyptus deglupta*), que predominan dentro de estos sistemas agroforestales. También, se determinó la influencia que puede tener el manejo del café sobre el desarrollo y crecimiento de la parte aérea de los árboles, la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) que los árboles absorben, así como el ingreso adicional que podría proporcionar a los caficultores la venta de madera.

## 1.1. OBJETIVOS

### **1.1.1. Objetivo General**

Estimar el crecimiento e intercepción de luz de tres especies forestales maderables (*Terminalia amazonia*, *Eucalyptus deglupta* y *Cordia alliodora*), predominantes en sistemas agroforestales con café en tres regiones cafetaleras contrastantes de Costa Rica.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

1. Identificar como la densidad, la edad de los árboles y el manejo del sistema influyen sobre el desarrollo de la parte aérea de cada una de las especies estudiadas.
2. Estimar la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea de las especies arbóreas estudiadas.
3. Determinar los factores que influyen sobre la absorción de RAFA (radiación fotosintéticamente activa) por el dosel de los árboles.
4. Determinar el beneficio económico que podría proporcionar a los finqueros la venta de madera de estas especies arbóreas establecidas dentro de cafetales.

### **1.2. Hipótesis**

H1: La densidad, la edad de los árboles y el manejo del sistema influyen sobre el desarrollo de la parte aérea de las especies arbóreas dentro de cafetales.

H2: La cantidad de sombra proporcionada por los árboles a los cafetales es diferente entre especies forestales.

H3: El establecimiento de especies forestales dentro de los cafetales genera beneficios económicos para el finquero.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

En Costa Rica, el uso del poro (*Erythrina spp*) predomina como sombra dentro de los sistemas agroforestales con café. Sin embargo con la caída de los precios del café, se ha fomentado la diversificación, iniciándose con esto el uso de árboles maderables como sombra dentro de los sistemas cafetaleros. En este estudio, se tomaron en cuenta tres especies predominantes en cada una de las tres regiones de estudio, laurel en La Suiza; eucalipto en Grecia – Naranjo; y amarillón en San Isidro. A continuación se presentan algunas características de estas especies forestales.

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES FORESTALES ESTUDIADAS

#### 2.1.1. Laurel (*Cordia alliodora*) (Ruiz & Pav.) Oken

Tradicionalmente, en Costa Rica, la madera de esta especie ha sido comercializada para la obtención de muy diversos artículos y productos, y es actualmente una de las especies empleadas en proyectos de reforestación tanto en monocultivos como en sistemas silvopastoriles y agroforestales (Córdoba, 1997).

##### 2.1.1.1. Botánica y ecología del laurel

*Cordia alliodora* es nativa de la región americana comprendida entre los 25° de latitud norte, a lo largo de la costa oeste de México, hasta los 25° de latitud sur en Misiones, Argentina. También, se ha reportado en las islas del Caribe (Johnson y Morales, 1972). Pertenece a la familia Borraginácea y los sinónimos con los que se le conoce son: *Cerdana alliodora*, *C. velutina*, *C. cerdana*, *C. andina*, *Lithocardium alli*, *C. goudoti*, *C. trichotomus*. *C. macranthodorum*.

En América Central, es nativa tanto de la región Atlántica (0-800 msnm) como del Pacífico (0-1200 msnm), aunque es más frecuente en la primera región, donde se han reportado los mejores especímenes, tanto por su altura como por su forma (Bossier y Mesén, 1989).

*Cordia alliodora* es un árbol con alturas entre 20 y 45 m y diámetro entre 30 y 75 cm, fuste recto, generalmente desprovisto de ramas hasta un 40 y 50% de su altura total. La corteza externa es de color grisáceo, con 8 a 15 mm de grosor, agrietado, áspero y con fisuras

horizontales que forman bloques. Las hojas son simples, alternas, elípticas, u oblongas, entre 10 y 20 cm de largo y de 2 y 7 cm de ancho, ápice acumulado y base obtusa. Las inflorescencias son paniculadas terminales blancas, con flores pequeñas de 8 a 12 mm de largo. La colora es blanca, se vuelve café y persistente al secarse, y los pétalos secos funcionan como paracaídas para la dispersión de los frutos. La madera del laurel es de color café oscuro a claro, con vetas oscuras. Es de grano recto, textura media, brillo alto, vetado suave y no presenta olor característico. Es muy fina y apreciada para carpintería, construcción de muebles, gabinetes, pisos y paneles decorativos, con grandes posibilidades para pulpa y papel (Salazar *et al.*, 2000a).

Es un árbol secundario de crecimiento rápido, que tiene una madera de utilización amplia debido a su aceptación en numerosos países de América Latina. Alcanza su mejor desarrollo en el bosque tropical húmedo, también se encuentra en el bosque sub-tropical húmedo, sub-tropical y muy húmedo (Pérez, 1954).

La copa es redonda a subpiramidal, de diámetro reducido, con ramificación verticilada. La sombra es poco densa y proyectada perjudica muy poco el desarrollo de pastos y cultivos perennes (Marinero, 1964, citado por CATIE 1994). Presenta hojas deciduas (bota las hojas), simples, alternas y colocadas en espiral al final de las ramas, unitarias, de forma oblonga a lanceoladas o elípticas, de 3 a 8 cm de ancho y de 10 a 20 cm de largo. La superficie superior es oscura y vellosa, mientras que la inferior es más clara (Jonson y Morales, 1972, citados por CATIE 1994).

Es una especie que florece por primera vez entre los dos y cinco años de edad; en las zonas secas florece a edades más cortas que en las zonas húmedas. En México y en América Central las flores aparecen al inicio de la época seca (CATIE, 1994). En Costa Rica la época de floración se da entre diciembre y enero, ampliándose hasta marzo, según la zona y elevación del sitio (CATIE, 1994). Esta especie bota sus hojas al final del periodo seco.

*Cordia alliodora* cumple con las condiciones necesarias para convertirse en una de las más importantes especies maderables para las zonas bajas tropicales de Centro y Sur América (CONIF, 1988).

### 2.1.1.2. El laurel en sistemas agroforestales

El laurel, se considera como una especie prometedora para sombra de café por su rápido crecimiento, fuste recto y sistema radical aparentemente profundo. La copa del árbol ocupa muy poco espacio, presenta una alta producción de hojas y se autopoda. Además, su madera tiene mucha demanda para la construcción de pisos, cielorrasos, puertas, ventanas, y gabinetes (Martínez y Enríquez, 1984). Se ha demostrado que el laurel tiene mayores ventajas sobre el poró (*Erythrina poeppigiana*), ya que no se ha encontrado diferencia entre estos dos tipos de sombra, lo cual le da ventaja al laurel debido a que no tiene que ser podado y se obtienen recursos de la madera (Mora, 1993).

En un trabajo llevado a cabo en CATIE con árboles de *C. alliodora* establecidos dentro de cafetales, se observó que a los 7 años de edad, el crecimiento en volumen del tallo (por árbol) de los laureles con una densidad de 100 árboles/ha fue casi el doble de lo observado en la misma región con 350 laureles/ha (Beer, 1993).

En un trabajo realizado en el Cantón de Talamanca, en la provincia de Limón, Costa Rica, en el cual se probaron seis sistemas agroforestales de cacao con laurel, se demostró, de acuerdo con el crecimiento de los árboles de laurel, que mientras más intenso es el manejo del cultivo asociado, mayores pueden ser los beneficios para el crecimiento de los árboles (Valdivieso *et al.*, 1998). Cuando se maneja regeneración natural, muy pocos finqueros erradican laureles de dimensiones medias, no comerciales. A lo sumo, dependiendo de los requerimientos del cultivo a establecer en la parcela, se regulan las poblaciones mediante raleos selectivos eliminando árboles enfermos, mal formados o porque están en “parches” muy densos y no “engruesan”. Los raleos, sin embargo son siempre leves; si hay árboles grandes (posiblemente alguno de los árboles semilleros), se aprovechan para satisfacer necesidades familiares, para aprovechar oportunidades de venta o porque se dispone de permisos de aprovechamiento (Somarriba, 1999).

Bossier y Lamb (1997), muestran que la gran mayoría de las semillas producidas por un árbol adulto de laurel caen en un radio de 20 m, que un árbol produce un promedio de 1.3 kg año<sup>-1</sup>, que cada kilogramo tiene entre 40-100 mil semillas y que la germinación promedio es de 50%. En base a estas cifras, Somarriba (1999), calculó que la “presión invasiva” anual por árbol productor es de 145 plántulas por metro cuadrado.

En asociados agroforestales, se recomiendan espaciamientos finales de 8x8 metros (150 árboles/ha), (Geilfus, 1989, citado por CATIE, 1994).

### **2.1.1.3. Crecimiento y rendimiento del laurel**

En un estudio realizado en CATIE, Turrialba, Costa Rica; se observó que los árboles de laurel (*C. alliodora*) de regeneración natural en cafetales, con una densidad de 228 árboles por hectárea, alcanzan incrementos en volumen de 13.3 m<sup>3</sup>, en altura de 0.2 m., y en DAP de 0.9 cm anuales a las edades de 15 y 17 años (incremento en dos años), (Rosero y Gawald, 1979).

En otro estudio realizado en dos fincas de la comunidad de Charagre, Changuinola, Panamá, el crecimiento promedio global del laurel asociado con cacao y plátano tuvo incrementos medios anuales de 6.5 cm año<sup>-1</sup> y 4.3 m año<sup>-1</sup>, para DAP y altura, respectivamente, a la edad de 3 años; y para la edad de 4 años se observaron incrementos medios anuales de 6.7 cm en el DAP y 4.1 m para altura (Somarriba *et al.*, 1994).

Montenegro *et al.* (1997) en un trabajo realizado en café asociado con *C. alliodora* en la región de Turrialba, obtuvieron un crecimiento promedio a la edad de un año de 4.3 cm y 3.1 m para DAP y altura respectivamente.

Somarriba y Beer (1986), mostraron en un estudio de crecimiento del laurel en sistemas agroforestales (incluyendo cacaotales viejos en Talamanca y otras localidades en Limón, Costa Rica) crecimientos de 3 cm año<sup>-1</sup> de DAP y 2 m año<sup>-1</sup> en altura durante los primeros cinco años de edad, en sitios buenos. Hay que destacar que los mejores crecimientos se obtuvieron en plantaciones de cacao y en cafetales, y los más bajos se midieron en pastizales. Pero mencionaron que esto sólo es válido para las regiones húmedas de Costa Rica (2600-4000 mm año<sup>-1</sup>), sin una época seca bien definida y a elevaciones inferiores a 650 msnm.

Suárez (2001) encontró en un estudio realizado en la misma región (500-1000 msnm), que los laureles crecen mejor en las partes llanas y no en las laderas, ya que se estimó que un

diámetro de 45 cm en el llano se puede alcanzar a los  $17 \pm 1$  años, con un IMA de  $2.65 \text{ cm año}^{-1}$ , y en la ladera se alcanza a los  $24 \pm 2$  años, con un IMA de  $1.87 \text{ cm año}^{-1}$ .

### **2.1.2. Eucalipto (*Eucalyptus deglupta* [Blume])**

Es la única especie de eucalipto que aparece naturalmente, tanto al norte como al sur del Ecuador, y prospera en condiciones de lluvias y temperaturas uniformemente altas todo el año, donde otras especies pueden ser susceptibles a enfermedades. En estas condiciones es de rápido crecimiento y con una forma razonablemente buena (FAO 1981).

#### **2.1.2.1. Botánica y ecología del eucalipto**

A esta especie de eucalipto se le conoce con los nombres comunes de Amere en Papua, Nueva Guinea y Bagras en Filipinas. Las regiones nativas son: Nueva Bretaña, Papua Nueva Guinea, Ceram, Célebes, Mindano. Las latitudes en que se le encuentra son  $9^{\circ} \text{ N}$ - $11^{\circ} \text{ S}$  y alturas entre 0-1800 m (FAO, 1981).

Las características del árbol son: altura de 35-75 m, con muy buena forma por lo general, el tipo de corteza es lisa, se descortezaba en largas tiras. La madera es de color rojo pardo clara a oscura, se acerca más a una madera de bosque pluvial, de grano áspero que a la de eucaliptos; resistencia moderada pero no durable, con una densidad  $560\text{-}800 \text{ kg/m}^3$  (FAO, 1981).

En América Central, su introducción fue entre 1940 y 1950, donde ha demostrado gran potencial en el desarrollo de proyectos forestales de alta producción, despertando el interés de técnicos y productores, donde es conocido como eucalipto o deglupta. Es una especie de crecimiento muy rápido, que produce grandes volúmenes de madera apta para productos variados, como varas para construcción rústica, postera para cercas o construcción eléctrica, pulpa para papel, leña y madera de aserrío (CATIE, 1994a).

En Turrialba, Costa Rica, se introdujeron dos procedencias aparentemente distintas, pero los orígenes de las semillas no son conocidos. Se reconocen localmente como “morada” o “verde”, debido al aspecto general del follaje y de la corteza. Se han obtenido generaciones híbridas que tienen una mejor forma de los fustes que la de ambos padres y un crecimiento

rápido. La generación F<sub>1</sub> produce semillas fértiles y la siguiente generación F<sub>2</sub> evidentemente una sorprendente uniformidad en la forma y crecimiento de los árboles (FAO, 1981).

Las zonas rurales en Etiopía, China, India, Malawi, Perú y otras partes del mundo, son dominadas por eucaliptos establecidos en grandes extensiones por productores para autoconsumo. Se ha estimado que existen 600, 0000 ha plantadas con eucalipto, además a esta cifra se suman 1000 millones de árboles individuales plantados a los alrededores de las casas de las fincas, caminos y riveras de ríos (Wang, 1991, citado por Turnbull, 1999).

En América Central se planta en las zonas bajas húmedas de la vertiente atlántica y en menor escala en la pacífica, en elevaciones por debajo de los 1200 msnm. y con una precipitación superior a 1000 mm de lluvia anuales (CATIE 1994a).

Las flores son blancas y se presentan en umbelas de tres a siete flores muy pequeñas; el fruto es una cápsula pedicelada, ovoide o globular (5 mm x 4 mm). Florece desde los tres años y durante casi todo el año, a excepción de los meses lluviosos; la semilla madura cuatro o seis meses después. Se estima una producción de 10 a 17 millones de semillas por kilogramo (Salazar, 1987).

Respecto a las hojas de los árboles, en la época seca se observa una menor cantidad de hojas en la copa, a diferencia de la cantidad de hojas observadas en la época lluviosa, aunque esta especie de árboles nunca queda sin hojas durante el año (Angrand, 2002).

#### **2.1.2.2. El eucalipto en sistemas agroforestales**

El efecto de la sombra sobre los cultivos es menor cuando se usa *E. deglupta*, porque dispone de una copa más rala, que permite un mejor paso de los rayos solares. Esto hace de *E. deglupta* una buena especie para sistemas agroforestales; aunque no deja de ser una limitante para el cultivo cuando la densidad de los árboles es muy alta. Esto se observó en plantaciones establecidas en sistemas agroforestales donde existían densidades superiores a los 950 árboles/ha, lo que repercute negativamente en la producción de los cultivos asociados, debido a que los árboles cierran las copas después de los dos años y la entrada de luz es casi nula (Sánchez, 1994).



En un trabajo realizado en cafetales con sombra de eucalipto y *Terminalia ivorensis* en el Cantón de Pérez Zeledón, se obtuvo que el crecimiento de *E. deglupta* a los 22 meses fue de 5.2 cm de DAP, y un área basal de 0.67 m<sup>2</sup>/ha, observándose al mismo tiempo que esta especie disminuye en un 30% la disponibilidad de RAFA para los cafetos, además que la competencia con el café (*Coffea arabica*) fue menor que la que se observó con *T. ivorensis* (Aguilar *et al.*, 2001). Angrand (2002), menciona que a una densidad de 8 x 8 m *E. deglupta* proporciona una sombra más regular a lo largo del año, con un RAFA variable entre 60% en la época lluviosa y 70 % en la época seca.

Tavares *et al.* (1999), en el Cantón de Pérez Zeledón y bajo un programa de incentivos, determinaron que la especie más plantada fue *E. deglupta*, la cual fue escogida debido a su rápido crecimiento, densidad de sombra adecuada para el café, poco crecimiento lateral de la copa y hojas pequeñas. Sin embargo, algunos productores indicaron que esta especie es susceptible al daño por el viento, tiene un sistema radicular muy superficial que dificulta la resiembra de café y es atacado por las termitas cuando alcanza diámetros más grandes.

Además, es importante tomar en cuenta que las raíces finas de *E. deglupta* se desarrollan bien en los estratos superficial (58% entre 0-10 cm) y sub-superficial (21% entre 10-20 cm) del suelo. Este patrón de distribución espacial de las raíces finas permite sugerir que un pequeño incremento anual en las dosis de fertilizantes podría tener un impacto positivo en la producción conjunta de café y madera en plantaciones donde se demuestre que hay competencia por nutrientes. En los primeros 5-7 años de edad de los árboles, el fertilizante adicional se podría distribuir hasta unos 2 m de distancia del eje del árbol; en los siguientes años se debería fertilizar a distancias cada vez mayores hasta llegar al punto medio entre dos árboles vecinos (Morales y Beer, 1998).

También se encontró que las raíces finas de los árboles tienden a prevalecer en los primeros 10 cm del suelo, mientras que las raíces finas del café generalmente fueron encontradas entre 10 y 20 cm de profundidad (Van Kantén, 2003).

### **2.1.2.3. Crecimiento y rendimiento del eucalipto**

*E. deglupta* es una de las pocas especies de *Eucalyptus* aptas para las zonas bajas muy húmedas. La especie representa un gran potencial para la producción de un considerable número de productos de madera a muy corto plazo. Por su crecimiento rápido necesita un

plan de manejo dinámico que garantice la liberación de copas en el momento oportuno (Salazar, 1987). En su lugar de origen, se han encontrado los mejores crecimientos en los suelos arenosos francos, bien drenados, profundos, húmedos y fértiles de las riberas, o bien, en las terrazas de los valles fluviales que son inundadas por las crecientes máximas anuales. Sin embargo, también crece en suelos de origen volcánico. No crece bien en suelos pantanosos (Goudet, 1980, citado por FAO, 1981). *E. deglupta* es una especie de climas muy húmedos. En los lugares de donde es originaria, la precipitación varía entre 2000 y 5000 mm, con temperaturas de 24 a 32 °C, en el mes más cálido y de 20 a 22°C en el mes más frío (FAO, 1981).

Respecto a la producción de madera en sistemas agroforestales, en la región de Turrialba, Costa Rica, en una plantación agroforestal con café (*Coffea arabica*) y *E. deglupta*, se obtuvo un DAP promedio de 5.2 cm y una altura promedio de 4.4 m a la edad de un año (Montenegro *et al.*, 1997). Respecto al volumen, De Miguel (2002), menciona que *E. deglupta* en sistemas agroforestales con café a la edad de 7 años alcanzó un rendimiento de madera de 46.1 m<sup>3</sup>/ha y un incremento medio anual (IMA) en volumen de 5.9 m<sup>3</sup>/ha en la región de Pérez Zeledón.

Sin embargo, el comportamiento que pudo observarse en un estudio sobre raleos en una plantación pura de 3.5 años de *E. deglupta* en Turrialba, Costa Rica, se obtuvo un IMA de 10 cm, y 4.2 m en DAP y altura respectivamente; así mismo se observó que en densidades de 1,156, 782 y 524 árboles ha<sup>-1</sup> se obtuvieron promedios en los volúmenes de 117.8, 87.4 y 73.9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para cada densidad respectivamente (Ugalde, 1980). Navarro (1985) menciona un volumen con corteza de 235 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> con una densidad de 490 árboles ha<sup>-1</sup>, en Turrialba, Costa Rica.

En Keravat, Nueva Bretaña, (Esther, 1955, citado por Grijpma, 1969) mencionó que para una plantación pura de 4 años de edad y una densidad de 343 árboles ha<sup>-1</sup> (5.4x5.4 m), se obtuvo un incremento medio anual de 25.9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. En un informe presentado en Papua Nueva Guinea, se menciona un volumen en pie de 520 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, a los 20 años, con una densidad de 133 árboles ha<sup>-1</sup>, y un IMA (Incremento Medio Anual) de 26 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (FAO, 1981).

### **2.1.3. Amarillón (*Terminalia amazonia*, J. F. Gmel.) Exell**

En el Sur de Costa Rica, se considera como una especie muy promisorio por el crecimiento demostrado, aún en los sitios más secos de la región, adaptándose bien a suelos ultisoles y andisoles (Calvo *et al.*, 1997, citado por Torres y Lujan, 2002). Es un árbol con arquitectura favorable por su tendencia natural a producir fustes rectos de un solo eje y con ramas pequeñas y en verticilos (Torres y Luján, 2002).

#### **2.1.3.1. Botánica y ecología del amarillón**

Pertenece a la familia Combretácea. Sus nombres comunes son roble coral, amarillón, cancún, naranjo, volador, amarillo real (América Central y Panamá), sombrerete, tepesuchil (México), guayo, chicharrón (Cuba), bullywood, (Belice), arispin, aceituno (Venezuela), guayabo león, palo prieto (Colombia) (Salazar *et al.*, 2000b).

Se distribuye naturalmente desde el golfo de México en la vertiente Atlántica, hasta las Guayanas en América del Sur. También se concentra en las antillas. Es común en laderas húmedas y planicies de los bosques. La distribución altitudinal varía de 40 a 1200 msnm, con una precipitación de 2500 a 3000 mm y temperaturas superiores a los 28°C. Crece bien en las colinas y planicies costeras, con suelos rojos u oscuros, lateríticos, profundos, derivados de materiales aluviales o ígneos. También se encuentra en suelos arcillosos o pobres y arenosos; no obstante su crecimiento es óptimo en suelos arcillosos a francos con pH de ácido a neutro (Salazar *et al.*, 2000b). En un estudio, se revelo que el amarillón no es sensitivo a la acidez del suelo, puesto que su respuesta al encalado en este tipo de suelo no es positiva (Calvo *et al.*, 1996)

Es una especie monoica, que alcanza alturas de 50 a 70 m, DAP de 1 a 3 m y con fuste recto. La corteza es de color pardo grisáceo o amarillo grisáceo, con 8 a 10 mm de grosor y muestra fisuras verticales. Las hojas son simples, verticiladas y se agrupan al final de las ramitas, de forma ovalada y de color verde oscuro brillante en el haz y verde claro y opaco en el envés, ápice acuminado y base aguda, de 6 a 12 cm de largo y 2.5 a 7 cm de ancho, semi-cilíndrico o elíptico, levemente alado en el ápice, ligeramente retorcido, glabro (Salazar *et al.*, 2000b). Generalmente, la semilla llega al suelo en grupos, en donde puede colectarse. Se ha reportado que muchas de las sámaras están vacías, por lo cual, el porcentaje de germinación es sumamente bajo; presenta una producción de semillas muy variable (OET, 1990).

La madera de esta especie, seca rápida y uniformemente a aire libre, sin desarrollar defectos apreciables. Es una madera fácil de aserrar y cortar, de calidad mediana con respecto a sus propiedades de cepillado, ya que presenta una ligera tendencia al grano rasgado, mechado de magnitud leve, es densa, moderadamente durable, difícil de impregnar. Los usos más apropiados para la especie son construcción interna y externa, construcciones pesadas, pisos, muebles y gabinete de primera clase, ebanistería, elementos estructurales para puentes. También se puede utilizar en la elaboración de madera contrachapada (González, 1991).

La floración tiene lugar de enero a abril, con variaciones a lo largo del hábito geográfico. La polinización es entomófila y los agentes de polinización varían dependiendo de la región (Salazar *et al.*, 2000b).

Los frutos son sámaras de 2 alas largas y 3 cortas, de 1 a 3.5 cm de largo, membranosas, glabras, amarillentas cuando están maduras, las semillas son cilíndricas-oblanceoladas o cilíndricas elípticas. La cubierta seminal es opaca de color amarillento. Tiene dos cotiledones de color verde claro (Salazar *et al.*, 2000b).

La época de recolección de semillas en Costa Rica es entre febrero y abril; la producción de frutos varía de 4.6 a 6 Kg de semilla por árbol. Se ha reportado de 120,000 a 140, 000 semillas por Kg (Salazar *et al.*, 2000b).

### **2.1.3.2. El amarillón en sistemas agroforestales**

*Terminalia amazonia* ha demostrado una amplia adaptabilidad en diferentes ambientes. En la Zona Sur de Costa Rica es una de las especies de mayor utilización en los programas de reforestación de pequeños y medianos productores, con aproximadamente 1100 ha. En la mayoría de las plantaciones de esta especie, no se aplica el manejo necesario y la selección de los sitios en algunas zonas no fue la más indicada, por lo que la mayoría de las plantaciones, se ubicaron en una calidad de índice de sitio malo, que se identificaron como índice de sitio 3, siendo ésta la calidad más baja (Mejía, 1998).

En Pérez Zeledón, Costa Rica, muchas de las razones por las cuales los productores de la región utilizan especies maderables dentro de los cafetales es debido a que no obstaculizan el manejo del café, más que al valor potencial de la madera (Tavares *et al.*, 1999).

### **2.1.3.3. Crecimiento y rendimiento del amarillón**

En un sistema agroforestal (Taungya) con maíz, plantado a 4X2 m (1250 árboles/ha), el IMA en DAP promedio fue de 1.63 cm y el IMA en altura total 2.11 m al primer año de edad. En otro sistema agroforestal asociado con frutales tropicales, se observó un IMA del DAP de 1.93 cm y un IMA de la altura de 1.84 m a los 24 meses de edad (Russo y Palma, 1996).

En trabajos realizados en la zona Atlántica de Costa Rica con esta especie forestal plantada a pleno sol y bajo sombra, se observó a la edad de un año un IMA en el DAP de 1.5 cm y 0.86 m para la altura total, tomando en cuenta que esta plantación fue establecida a una densidad de 4x4 m (625 árboles/ha) en condiciones de pleno sol. En condiciones de sombra, en una parcela de bosque secundario enriquecido, se obtuvo 1.03 cm de IMA en DAP y 0.84 m de IMA en altura total (Russo y Palma, 1996).

Por otro lado, en una parcela establecida en 1974 en San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica; se observó un IMA de 1.2 cm de diámetro, 1.4 m de altura y  $0.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en área basal (OET, 1990). Así mismo, en trabajo realizado en Barú de Pérez Zeledón, se obtuvo un IMA de 11.2 m de altura y 10 cm de DAP, a una edad de 70 meses. Esto muestra que el amarillón por su buen crecimiento, tiene un gran potencial para ser utilizada en la reforestación (Fonseca y Chinchilla, 2002). Así mismo, en sitios medios (índice de sitio (IS) = 17) los incrementos medios anuales de diámetro y altura que se han obtenido son de 0,5 a 3,1  $\text{cm año}^{-1}$  y de 0,4 a 2,4  $\text{m año}^{-1}$ , en Costa Rica (Montero, 2003).

## **2.2. Sombra y radiación fotosintéticamente activa**

Entre los factores ecológicos que ejercen mayor influencia sobre los procesos de crecimiento y productividad primaria de las plantas, se encuentra la intensidad de energía radiante incidente sobre la superficie terrestre (Charles-Edwards, 1982). En el límite superior de la atmósfera y a la distancia media de la tierra al sol, la irradiancia total es de  $1,360 \text{ w/m}^2$ . (Salisbury y Ross, 1994).

Sin embargo, cuando esta radiación atraviesa la atmósfera hasta la superficie terrestre, gran parte de la energía se pierde por absorción y dispersión causada por vapor de agua, polvo,  $\text{CO}_2$  y ozono, por lo que sólo unos  $900 \text{ w/m}^2$  alcanzan las plantas, dependiendo de hora del

día, época del año, elevación, latitud, condiciones atmosféricas y otros factores (Salisbury y Ross, 1994). Del valor mencionado anteriormente, cerca de la mitad corresponde al infrarrojo, un 5% es ultravioleta y el resto tiene longitudes de onda entre 400 y 700 nm y es capaz de inducir radiación RAFA (Salisbury y Ross, 1994).

Se ha comprobado que la producción de materia seca está linealmente correlacionada con la cantidad de radiación interceptada por la planta durante el crecimiento (Hikosaka y Terashima, 1995, citados por Rodríguez *et al.*, 1999).

En investigaciones realizadas en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) y árboles de *Terminalia ivorensis* y *Eucalyptus deglupta*, se ha observado que bajo *T. ivorensis* las plantas de café sufren un cambio drástico en la disponibilidad de RAFA, ya que en la época de sequía se tienen valores altos bajo esta especie forestal comparada con *E. deglupta*, llegando a valores al medio día de  $700 \mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , mientras que en la época de lluvia disminuye hasta  $200 \mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , y los valores más extremos de  $50 \mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en las horas de la tarde (Siles 2001). Esto se puede corroborar con el trabajo de Angrand (2002), quien menciona que los valores de RAFA bajo *E. deglupta*, en sistemas agroforestales con café fueron poco variables en el tiempo y la cantidad de RAFA fue mayor que bajo *T. amazonia* en la época de seca.

En un estudio realizado con plantas de café a la edad de dos años y medio, con las variedades Caturra y Garnica, crecidas en condiciones de luz y de sombra, se obtuvo que en las plantas que crecieron bajo sombra, la conductividad estomática aumentó paulatinamente cuando la RAFA se incrementó de 0 a 200 y 400  $\mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , y luego bajó a niveles que indican prácticamente el cierre estomatal (Cruz *et al.*, 2002).

Este comportamiento se observó en la variedad caturra, pero no así en la variedad garnica la cual disminuyó la conductividad estomática cuando el valor de RAFA alcanzó los  $800 \mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Cruz *et al.*, 2002).

En cuanto a la transpiración se observó que en plantas bajo sombra, los valores más altos se alcanzaron entre los 200 y 400  $\mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , en tanto que los valores máximos para plantas crecidas bajo sol se dieron cuando la RAFA fue de  $600 \mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Cruz *et al.*, 2002). Al mismo tiempo, los valores máximos de asimilación de  $\text{CO}_2$ , se observaron entre los 400 y

600  $\mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para plantas crecidas bajo sombra y de 800  $\mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para plantas crecidas bajo sol (Cruz *et al.*, 2002).

Se ha reportado que el rango aceptable en porcentaje de sombra para el café, esta considerado entre 40% y 70% (Kumar y Tieszen, 1980; ICAFE, 1989; Muschler, 1995).

Baggio *et al.* (1997) en un trabajo realizado en Brasil con sistemas agroforestales, con café (*Coffea arabica*) y árboles (*Grevillea robusta*), encontraron que la producción de café no disminuyó con árboles sembrados a una densidad máxima de 71 árboles por hectárea (10 x 14 m). Además, la productividad económica del sistema fue más alta entre 34 y 71 árboles por hectárea, comparado con sistemas de monocultivo de café. Se determinó que 71 árboles por hectárea dentro del cafetal fue la densidad más efectiva para proteger a las plantas del café de la radiación y fue el mejor tratamiento en todo el estudio.

En Turrialba, Costa Rica, Muschler (2001) realizó un trabajo en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) vars. Caturra y Catimor, y poró (*Erythrina poeppigiana*), con diferentes niveles de sombra, y a 700 msnm, lo cual se considera un sitio subóptimo para café. El autor concluyó que los mayores beneficios de la sombra sobre el café para estas condiciones son: 1) mayor peso fresco de los frutos, 2) granos más grandes, 3) mayor proporción de granos verdes y tostados con mejor apariencia visual, 4) mayor rango de acidez (Catimor) y cuerpo, y 5) ausencia de mal sabor.

Es importante tener en cuenta la influencia que tienen los árboles dentro de los sistemas agroforestales con café; Siles (2001), menciona que los árboles tienen una influencia significativa en las variables microclimáticas medidas a nivel de hojas tales como la RAFA, temperatura foliar y del aire. Este investigador observando que la RAFA a nivel de hojas en las plantas de café es reducida a 55% por *E. deglupta* y a 36% por *T. ivorensis* con respecto a pleno sol; así mismo las temperaturas foliar y del aire son 1.4 y 2.8 °C menores.

### **2.3. Almacenamiento de carbono**

El secuestro de carbono mediante los bosques se ha convertido en un servicio ambiental reconocido a escala global, que puede tener un valor económico considerable para países en vías de desarrollo (Ramírez *et al.*, 1999). Esto es debido a la preocupación creciente por los cambios climáticos y su impacto en la actividad humana y en los recursos naturales,

causado por los gases provenientes de procesos industriales, la actividad agrícola, el uso de combustibles fósiles y la deforestación, que son responsables de la mayor parte de estas alteraciones climáticas; entre ellos, el CO<sub>2</sub>, es uno de los más abundantes, con efecto invernadero en la atmósfera (Cielsa, 1996).

Una forma de mitigar el efecto invernadero del CO<sub>2</sub>, además de reducir las emisiones, es almacenarlo el mayor tiempo posible en la biomasa y el suelo. Los bosques son el principal sumidero de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, los sistemas agroforestales pueden contribuir de manera importante. Esto pudo observarse en una hectárea en uso agroforestal en donde se determinó que puede almacenarse un promedio de 95 MgC, además de suministrar bienes y servicios (López, 1998).

La contribución de los tallos leñosos a la biomasa arriba del suelo es muy importante para la fijación de carbono. Este componente es vital para la fijación, ya que al remover la cobertura forestal de un terreno, no sólo se reduce la fijación de carbono en la fuente biomasa arriba del suelo, sino que consecuentemente se reduce la fijación en el componente del suelo (Alvarado *et al.*, 1999).

En sistemas agroforestales, el componente más importante de la biomasa arriba del suelo es el de los árboles. El 68% del carbono fijado proviene de los árboles de sombra (Alvarado *et al.*, 1999) debido al volumen de celulosa que contienen. También se ha observado que la mayor fijación de carbono tiene una relación directa con las regiones, debido a las condiciones climáticas (Alvarado *et al.*, 1999).

Winrock internacional (1998), en un trabajo realizado en Guatemala, estudió la fijación de carbono en sistemas agroforestales con café. Los resultados demostraron que en promedio el carbono en el sistema cafetalero se dividió de la siguiente forma: 27 t C ha<sup>-1</sup> en la biomasa arriba del suelo, 4 t C ha<sup>-1</sup> en la biomasa abajo del suelo, 4 t C ha<sup>-1</sup> en la hojarasca y 48 t C ha<sup>-1</sup> en el suelo (0-30 cm), lo cual hace un total de 85 tC/ha. Se concluyó al comparar con los resultados de carbono en tierras degradadas y cultivos anuales, que el carbono adicional fijado por el sistema cafetalero respecto a estos usos del suelo se encuentra en los árboles que conforman la sombra del sistema agroforestal café árboles.



Fournier (1996), presenta valores de fijación de carbono en bosque pluvial, bosque estacional y cafetales sin sombra, los cuales son 263, 205 y 77 t ha<sup>-1</sup> respectivamente para cada sistema.

En la octava sesión de la Conferencia de las Partes, conformada por los países del mundo, sobre cambio climático en Nueva Delhi, 2002, se discutió el tema del pago por almacenamiento de carbono. Los negociadores decidieron durante la última ronda en Marrakech, 2002, que los países podrían cumplir con parte de sus compromisos para reducir las emisiones de carbono para el periodo 2008 a 2012 financiando la reforestación en países en vías de desarrollo. Esto funcionaría a través del mecanismo de desarrollo limpio (MDL) del protocolo de Kioto, (Scherr y Smith, 2002, citados por Kaimowitz, 2003).

Por otra, parte el éxito de los proyectos del MDL deberá medirse simultáneamente a través de las reducciones de emisiones logradas y de la contribución efectiva al desarrollo sostenible que realice. Los proyectos deberán concebirse de manera que provean beneficios económicos y sociales a la población de las regiones pertinentes, lo que permita que ésta se comprometa con el éxito del proyecto, ya que la captación de carbono por sí sola no parece constituir una motivación suficiente como para asegurar la continuidad de los proyectos, debido a que la participación social podría reducir los requerimientos de control y supervisión y, por consiguiente, también los costos (Beaumont, 1999).

#### **2.4. Maderables y cultivos**

Recientemente, se ha establecido un lazo de unión entre el nivel global y el de explotación mediante el concepto de la “silvicultura comunitaria”, que supone la promoción de sistemas agrícolas en los que se utilizan también especies forestales. Para aumentar la seguridad alimentaria mundial es esencial lograr una participación mucho más directa del sector forestal (y de los profesionales) en el desarrollo rural de las zonas más pobres (FAO, 1985).

Frecuentemente, se talan los árboles de las tierras agrícolas porque compiten con los cultivos, albergan insectos dañinos e impiden el monocultivo y la mecanización. Sin embargo, las especies forestales y otros árboles pueden hacer una contribución importante aumentando y manteniendo la productividad de los sistemas de producción de alimentos en situaciones que en la actualidad son fundamentalmente agrícolas más que forestales. Esa contribución comprende la leña y otros productos de madera necesarios para la producción

de alimentos, forraje para el ganado, sombra y protección contra la erosión eólica e hídrica, y el mantenimiento de la fertilidad del suelo (FAO, 1985).

La selección de los árboles que pueden incorporarse mejor a los sistemas agrícolas debería hacerse teniendo en cuenta las condiciones locales. Varias especies, particularmente algunas leguminosas de rápido crecimiento, poseen varias de las características deseadas, como la rápida producción de madera útil y de forraje, tienen raíces profundas y capacidad de fijar nitrógeno (FAO, 1985).

Beer (1987) menciona varias características deseables de los árboles de sombra para cultivos perennes, entre las cuales están la compatibilidad con el cultivo, un sistema radical fuerte (resistente a los vientos), habilidad de propagarse vegetativamente, capacidad para extraer nutrientes del suelo y habilidad para fijar nitrógeno. Así mismo, debe tener una copa rala que proporcione sombra en parches, ramas y tallos no quebradizos, tallos y ramas libres de espinas para facilitar el manejo, rápido crecimiento apical para las especies maderables, autopoda, tolerancia a las fuertes podas, presencia de una alta producción de biomasa, reproducción rápida de hojas en el caso de árboles deciduos, ausencia de susceptibilidad a enfermedades, presencia de hojas pequeñas y ausencia de efectos alelopáticos.

En el caso de maderables es deseable que tengan un diámetro de copa pequeño que reduzca la resistencia del follaje al viento y, por lo tanto riesgo de caída, que permita densidades relativamente altas de los árboles de sombra sin reducir los niveles de luz por debajo de valores críticos, y que minimice los daños ocasionados al cultivo cuando los árboles son aprovechados (Beer 1987).

Los sistemas de uso de la tierra basados en el cultivo de árboles, tal como los sistemas agroforestales en multiestratos, tienen claras ventajas sobre sistemas de cultivos anuales en el mantenimiento de la fertilidad del suelo en los trópicos húmedos. Esto incluye protección permanente del suelo, un mejor ambiente favorable para los procesos biológicos que afectan la descomposición de la materia orgánica y un mejoramiento de la estructura del suelo, además de un mejor ciclaje de los nutrientes (Schroth *et al.*, 2001).

El uso de árboles también hace un aporte importante de materia orgánica al suelo, lo cual mejora las características del mismo. Woomer *et al.*, 1994, (citado por Vaast y Snoeck, 1999) indican que la materia orgánica favorece la actividad de la macrofauna del suelo (lombrices,

termitas, artrópodos), ya que en el proceso de migración crean macroporos, que favorecen a la porosidad y aeración del suelo. Esto favorece una mayor infiltración y retención del agua, limita la erosión superficial del suelo y previene el desecamiento y contracción del mismo. En contraste, en los monocultivos intensivos de café, el uso rutinario de herbicidas para controlar malezas trae como consecuencia suelos descubiertos con una rápida erosión de su superficie (Wrigley, 1988, citado por Vaast y Snoeck, 1999).

Debido a la caída de los precios del café, se ha venido fomentado la diversificación productiva de las fincas mediante la implementación de sistemas agroforestales (PROMECAFE 1999). En este sentido, Zanotti (1995) señala que las especies forestales no necesariamente tienen que ser plantadas dentro de los cultivos, ya que pueden establecerse en linderos, cercas vivas, bosquetes puros, protección de laderas y fuentes de agua, cortinas rompevientos y otros sistemas, para que en la época de baja de precio del café los productos de la madera puedan ser una buena fuente de ingreso para balancear los gastos de operación de la finca. Lo anterior puede ser mejor si se plantan dentro de los cultivos de café, debido a que la mayoría de las plantaciones de café están ubicadas en buenos suelos y por lo tanto las posibilidades de obtener buenos rendimientos con el cultivo de árboles está asegurada (Zanotti, 1995).

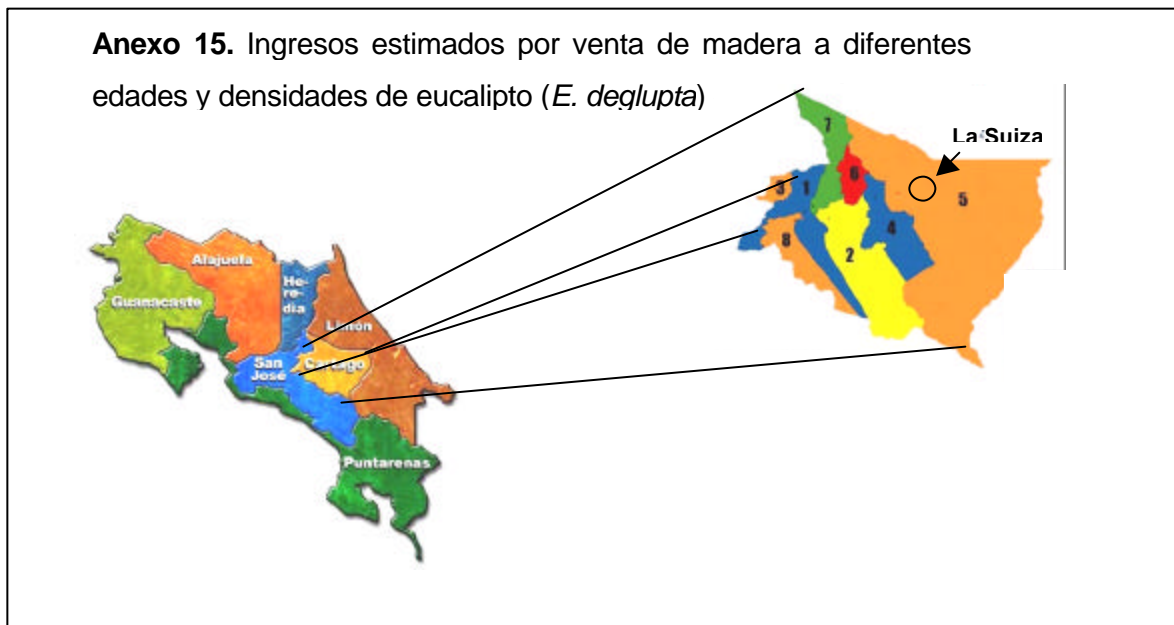
### **3. METODOLOGÍA**

La metodología presentada a continuación se planteo con la finalidad de visualizar como el productor esta manejando su cafetal, y como la caída de los precios del café han afectado la estructura y el manejo de los sistemas cafetaleros en las tres regiones cafetaleras estudiadas.

#### **3.1. Ubicación de las áreas de estudio**

El estudio se realizó en fincas cafetaleras en tres regiones contrastantes y con la especie forestal predominante dentro de los cafetales. En la región subóptima (<700 msnm) de La Suiza, Turrialba, Cartago (Figura 1), la especie forestal con la cual se trabajó fue Laurel (*Cordia alliodora*); en la región óptima (> 900 msnm) de Grecia-Naranjo, Alajuela (Figura 2), la especie forestal predominante fue el eucalipto (*Eucalyptus deglupta*); y en el caso de la región subóptima de San Isidro de Pérez Zeledón, San José (Figura 3), la especie predominante fue el amarillón (*Terminalia amazonia*).

### 3.1.1. Turrialba



**Figura 1.** Región de estudio del laurel (*C. alliodora*)

Las coordenadas geográficas medias del cantón Turrialba están dadas por 09°47'14" latitud norte y 83°34'03" longitud oeste. Limita al norte con Pococí y Siquirres; al sur con el cantón de Pérez Zeledón; al este con el cantón de Limón (Central) y al oeste con los cantones de Alvarado, Jiménez y Paraíso. Cuenta con nueve distritos, los cuales son: Turrialba, La Suiza, Peralta, Santa Cruz, Santa Teresita, Pavones, Tuis, Tayutic, y Santa Rosa.

Las altitudes de esta región van desde los 616 msnm hasta los 1475 msnm y su extensión es de 1,644.57 km<sup>2</sup>. La precipitación media anual es de 2,572 mm, y su temperatura media es de 24 °C.

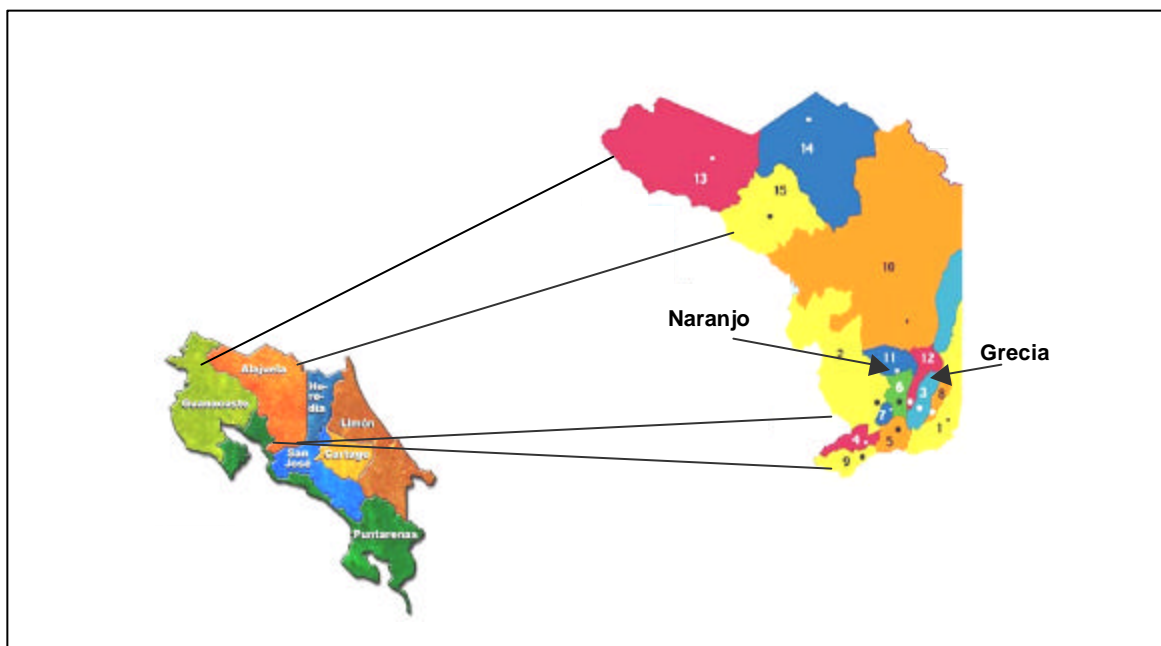
Está constituido geológicamente por material de los periodos Terciario y Cuaternario; siendo las rocas sedimentarias del Terciario las que predominan en la región (Chinchilla, 1987).

El muestreo se realizó en las fincas ubicadas en el distrito de La Suiza, el cual cuenta con una extensión de 78.62 km<sup>2</sup> y está ubicado a una altitud de 616 msnm (Salazar, 1953).

### 3.1.2. Alajuela

Dentro de la región de Alajuela en el Valle Central, se recolectaron datos en dos cantones en donde predomina la especie *E. deglupta* como sombra dentro de los cafetales.

### Grecia-Naranjo



**Figura 2.** Región de estudio del eucalipto (*E. deglupta*)

Las coordenadas geográficas medias del cantón de Grecia, están dadas por 10°24'44'' latitud norte y 84°12'56'' longitud oeste.

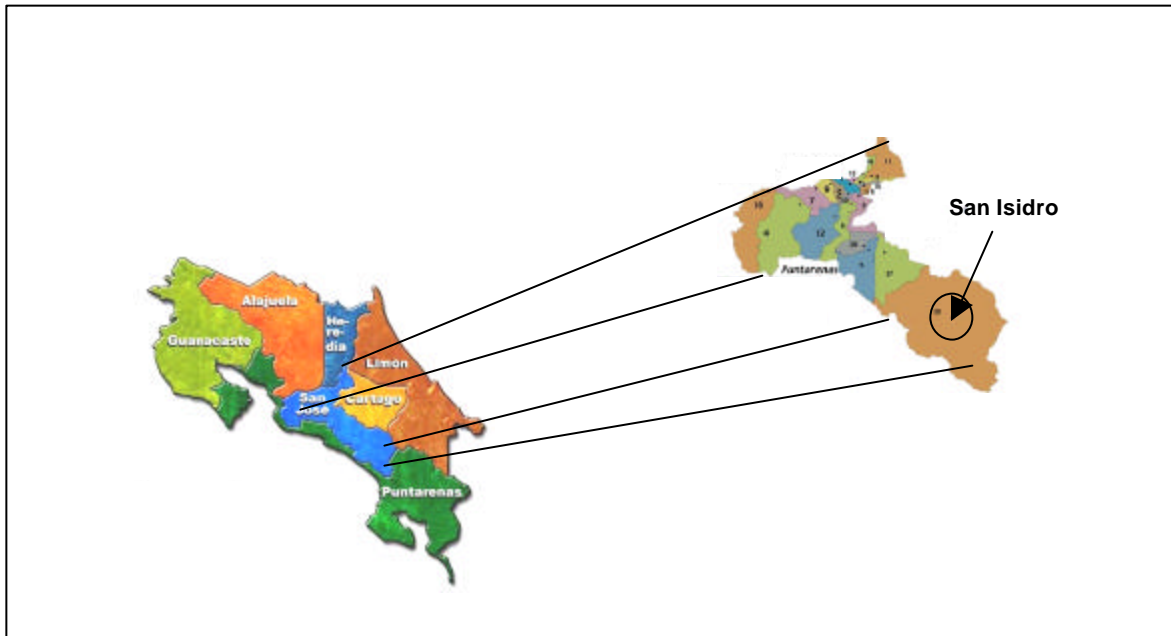
Tiene una precipitación media anual de 2,125 mm, con una altitud promedio de 999 msnm y una temperatura de 21 °C.

Esta región está constituida geológicamente por materiales de los períodos Terciario y Cuaternario, siendo las rocas volcánicas del cuaternario las que predominan en este sector (Chinchilla 1987).

Las coordenadas geográficas medias del cantón de Naranjo están dadas por 10°06'23'' latitud norte y 84°23'23'' longitud oeste. Cuenta con una extensión de 126.62 km<sup>2</sup>, en donde las alturas van desde los 885 hasta los 1205 msnm. La precipitación promedio es de 2005 mm y una temperatura promedio 20°C. Esta región está constituida geológicamente por

materiales de los períodos Terciario y Cuaternario; siendo las rocas volcánicas del Terciario las que predominan en la región (Chinchilla 1987).

### 3.1.3. San Isidro de Pérez Zeledón



**Figura 3.** Región de estudio del amarillón (*T. amazonia*)

Las coordenadas geográficas del cantón de San Isidro están dadas por 10°01'59" latitud norte y 84°02'41" longitud oeste. Cuenta con tres distritos: San Isidro, San José, y Concepción. Las altitudes varían desde los 400 hasta los 900 msnm, tiene una precipitación media anual de 2,955 mm y una temperatura promedio de 24 °C. Este cantón está constituido geológicamente por materiales del Terciario y Cuaternario; siendo las rocas sedimentarias del Terciario las que predominan en la región (Chinchilla 1987).

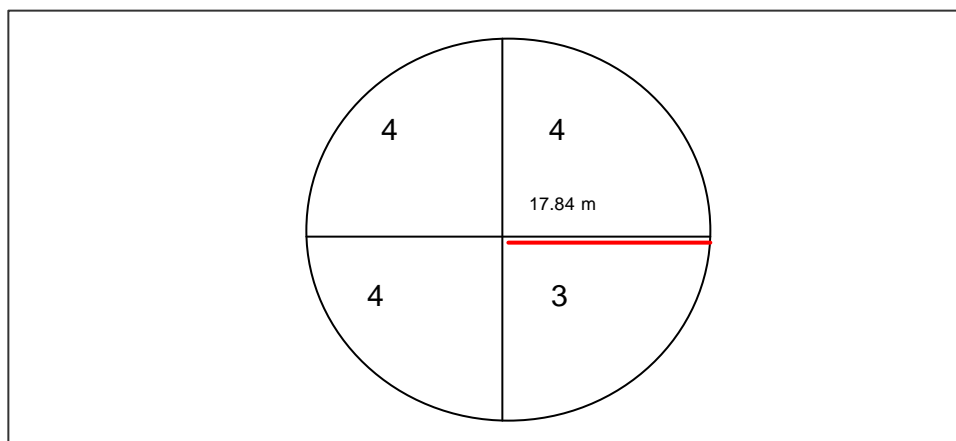
### 3.2. Selección de sitios para el estudio

La selección de las fincas se realizó tomando en cuenta las especies de árboles forestales predominantes dentro de los cafetales. Las listas de productores se obtuvieron en el ICAFE, así como en las cooperativas de productores (Coope Agri, R. L., CoopeVictoria, R. L.). Cuando estas listas no existían, se recurrió al conocimiento de los productores, los cuales apoyaron para poder identificar las fincas. Esto permitió hacer los muestreos en 20 fincas en la región de Turrialba, 21 en la región de Alajuela y 25 en la región de Pérez Zeledón.

### 3.3. Establecimiento de parcelas temporales

Para determinar donde se debían establecer las parcelas, se realizó una entrevista semiestructurada a cada productor (Anexo 1), con la cual se obtuvo la información necesaria sobre las características de la finca (superficie, área dedicada al cultivo del café, otros cultivos o actividades) y el manejo que se le daba al café. Con esa información se determinó la zona en donde se realizaría el muestreo, ya que se conocía con certeza el manejo que el productor estaba llevando a cabo en el cafetal.

En el cafetal seleccionado, se estableció una parcela temporal circular de  $1000 \text{ m}^2$ , con un radio de  $17.84 \text{ m}$ , medido con la ayuda de una cuerda que se tendió en varias direcciones desde un punto central para delimitar la parcela. Dentro de esta parcela, se contaron los árboles maderables para determinar la densidad. Se estableció un número mínimo de 15 árboles a medir dentro de la parcela, cuando no se completaba el número mínimo de estos se tomaron árboles cercanos fuera de la parcela. Si el número de árboles era superior a lo establecido, se dividía la parcela en 4 partes tomando 4, 4, 4 y 3 árboles en cada una de estas en forma aleatoria (Figura 4).



**Figura 4.** Distribución de árboles muestreados dentro de la parcela.

### **3.4. Mediciones en la parcela**

#### **3.4.1. Diámetro a la altura del pecho de los árboles**

Para obtener el diámetro de los árboles, se hizo una medición del diámetro del fuste a la altura del pecho (DAP), utilizando una cinta diamétrica. Si el árbol se encontraba en una pendiente, la medida era tomada en la parte alta de esta pendiente.

#### **3.4.2. Altura de los árboles**

La altura de los árboles se determinó utilizando un hipsómetro marca Suunto<sup>®</sup>, una cuerda de 20 m de largo que se utilizó para establecer la distancia al árbol y una vara de medida variable para poder tomar el dato en la parte baja del árbol. Utilizando el hipsómetro se tomaron dos datos, uno en la parte inferior del árbol a la altura de la vara debido a que no se podía ver la base del árbol que estaba cubierta por las plantas de café y el segundo se tomó en la parte superior del árbol para obtener la altura total. El número de árboles medidos fue como mínimo quince.

$$Ht = A - B + C$$

Ht = altura total (m)

A = dato del Hipsómetro en la parte superior del árbol.

B = dato del Hipsómetro tomado en la parte baja del árbol.

C = altura de la vara desde el suelo (m).

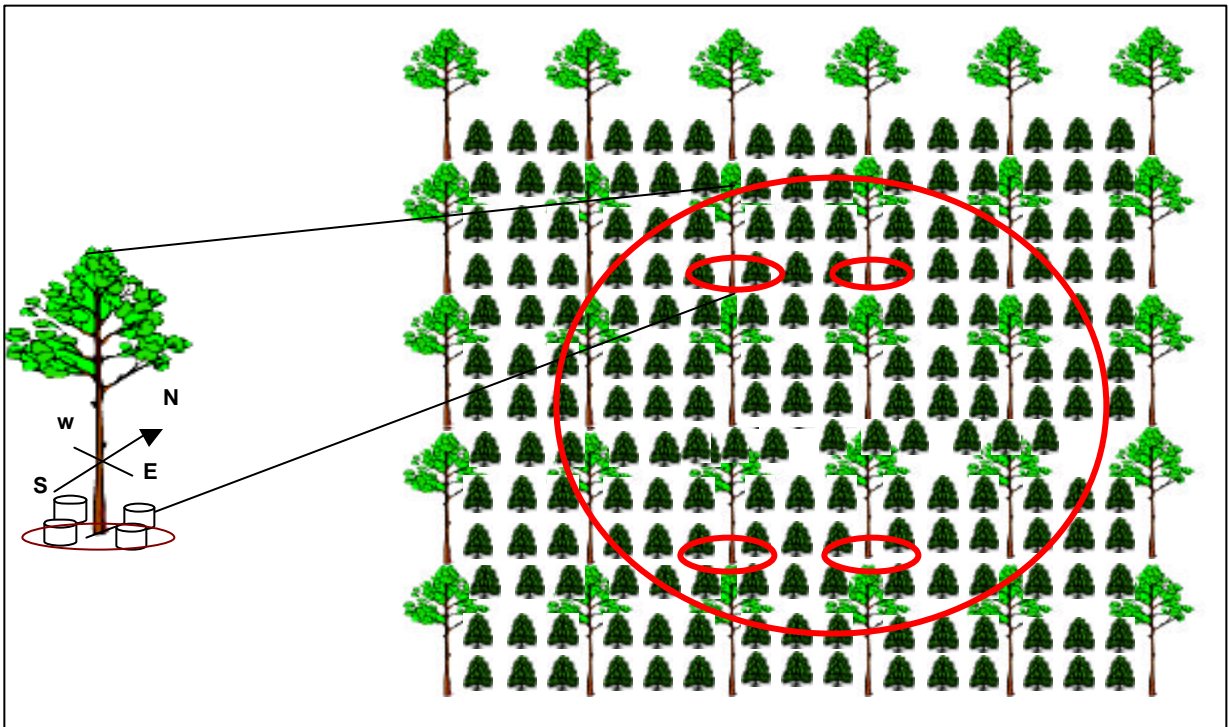
#### **3.4.3. Porcentaje de ocupación del dosel**

Para medir el porcentaje del dosel ocupado por la copa de los árboles asociados al café, se utilizó un densiómetro esférico Model-C<sup>®</sup> (Figura 6), el cual está compuesto por un espejo cóncavo dividido en veinticuatro cuadros y cada uno a su vez está compuesto por cuatro puntos (Lemmon, 1956). Los datos se tomaron en 4 árboles dentro de la parcela, seleccionándolos al azar, pero teniendo en cuenta que los árboles seleccionados deberían tener árboles vecinos a su alrededor, realizando una lectura en cada uno de los puntos cardinales alrededor del árbol (N, S, E, W), (Figura 5).

En principio, se obtuvo el área desocupada por el dosel, mediante el porcentaje de los cuadros desocupados dentro del espejo del equipo, asignando una escala según el área



desocupada, ( $1/4$  es igual a 1,  $1/2$  es igual a 2,  $3/4$  es igual a 3 y si esta desocupado totalmente entonces tiene un valor de 4). Posteriormente se contó y sumo el área desocupada de cada cuadro, tomando el dato en cada uno de los puntos cardinales alrededor del árbol (Figura 5). Esta medida fue tomada a un metro de distancia del árbol y a 1.2 m de altura del suelo aproximadamente, evitando la sombra de los cafetos para tener únicamente el porcentaje del dosel ocupado por los árboles. Cuando los cafetos midieron más de 2 metros, estos fueron movidos doblándolos hacia un lado de forma temporal aprovechando la elasticidad que tienen estas plantas.



**Figura 5.** Establecimiento de la parcela y selección de árboles para medir porcentaje de RAFA absorbida y estimar porcentaje del dosel ocupado por los árboles.

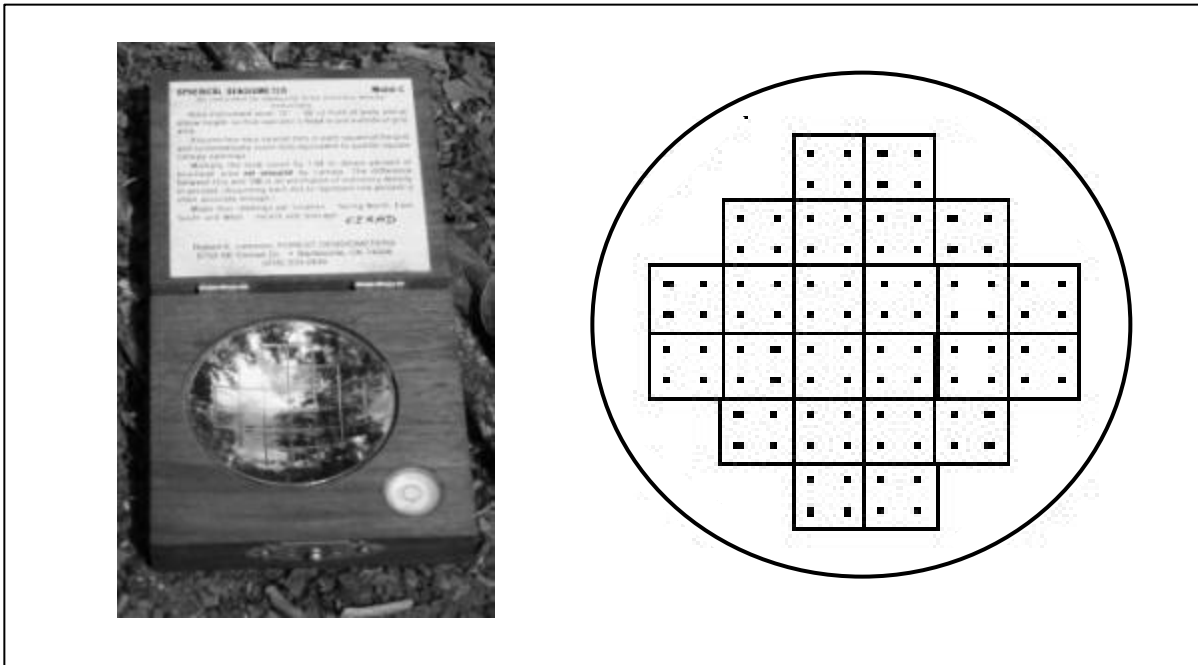
Cuando se obtuvieron los datos en campo, se realizaron los cálculos para obtener el porcentaje del dosel ocupado en la parcela de la siguiente forma:

1º.- Se multiplica el valor obtenido en cada punto cardinal alrededor del árbol (área desocupada) por 1.04 que es un valor estándar establecido en el instrumento, con lo cual se homogenizan los datos a un porcentaje de 100%.

2º.- Se restó a 100 el valor obtenido en el procedimiento anterior y con esto se obtuvo el porcentaje de dosel ocupado para cada punto cardinal.

3º.- Se calculó un promedio de los cuatro valores obtenidos en cada árbol para obtener la estimación del porcentaje de dosel ocupado por cada árbol.

4º.- Por último, se realizó un promedio con los valores de los cuatro árboles por parcela y se obtuvo el porcentaje de dosel ocupado por los árboles en la parcela.



**Figura 6.** Densiómetro esférico.

#### **3.4.4. Radiación fotosintéticamente activa**

La obtención de la RAFA bajo los árboles, se realizó tomando los mismos 4 árboles medidos para determinar el porcentaje de ocupación del dosel y en los mismos sitios alrededor del árbol. Para esta medición, se utilizó un sensor de luz marca LI-COR® modelo Q10086, y se tomaron 4 datos bajo cada árbol (uno en cada punto cardinal N, S, E, W) (Figura 5), a 1 m del fuste y levantando el sensor de luz a 2 m de altura aproximadamente con el objetivo de eliminar la interferencia de los cafetos. Los valores de RAFA se registraron en un DataLogger marca LI-COR® modelo LI-1000. También se tomaron de 2 a 4 lecturas a plena exposición solar dependiendo de la variabilidad en las condiciones de nubosidad (4 cuando existió nubosidad y 2 cuando el cielo estaba claro). En el primer caso, la primera lectura se realizó antes de hacer las mediciones bajo los árboles y la otra al final de estas. En el segundo caso, se realizó una lectura después de la toma de datos bajo cada árbol. Las mediciones se hicieron entre las 8 a.m. y 12 a. m. del día.

Con los datos obtenidos en campo, se calculó el porcentaje de RAFA interceptada por el dosel. Este cálculo fue realizado para cada uno de los árboles muestreados y posteriormente se obtuvo un promedio por parcela. El valor del porcentaje de la RAFA absorbida por el dosel de los árboles fue estimado con el promedio de los datos medidos a pleno sol y bajo los árboles (Formula a).

$$\% \text{ Absorción del Dosel} = \frac{\text{Promedio RAFA}_{\text{pleno Sol}} - \text{Promedio RAFA}_{\text{bajo Árboles}}}{\text{Promedio RAFA}_{\text{pleno Sol}}} * 100 \quad (\text{a})$$

### 3.4.5. Posicionamiento geográfico y altitud de las parcelas

Se utilizó un GPS76 marca Garmin® para determinar la altitud sobre el nivel del mar en cada parcela, así como sus coordenadas geográficas (N, W).

### 3.4.6. Distribución de árboles en cafetales

Para conocer la distribución de los árboles dentro de los cafetales, se utilizaron las metodologías del índice de Clarck y Evans (1954) y el índice del ángulo uniforme (Gadow y Hui, 1998). Esto permitió conocer como se han manejado los árboles dentro de los cafetales.

Estas dos metodologías se utilizaron debido principalmente a que el método de Clarck y Evans puede proporcionar una primera impresión general de la estructura de un bosque en particular, pero no puede ser usado para describir la gran diversidad de arreglos espaciales existentes (Zenner y Hibbs, 2000; citados por Aguirre, *et al.*, 2003). Esta deficiencia es especialmente seria en bosques muy irregulares, en donde pequeñas escalas de la estructura son altamente variables (Albert, 1999, citados por Aguirre *et al.*, 2003).

Por lo anterior y logrando obtener resultados que nos permitan determinar la forma en que se han distribuido los árboles dentro de los cafetales se implementó el método del ángulo uniforme.

### 3.4.7. Índice del ángulo uniforme .

Esta metodología consiste en determinar los ángulos que se forman entre los cuatro árboles más cercanos al árbol central de referencia, tomando este árbol como centro de rotación.

El índice del ángulo uniforme  $W_i$  se calcula asumiendo un valor  $V$  para cada ángulo  $j$ , tomando un valor de 1 para ángulos menores a  $90^\circ$ , y 0 para mayores o iguales a  $90^\circ$  (Figura 7).

La formula para hacer el cálculo es la siguiente:

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 V_j$$
$$V_j = \begin{cases} 1, & a_j < a_0 \\ 0, & \text{Diferente} \end{cases} \quad \text{y } 0 \leq W_i \leq 1$$

Donde:

$i$  = árbol de referencia

$a_0$  = ángulo estándar esperado en una distribución regular.

$a_j$  = ángulo obtenido en la medición.

$V_j$  = Dato obtenido de la comparación de cada ángulo con el ángulo estándar.

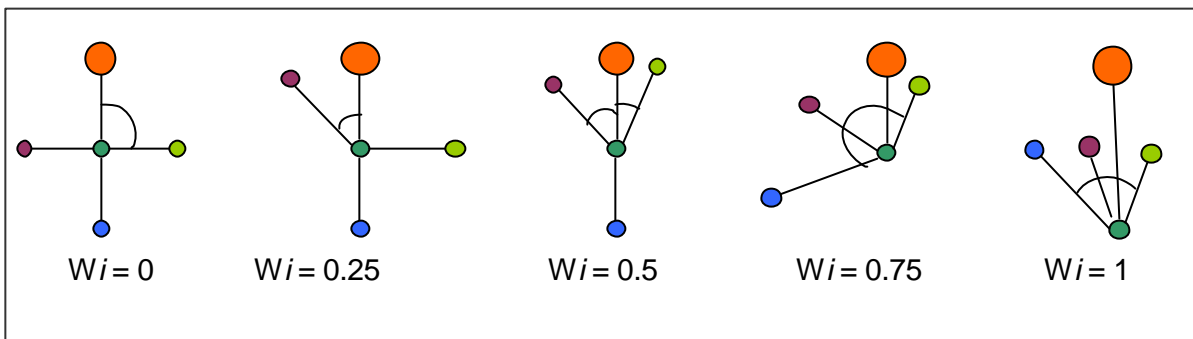
Si:

$W_i = 0$ , Indica que los árboles en la cercanía del árbol de referencia están establecidos de una forma regular.

$W_i = 1$ , Indica que los árboles tienden a una distribución irregular o agrupada.

Ejemplo:  $W_i = \frac{0 + 0 + 0 + 1}{4} = 0.25$

4



**Figura 7:** Valores posibles en la distribución del índice de ángulo uniforme.

Este cálculo se realizó para cada uno de los árboles dentro de la parcela calculando posteriormente un promedio de todos los datos y así describir la distribución de los árboles dentro de la parcela (1000 m<sup>2</sup>). Este promedio se comparó con parámetros establecidos (Cuadro 1), lo que nos permitió determinar la forma de la distribución de los árboles dentro del cafetal. Es importante tener en cuenta que los árboles vecinos más cercanos al árbol de referencia no tienen que estar necesariamente dentro de la parcela, es por esto que la parcela no debe situarse muy cerca de los bordes.

**Cuadro 1.** Interpretación de la distribución para los Posibles valores del índice de ángulo uniforme.

$W_i$	Distribución
0	Muy regular
0.25	Regular
0.50	Aleatorio
0.75	Irregular
1	Muy irregular

### 3.4.8. Índice de agregación R o de Clarck-Evans

Para la determinación de este índice, primeramente se midió la distancia más corta entre cada árbol dentro de la parcela circular de 1000m<sup>2</sup> y el árbol vecino más cercano, utilizando una cinta métrica (Figura 8). Posteriormente con todos los valores obtenidos, se calculó un promedio de la distancia entre los árboles dentro de la parcela y con esto la distancia real.

Conociendo el total de árboles dentro de la parcela se cálculo la distancia optima (Formula b).

$$Do = \frac{1}{2(\sqrt{n/1000})} \quad (b)$$

Donde:

Do = distancia óptima

n = total de árboles dentro de la parcela

1000 = tamaño de la parcela (m<sup>2</sup>)

Con estos valores se obtiene el índice de Clarck-Evans.

$$I_{C-E} = \frac{DR}{DO}$$

Donde:

I<sub>C-E</sub> = Índice de Clarck-Evans

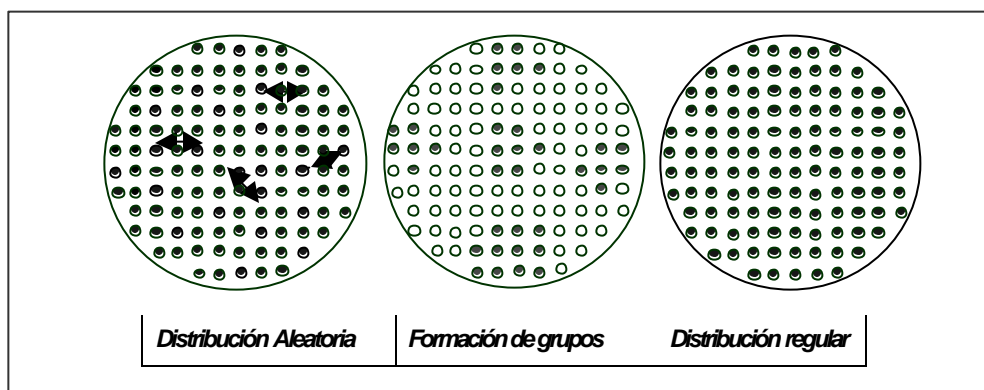
DO = Distancia óptima

DR = Distancia real

**Cuadro 2.** Valores de comparación para el índice de Clarck-Evans

IC-E	Distribución
0 ~ < 1	Formación de Grupos
1	Distribución Aleatoria
1 >	Tiende a la regularidad
2.1491	Distribución Ideal

Cuando el valor obtenido para el índice de Clarck-Evans es 1, significa que la distribución es aleatoria. Cuando tiende a cero, significa que hay un incremento en la formación de grupos de árboles. Cuando el valor es mayor a 1, puede decirse que la distribución tiende a ser regular (Figura 8). Cabe mencionar que el valor máximo que se puede alcanzar es de 2.1491 y se alcanza cuando la distribución de los árboles es con un sistema de tres bolillos (Cuadro 2) (IUFRO 2001).



**Figura 8.** Parcelas de 1000 m<sup>2</sup> con tres formas de distribución dentro de una Plantación.

#### 4. Estimación del volumen de los árboles

Para la obtención del volumen total con corteza de cada una de las especies, se utilizaron ecuaciones desarrolladas en Costa Rica.

##### 4.1. Laurel (*C. alliodora*)

La ecuación utilizada para el cálculo del volumen del laurel fue desarrollada a partir de datos tomados en fincas localizadas en el cantón de Turrialba y la Provincia de Limón, Costa Rica. El rango de DAP con corteza en el cual se puede aplicar este modelo va desde los 10 cm hasta 70 cm y para altura total se tiene un rango que va desde los 10 m hasta los 38 m. Los datos utilizados para elaborar esta ecuación fueron tomados en varios sistemas agroforestales, como laurel-pasto, laurel-caña, laurel-café y laurel-cacao. (Somarriba y Beer, 1986).

$$Vt = 0.017615 + 0.000034(dap^2 * h) - 0.000086(dap^2) + 0.003358(h)$$

Donde:

dap = diámetro con corteza a la altura del pecho (cm)

h = altura total (m)

Vt = volumen total con corteza (m<sup>3</sup>)

En este trabajo, se utilizó esta ecuación debido a que las condiciones donde se desarrolló la ecuación son similares a las condiciones donde se tomaron los datos para este trabajo, además que los rangos de DAP y altura se adaptan bien.

#### 4.2. Deglupta (*E. deglupta*)

Para el cálculo del volumen en esta especie, se utilizó la ecuación desarrollada por Salazar (1988), la cual fue elaborada para la región Atlántica de Costa Rica, en donde el rango de edad va de 3 a 20 años, la altura promedio de los árboles fue de 26.5 m, con un rango de 13.4 a 47.8 m y el DAP promedio fue de 23.8 cm, con un rango entre 7.5 y 73.6 cm.

$$\ln Vt = -9.89132 + 1.1176 * \ln h + 1.7791 * \ln dap$$

Es importante mencionar que esta ecuación fue desarrollada en plantaciones puras. Sin embargo es la que más se acerca al rango de DAP y alturas encontrados en las mediciones de los árboles en sistemas agroforestales de este estudio.

#### 4.3. Amarillón (*T. amazonia*)

La ecuación utilizada para el cálculo del volumen total de esta especie, fue tomada del trabajo de Montero (2003), y fue desarrollada para plantaciones puras la zona sur de Costa Rica. En la generación de este modelo se utilizaron árboles con un rango de DAP de 5 cm a 20 cm, alturas de 7 m a 21 m, y densidades de 2 m x 2 m (2,500 árboles ha<sup>-1</sup>), 2.5 m x 2.5 m (1,600 árboles ha<sup>-1</sup>) y 3 m x 3 m (1,111 árboles ha<sup>-1</sup>).

$$Vt = 0.00003268 * dap^{1.73636316} * h^{1.34255267}$$

Esta ecuación se adapta de forma aceptable a las condiciones climáticas de la región donde se midieron los árboles de amarillón de este estudio.

#### 5. Estimación de la biomasa aérea de los árboles.

Para la obtención de la biomasa total aérea de laurel y eucalipto, se utilizó la ecuación general propuesta por Brown (1997). Para esto se necesitó el valor del factor de expansión de la biomasa (FEB) para cada especie, el cual es una relación de la biomasa del fuste con la biomasa total (Brown y Lugo 1984, Brown *et al.*, 1999, Segura, 1999), y que se obtiene dividiendo la biomasa total del árbol entre la biomasa del fuste (Kanninen, 2002). Así como la densidad de la madera para cada una de las especies.



En el caso del amarillón se utilizó la ecuación generada por (Montero y Kanninen 2002)

$$\mathbf{BiomTot = Voltot * DM * FEB}$$

Donde:

*BiomTot*: biomasa total

*Voltot*: volumen total

*DM*: densidad de la madera

*FEB*: factor de expansión de la biomasa

### **5.1. Laurel (*C. alliodora*)**

El valor de la densidad de la madera fue tomado de Brown (1997), quien presenta un valor de 0.42. El valor del FEB utilizado para esta especie fue 1.49, tomado de Ruiz (2002), quien realizó mediciones en árboles de laurel en sistemas silvopastoriles y en parcelas de regeneración natural.

$$\mathbf{BiomTot = VolTot * 0.42 * 1.49}$$

Donde:

VolTot = Volumen Total de la madera (m<sup>3</sup>).

0.42 (g/cm<sup>3</sup>) = densidad de la madera (DM).

1.49 = factor de expansión de la madera (FEB).

### **5.2. Eucalipto (*E. deglupta*)**

Según Turnbull y Prior (1978), la densidad de la madera para árboles menores a 15 años en esta especie, tiene un rango de 0.270-0.440 g/cm<sup>3</sup>, del cual se obtuvo el promedio de 0.355 g/cm<sup>3</sup>. El valor para FEB (1.49) fue tomado de Ruiz (2002), quien obtuvo este valor para la especie de laurel, y que se utilizó para eucalipto por falta de información sobre un valor específico.

$$\mathbf{BiomTot = VolTot * 0.355 * 1.49}$$

Donde:

VolTot = Volumen Total de la madera (m<sup>3</sup>)

DM = 0.355 (g/cm<sup>3</sup>)

FEB = 1.49

### **5.3. Amarillón (*T. amazonia*)**

Esta ecuación se desarrollo en plantaciones puras en el sur de Costa Rica en un ensayo de espaciamientos de 2 m x 2 m (2,500 árboles ha<sup>-1</sup>), 2.5 m x 2.5 m (1,600 árboles ha<sup>-1</sup>) y 3 m x 3 m (1,111 árboles ha<sup>-1</sup>) a una de edad de 10 años, con rangos de DAP (diámetro a la altura del pecho) entre 7.7 cm y 28 cm, y rangos de altura entre 12.4 m y 20.8 m (Montero y Kanninen 2002).

$$\mathbf{BiomTot = exp [-1.648 + 2.392 * \ln dap]}$$

Donde:

dap: diámetro a la altura del pecho 1.3 m (cm)

### **5.4. Biomasa aérea total por hectárea**

Estos cálculos se realizaron para cada una de las fincas muestreadas en cada una de las regiones.

$$BA_{t_{ha}} ? \frac{Bp_{arb} * Arb_{ha}}{1000}$$

Donde:

BA<sub>t<sub>ha</sub></sub>: biomasa aérea total por hectárea (t ha<sup>-1</sup>)

Bp<sub>arb</sub>: biomasa Aérea promedio por árbol (Kg)

Arb<sub>ha</sub>: densidad de árboles por hectárea

## 6. Carbono aéreo almacenado en los árboles por hectárea

Para estimar el carbono almacenado, se consideró el uso de valores para fracción de carbono reportados en la literatura. Para eucalipto (*E. deglupta*) se tomó el valor reportado por Andrade (1999), quien menciona un valor de 0.46. Para amarillón (*T. amazonia*) se tomó el valor de 0.48 reportado por Montero y Kanninen (2002). En el caso de laurel (*C. alliodora*) se asumió un valor de 0.5, el cual es un valor que se da para bosques naturales, bosques secundarios y plantaciones (Brown y Lugo 1984). Estos valores representan la fracción de carbono del fuste del árbol.

$$C_{a_{ha}} = BA_{t_{ha}} * F_c$$

$C_{a_{ha}}$  = carbono estimado por hectárea (t C ha<sup>-1</sup>)

$BA_{t_{ha}}$ : biomasa aérea total por hectárea (t ha<sup>-1</sup>)

$F_c$  = Fracción de carbono

## 7. Estimación del incremento medio anual

El incremento medio anual se calcula dividiendo el tamaño alcanzado hasta un determinado momento en el tiempo por la edad correspondiente (Prodan *et al.*, 1997).

Se calculó el IMA de la biomasa aérea total por hectárea con la fórmula i:

$$IMA_{BA} = \frac{BA_{t_{ha}}}{E} \quad (i)$$

Donde:

$IMA_{BA}$  : incremento medio anual de biomasa aérea por hectárea (t ha<sup>-1</sup>)

$BA_{t_{ha}}$  = biomasa aérea total por hectárea (t ha<sup>-1</sup>)

$E$  = edad de los árboles (años)

Asimismo el IMA de la tasa de carbono aéreo almacenado por hectárea en los árboles se calculó con la fórmula ii:

$$IMAcarb ? \frac{CA_{tha}}{E} \quad (ii)$$

Donde:

$CA_{tha}$  = carbono aéreo total por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ )

E = edad de los árboles (años)

## 8. Estimación de ingresos por la venta de madera y café

Los cálculos para el ingreso de la madera se hicieron con los siguientes precios en colones de la madera en pie en pulgadas métricas ticas (PMT) Estos precios fueron obtenidos en la Sociedad Maderera del Atlántico:

Laurel (*C. alliodora*): 67 colones

Eucalipto (*E. deglupta*): 30 colones

Amarillón (*T. amazonia*): 60 colones

El cálculo del precio por  $m^3$  de madera en dólares, se realizó con la fórmula iii:

$$Valorm^3 (US\$) ? \frac{PrecioPMT * 326}{420} \quad (iii)$$

$Valorm^3$  = Valor del metro cúbico de madera en dólares

PMT: pulgadas métricas ticas

$1\ m^3 = 326\ PMT$

Valor del dólar: 420 colones.

Una vez que se obtuvo el valor en dólares del  $m^3$  de la madera para cada una de las especies estudiadas, se procedió a multiplicar ese valor por la cantidad de metros cúbicos que se obtuvieron en cada una de las fincas en las diferentes regiones (formula iv).

$$Ingreso(\$) ? Tm^3 * Pm^3 \quad (iv)$$

$Tm^3$  = Total de metros cúbicos de madera

$Pm^3$  = Precio del metro cúbico de madera

Para estimar el ingreso por la venta del café, se tomó como precio promedio por fanega 15,701 colones para la región de La Suiza, 21,827 colones par la región de Grecia-Naranja y 14,700 colones para la región de San Isidro (ICAFE, 2003). Se utilizó como valor de cambio 420 colones por un dólar, con lo cual se estimó el ingreso por la venta de café en un número de años determinado para cada una de las regiones estudiadas (Formula v).

$$IngresosCafe = ProdCafe * AñosProd * \$Fanega / 420 \quad (v)$$

Donde:

*ProdCafe*: producción promedio de café

*AñosProd*: número de Años en los que se esta estimando la producción de café.

*\$Fanega*: precio de la fanega

## 9. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Con los datos de campo, se procedió a realizar los análisis utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS), tomando un alfa de 0.05 establecido como nivel de confianza. Para esto se realizaron regresiones lineales simples. De esta manera se busco identificar las variables que pudieran estar influyendo sobre las diferentes variables de respuesta en cada una de las especies arbóreas y para cada región donde se realizó el muestreo.

### 9.1. Biomasa aérea total de los árboles por hectárea

Con la biomasa aérea total por hectárea de los árboles estimada, se realizaron regresiones simples, para determinar que variables tienen un efecto significativo sobre la biomasa aérea de los árboles (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Variables independientes utilizadas para la regresión donde la biomasa total funge como dependiente

Variable dependiente	Variables independientes		
Biomasa aérea total (t ha <sup>-1</sup> )	Producción actual (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Área de la finca (ha)	Limpiezas actuales
	*** Producción anterior (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Área de café (ha)	**Limpiezas anteriores
	Densidad de los árboles (árboles ha <sup>-1</sup> )	Edad de los árboles (años)	*Sacos de Fert. aplicados Antes
	Sacos de fertilizantes aplicados actualmente		

\*1 saco es equivalente a un quintal = 46 kg de los precios de este producto.

\*\*\*Producción de café antes de la caída

\*\* Número de limpiezas realizadas antes de la caída del precio del café.

Fanega = 250 litros <sub>cereza</sub> (es una medida de volumen)

## 9.2. Incremento medio anual de la biomasa por hectárea

Para determinar las variables que están influyendo en el IMA de la biomasa aérea por hectárea de los árboles, se establecieron como variables regresoras las que podrían tener una influencia sobre esta variable (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Variables utilizadas para la regresión donde el IMA de la biomasa total es la variable dependiente.

Variable dependiente	Variables independientes		
IMAbiomTot (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Producción actual (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Área de la finca (ha)	Limpiezas actuales
	*** Producción anterior (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Área de café (ha)	**Limpiezas anteriores
	Densidad de los árboles (árboles ha <sup>-1</sup> )	Edad de los árboles (años)	*Sacos de fertilizantes aplicados anteriormente
	Sacos de fertilizantes aplicados actualmente		

\*1 saco es equivalente a un quintal = 46 kg de los precios de este producto.

\*\*\*Producción de café antes de la caída

\*\* Número de limpiezas realizadas antes de la caída del precio del café.

Fanega = 250 litros <sub>cereza</sub> (es una medida de volumen)

### 9.3. Porcentaje del dosel ocupado por los árboles

Tomando en cuenta que la densidad de los árboles dentro de las plantaciones de café es una variable muy importante en el manejo de la sombra que se proporciona al cultivo, se realizó una regresión simple entre estas dos variables para cada una de las especies forestales estudiadas, con el fin de conocer como estaba influyendo la densidad sobre el porcentaje de ocupación del dosel (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Variables utilizadas para la regresión que nos permitió conocer la influencia del la densidad sobre la ocupación de dosel por los árboles.

Variable dependiente	Variables independientes
% de ocupación del dosel por los árboles	Densidad de árboles (árboles ha <sup>-1</sup> )

### 9.4. Porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa absorbida el dosel de los árboles

En el caso del porcentaje de absorción de RAFA por el dosel, se incluyeron variables que estuvieran asociadas con los árboles de forma directa (cuadro 6).

**Cuadro 6.** Variables utilizadas en el análisis estadístico de la RAFA absorbida por el dosel de los árboles.

Variable dependiente	Variables independientes			
Absorción de RAFA por el dosel (%)	Densidad de árboles (árboles ha <sup>-1</sup> )	Diámetro promedio de los árboles (cm)	Edad de los árboles (años)	Altura promedio de los árboles (m)
	Biomasa aérea total (t ha <sup>-1</sup> )	IMAbiomTot (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		

### 9.5. Influencia del dosel ocupado sobre la radiación fotosintéticamente absorbida por los árboles

Para determinar si los datos tomados con el densiómetro permitían estimar la RAFA absorbida por el dosel de los árboles, se realizó una regresión entre estas dos variables (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** variables empleadas en el análisis para determinar como el densiómetro puede estimar indirectamente la RAFA absorbida por los árboles.

Variable dependiente	Variable independiente
Absorción de RFA por el dosel (%)	Ocupación de dosel por los árboles (%)

### 9.6. Producción de café (*Coffea arabica*) antes de la caída de los precios

Cuando se habla de producción, limpiezas, sacos de fertilizantes aplicados, antes de la caída de los precios del café, nos estamos refiriendo a una época aproximadamente antes de 1996, cuando los precios del café se mantenían estables.

Para determinar las variables que pudieran tener una influencia sobre la producción anterior del café, se tomaron las variables que tengan una relación con esta variable (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Variables utilizadas para determinar cuales de estas influyeron en la producción de café antes de la caída de los precios.

Variable dependiente	Variables independientes		
Producción de café anterior (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Limpiezas anteriores	Área de la finca (ha)	Edad del café (años)
	Sacos de fertilizantes aplicados anteriormente	Área de café (ha)	Densidad del café (plantas ha <sup>-1</sup> )

### 9.7. Producción actual de café

De la misma manera para determinar las variables que podrían influir sobre la producción actual de café se tomaron las variables que estuvieran relacionadas con la producción actual (Cuadro 9).



**Cuadro 9.** Variables empleadas en la determinación de los factores que influyen en la producción actual de café.

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variables independientes</b>		
Producción actual de café (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Limpiezas actuales	Área de la finca (ha)	Edad del café (años)
	Sacos de fertilizantes aplicados actualmente	Área de café (ha)	Densidad del café (plantas ha <sup>-1</sup> )
	Absorción de ARFA por el dosel (%)	Ocupación de dosel por los árboles (%)	

### 9.8. Ingresos por venta de madera y café

Se realizó una estimación de los ingresos económicos que el caficultor puede obtener por la venta de la madera, tomando en cuenta el volumen (m<sup>3</sup>) así como la densidad y la edad de los árboles. Posteriormente, con el valor del ingreso de la madera, se calculó el porcentaje que representaba la venta de la madera respecto a los ingresos obtenidos por la venta de café acumulada hasta el momento del aprovechamiento de la madera.

## 10. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cada una de las regiones estudiadas muestran una variabilidad en las características de las fincas (Cuadros 10,11 y 12), para mayor detalles ver cuadros 5,6,7,11,12 y 13 en anexos.

**Cuadro 10.** Características de la región de La Suiza resultado del muestreo.

<b>La Suiza</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desv.Standar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Área de las fincas (ha)	8	15	1	70
Área dedicada a café (ha)	4	4	1	18
ASN	700	50	600	800
Diámetro de los árboles (cm)	28	4	19	35
Altura de los árboles (m)	20	4	13	25

**Cuadro 11.** Características de la región Grecia-Naranjo resultado del muestreo.

<b>Grecia-Naranjo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desv.Standard</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Área de las fincas (ha)	54	52	3	200
Área dedicada a café (ha)	53	50	1	190
ASNM	1000	120	800	1300
Diámetro de los árboles (cm)	32	6	23	42
Altura de los árboles (m)	20	3	15	25

**Cuadro 12.** Características de la región de San Isidro resultado del muestreo.

<b>San Isidro</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desv.Standard</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Área de las fincas (ha)	16	30	1.5	140
Área dedicada a café (ha)	4	4	1	21
ASNM	750	112	550	950
Diámetro de los árboles (cm)	17	3	9	24
Altura de los árboles (m)	15	3	7	21

### **10.1. Biomasa aérea total por hectárea de los árboles**

Con los análisis realizados se obtuvo que la densidad, la edad de los árboles, los sacos de fertilizantes aplicados anteriormente y actualmente, las limpiezas anteriores y actuales realizadas al cafetal, la producción actual y el área dedicada al cultivo del café están teniendo una influencia positiva y significativa sobre la biomasa total aérea de los árboles por hectárea.

En el caso del área total de la finca, podemos observar que esta variable no aparece como explicatorio de la biomasa total en la especie de laurel pero si en eucalipto y amarillón.

Estos resultados se pueden observar en los siguientes cuadros, donde se presentan las ecuaciones generadas para cada una de las variables independientes que intervinieron en los análisis.

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>Biomtot</i> ? 0.42834(D)	R <sup>2</sup> = 0.80	P = <.0001
	<i>Biomtot</i> ? 6.02860(E)	R <sup>2</sup> = 0.76	P = <.0001
<b>E. deglupta</b>	<i>Biomtot</i> ? 0.35003(D)	R <sup>2</sup> = 0.82	P = <.0001
	<i>Biomtot</i> ? 3.47065(E)	R <sup>2</sup> = 0.74	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>Biomtot</i> ? 0.16228(D)	R <sup>2</sup> = 0.84	P = <.0001
	<i>Biomtot</i> ? 7.68699(E)	R <sup>2</sup> = 0.85	P = <.0001
E = Edad de árboles (años) D = densidad (Árboles ha <sup>-1</sup> )			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>BiomTot</i> ? 4.47346( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.47	P = 0.0005
<b>E. deglupta</b>	<i>Biomtot</i> ? 0.82842( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.63	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>Biomtot</i> ? 2.70510( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.75	P = <.0001
<i>SacAnt</i> = Sacos de fertilizantes aplicados antes de la caída de los precios del café			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>BiomTot</i> ? 8.40923( <i>SacAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.40	P = 0.0017
<b>E. deglupta</b>	<i>BiomTot</i> ? 1.23398( <i>SacAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.50	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>BiomTot</i> ? 3.95780( <i>SacAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.49	P = <.0001
<i>SacAct</i> = Sacos de fertilizantes aplicados al café actualmente.			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>BiomTot</i> ? 21.51945( <i>LimpAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.53	P = 0.0002
<b>E. deglupta</b>	<i>BiomTot</i> ? 9.43018( <i>LimpAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.64	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>BiomTot</i> ? 24.86174( <i>LimpAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.82	P = <.0001
<i>LimpAnt</i> = Limpiezas realizadas en el cafetal antes de la caída de los precios del café.			

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>BiomTot</i> ? 19.10133( <i>LimpAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.50	P = 0.0002
<b>E. deglupta</b>	<i>BiomTot</i> ? 10.19049( <i>LimpAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.68	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>BiomTot</i> ? 24.86244( <i>LimpAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.78	P = <.0001
	<i>LimpAct</i> = Limpiezas realizadas al cafetal actualmente.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>BiomTot</i> ? 2.00060( <i>ProdAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.50	P = 0.0003
<b>E. deglupta</b>	<i>BiomTot</i> ? 0.49234( <i>ProdAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.62	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>BiomTot</i> ? 1.38851( <i>ProdAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
	<i>ProdAnt</i> = Producción de café antes de la caída de los precios.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>BiomTot</i> ? 3.64821( <i>ProdAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.47	P = 0.0003
<b>E. deglupta</b>	<i>BiomTot</i> ? 0.64412( <i>ProdAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.63	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>BiomTot</i> ? 2.33102( <i>ProdAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.54	P = <.0001
	<i>ProdAct</i> = Producción actual de café.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	No significativo		P = 0.2161
<b>E. deglupta</b>	<i>BiomTot</i> ? 0.24032( <i>Afinca</i> )	R <sup>2</sup> = 0.24	P = 0.0126
<b>T. amazonia</b>	<i>BiomTot</i> ? 1.00979( <i>Afinca</i> )	R <sup>2</sup> = 0.18	P = 0.0185
	<i>Afinca</i> = área total de la finca.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>BiomTot</i> ? 8.01785( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.21	P = 0.0214
<b>E. deglupta</b>	<i>BiomTot</i> ? 0.24837( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.24	P = 0.0127
<b>T. amazonia</b>	<i>BiomTot</i> ? 7.82192( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.33	P = 0.0014
	<i>Acafe</i> = área de la finca dedicada al cultivo de café.		

La biomasa total por hectárea estimada para cada una de las especies forestales estudiadas muestra que el mayor promedio por hectárea se presentó en la especie de laurel ( $77 \pm 54 \text{ t ha}^{-1}$ ), seguida por el amarillón ( $66 \pm 33 \text{ t ha}^{-1}$ ) y por último por el eucalipto ( $28 \pm 20 \text{ t ha}^{-1}$ ), (cuadros 16,17 y 18), los detalles pueden encontrarse en los cuadros 2,3 y 4 de los anexos.

## 10.2. Incremento medio anual de la biomasa aérea en árboles por hectárea

En este análisis podemos ver como las variables regresoras como, edad, densidad de árboles por hectárea, sacos anteriores y actuales de fertilizantes, las limpiezas anteriores y actuales realizadas al cafetal, producción de café anterior y actual, y el área dedicada al cultivo de café tuvieron un efecto positivo sobre el IMA de la biomasa aérea total de los árboles por hectárea. A su vez, podemos observar como la variable área de total de la finca no tiene efecto sobre el IMA de la biomasa aérea por hectárea en el laurel, siendo la única especie en la cual esta variable no influyó.

Estos resultados pueden observarse en los recuadros que se presentan a continuación, en donde se presentan las ecuaciones generadas para cada una de las variables independientes.

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b><i>C. alliodora</i></b>	$IMA_{biotot} ? 0.03047(D)$	R <sup>2</sup> = 0.88	P = <.0001
	$IMA_{biotot} ? 0.42383(E)$	R <sup>2</sup> = 0.82	P = <.0001
<b><i>E. deglupta</i></b>	$IMA_{biotot} ? 0.04089(D)$	R <sup>2</sup> = 0.89	P = <.0001
	$IMA_{biotot} ? 0.38854(E)$	R <sup>2</sup> = 0.73	P = <.0001
<b><i>T. amazonia</i></b>	$IMA_{biotot} ? 0.01855(D)$	R <sup>2</sup> = 0.90	P = <.0001
	$IMA_{biotot} ? 0.83861(E)$	R <sup>2</sup> = 0.83	P = <.0001
E = Edad de árboles (años) D = densidad (Árboles ha <sup>-1</sup> )			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 0.32153( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.21	P = 0.0214
<b>E. deglupta</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 0.09740( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.71	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 0.32401( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.79	P = <.0001
<i>SacAnt</i> = Sacos de fertilizante aplicados antes de la caída de los precios del café.			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 0.60135( <i>SacAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.45	P = 0.0007
<b>E. deglupta</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 0.15114( <i>SacAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.61	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 0.46459( <i>SacAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.56	P = <.0001
<i>SacAct</i> = Sacos de fertilizante aplicados al café actualmente.			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 1.53362( <i>LimpAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.59	P = <.0001
<b>E. deglupta</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 1.12293( <i>LimpAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.74	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 2.95038( <i>LimpAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.86	P = <.0001
<i>LimpAnt</i> = Limpiezas realizadas al cafetal antes de la caída de los precios del café.			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>C. alliodora</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 1.35627( <i>LimpAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.56	P = <.0001
<b>E. deglupta</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 1.21555( <i>LimpAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.77	P = <.0001
<b>T. amazonia</b>	<i>IMAbiotot</i> ? 2.79464( <i>LimpAct</i> )	R <sup>2</sup> = 0.82	P = <.0001
<i>LimpAct</i> = Limpiezas realizadas al café actualmente.			

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$IMAbiotot ? 0.14316(prodAnt)$	R <sup>2</sup> = 0.56	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	$IMAbiotot ? 0.05789(prodAnt)$	R <sup>2</sup> = 0.70	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	$IMAbiotot ? 0.16412(prodAnt)$	R <sup>2</sup> = 0.74	P = <.0001
<i>ProdAnt</i> = Producción de café antes de la caída de los precios.			

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$IMAbiotot ? 0.25831(prodAct)$	R <sup>2</sup> = 0.52	P = 0.0001
<i>E. deglupta</i>	$IMAbiotot ? 0.07629(prodAct)$	R <sup>2</sup> = 0.71	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	$IMAbiotot ? 0.27562(prodAct)$	R <sup>2</sup> = 0.64	P = <.0001
<i>ProdAct</i> = Producción actual de café.			

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	No significativo		P = 0.1663
<i>E. deglupta</i>	$IMAbiotot ? 0.02982(Afinca)$	R <sup>2</sup> = 0.30	P = 0.0048
<i>T. amazonia</i>	$IMAbiotot ? 0.12842(Afinca)$	R <sup>2</sup> = 0.25	P = 0.0054
<i>Afinca</i> = área total de la finca.			

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$IMAbiotot ? 0.58948(Acafe)$	R <sup>2</sup> = 0.25	P = 0.0114
<i>E. deglupta</i>	$IMAbiotot ? 0.03111(Acafe)$	R <sup>2</sup> = 0.31	P = 0.0044
<i>T. amazonia</i>	$IMAbiotot ? 0.91559(Acafe)$	R <sup>2</sup> = 0.37	P = 0.0005
<i>Acafe</i> = área de la finca dedicada al cultivo de café.			

Las estimaciones realizadas muestran que el mayor incremento de la biomasa aérea total por hectárea por año se presentó en el amarillón con  $7 \pm 3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , seguido por el laurel con  $5 \pm 3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y por último el eucalipto con  $3 \pm 2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Cuadros 13, 14 y 15), para mayor detalles ver cuadros 2,3 y 4 en anexos.

**Cuadro 13.** Resultados del IMA estimada de la biomasa por hectárea para la especie de laurel (*C. alliodora*) en los rangos de edades estimadas y densidades de árboles en la región de La Suiza.

<i>C. alliodora</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
IMA biomasa (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	2 a 16	5	3
Edad (años)	9 a 17	13	2
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	110 a 360	184	66

**Cuadro 14.** Resultados del IMA estimada de la biomasa por hectárea para la especie de eucalipto (*E. deglupta*) en los rangos de edades y densidades de árboles en la región de Grecia-Naranjo.

<i>E. deglupta</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
IMA biomasa (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	1 a 7	3	2
Edad (años)	4 a 15	8	3
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	30 a 190	78	44

**Cuadro 15.** Resultados del IMA estimada de la biomasa por hectárea para la especie de amarillón (*T. amazonia*) en los rangos de edades y densidades de árboles en la región San Isidro.

<i>T. amazonia</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
IMA biomasa (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	2 a 12	7	3
Edad (años)	4 a 13	8	2
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	110 - 700	373	191

### 10.3. Estimación de carbono almacenado

Los resultados indican que el carbono total por hectárea esta dependiendo de la densidad y la edad de los árboles, teniendo que a mayor densidad de árboles por hectárea se obtendrá mayor carbono fijado por unidad de área. Sin embargo se presenta una gran variabilidad en los datos encontrados en cada una de las regiones (Cuadros 16, 17 y 18), los detalles pueden verse en los cuadros anexos 2,3 y 4.



**Cuadro 16.** Resultados de biomasa y carbono total por hectárea estimada en la parte aérea de los árboles de laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza.

<i>C. alliodora</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	110 a 360	184	66
Biomasa Total aérea (t ha <sup>-1</sup> )	30 a 240	77	54
Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	15 a 122	39	27
Edad (años)	9 a 17	13	2

**Cuadro 17.** Resultados de biomasa y carbono total por hectárea estimada en la parte aérea de los árboles de eucalipto (*E. deglupta*) en la región de Grecia-Naranjo.

<i>E. deglupta</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	30 a 190	78	44
Biomasa Total aérea (t ha <sup>-1</sup> )	10 a 97	28	20
Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	5 a 48	14	10
Edad (años)	4 a 15	8	3

**Cuadro 18.** Resultados de biomasa y carbono total por hectárea estimada en la parte aérea de los árboles de amarillón (*T. amazonia*) en la región de La Suiza.

<i>T. amazonia</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	110 a 700	373	191
Biomasa Total aérea (t ha <sup>-1</sup> )	15 a 155	66	33
Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	7 a 75	32	16
Edad (años)	4 a 13	8	2

#### 10.4. Porcentaje del dosel ocupado por los árboles

Los análisis realizados para cada una de las especies forestales estudiadas indican que al aumentar la densidad de los árboles dentro de los cafetales aumenta el porcentaje de ocupación del dosel, tal como se puede observar en los modelos generados a través de regresión simple.

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	<i>Dosel</i> ? 0.32642( <i>D</i> )	R <sup>2</sup> = 0.92	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	<i>Dosel</i> ? 0.82794( <i>D</i> )	R <sup>2</sup> = 0.85	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	<i>Dosel</i> ? 0.17217( <i>D</i> )	R <sup>2</sup> = 0.84	P = <.0001
Dosel = dosel ocupado por los árboles (%) D = densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )			

### 10.5. Porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel

La RAFA absorbida por el dosel de los árboles fue explicada de forma significativa y positiva por las variables densidad por hectárea, diámetro promedio, edad, altura, IMA de la biomasa aérea total por hectárea, y biomasa aérea total por hectárea de los árboles. Estos resultados se pueden observar en los cuadros que a continuación se exponen, donde se presentan las ecuaciones generadas para cada una de estas variables.

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	<i>RAFAabs</i> ? 0.22517( <i>D</i> )	R <sup>2</sup> = 0.87	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	<i>RAFAabs</i> ? 0.57302( <i>D</i> )	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	<i>RAFAabs</i> ? 0.14950( <i>D</i> )	R <sup>2</sup> = 0.69	P = <.0001
D = densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	<i>RAFAabs</i> ? 3.30454( <i>E</i> )	R <sup>2</sup> = 0.91	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	<i>RAFAabs</i> ? 5.71112( <i>E</i> )	R <sup>2</sup> = 0.80	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	<i>RAFAabs</i> ? 7.92187( <i>E</i> )	R <sup>2</sup> = 0.89	P = <.0001
E = Edad de árboles (años)			

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$RAFA_{abs} ? 1.56356(dap)$	R <sup>2</sup> = 0.91	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	$RAFA_{abs} ? 1.54608(dap)$	R <sup>2</sup> = 0.87	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	$RAFA_{abs} ? 4.05039(dap)$	R <sup>2</sup> = 0.97	P = <.0001
	Dap= diámetro a la altura del pecho (cm)		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$RAFA_{abs} ? 2.23761(h)$	R <sup>2</sup> = 0.91	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	$RAFA_{abs} ? 2.45440(h)$	R <sup>2</sup> = 0.89	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	$RAFA_{abs} ? 4.59118(h)$	R <sup>2</sup> = 0.91	P = <.0001
	h = Altura total de los árboles(m)		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$RAFA_{abs} ? 0.42836(BiomTot)$	R <sup>2</sup> = 0.71	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	$RAFA_{abs} ? 1.45440(BiomTot)$	R <sup>2</sup> = 0.56	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	$RAFA_{abs} ? 0.85564(BiomTot)$	R <sup>2</sup> = 0.71	P = <.0001
	<i>BiomTot</i> = biomasa total aérea de los árboles		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$RAFA_{abs} ? 6.61269(IMAbiomTot)$	R <sup>2</sup> = 0.78	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	$RAFA_{abs} ? 12.50229(IMAbiomTot)$	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	$RAFA_{abs} ? 8.1533(IMAbiomTot)$	R <sup>2</sup> = 0.79	P = <.0001
	<i>IMAbiomTot</i> = Incremento de la biomasa aérea total por hectárea de los árboles		

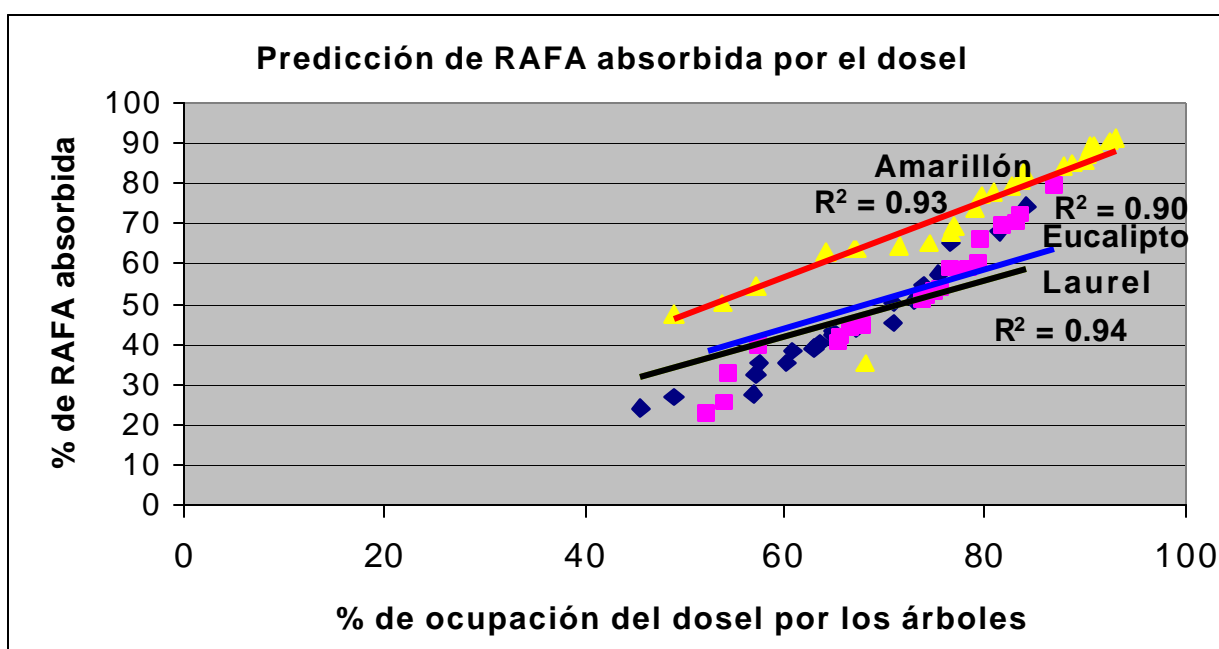
### 10.6. Relación entre porcentaje del dosel ocupado y la RAFA absorbida por parte de los árboles.

Los resultados de las regresiones (figura 9) mostraron que en los rangos estudiados (cuadros 19 y 20), el porcentaje de absorción de la RAFA por parte del dosel esta siendo

explicada por el porcentaje de dosel ocupado por los árboles de cada una de las especies estudiadas, esto se puede observar en las siguientes ecuaciones obtenidos.

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<i>C. alliodora</i>	$RAFA_{abs} = 0.68373(Do)$	R <sup>2</sup> = 0.94	P = <.0001
<i>E. deglupta</i>	$RAFA_{abs} = 0.70813(Do)$	R <sup>2</sup> = 0.90	P = <.0001
<i>T. amazonia</i>	$RAFA_{abs} = 0.91483(Do)$	R <sup>2</sup> = 0.93	P = <.0001

RAFA<sub>abs</sub> = % de RAFA absorbida por el dosel de los árboles.  
Do = dosel ocupado por los árboles (%)



**Figura 9.** Grafico de los resultados de la regresión entre la RAFA absorbida por el dosel y el porcentaje de dosel ocupado por los árboles.

**Cuadro 19.** Porcentaje del dosel ocupado por cada una de las especies de árboles estudiadas en cada una de las regiones.

Especie	Rango	Promedio	Desv. Standar
<i>C. alliodora</i>	45 a 84	66	10
<i>E. deglupta</i>	52 a 87	71	11
<i>T. amazonia</i>	49 a 93	77	13

**Cuadro 20.** Porcentaje de RAFA absorbida por el dosel de los árboles de cada una de las especies de árboles estudiadas en cada región.

Espece	Rango	Promedio	Desv.Standar
<i>C. alliodora</i>	24 a 75	45	14
<i>E. deglupta</i>	23 a 80	52	16
<i>T. amazonia</i>	35 a 92	73	15

### 10.7. Distribución de árboles en cafetales

Los resultados obtenidos muestran que en la región de la Suiza, Turrialba la distribución de los árboles de laurel (*C. alliodora*) dentro de los cafetales fue aleatoria en todas las fincas muestreadas (20). En la región de Grecia-Naranjo, se observó que en 13 de las 21 fincas muestreadas la distribución de los árboles de eucalipto (*E. deglupta*) dentro de cafetales fue aleatoria, 11 mostraron una distribución irregular y 6 una distribución regular. Por otro lado, en la región de san Isidro de Pérez Zeledón, de las 25 fincas muestreadas con amarillón (*T. amazonia*), en 13 de ellas se encontró que los árboles están distribuidos aleatoriamente, 11 de forma regular y una sola finca mostró una distribución muy regular de los árboles dentro del cafetal.

### 10.8. Producción de café antes de la caída de los precios

Los resultados indican que las variables limpiezas anteriores, edad del café, área dedicada al cultivo del café y la densidad de café por hectárea, están influyendo positiva y significativamente sobre la producción de café antes de la caída de los precios en las tres regiones estudiadas. Sin embargo, en el caso del área de la finca, esta solamente explico la producción de café antes de la caída de los precios de manera positiva en la región de Grecia-Naranjo.

Todos estos resultados se reflejan en los cuadros que se presentan a continuación, donde cada una de las variables independientes esta incluida en una ecuación generada a través de regresión lineal.

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAnt</i> ? 9.03261( <i>Limpant</i> )	R <sup>2</sup> = 0.74	P = <.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAnt</i> ? 17.42363( <i>Limpant</i> )	R <sup>2</sup> = 0.84	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAnt</i> ? 14.93776( <i>Limpant</i> )	R <sup>2</sup> = 0.74	P = <.0001
	<i>LimpAnt</i> = limpiezas realizadas al cafetal antes de la caída de los precios.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>La Suiza</b>	No significativo		P = 0.1182
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAnt</i> ? 0.44094( <i>Afinca</i> )	R <sup>2</sup> = 0.31	P = 0.0052
<b>San Isidro</b>	No significativo		P = 0.0925
	<i>Afinca</i> = Área total de la finca.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAnt</i> ? 1.67980( <i>Ecafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAnt</i> ? 4.47705( <i>Ecafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAnt</i> ? 2.53492( <i>Ecafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.42	P = 0.0008
	<i>Ecafé</i> = Edad del café.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAnt</i> ? 2.00917( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.75	P = <.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAnt</i> ? 1.37119( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.65	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAnt</i> ? 1.92292( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.87	P = <.0001
	<i>SacAnt</i> = sacos de fertilizante aplicados al café antes de la caída de los precios.		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAnt</i> ? 3.76739( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.35	P = 0.0034
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAnt</i> ? 0.45173( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.30	P = 0.0057
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAnt</i> ? 8.43780( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.55	P = <.0001
	<i>Acafe</i> = Área de la finca dedicada al cultivo del café.		

<b>Especie</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
<b>La Suiza</b>	$ProdAnt ? 0.00619(Dcafe)$	R <sup>2</sup> = 0.81	P = <.0001
<b>Grecia-Naranjo</b>	$ProdAnt ? 0.00973(Dcafe)$	R <sup>2</sup> = 0.83	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	$ProdAnt ? 0.00679(Dcafe)$	R <sup>2</sup> = 0.68	P = <.0001
	<i>Dcafe</i> = Densidad de plantas de café por hectárea.		

### 10.9. Producción actual de café

La producción actual de café fue explicada de forma positiva por las limpiezas actuales, el área total de la finca, la edad del café, los sacos de fertilizantes aplicados actualmente, el área dedicada al cultivo del café, la densidad de café por hectárea, el porcentaje de RAFA absorbida por el dosel y por el porcentaje de dosel ocupado por los árboles, observándose este efecto en las tres regiones estudiadas.

Esto se puede observar en los cuadros que a continuación se presentan, donde cada una de las variables independientes esta incluida en una ecuación.

<b>Especie</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
<b>La Suiza</b>	$ProdAct ? 4.34679(LimpAct)$	R <sup>2</sup> = 0.71	P = <.0001
<b>Grecia-Naranjo</b>	$ProdAct ? 14.11150(LimpAct)$	R <sup>2</sup> = 0.84	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	$ProdAct ? 7.68722(LimpAct)$	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
	<i>LimpAct</i> = limpiezas realizadas al café actualmente.		

<b>Especie</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
<b>La Suiza</b>	No significativo		P = 0.0534
<b>Grecia-Naranjo</b>	$ProdAct ? 0.36938(Afinca)$	R <sup>2</sup> = 0.38	P = 0.0013
<b>San Isidro</b>	$ProdAct ? 0.34633(Afinca)$	R <sup>2</sup> = 0.22	P = 0.0127
	<i>Afinca</i> = área total de la finca.		

<b>Especie</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.78334( <i>ECafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.52	P = 0.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAct</i> ? 3.59766( <i>ECafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.79	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAct</i> ? 1.51974( <i>ECafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.41	P = 0.0004
	<i>Ecafe</i> = edad del café.		

<b>Especie</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAct</i> ? 2.05325( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.63	P = <.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAct</i> ? 1.87244( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.76	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAct</i> ? 1.59004( <i>SacAnt</i> )	R <sup>2</sup> = 0.78	P = <.0001
	<i>SacAnt</i> = Sacos de fertilizante aplicados al café antes de la caída de los precios.		

<b>Especie</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAct</i> ? 2.03923( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.40	P = 0.0013
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.37684( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.37	P = 0.0015
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAct</i> ? 3.27268( <i>Acafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.58	P = <.0001
	<i>Acafe</i> = área dedicada al cultivo del café.		

<b>Especie</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Significancia</b>
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.00313( <i>Dcafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.73	P = <.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.00741( <i>Dcafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.83	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.00398( <i>Dcafe</i> )	R <sup>2</sup> = 0.75	P = <.0001
	<i>Dcafe</i> = Densidad de plantas de café por hectárea.		



Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.31954( <i>RAFAabs</i> )	R <sup>2</sup> = 0.67	P = <.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.74683( <i>RAFAabs</i> )	R <sup>2</sup> = 0.83	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.29180( <i>RAFAabs</i> )	R <sup>2</sup> = 0.80	P = <.0001
<i>RAFAabs</i> = % de RAFA absorbida por el dosel de los árboles.			

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Significancia
<b>La Suiza</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.23225( <i>Dosel</i> )	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
<b>Grecia-Naranja</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.57146( <i>Dosel</i> )	R <sup>2</sup> = 0.88	P = <.0001
<b>San Isidro</b>	<i>ProdAct</i> ? 0.26175( <i>Dosel</i> )	R <sup>2</sup> = 0.72	P = <.0001
<i>Dosel</i> = % de dosel ocupado por los árboles.			

Con los resultados obtenidos, se observó una disminución en la productividad de café debido principalmente a la caída de los precios, donde la mayor disminución se dio en la región de La Suiza, Turrialba, seguido de San Isidro, observándose la menor disminución la región de Grecia-Naranja (Cuadro 21), (para mayor detalles ver cuadros en anexos 11,12 y 13).

**Cuadro 21.** Efecto de la caída de los precios del café sobre la productividad de café en las regiones estudiadas de Costa Rica.

Región	Prod. Anterior (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Desv. Standar	Prod. Actual (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Desv. Standar	Disminución de la productividad
La Suiza	31	13	16	9	48
Grecia-Naranja	52	23	40	17	23
San Isidro	37	23	21	12	43

#### 10.10. Estimación de ingresos por la venta de madera y café

En lo que se refiere a los ingresos por la venta de la madera en pie de cada una de las especies estudiadas, se observó que el mayor precio por metro cúbico de madera fue obtenido por el laurel (US\$ 52) seguido por el amarillón (US\$ 46,57) y al final el eucalipto (US\$ 23,29). Los precios en colones para el cálculo de los precios en dólares fueron tomados de la Sociedad Maderera del Atlántico y de maderas ARCE (ver anexos).

**Cuadro 22.** Ingresos económicos por la venta de madera de laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza.

<i>C. alliodora</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	110 a 360	184	66
Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	47 a 389	123	86
Ingresos (US\$)	2,478 – 20,237	6,410	4,469
Edad (años)	9 a 17	13	2

**Cuadro 23.** Ingresos económicos por la venta de madera de eucalipto (*E. deglupta*) en la región de Grecia-Naranjo.

<i>E. deglupta</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	30 a 190	78	44
Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	14 a 147	43	30
Ingresos (US\$)	340 a 3,429	1,008	706
Edad (años)	4 a 15	8	3

**Cuadro 24.** Ingresos económicos por la venta de madera de amarillón (*T. amazonia*) en la región de San Isidro.

<i>T. amazonia</i>	Rango	Promedio	Desv. Standar
Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	110 a 700	373	191
Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	12 a 194	69	43
Ingresos (US\$)	568- 9048	3,223	1,999
Edad (años)	4 a 13	8	2

Haciendo un estimado de lo que podría ganar un productor por la venta de café con los precios actuales, esperando el tiempo en que pueda obtener la madera de los árboles, se observó que la región con el mejor ingreso acumulado (US\$ 16,474) por la venta de café durante 8 años se obtuvo en la región de Grecia-Naranjo, seguida por la región de La Suiza en la cual se tiene el ingreso acumulado por la venta de café durante 134 años (US\$ 7,736) y por último la región de San Isidro, en donde se tiene un ingreso acumulado (US\$ 5,982) por la venta de café durante 8 años (cuadro 25).

Sin embargo el mayor ingreso por venta de madera se obtuvo en la región de La Suiza (US\$ 6,410) seguido de la región de San Isidro (US\$ 3,223) y por último por la región de Grecia-Naranjo (US\$ 1,008), (cuadro 25), detalles en cuadros 14,15 y 16 de anexos.

**Cuadro 25.** Ingresos por venta de café acumulada y los porcentajes de ingresos que representa la venta de la madera hasta su aprovechamiento respecto al ingreso por café.

Región	Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	Edad Árboles (años)	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Ingresos madera (US\$)	Prod. Café (fanegas ha <sup>-1</sup> )	Ingresos Café US\$)*	% de ingresos
La Suiza	184	13	123	6,410	16	7,736	83
Grecia- Naranjo	78	8	43	1,008	40	16,474	6
San Isidro	373	8	69	3,223	21	5,982	54

\* Ingresos por venta de café acumulado durante 13 años en la Suiza y 8 años en las regiones de Grecia-Naranjo y San Isidro.

## 11. DISCUSIÓN

### 11.1. Biomasa aérea total de los árboles por hectárea

La densidad y la edad de los árboles tienen un efecto positivo sobre la biomasa aérea total de los árboles por hectárea, esto se observó en las tres especies forestales estudiadas, lo cual indica un incremento de la biomasa aérea total por hectárea al incrementar la edad y la densidad de los árboles en una hectárea.

La influencia de la densidad sobre la biomasa aérea de los árboles fue observado por Ola-Adam (1993), quien en un ensayo encontró que la biomasa total por hectárea de *Terminalia superba* decreció conforme se aumento el espaciamiento entre los árboles. De la misma manera Montero y Kanninen (2002) mencionan en un estudio realizado con *T. amazonia* que a una densidad de 1600 árboles  $\text{ha}^{-1}$  la biomasa fue mayor que a 1,111 árboles  $\text{ha}^{-1}$ . Esto nos permite ver como la densidad de los árboles es una variable que influye en el aumento o decremento de la biomasa total de los árboles por hectárea, siendo complementada por la edad la cual también influye.

Debido al rango de edad y densidad encontrados en el campo (cuadros 2, 3 y 4 en anexos), se obtuvo en el laurel un rango de biomasa por hectárea de 30 a 243  $\text{t ha}^{-1}$ , un promedio de  $77 \pm 54 \text{ t ha}^{-1}$ , con una densidad promedio de  $184 \pm 66$  árboles por hectárea y una edad promedio edad de  $13 \pm 2$  años. Esto comparado con los resultados obtenidos por Alpizar *et al.* (1985), quien obtuvo un promedio de  $29 \pm 7 \text{ t ha}^{-1}$ , a una de de 4.5 años y una densidad de 278 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , observamos una marcada diferencia en el promedio de biomasa obtenida en este estudio. Pero esta diferencia esta dada por la edad de los árboles ya que a pesar de existir una mayor densidad en el estudio mencionado la edad es mucho menor a la que se tiene en este estudio. Esto se puede observar en los resultados de este estudio, donde la ecuación generada, muestra que al aumentar la edad se incrementa la biomasa aérea de los árboles por hectárea.

Para el eucalipto, los resultados muestran un rango de biomasa que fue de 10 a 97  $\text{t ha}^{-1}$  con un promedio de  $28 \pm 20 \text{ t ha}^{-1}$ , teniendo en cuenta que estos resultados se presentaron con una densidad promedio de  $78 \pm 44$  árboles  $\text{ha}^{-1}$  y una edad de  $8 \pm 3$  años. Estos resultados son superiores a los encontrados por Ávila (2000), quien reporta para misma región (Grecia-

Naranja), dentro de sistemas agroforestales café con árboles, un valor promedio de biomasa total aérea para *E. deglupta* de  $6.54 \pm 2.35$  t ha<sup>-1</sup> a una densidad de 156 árboles ha<sup>-1</sup> (8 m x 8 m) y una edad de 8 años. Esta superioridad tan amplia puede deberse a la alta variabilidad encontrada en la densidad, edad y manejo en las diferentes fincas muestreadas en este estudio, a diferencia del estudio realizado por Ávila, donde las condiciones fueron homogéneas.

En el caso del amarillón el rango de biomasa aérea de los árboles por hectárea fue de 15 a 155 t ha<sup>-1</sup> con un promedio de  $66 \pm 33$ , estos valores se presentan con una densidad promedio de  $373 \pm 191$  árboles ha<sup>-1</sup> y una edad de  $8 \pm 2$  años. Este resultado es menor a lo encontrado en plantaciones puras por Montero y Kanninen (2002), quienes reportan que a una densidad de 1,111 árboles ha<sup>-1</sup> y a una edad de 10 años obtuvieron un valor de 82 t ha<sup>-1</sup> de biomasa aérea total en los árboles de amarillón en plantaciones puras. Sin embargo, el valor obtenido en este estudio es bastante aceptable ya que a pesar de que la densidad es mucho menor el valor de la biomasa representa más de la mitad del valor reportado por estos investigadores.

En lo que al manejo del café se refiere, la fertilización realizada antes de la caída de los precios tuvo un efecto positivo sobre la biomasa aérea total por hectárea de los árboles, pero de igual manera la fertilización actual tuvo el mismo efecto sobre esta variable en las tres especies forestales estudiadas.

Este resultado demuestra que la fertilización del cultivo beneficia a los árboles asociados a este, esto ha sido mencionado por Lucas *et al.* (1995), que en un estudio con laurel (*C. alliodora*) y *Acacia mangium*, asociados a cultivos agrícolas, obtuvo que los árboles obtuvieron mejores índices de crecimiento y sobrevivencia que en plantación pura, siendo el laurel el que presentó los mejores índices de crecimiento.

Esto se ve reforzado con la idea de que las raíces finas de *E. deglupta* se desarrollan bien en los estratos superficial (58% entre 0-10 cm) y sub-superficial (21% entre 10-20 cm) del suelo. Este patrón de distribución espacial de las raíces finas permite sugerir que un pequeño incremento anual en las dosis de fertilizantes podría tener un impacto positivo en la producción conjunta de café y madera en plantaciones donde se demuestre que hay competencia por nutrientes (Morales y Beer, 1998).

En el caso de las limpiezas realizadas al cafetal, se observó que la influencia fue positiva, tanto en el caso de las limpiezas realizadas antes de la caída de los precios del café, así como en las actuales. Esto sugiere un efecto importante en el crecimiento de las plantas forestales, ofreciendo a los dos componentes (cafetos y plantas forestales) la oportunidad de crecer sin competencia de las plantas no cultivadas (malezas) que crecen dentro de los cafetales.

Estos resultados se observaron en las tres especies estudiadas, permitiendo ver que esta actividad es fundamental para los productores, ya que a pesar de la caída de los precios del café esta no ha cambiado en mucho actualmente comparado con lo que se realizaba antes (cuadros 5,6 y 7 en anexos), lo cual indica su importancia.

En cuanto a la producción de café, esta variable muestra una influencia positiva sobre la biomasa aérea total por hectárea de los árboles, indicando un incremento conforme aumenta la producción de café. Esta variable es un indicador del manejo que el productor está dando al cafetal, teniendo en cuenta que el manejo del cafetal aumentará o disminuirá la producción de café, lo que implica al mismo tiempo un beneficio o perjuicio en los árboles.

Este efecto se observó en las tres especies forestales estudiadas, lo que podría permitir tomar a la producción de café como un indicador de cómo están creciendo los árboles dentro de los cafetales.

La variable área total de la finca, muestra un efecto positivo en la biomasa aérea total de los árboles por hectárea. Sin embargo esta no influye en *C. alliodora*, y en los casos de *E. deglupta* y *T. amazonia*, esta variable fue poco explicativa de la biomasa aérea total por hectárea de los árboles (*E. deglupta*  $r^2= 0.18$  y *T. amazonia*  $r^2= 0.24$ ), lo cual sugiere que esta variable, no es un indicador claro con el cual se pueda explicar el aumento de la biomasa total aérea de los árboles por unidad de área.

En el caso del área dedicada al cultivo del café, la influencia también fue positiva y en este caso apareció como variable explicatoria en las tres especies forestales estudiadas. A pesar de que los valores de  $r^2$  son bajos (*C. alliodora* 0.21, *E. deglupta* 0.24 y *T. amazonia* 0.33). Hay que tomar en cuenta que el área de las fincas fue muy parecida en el caso de La Suiza y San Isidro y el área dedicada al cultivo de café es pequeña generalmente, a diferencia de lo

que se observó en la región de Grecia-Naranjo, donde el área dedicada al cultivo del café es casi la totalidad de la finca (cuadros 11,12 y 13 en anexos).

Además, el área de la finca que se destina a la producción de café podría influir sobre la cantidad de plantas forestales que el productor puede implementar, y en consecuencia tener una influencia indirecta sobre la biomasa aérea total por hectárea.

En el caso del uso anterior del suelo, estos mostraron una influencia positiva en las tres especies estudiadas. En el caso de *C. alliodora* los usos anteriores del suelo dedicados a potreros y montañas fueron los que reflejaron una influencia significativa (potrero  $P = 0.0086$  y montaña  $P = 0.0058$ ), indicando en las ecuaciones un aumento de la biomasa aérea total por hectárea al tener suelos con estos usos. Esto refleja que los principales usos del suelo antes del establecimiento de los cafetales en la región de La Suiza eran potreros y áreas de montaña.

## **11.2. Incremento medio anual de la biomasa aérea**

En este estudio se obtuvo que la densidad y la edad de los árboles están influyendo sobre el IMA de la biomasa aérea de los árboles por hectárea (figuras 4,5 y 6 en anexos).

Similares resultados fueron obtenidos por Beer (1993) en CATIE, Turrialba, Costa Rica, en donde se obtuvo que el laurel a una densidad de 300 árboles  $ha^{-1}$  y a la edad de 7 años, produjo 87  $m^3/ha$  de volumen total del tronco principal. A diferencia de lo que se encontró en una densidad de 110 árboles  $ha^{-1}$  a la misma edad, donde se obtuvo (17.4  $m^3 ha^{-1}$ ), un 80% menos.

Sin embargo, al analizar el crecimiento de los árboles de forma individual el incremento de la densidad tuvo un efecto negativo sobre el IMA de la biomasa aérea (figuras 7,8 y 9 en anexos), lo cual concuerda con lo mencionado por Somarriba *et al.*, (2001) quien indica que el laurel al igual que otras especies de rápido crecimiento, crecen mejor con amplios espaciamientos.

Esto demuestra que es necesario establecer una densidad óptima que permita tener la mayor cantidad de árboles por hectárea a espaciamientos que no afecten negativamente su crecimiento.

Al respecto, Beer *et al.*, (1997) recomiendan no sembrar más de 100 árboles maderables por hectárea, pero hay que considerar las condiciones del sitio, clima, especie maderable, el beneficio de la sombra en los cafetos, densidad y el manejo silvicultural ya que de estos factores dependerá la productividad de madera esperada.

En lo que se refiere al manejo del cafetal, se observó que los sacos de fertilizante aplicados, las limpiezas realizadas y la producción de café, antes de la caída de los precios del café y actualmente, mostraron un efecto positivo sobre el IMA de la biomasa aérea total de los árboles por hectárea. Este resultado se observó en las tres especies forestales estudiadas, indicando que el manejo del café tiene una incidencia en el buen desarrollo de los árboles, debido posiblemente a que los árboles pueden aprovechar nutrientes del suelo tanto en la parte profunda del suelo como en la parte superficial, además si a esto se añade una buena limpieza, se permite un desarrollo sin competencia de “malezas”.

El mismo efecto se observó con la producción de café anterior y actual, los cuales muestran un efecto positivo sobre el IMA de las tres especies forestales establecidas dentro de los cafetales, siendo este un indicador del buen manejo de los cafetales, que permiten un beneficio para los componentes inmersos dentro del sistema café-árbol,

En el caso del área de la finca, es importante observar que esta variable está teniendo un resultado positivo sobre el IMA de la biomasa aérea total por hectárea en las especies de *E. deglupta* y *T. amazonia*, aunque estos resultados no son respaldados por los valores de  $r^2$  (0.30 y 0.25 respectivamente), lo cual sugiere que esta variable no explica en un buen porcentaje el IMA de los árboles. En el caso de *C. alliodora*, esta variable no apareció como explicatorio, esto posiblemente se deba a que el área de las fincas fue muy similar entre ellas y no existió una amplitud en el rango de valores necesario para obtener significancia (cuadros 11, 12 y 13 en anexos).

El área dedicada al cultivo de café mostró un efecto positivo sobre el IMA de la biomasa aérea total de los árboles por hectárea en las tres especies forestales estudiadas. Sin embargo este resultado no presenta valores altos de  $r^2$  (*C. alliodora* 0.25, *E. deglupta* 0.31 y *T. amazonia* 0.37), lo que sugiere que aunque aparece con un efecto positivo, esta variable no explica en un grado alto el IMA de los árboles (cuadros 11, 12 y 13 en anexos).



### 11.3. Carbono almacenado en la parte aérea de los árboles

En lo que a fijación de carbono se refiere, se observó una alta variabilidad (*C. alliodora*  $39 \pm 27$  t C ha<sup>-1</sup>; *E. deglupta*  $14 \pm 10$ , t C ha<sup>-1</sup> ; *T. amazonia*  $32 \pm 16$  t C ha<sup>-1</sup>), esto se debe principalmente a las diferencias en las densidades de árboles por hectárea y a las edades observadas en cada una de las regiones estudiadas (cuadros 2, 3 y 4 en anexos).

Basado en un rango de 14 a 15 años y una densidad promedio de 168 árboles ha<sup>-1</sup>, se obtuvo un valor de  $41.72 \pm 9.7$  t C ha<sup>-1</sup> en la especie de *C. alliodora* establecida dentro de sistemas agroforestales; sin embargo este valor fue menor a lo encontrado en plantaciones comerciales con una densidad de 100 árboles ha<sup>-1</sup>, una edad de 20 años y un total de 73.7 t C ha<sup>-1</sup> (Winrock 2002). Esto demuestra que la edad de los árboles es un factor que influye directamente en la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea de los árboles.

De Miguel (2002) obtuvo en la región de Pérez Zeledón que *E. deglupta* en sistemas agroforestales con café, a la edad de 7 años con una densidad de 120 árboles ha<sup>-1</sup> un valor de 12.5 t C ha<sup>-1</sup>. Este valor es superior a lo encontrado en este estudio, pero es importante observar que la densidad es menor (78 árboles ha<sup>-1</sup>), lo que hace la diferencia, por lo cual es necesario tomar en cuenta esta variable para los cálculos de carbono por hectárea (cuadro 17).

En la región de San Isidro con el amarillón, con un rango de edades de 8 a 10 años y densidades entre 130-700 árboles ha<sup>-1</sup> se estimó un promedio de  $34.26 \pm 13$  t C ha<sup>-1</sup>, siendo menor a lo estimado por Montero y Kanninen (2002) para plantaciones puras con densidades de 1,111 árboles por hectárea y una edad de 10 años, donde obtuvieron 82.8 t C ha<sup>-1</sup> en la zona sur de Costa Rica. Esto permite ver que la densidad es un factor muy importante y que si bien las plantaciones puras almacenan más carbono es debido principalmente a esta variable.

### 11.4. Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa absorbida por los árboles

En este estudio, la RAFA absorbida por el dosel de los árboles de *C. alliodora*, *E. deglupta* y *T. amazonia* fue explicada por la densidad de los árboles por hectárea, con una alta significancia para las tres especies ( $P = <.0001$ ), siendo este resultado del aumento de

plantas por hectárea, lo cual conlleva a que las copas de los árboles ocupen mayor dosel y eviten el paso de luz a los cafetales.

Del mismo modo, la edad de los árboles presentó una alta significancia ( $P = <.0001$ ) en las tres especies forestales estudiadas, influyendo en el incremento de la absorción de RAFA por parte de los árboles, lo cual está muy relacionado con el crecimiento de la copa de los árboles al aumentar su edad. Beer (1997) recomienda sembrar no más de 100 árboles por hectárea en sistemas agroforestales, para evitar un exceso de sombra sobre el cafetal.

Con respecto al DAP de los árboles, existió alta significancia ( $P = 0.0001$ ) en las tres especies forestales estudiadas. Esto sugiere que al aumentar el DAP de los árboles se incrementa la absorción de RAFA por parte de estos, lo cual permite tener un punto de referencia para saber que tanta RAFA estaría absorbiendo un árbol conociendo su diámetro, sin embargo es necesario hacer más investigaciones que apoyen este resultado.

En el caso de la altura, se obtuvo que en los árboles de las tres especies estudiadas se incrementa la absorción de RAFA por parte de las copas cuando se tiene mayor altura, siendo este resultado altamente significativo para las tres especies ( $P = <.0001$ ). Permite ver que el incremento de la altura de los árboles incrementa la RAFA absorbida por las copas.

Este comportamiento probablemente se deba a que los datos fueron tomados a un metro de distancia del fuste de los árboles, lo que posiblemente reporta valores bajos de RAFA debido a la cercanía del fuste, teniendo en consecuencia una alta absorción por parte de la copa en esta posición.

Respecto a estos resultados Bellow y Nair (2003), nos indican que la densidad y la altura están correlacionadas negativamente debido a que bajo árboles pequeños la influencia horizontal de los vecinos es menor comparada con árboles más altos, donde la acumulación de los efectos de varias copas puede afectar la transmisión de la luz inclusive cuando el sol se encuentra en su punto más alto en el cielo.

La biomasa total y el IMA de la biomasa aérea total por hectárea de los árboles, tuvieron una alta significancia ( $P = <.0001$ ) en las tres especies forestales estudiadas. Esto indica que el crecimiento de los árboles aumentará el porcentaje de RAFA absorbida por estos, esto se

observó en los resultados donde la altura y el DAP aparecen como variables que aumentan la RAFA absorbida, lo cual refuerza este resultado, donde se puede ver que en general el crecimiento de los árboles propicia un incremento de la sombra sobre los cultivos.

Claro que hay que tener en cuenta que estos datos fueron tomados a un metro del fuste del árbol, lo que puede proporcionar un resultado del efecto individual del árbol sin tomar en cuenta el dosel total, si no solamente el que ocupa un árbol.

### **11.5. Porcentaje de dosel ocupado por los árboles**

El porcentaje del dosel ocupado por los árboles y la densidad de los árboles nos muestra que la ocupación del dosel por las copas de los árboles esta siendo explicada significativamente ( $P = <.0001$ ) por la densidad. Esto se explica debido a que el incremento del número de árboles por unidad de área llevará a tener un dosel más ocupado por las copas de los árboles. Este resultado se observó en las tres especies arbóreas estudiadas.

### **11.6. Generación de un método práctico para predecir porcentaje de RAFA absorbida por el dosel.**

El análisis de los datos nos permitió determinar que a través de mediciones con el densiómetro, podríamos predecir el porcentaje de RAFA absorbida por la copa de los árboles.

Englund *et al.*, (2000) ha mencionado que el densiómetro esférico es un instrumento rápido, barato y potencialmente es un método razonablemente preciso para hacer mediciones en amplios periodos y ambientes de luz.

Bellow y Nair (2003) determinaron que bajo condiciones de sombra cerrada de árboles de la misma especie, como frecuentemente sucede en plantaciones de café y cacao, las técnicas visuales y el densiómetro tienen potencial exactitud para estimar niveles de sombra, permitiendo hacer estimaciones rápidas. Además encontraron que el densiómetro esférico es el mejor método en términos de exactitud sobre amplios rangos de condiciones ambientales.

Con este resultado, podemos decir que la implementación del densiómetro esférico para predecir de forma indirecta el porcentaje de RAFA absorbida por el dosel es importante para

trabajos en donde no se tiene acceso a equipos tan caros que miden directamente la RAFA. Además, la intercepción se puede medir independientemente del nivel de radiación solar y sin preocuparse de los cambios bruscos de radiación entre mediciones de referencia afuera del dosel y bajo la copa de los árboles.

### **11.7. Distribución árboles dentro de cafetales**

La distribución de árboles refleja que en la región de La Suiza los árboles de laurel están distribuidos de forma aleatoria lo cual se debe principalmente a que se establecen a través de regeneración natural. En Grecia-Naranjo y San Isidro, la distribución fue desde aleatoria hasta muy regular, debido a que en estas regiones los árboles de eucalipto y amarillón han sido establecidos por los mismos productores y que generalmente tienen distanciamientos recomendados por técnicos.

### **11.8. Producción de café antes de la caída de los precios**

Las limpiezas tuvieron un efecto significativo ( $P = <.0001$ ) en las tres regiones estudiadas, influyendo en el incremento de la producción de café en esta época. Como menciona Carvajal (1984) el permitir que las plantaciones de café permanezcan en las estaciones húmedas con alta competencia de malas hierbas, es contraproducente, aún cuando sus efectos a menudo pasen desapercibidos por el productor, propiciando que los frutos en estas condiciones disminuyan de tamaño. Indicando la importancia de esta actividad en los cafetales.

En lo que al área total de la finca se refiere, esta solamente apareció como variable explicatoria ( $P = <.0001$ ) en la región de Grecia-naranjo, influyendo en el aumento de la producción de café. Sin embargo este resultado no se vio respaldado por un alto  $r^2$  (0.31), lo cual quiere decir que esta variable no explica toda la producción de café, sino que existen más variables que están influyendo en la producción.

El área total de la finca aparece como variable explicatorio de la producción de café en la región de Grecia-Naranjo. Eso se debe probablemente al rango tan amplio en los tamaños de las fincas, lo que permitió que la regresión encuentre una relación al incrementar el tamaño de la finca y la producción, situación que no se observó en las otras regiones (cuadros 11, 12 y 13 en anexos).

La edad del cafetal también mostró una influencia positiva en las tres regiones estudiadas (La Suiza:  $P = <.0001$ , Grecia-Naranjo:  $P = <.0001$  y San Isidro:  $P = 0.0008$ ), incrementándose la producción de café a medida que aumenta la edad del cafetal. Sin embargo es necesario entender que este resultado funcionará hasta determinado momento donde la producción empiece a disminuir por la edad de los cafetos.

La fertilización de los cafetales mostró que el efecto de esta actividad es altamente significativa en las tres regiones ( $P = <.0001$ ), influyendo en el incremento de la producción de café (cuadros 11, 12 y 13 en anexos). Esto indica que la fertilización fue prioritaria para los productores de café en estas regiones, debido al manejo intensivo de los cafetales lo que hizo necesaria la aplicación de estos productos. Teniendo en cuenta que la sobra en los cafetales era muy poca o nula, obligando a los cafetos a requerir más nutrientes para sus actividades fisiológicas, propiciada por una mayor exposición solar.

El área de la finca dedicada al cultivo de café mostró significancia sobre el incremento de la producción de café en las tres regiones estudiadas (La Suiza:  $P = 0.0034$ , Grecia-Naranjo:  $P = 0.0057$  y San Isidro:  $P = <.0001$ ), sin embargo, en el caso de las regiones de La Suiza y Grecia-Naranjo esta variable no fue respaldada por un alto  $r^2$  (0.35 y 0.30 respectivamente).

Sin embargo, podemos decir que el área dedicada a la producción de café era manejada intensivamente, aplicando gran cantidad de productos químicos, esto permitía tener una alta productividad por hectárea, además que el buen precio del café ayudaba a los productores recuperar fácilmente lo invertido en la producción.

En el caso de la densidad de plantas por hectárea, se observó que la producción de café antes de la caída de los precios en las tres regiones estudiadas, fue influida significativamente ( $P = <.0001$ ) por la densidad de plantas de café por hectárea.

### **11.9. Producción actual de café**

Los resultados encontrados en los análisis, muestran que la limpieza es una actividad muy importante en la producción de café en las regiones estudiadas, teniendo una alta significancia ( $P = <.0001$ ) en la producción de café actual. Esto indica que a pesar de la caída de los precios del café, los productores aún realizan limpiezas en sus cafetales. Sin

embargo, la forma de realizarla ha cambiado, utilizando más su propia mano de obra y disminuyendo el uso de productos químicos (cuadros 11,12 y 13 en anexos).

Esto ha permitido a los productores de café en estas regiones mantener sus cafetales con pocos insumos.

Respecto al área total de la finca, esta variable mostró significancia en los casos de Grecia-Naranjo y san Isidro ( $P = 0.0013$  y  $P = 0.0127$  respectivamente). Sin embargo en la región de La Suiza esta variable no tuvo influencia sobre la producción actual de café. Este resultado podría deberse a que la producción esta siendo reforzada por el área de la finca, ya que en las fincas grandes la producción se ha mantenido más estable que en las fincas pequeñas, las cuales ha resentido más la caída de los precios del café.

Respecto a los sacos de fertilizante aplicados actualmente al café, se obtuvo que esta variable fue altamente significativa ( $P = <.0001$ ) en las tres regiones estudiadas, indicando que al incrementar los sacos de fertilizante aplicados al café se incrementará la producción de café. Pero esto implica tomar en cuenta que la fertilización es aprovechada por las plantas hasta un límite y que posteriormente no servirá de nada seguir aplicando fertilizante.

Al mismo tiempo, hay que observar que la fertilización en los cafetales ha disminuido en diferente proporción en cada una de las regiones estudiadas (cuadros 11, 12 y 13; figuras 10, 11 y 12 en anexos). Esto ha sido apoyado por la incorporación de árboles dentro de los cafetales que permiten al café disminuir su productividad y por ende las exigencias de nutrientes para mantenerse.

En el caso de área dedicada al cultivo del café, se observó que esta variable tuvo significancia en las tres regiones estudiadas. Esto indica que la producción esta aumentando en la superficie dedicada al cultivo de café en cada una de las regiones estudiadas. Sin embargo, los datos tomados en campo muestran que la productividad de los cafetales ha disminuido por la consecuente disminución de los insumos aplicados (cuadros 11, 12 y 13 en anexos).

Por otra parte, la implementación de árboles forestales dentro de los cafetales ha incrementado la sombra dentro de estos, lo cual disminuye la productividad de los cafetos.

Esto se observó en los resultados obtenidos, donde la producción de café fue influido positiva y significativamente por el incremento del porcentaje de dosel ocupado y el porcentaje de RAFA absorbida por el dosel de los árboles, este resultado implica que al aumentar la sombra en los cafetales se aumentará la producción de café. Sin embargo, esto no es así, ya que este resultado sólo se refiere al rango de datos obtenidos en este estudio. Lo anterior, puede ser aplicado más para regiones sub-óptimas (> a 700 msnm) como las regiones de La Suiza y Pérez Zeledón, donde se recomienda la sombra para mejorar la calidad de la producción como lo menciona Muschler (2001).

#### **11.10. Ingresos por venta de madera**

Con los resultados obtenidos podemos determinar que la siembra de árboles forestales en los cafetales genera ingresos a los productores, aunque es necesario tomar en cuenta que estos ingresos dependen de la densidad y la edad de los árboles. Sin embargo es claro que para la venta de los árboles hay que esperar a que estos alcancen un fuste comercial.

Comparando los ingresos que los productores están obteniendo actualmente con el café, la venta de la madera representa un porcentaje importante respecto a los ingresos del café obtenidos en las regiones sub-óptimas (<700 msnm). En la región de Grecia-Naranjo, el ingreso promedio por la venta de los árboles de eucalipto a los  $8 \pm 2$  años de edad y una densidad de  $78 \pm 44$  árboles  $ha^{-1}$  representa el 6% de los ingresos acumulados durante este tiempo por la venta del café, considerando un promedio de producción de café de 40 fanegas  $ha^{-1}$ .

En San Isidro, la venta de madera de amarillón puede aportar un 54% de los ingresos acumulados de la venta de café durante  $8 \pm 3$  años, teniendo en cuenta una densidad de  $373 \pm 191$  árboles  $ha^{-1}$  y una producción promedio de café de 21 fanegas  $ha^{-1}$ .

En el caso de La Suiza, los ingresos obtenidos por la venta de madera de laurel a los 13 años de edad y una densidad promedio de  $184 \pm 66$  árboles  $ha^{-1}$ , representan el 83% de los ingresos acumulados por la venta del café durante  $13 \pm 2$  años, con una producción promedio de 16 fanegas  $ha^{-1}$ .

Los resultados anteriores se deben principalmente a los precios por metro cúbico de madera de laurel (US\$ 52  $m^3$ ) y amarillón (US\$ 46,57  $m^3$ ), que fueron mayores comparados con el

precio de eucalipto (US\$ 23,29 m<sup>3</sup>), a la mayor densidad de árboles por hectárea y a la baja de producción de café presentados en las regiones de La Suiza y San Isidro, lo cual no se observó en la región de Grecia-Naranjo, donde la densidad de árboles fue la menor de las tres regiones, sin embargo la baja de producción de café no fue tan marcada.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta los precios del café en cada una de las regiones, ya que el mayor precio se pagó en la región de Grecia-Naranjo (21, 827 colones), comparado con las regiones sub-óptimas de La Suiza y San Isidro, donde los precios fueron de 15,701 colones y 14,700 colones respectivamente. Esto conlleva a que los ingresos por la venta de madera en la región de Grecia-Naranjo no generen ingresos suficientes, comparables con los ingresos obtenidos por la venta de café, ya que en esta región se paga por la calidad de café que se cultiva a más de 1000 msnm.



## 12. CONCLUSIONES

- ?? Las actividades de manejo realizadas en los cafetales, la edad y la densidad influyeron positivamente en la biomasa aérea total por hectárea y el IMA de los árboles maderables de sombra. Sin embargo, el aumento de la densidad tuvo un efecto negativo sobre el IMA de la biomasa los árboles individuales de las tres especies estudiadas.
- ?? Los árboles en sistemas agroforestales (café-árboles) están secuestrando carbono y proporcionando un servicio ambiental; lo cual, comparado con la cantidad secuestrada en plantaciones puras, es menor.
- ?? El incremento del porcentaje de RAFA absorbida por el dosel de los árboles fue explicado por el crecimiento de los árboles (edad, DAP, altura total, biomasa total aérea y su IMA), así como la densidad de estos dentro de los cafetales.
- ?? El densiómetro esférico es un instrumento confiable, práctico y económico con el cual se puede estimar el porcentaje de RAFA absorbida por el dosel de forma indirecta, sin importar los cambios bruscos de radiación solar que afectan a los instrumentos de medición directa.
- ?? La producción de café fue afectada por la caída de los precios durante los últimos cinco años, especialmente en regiones sub-óptimas. En consecuencia, los productores han implementando un cambio en el manejo cafetalero de intensivo a menos costoso, reforzando el rol de los árboles dentro de los cafetales para diversificar sus ingresos y mantener con lo mínimo sus cafetales. Se observó una disminución en las actividades cafetaleras costosas como la fertilización, pero se mantuvieron las limpiezas sin un cambio marcado, y en consecuencia se disminuyó entre 43% y 48% la producción de café principalmente en las regiones sub-óptimas
- ?? La región óptima para café de Grecia-Naranjo presentó los menores ingresos por venta de madera (6%) respecto a los ingresos acumulados por la venta de café durante 8 años, debido a precios más altos del café (21,827 colones por fanega), comparados con las regiones sub-óptimas de La Suiza y San Isidro, donde los ingresos por la venta de madera fueron mayores (54% y 83% respectivamente), pero con precios menores por fanega de café (15,701 colones y 14,700 colones respectivamente).

### **13. RECOMENDACIONES**

En próximos estudios similares, es importante muestrear un mayor número de fincas, particularmente muestrear un rango más amplio de densidades y edades de árboles, para tener mejor precisión sobre el almacenamiento de carbono en relación con la densidad y edad de los árboles.

Es importante tomar en cuenta que los productores no siempre conocen ni tienen datos del uso anterior del suelo donde están trabajando y que los datos colectados pueden ser poco precisos.

Es muy recomendable hacer un seguimiento en el tiempo de parcelas con sistemas agroforestales de café con árboles en las diferentes regiones para documentar más profundamente el efecto del manejo sobre el crecimiento de los árboles.

Se recomienda el uso del densiómetro para estimar RAFA absorbida por el dosel en otras especies de árboles, ya que es un instrumento económico y de fácil uso.

## Bibliografía

- Aguilar, A.; Beer, J.; Vaast P.; Jiménez, F.; Stever, C.; kleinn, C. 2001.** Desarrollo del café asociado a *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* en la etapa de establecimiento. *Agroforestería en las Américas*. Vol. 8 (30) p. 28-31.
- Aguirre, O.; Hui, G.; Gadow, K. V.; Jiménez, J. 2003.** An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and management* . 6271(2003) p.1-9
- Alpizar, L.; Fassbender, H. W.; Heuvelodop, J.; Enriquez, G.; Fölster, H. 1985.** Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. *TURRIALBA*: 35 (3) julio-septiembre. p. 233-242.
- Andrade, C. H. J. 1999.** Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70 p.
- Alder, D; Montenegro, F. 1999. A yield model for *Cordia alliodora* plantations in Ecuador.
- Alvarado, J.; López, D, E; Medina B. 1999.** Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agroecosistema café en Guatemala. *Boletín PROMECAFE*, 81 (enero- abril). P. 7-14.
- Angrant, J. C. 2002.** Floración, desarrollo vegetativo y fotosíntesis de *Coffea arabica* L. en diferentes sistemas de cultivos en Pérez Zeledón y Heredia, Costa Rica. Tesis Mag., SC. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 56 p.
- Ávila, G. 2000.** Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 99 p.
- Baggio, A. J; Caramori, P. H; Androcioni, F. A. y Montoya, L. 1997.** Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. *Agroforestry systems*, 37: p. 111 - 120
- BCCR (Banco Central de Costa Rica). 1973.** Situación del cultivo del café en las zonas marginales y alternativas de sustitución. Reporte interno. San José, Costa Rica. 45 p.
- Beaumont R. B. 1999.** El protocolo de Kioto y el mecanismo para un desarrollo limpio: nuevas posibilidades para el sector forestal . FAO, Santiago, Chile. 99 p.
- Beer, J. 1997a.** Café bajo sombra en América Central: ¿Hace falta más investigación sobre este sistema agroforestal exitoso?. *Agroforestería en las Américas* 4(13) Enero-Marzo 1997.

**Beer, J.; Muschler, R; Somarriba, E; Kaas, D. 1997.** Maderables como sombra para café. Boletín PROMECAFE.IICA No. 76 – 77: 5-7.

**Beer, J.; Lamb, A. T. 1997.** *Cordia alliodora*: Genética y mejoramiento de árboles. Tropical Forestry Papers No. 36, Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences. University of Oxford, England. 100 p.

**Beer, J. 1993.** Producción y efectos competitivos de los árboles de sombra *Cordia alliodora* y *Erythrina poeppigiana* en un sistema agroforestal con *Coffea arabica*. Semana Científica, programa agricultura tropical sostenible 8 – 10 de diciembre.Volumen 1, 1993. Ed. Salazar, R. CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 53-54.

**Beer, J. 1992.** Production and competitive effects of the shade trees *Cordia alliodora* and *Erythrina poeppigiana* in an agroforestry system with *Coffea Arabica*. Ph.D. Thesis, University of Oxford, 229 p.

**Beer, J. 1987.** Ventajas, desventajas y características deseables en los árboles de sombra para café, cacao y te. Agroforestry Systems 5: p. 3-13.

**Bergmann, C; Stuhmann, M; Zech, W. 1994.** Site factors, foliar nutrient levels and growth of *Cordia alliodora* plantations in the humid lowlands of Northern Costa Rica. Plant and soil 166: 193-202.

**Bellow, J.G; Nair, P. K. R. 2003.** Comparing methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. Agriculture and Forest Metodology 114: 197-211

**Bergez, J. E. and Dupraz, C. 1997.** Transpiration rate of *Prunus avium* seedlings inside an unventilated tree-shelter. For Ecol Manage 97: 255-264.

**Bossier, D.; Mesen, F. 1989.** Breeding population of *Cordia alliodora* in Costa Rica. In Conference on Breeding Tropical Trees: Population Structure and Genetic Improvement Strategies in Clonal and Seeding Forestry (1988, Pattaya, Tailandia). Proceedings IUFRO Conference. Arlington, EE.UU., Winrock Internacional. P. 406-407.

**Bossier, D. H; Lamb, A. T. 1997.** *Cordia alliodora*: genética y mejoramiento de árboles. Tropical Forestry Papers No. 36, Oxford Forestry Institute, Departament of Plant Science, University of Oxford, England. 100 p.

**Brown, S. L.; Lugo, A.E. 1984.** Biomass of tropical forest: A new estimate based on forest volumes. Science 223: 1290-1293.

**Brown S. 1997.** Estimating biomass and biomass change of tropical forest. FAO, forestry paper 134. Roma, Italia. 55 p.

**Brown, S.L.; Schroeder, P.; Kenr, J.S. 1999.** Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* 123: 81-90.

**CATIE 1994a.** Deglupta (*Eucalyptus deglupta*, Blume), Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Colección de guías silviculturales, Turrialba, C. R. 45 p.

**CATIE 1994.** Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Colección de guías silviculturales. Turrialba, Costa Rica. 52 p.

**Calvo, C. C.; Arias, D.; Sibaja, A. 1996.** Resultados de un ensayo de encalado y fertilización en plantaciones de *Terminalia amazonia* en un suelo ultisol en Buenos Aires, Osa. In memoria del IV Taller nacional de investigación forestal y agroforestal. Guacimo, Limón, Costa Rica. p 61-65.

**Carbajal, J. F. 1984.** Cafeto, cultivo y fertilización, 2ª ed. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza. 254 p.

**Charles-Edwards, D. A. 1982.** Physiological determinants of crop growth. Australia: Academia Press, 1982. 161 p.

**Chinchilla, V. E. 1987.** Atlas Cantonal de Costa Rica. 396 p.

**Cielsa, W. M. 1996.** Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO Montes No 126. 147 p.

**Clark, P. J.; Evans, F. C. 1954.** Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, Vol. 35 (4) p. 445-453.

**CONIF 1988.** *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken: experiencias en Colombia. Poel, P van der, comp. Serie de documentación No. 15. Convenio CONIF-Holanda, Bogotá, Colombia. 38 p.

**Córdoba, F. R. 1997.** Características, propiedades y uso de la madera del laurel (*Cordia alliodora*). *Revista Forestal Centroamericana*. 20 (6) p. 18-23.

**Cruz-S. E. V.; Barradas, V. L.; Colinas, L. M. T. 2002.** Intercambio gaseoso de plantas de cafeto ante incrementos y decrementos de radiación fotosintéticamente activa. In. Investigaciones en agricultura de regiones cafetaleras (Memoria 2002). Damaso, M. P.; Cruz S. P. E. V. Eds. INIFAP – Chapingo – ECOSUR. p. 45 – 50.

**De Miguel, M. S. 2002.** Dinámica de la biomasa de diferentes sistemas agroforestales cafetaleros de la zona Sur de Costa Rica. Tesis de maestría. Francia. 48 p.

**Englund, S. R.; O'Brien, J. J.; Clark, D. B. 2000.** Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densiometry for measuring forest light environments. *Can. J. Res.* 30 1999-20005.

**Escalante, E. E; Aguilar, A; Lugo, R. 1987.** Identificación evaluación y distribución espacial de especies utilizadas como sombra en sistemas tradicionales de café (*Coffea arabica*) en dos zonas del estado de Trujillo, Venezuela. *Venezuela Forestal*. 3 (11): 50-62

**Espinoza, N.; Gatica, J.; Smyle, J. 1999.** El pago de servicios ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural, serie de publicaciones RUTA, San José, Costa Rica. 88 p.

**FAO 1981.** El eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO: Montes. 730 p.

**FAO 1985.** La silvicultura y la seguridad alimentaria

**Fernández, C. E.; Muschler, R. G. 1999.** Aspectos de los sistemas de cultivo en América Central. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. *Desafío de la caficultura en Centroamérica*. San José, Costa Rica. P.69-91.

**Fonseca W. G.; Chinchilla, O. M. 2002.** Especies nativas en plantación en el pacífico sur de Costa Rica. In *Memora del Taller Especies forestales nativas*. INISEFOR/UNA, Heredia, Costa Rica. p. 97-100.

**Fournier , O. L. A. 1996.** Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero. *Boletín 71, PROMECAFE*. IICA, Costa Rica. p. 7 – 13.

**Gadow, K. V.; Hui, G. Y. 1998.** The neighbourhood pattern a new parameter for describing forest structures. *Jahgang, Helft 1, S.* 1-10.

**Galloway, G.; Beer, J. 1997.** Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en Centroamérica. Serie técnica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 168 p.

**Galloway, G. 2002.** Dinámica de rodales. Apuntes del curso de silvicultura, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

**Geocities. 2003. Ley Forestal 7575.** En <http://www.geocities.com/ivanchm/ley.html>, revisado 19 de octubre del 2003.

**González, D. 1991.** Descripción anatómica de once especies forestales de uso industrial en Panamá. CATIE/IRENA. Turrialba, Costa Rica. 55 p.

**Grijpma, P. 1969.** *Eucalyptus deglupta* Bl. Una especie forestal prometedora para los trópicos húmedos de América Latina. *TURRIALBA*: 19 (2), p 267-283.

**Herman, R; Cuellar, N; Herrador, D; González, M. 1999.** Comercio de servicios ambientales y desarrollo sostenible en Centroamérica: Los casos de Costa Rica y El Salvador. Informe preparado para el Internacional institute for sustainable Development (IISD) y la Internacional Union for the Conservation of nature (UICN) en el marco del "Knowledge Network Project for Capacity Building on Trade and sustainable Development". P 39-56.

**ICAFFE. 1998.** Manual de recomendaciones para el cultivo del café. Heredia, Costa Rica. 193 p.

**ICAFFE 1989.** Manual de recomendaciones para el cultivo del café. 6th Ed. Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San José, Costa Rica.

**IUFRO 2001.** Modelización del crecimiento y la evolución de bosques. eds. Gadow, K. V.; Real P.; Álvarez, G. J. G. Modelos de Crecimiento de árbol individual. IUFRO World Series Vol. 12. p. 174-176.

**Johnson, P.; Morales, R. 1972.** Areview of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. TURRIALBA: 22 (2) Abril-Junio. p. 210-220.

**Kanninen, M. 2002.** Apuntes de la clase sobre tópicos avanzados del manejo forestal. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

**Kaimowitz, D. 2003.** Mercados de carbono para los pobres; reseñas de estudios. In inermes ante el cambio climático. AMBIENTICO: No. 112 enero.

**Kumar D.; Tieszen, L. L. 1980.** Photosynthesis in *Coffea Arabica* L. I. Effects of light and temperature. Exp Agric 16: 13 – 19.

**Kumar, D. 1979.** Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. a reviw. Kenya Coffee 44 (519):9-47.

**ICAFFE, 2003.** Precios de liquidación final cosecha 2002-2003, publicado en el periodico La Nación, domingo 23 de noviembre del 2003.

**La Republica, 2003.** revisado el 24 de enero del 2004

<http://larepublica.terra.co.cr/news/articulo/html/2003/11/27/rep11631.htm>

**Lemmon, P. E. 1956.** A spherical densiometer for estimating forest overstory density. Forest Science. p. 315-321

**López, A. 1998.** Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.

**Lucas, C.; Beer, j.; kapp, G. 1995.** Reforestación con maderables: sistemas agrosilviculturales vs plantaciones puras en Talamanca, Costa rica. Resultados agrícolas y forestales. Proyecto CATIE / GTZ, Turrialba, Costa Rica. Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no. 243. 66 p.

- Martínez, A.; Enríquez, G. 1984.** La sombra para el cacao: Revisión de literatura y bibliografía anotada. Serie Técnica, Boletín Técnico No. 5. Turrialba, C. R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 58 p.
- Mejía, I. B. 1988.** Elaboración del plan de manejo silvicultural para los proyectos de reforestación de las organizaciones del Pacífico Sur de Costa Rica. Informe de práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Cartago, Costa Rica. 132 p.
- Mora, A. 1993.** Evaluación del uso de sombra de laurel y poro sobre la producción de un cruce interclonal de cacao. In Seminario Regional "Sombras y cultivos asociados con cacao". Ed. W. Phillips-Mora. p.155 -162.
- Montenegro, J.; Ramírez, G.; Blanco-Metzler, H. 1997.** Evaluación del establecimiento y crecimiento inicial de seis especies maderables asociados con café. Agroforestería en las Américas. Vol. 4 (13) p.14-20.
- Montero, M. M. 2003.** Manual técnico para *Terminalia amazonia*, en publicación.
- Montero, M. M.; Kanninen, M. 2002.** Biomasa y carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* en la zona Sur de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. Vol. 39-40, p. 50-55
- Morales, E.; Beer, J. 1998.** Distribución de raíces finas de *Coffea arabica* y *Eucalyptus deglupta* en cafetales del Valle Central de Costa Rica. Agroforestería en las Américas. Vol. 5 (17-18 Enero-Junio) p. 44-48.
- Muschler, R. G. 2001.** Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. Agroforestry Systems 85: 131-139
- Muschler, R.G. 1995.** Efectos de diferentes niveles de sombra de *Erythrina Poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. In: II. Semana Científica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), p. 158 – 160. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Navarro, C. 1985.** Producción de biomasa de *Eucalyptus deglupta* en una plantación de ocho años en Turrialba, Costa Rica. SILVOENERGÍA, CATIE, Turrialba, Costa Rica
- OET 1990.** Memoria del Primer Encuentro Regional sobre especies forestales nativas de la zona norte y atlántica. Eds. González, e.; Butterfield, R.; Segleau J.; Espinoza, M. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, C. R. 46 p.
- Ola-Adams, B. A. 1993.** Effects of spacing on biomass distribution and nutrient content of *Tectona grandis* Linn. F. (teak) and *Terminalia superba* Engl. & Diels. (afara) in south western Nigeria. Forest Ecology and Management, 58 (299-319).



- Pedroni, L. 2000.** Implementación conjunta y desarrollo limpio: una nueva oportunidad para Centro América. CATIE, Turrialba, CR. 40 p.
- Pérez, C. A. 1954.** Estudio forestal del laurel, *Cordia alliodora* (Oken & Pav.) Cham., en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 182 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997.** Mensura forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. IICA/GTZ, San José, Costa Rica. 586 p.
- PROMECAFE, 2001.** La crisis del café y su probable evolución. Boletín 91-92.
- PROMECAFE, 1999.** Algunas Respuestas estratégicas ante la baja de precios del café. Boletín 82-83, mayo septiembre.
- Quesada, F; Somarriba, E; Vargas, E. 1987.** Modelo para la simulación de patrones de sombra de árboles. CATIE, Serie Técnica Informe Técnico 118. Turrialba, Costa Rica. 91 p.
- Ramírez, O; Rodríguez, L; Finegan, B; Gómez, M. 1999.** Implicaciones económicas del secuestro de CO<sub>2</sub> en los bosques naturales. Revista Forestal Centroamericana. "(279: 10-16.
- Rosero, R.; Gawald, N. 1979.** Crecimiento de Laurel (*Cordia alliodora*) en cafetales, cacaotales y potreros en la zona atlántica de Costa Rica. In ACTAS, Taller sistemas Agroforestales en América Latina, Turrialba, Costa Rica, p. 211-214.
- Rodríguez, L. A.; Orozco, V.; Velazco, E.; Medina, R.; Verdencia, J.; Fonseca, I. 1999.** Niveles óptimos de radiación solar y su relación con el crecimiento vegetativo, desarrollo foliar y la productividad del cafeto (*Coffea arabica* L.). Cultivos tropicales 20 (4): 45 – 49.
- Ruiz, G. A. 2002.** Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 106 p.
- Russo, R. O.; Palma, C. G. 1996.** Crecimiento de roble coral (*Terminalia amazonia*) en un sistema agroforestal con frutales tropicales al segundo año. In memoria del IV Taller nacional de investigación forestal y agroforestal. Guacimo, Limón, Costa Rica. p 57-60.
- Salazar, R.; Soihet, C.; Méndez, J. M. 2000b.** Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Nota técnica No. 10. p. 19-20.
- Salazar, R.; Soihet, C.; Méndez, J. M. 2000a.** Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Nota técnica No. 7. p. 13-14.
- Salazar, R. 1987.** *Eucalyptus deglupta* una especie para las zonas bajas muy húmedas del trópico. Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple. SILVOENERGÍA No.24, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2 p.

- Salazar, R. 1988.** Comportamiento del *Eucalyptus deglupta* en Costa Rica. SILVOENERGÍA No 27, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2 p.
- Salazar, O. O. 1953.** Monografía de Turrialba / Historia general del Cantón de Turrialba desde la conquista hasta nuestros tiempos). 338 p.
- Salisbury, F. B.; Ross, C. W. 1994.** Fisiología Vegetal. Trad. González V. V. Grupo Editorial Iberoamericana. 759 p.
- Samper, M. K.; 1999.** Trayectoria y viabilidad de las caficultoras centroamericanas. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafío de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. P.1-68.
- Sanchez, S.A. 1994.** Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca, en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 91 p.
- Schroth, G; Lehmann, J, Rodríguez, M. R. L; Barros, E.; Macêdo, L. 2001.** Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. Agroforestry systems 53 p. 85-102.
- Segura, M. 1999.** Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 115 p.
- Seudieu, D.O. 1997.** Word Coffee economy: situation and outlook. In Echeverri, J.; Zamora, L. Eds. Memorias del 18º simposio Latinoamericano de caficultura. San José, Costa Rica: IICA-PROMECAFE. p. 13-24
- Siles, P. G. 2001.** Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y sin sombra. Tesis Mag., SC. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 88 p.
- Somarriba, E. 1999.** Regeneración natural de maderables en campos agrícolas. Agroforestería en las Américas. V. 6 (24) p.31-34.
- Somarriba, E. 1992.** Timber harvest, damage to crop plants and yield production in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. Agroforestry Systems 18:69-82
- Somarriba, E.; Domínguez, L.; Lucas, C. 1994.** Cacao-Platano; Producción Agrícola y crecimiento maderable. Resultados de ensayos del proyecto agroforestal CATIE/GTZ en la región de Changuinola, Panamá. Serie Técnica No. 233. Turrialba, Costa Rica. 64 p.
- Somarriba, E.; Beer, J. 1986.** Dimensiones, Volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. Serie Técnica, Boletín Técnico No. 16. CATIE, Turrialba, C. R. 23 p.

- Somarriba, E.; Valdivieso, R; Vázquez, W; Galloway, G. 2001.** Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry systems* 51: 111-118
- Suárez, I. A. 2001.** Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración naturales cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 74 p.
- Tavares, F. C.; Beer, J.; Jiménez, F.; Schroth, G.; Fonseca, C. 1999.** Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables en plantaciones de café. *Agroforestería en las Américas*. V. 6 (23) p.17-20.
- Torres, C. G.; Luján, F. R. 2002.** Especies forestales nativas para la reforestación en las regiones Brunca y Pacífico Central de Costa Rica. In Memoria del taller-seminario especies forestales nativas. Universidad Nacional de Costa Rica. p. 101-104.
- Turnbull, J.W; Pryor, L.D. 1978.** Choice of species and seed sources. In *Eucalypts for wood production*. Eds. Hillis W.E. y Brown A.G. p. 7-65.
- Turnbull, J. W. 1999.** Eucalypt plantations. *New Forests*. 17: 37-52.
- Ugalde, L. 1980.** Rendimiento y aprovechamiento de dos intensidades de raleos selectivos en *Eucalyptus deglupta* Blume en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE 128 p.
- Vaast, P.; Snoeck, D. 1999.** Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica y de la fertilidad biológica de los suelos cafetaleros. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. *Desafío de la caficultura en Centroamérica*. San José, Costa Rica. P.1-68.
- Vaast, P. 1999.** El mejoramiento de los sistemas agroforestales con café en Centroamérica. *Agroforestería en las Américas* 6 (23). P. 76
- Valdivieso, R.; Somarriba, E.; Galloway, G.; Vázquez, W.; Kass, D. 1998.** Crecimiento del laurel (*Cordia alliodora*) en sistemas agroforestales de Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. *Agroforestería en las Américas*. Vol. 5 (17-18 Enero-Junio). p. 54-58.
- Van Kanten, R. F. 2003.** Competitive Interactions Between *Coffea arabica* L. And Fast-Growing Timber Shade Trees. Tesis de doctorado, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 141 p.
- Viera, C. J.; Köpsell, E.; Beer, J.; Lok, R.; Calvo, G.1999.** Incentivos financieros para establecer y manejar árboles maderables en cafetales. *Agroforestería en las Américas*. V.6 (23) p.21-23.

**Winrock international 1998.** Avances en la medición de carbono en Guatemala. In Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Márquez, L.2000 (Ed). Fundación solar. 40 p.

**Winrock Internacional 2002.** <http://www.winrock.org/fact/facts.asp?BU=9061&CC=5146>, revisado mayo del 2002.

**Zanotti, R. 1995.** El potencial del mercado de la madera y la leña proveniente del sombrío de los cafetales. Boletín PROMECAFE, poenecias.

**ANEXOS**

## 17.1. Lista de cuadros

### Anexo 1. Formato de entrevista a productores

#### I. Información General

No. de finca: \_\_\_\_\_ Entrevistado: \_\_\_\_\_

Nombre de la finca: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_

Comunidad: \_\_\_\_\_

Distrito: \_\_\_\_\_

Cantón: \_\_\_\_\_

Provincia: \_\_\_\_\_

**Años de experiencia como caficultor:** \_\_\_\_\_

#### Tamaño de la finca

Área de la finca: \_\_\_\_\_ Manzanas

No. de familiares dependientes: \_\_\_\_\_

Actividades extras al cultivo del café y otros usos de la tierra (Distribución):

Rubros	Área (Manzanas)	Importancia en sus ingresos (%)

Actividad	Importancia en sus ingresos (%)

Café, Hortalizas, Ganadería

No. de trabajadores asalariados : Permanentes \_\_\_\_\_ Temporales: \_\_\_\_\_

#### II. Características biofísicas de la finca

3.3.1 Altitud: \_\_\_\_\_ Temperatura: \_\_\_\_\_ Precipitación: \_\_\_\_\_

3.3.2 Suelo: Textura \_\_\_\_\_ Pedregosidad \_\_\_\_\_ Pendiente: \_\_\_\_\_

#### Problemas de la finca

Viento: \_\_\_\_\_ Topografía: \_\_\_\_\_

Frío: \_\_\_\_\_ Exceso de lluvia: \_\_\_\_\_ Sequía: \_\_\_\_\_

Plagas: \_\_\_\_\_

3.3.2 **Uso anterior del suelo:** \_\_\_\_\_

#### Sombra

Lote No.	especies	Ubicación		Edad
		Intercalados	Bordes	

#### III. MANEJO DE ÁRBOLES/PARCELA

No. parcela	Actividades	Meses	Insumos	Cantidad (Mz)	Frecuencia	Costos	Jornal	Costo Total

EDAD DE LOS ÁRBOLES: \_\_\_\_\_

**IV. MANEJO AGRONÓMICO ACTUAL DEL CAFETAL**

**FERTILIZACIÓN**

Meses en que lo realiza al año:

Fertilizantes utilizados:

Cantidades aplicadas por manzana:

Producción por manzana: \_\_\_\_\_ (cereza, oro)

3.3.3 No. de lotes: \_\_\_\_\_ Producción total: \_\_\_\_\_ (Cereza, oro)

Lote No.	Variedad	Densidad	Superficie (Mz)	Edad	Producción

**PODA DEL CAFÉ**

Frecuencia anual:

**CONTROL DE PLAGAS:**

Frecuencia:

Insumos:

LIMPIEZA:

**V. MANEJO AGRONÓMICO ANTERIOR DEL CAFETAL (Precios altos)**

**FERTILIZACIÓN**

Meses en que lo realiza al año:

Fertilizantes utilizados:

Cantidades aplicadas por manzana:

Producción por manzana: \_\_\_\_\_ (cereza, oro)

3.3.4 No. de lotes: \_\_\_\_\_ Producción total: \_\_\_\_\_ (Cereza, oro)

Lote No.	Variedad	Densidad	Superficie (Mz)	Edad	Producción

**OBSERVACIONES**

**PODA DEL CAFÉ**

**CONTROL DE PLAGAS:**

LIMPIEZA:

Preferencia por el uso de estas especies de árboles en los cafetales:

Productos secundarios que se obtienen del cafetal:

OBSERVACIONES:

**Anexo 2.** Biomasa y carbono aéreo estimados para laurel (*C. alliodora*) y sus IMAS promedio a diferentes edades estimadas en la

Finca	ASNM	Edad árbol (años)	Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	BiomasaTotal (t ha <sup>-1</sup> )	CarbonoTotal (t ha <sup>-1</sup> )	IMAbiomasa (t ha <sup>-1</sup> )	IMAcarbono (t ha <sup>-1</sup> )
1	672	15	150	71,09	35,55	4,77	2,39
2	690	13	163	83,97	41,98	6,36	3,18
3	685	16	133	80,92	40,46	5,09	2,54
4	727	12	127	29,82	14,91	2,53	1,26
5	707	13	110	33,10	16,55	2,57	1,28
6	721	13	125	42,46	21,23	3,29	1,65
7	744	9	280	29,94	14,97	3,36	1,68
8	726	14	130	52,81	26,40	3,83	1,91
9	703	14	180	107,41	53,70	7,51	3,76
10	732	14	138	71,05	35,53	5,19	2,59
11	652	17	243	183,73	91,87	11,00	5,50
12	768	10	287	52,50	26,25	5,53	2,76
13	619	12	223	62,51	31,25	5,17	2,58
14	793	12	133	32,65	16,33	2,79	1,40
15	827	12	190	48,96	24,48	4,05	2,02
16	811	16	360	243,55	121,77	15,61	7,81
17	735	15	170	88,28	44,14	5,97	2,98
18	711	14	200	91,85	45,92	6,42	3,21
19	792	12	130	33,77	16,88	2,81	1,41
20	697	15	210	101,52	50,76	6,77	3,38



**Anexo 3.** Biomasa y carbono aéreo estimados para eucalipto (*E. deglupta*) y sus IMAS a diferentes edades en la región de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003).

Finca	ASNM	Edad árbol (años)	Densidad (Arb ha <sup>-1</sup> )	BiomasaTotal (t ha <sup>-1</sup> )	CarbonoTotal (t ha <sup>-1</sup> )	IMAbiomasa (t ha <sup>-1</sup> )	IMAcarbono (t ha <sup>-1</sup> )
1	920	7	70	25,20	12,60	3,60	1,80
2	935	8	40	20,38	10,19	2,55	1,27
3	922	4	50	11,75	5,87	2,94	1,47
4	1337	7	140	22,87	11,43	3,27	1,63
5	998	11	70	19,62	9,81	1,78	0,89
6	1140	7	50	24,32	12,16	3,47	1,74
7	1152	13	140	96,55	48,28	7,43	3,71
8	1096	8	120	28,13	14,07	3,52	1,76
9	1047	15	30	16,49	8,25	1,10	0,55
10	1026	9	60	22,11	11,05	2,46	1,23
11	961	9	190	55,10	27,55	6,12	3,06
12	873	8	50	32,50	16,25	4,06	2,03
13	873	7	50	21,92	10,96	3,13	1,57
14	1015	7	40	9,59	4,79	1,37	0,68
15	1015	8	150	56,96	28,48	7,12	3,56
16	989	7	40	27,07	13,54	3,87	1,93
17	789	5	60	10,32	5,16	2,06	1,03
18	981	7	70	13,91	6,95	1,99	0,99
19	1071	10	60	27,12	13,56	2,71	1,36
20	1085	4	90	19,61	9,80	4,90	2,45
21	1041	10	70	34,11	17,06	3,41	1,71

**Anexo 4.** Biomasa y carbono aéreo estimados para amarillón (*T. amazonia*) y sus IMAS a diferentes edades en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>ASNM</b>	<b>Edad árbol (años)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>BiomasaTotal (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>CarbonoTotal (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMABiomasa (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMAcarbono (t ha<sup>-1</sup>)</b>
1	741	10	310	37,19	17,85	3,72	1,78
2	773	8	250	42,18	20,24	5,27	2,53
3	842	8	660	98,13	47,10	12,27	5,89
4	818	8	700	75,51	36,24	9,44	4,53
5	912	8	400	62,81	30,15	7,85	3,77
6	733	7	450	50,40	24,19	7,20	3,46
7	829	10	490	88,97	42,71	8,90	4,27
8	742	6	380	30,56	14,67	5,09	2,44
9	721	10	600	90,55	43,46	9,06	4,35
10	844	13	580	155,33	74,56	11,95	5,74
11	741	13	110	42,72	20,51	3,29	1,58
12	728	7	230	46,14	22,15	6,59	3,16
13	636	8	130	46,62	22,38	5,83	2,80
14	934	8	670	97,00	46,56	12,13	5,82
15	703	10	350	109,39	52,51	10,94	5,25
16	916	9	280	84,40	40,51	9,38	4,50
17	814	9	120	33,53	16,09	3,73	1,79
18	568	4	630	25,51	12,25	6,38	3,06
19	724	7	120	20,92	10,04	2,99	1,43
20	636	8	310	76,18	36,56	9,52	4,57
21	641	8	410	100,75	48,36	12,59	6,04
22	873	8	130	15,47	7,42	1,93	0,93
23	543	10	310	70,21	33,70	7,02	3,37
24	842	10	500	94,87	45,54	9,49	4,55
25	550	10	210	60,93	29,25	6,09	2,92

**Anexo 5.** Biomasa aérea total e IMA promedio por árbol de *C. alliodora* para cada edad y densidad encontrada en los cafetales de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>Edad (Años)</b>	<b>PromDAP (cm)</b>	<b>PromAlt (m)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>BiomTotPromArb (Kg)</b>	<b>IMABiomasaArb (Kg año<sup>-1</sup>)</b>
1	15	31,58	21,20	150	473,96	31,60
2	13	28,24	19,76	163	514,07	39,54
3	16	33,42	24,17	133	606,91	37,93
4	12	25,53	14,70	127	235,44	19,62
5	13	27,73	16,33	110	300,87	23,14
6	13	27,79	19,70	125	339,70	26,13
7	9	19,14	13,10	280	106,94	11,88
8	14	29,41	18,90	130	406,22	29,02
9	14	30,39	24,18	180	596,72	42,62
10	14	29,32	22,69	138	516,73	36,91
11	17	34,73	23,62		755,08	44,42
12	10	20,43	15,96	287	183,13	18,31
13	12	26,05	17,38	223	279,88	23,32
14	12	25,28	17,24	133	244,88	20,41
15	12	26,03	17,50	190	257,69	21,47
16	16	32,97	24,20		676,53	42,28
17	15	31,35	24,63	170	519,31	34,62
18	14	30,46	23,10	200	459,24	32,80
19	12	25,97	16,05	130	259,76	21,65
20	15	31,66	19,95	210	483,43	32,23

**Anexo 6.** Biomasa aérea total e IMA promedio por árbol de *E. deglupta* para cada edad y densidad encontrada en los cafetales de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>Edad (Años)</b>	<b>PromDAP (cm)</b>	<b>PromAlt (m)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>BiomTotPromArb (Kg)</b>	<b>IMAbiomasaArb (Kg año<sup>-1</sup>)</b>
1	7	28,58	22,20	70	290,44	41,49
2	8	37,49	22,52	40	411,07	51,38
3	4	26,71	17,51	50	189,55	47,39
4	7	22,94	15,72	140	131,80	18,83
5	11	30,71	18,62	70	226,10	20,55
6	7	37,47	22,41	50	392,41	56,06
7	13	39,41	25,47	140	556,43	42,80
8	8	28,61	16,90	120	189,15	23,64
9	15	38,99	23,15	30	443,55	29,57
10	9	33,54	20,10	60	297,29	33,03
11	9	25,29	21,02	190	233,98	26,00
12	8	41,82	24,43	50	524,44	65,56
13	7	33,72	22,55	50	353,77	50,54
14	7	28,75	17,30	40	193,36	27,62
15	8	31,99	21,17	150	306,36	38,29
16	7	41,45	25,25	40	546,08	78,01
17	5	24,28	15,58	60	138,72	27,74
18	7	26,05	16,68	70	160,30	22,90
19	10	33,19	22,70	60	364,73	36,47
20	4	24,71	18,00	90	175,78	43,95
21	10	35,09	22,87	70	393,19	39,32

**Anexo 7.** Biomasa aérea total e IMA promedio por árbol de *T.amazonia* para cada edad y densidad encontrada en los cafetales de San Isidro de Pérez Zeledón, San José, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>Edad (Años)</b>	<b>PromDAP (cm)</b>	<b>PromAlt (m)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>BiomTotPromArb (Kg)</b>	<b>IMAbiomasaArb (Kg año<sup>-1</sup>)</b>
1	10	14,37	13,67	310	119,95	12,00
2	8	16,77	13,24	250	168,70	21,09
3	8	15,75	15,05	660	148,68	18,59
4	8	13,95	12,70	700	107,87	13,48
5	8	16,16	12,05	400	157,02	19,63
6	7	14,16	13,00	450	112,01	16,00
7	10	16,98	14,77	490	181,58	18,16
8	6	11,96	10,05	380	80,41	13,40
9	10	16,05	15,08	600	150,92	15,09
10	13	20,08	19,35	580	267,82	20,60
11	13	23,78	18,60	110	388,36	29,87
12	7	17,89	15,22	230	200,61	28,66
13	8	22,98	20,52	130	358,62	44,83
14	8	15,66	12,67	670	144,78	18,10
15	10	21,41	20,10	350	312,54	31,25
16	9	21,21	20,98	280	301,42	33,49
17	9	20,60	15,98	120	279,39	31,04
18	4	9,25	7,20	630	40,50	10,12
19	7	16,91	13,60	120	174,29	24,90
20	8	19,62	15,65	310	245,73	30,72
21	8	19,57	16,88	410	245,73	30,72
22	8	14,55	11,60	130	118,98	14,87
23	10	18,76	14,51	310	226,48	22,65
24	10	17,45	16,87	500	189,74	18,97
25	10	20,89	19,38	210	290,15	29,02

**Anexo 8.** Porcentaje del dosel ocupado y radiación fotosintéticamente activa (RAFA) absorbida por los árboles de laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>Edad árbol (años)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ocupación del Dosel (%)</b>	<b>Absorción de RAFA (%)*</b>
1	15	150	64,60	27,90
2	13	163	45,51	35,23
3	16	133	60,65	0,00
4	12	127	48,82	24,01
5	13	110	56,91	43,62
6	13	125	62,80	38,18
7	9	280	64,66	35,80
8	14	130	57,23	40,40
9	14	180	76,54	32,40
10	14	138	57,56	51,41
11	17	243	75,24	38,88
12	10	287	70,75	42,60
13	12	223	70,84	43,55
14	12	133	60,33	54,95
15	12	190	67,05	50,49
16	16	360	73,81	68,42
17	15	170	84,27	57,24
18	14	200	81,61	74,77
19	12	130	63,54	45,46
20	15	210	72,96	65,15

\* Radiación fotosintéticamente activa que se queda en la copa de los árboles y no llega a los cafetos

**Anexo 9.** Porcentaje del dosel ocupado y radiación fotosintéticamente activa (RAFA) absorbida por los árboles de eucalipto (*E. deglupta*)

<b>Finca</b>	<b>Edad árbol (años)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ocupación del Dosel (%)</b>	<b>Absorción de RAFA (%) *</b>
1	7	70	81,78	32,63
2	8	40	66,53	25,66
3	4	50	54,31	44,52
4	7	140	86,87	52,86
5	11	70	75,69	22,73
6	7	50	65,68	39,69
7	13	140	83,30	41,94
8	8	120	73,81	59,94
9	15	30	54,24	54,24
10	9	60	78,49	43,75
11	9	190		
12	8	50	65,42	52,11
13	7	50	67,89	70,12
14	7	40	52,16	59,20
15	8	150	74,13	40,69
16	7	40	75,11	58,73
17	5	60	79,27	51,21
18	7	70	57,49	72,03
19	10	60	79,72	65,73
20	4	90	76,60	69,71
21	10	70	83,56	79,57

\* Radiación fotosintéticamente activa que se queda en la copa de los árboles y no llega a los cafetos

**Anexo 10.** Porcentaje del dosel ocupado y radiación fotosintéticamente activa (RAFA) absorbida por los árboles de amarillón (*T. amazonia*)

<b>Finca</b>	<b>Edad árbol (años)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ocupación del Dosel (%)</b>	<b>Absorción de RAFA (%) *</b>
1	10	310	68,22	54,94
2	8	250	66,85	63,76
3	8	660	79,59	50,54
4	8	700	74,33	47,76
5	8	400	76,93	67,94
6	7	450	83,69	73,76
7	10	490	76,60	63,09
8	6	380	79,14	64,98
9	10	600	82,78	64,00
10	13	580	92,27	35,39
11	13	110	63,99	69,72
12	7	230	89,93	77,03
13	8	130	71,53	80,82
14	8	670	88,89	89,16
15	10	350	91,03	84,11
16	9	280	90,71	64,86
17	9	120	48,85	85,92
18	4	630	67,11	77,81
19	7	120	53,66	79,76
20	8	310	83,95	82,65
21	8	410	87,78	90,62
22	8	130	57,17	89,36
23	10	310	80,96	91,82
24	10	500	92,92	87,45
25	10	210	90,38	85,24



**Anexo 11.** Datos del manejo y producción del café antes de la caída de los precios y actualmente en la región de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003).

Finca	Área Total (ha)	Área de café (ha)	DensidadCafé (plantas ha <sup>-1</sup> )	ProdAnterior (fanegas ha <sup>-1</sup> )	ProdActual (fanegas ha <sup>-1</sup> )	SacosAnteriores (ha)	SacosActuales (ha)	limpiezas anteriores	limpiezas actuales
1	7,50	6,00	5000	60,00	20,83	23,00	7,00	4	6
2	4,00	4,00	4444	35,00	3,00	6,00	0,00	3	3
3	2,00	2,00	5000	40,00	25,00	12,00	6,00	3	4
4	12,60	10,50	3333	17,62	12,86	20,00	10,00	3	3
5	5,00	5,00	2268	40,00	28,00	14,50	9,40	5	5
6	1,30	1,30	5000	53,85	4,62	9,23	0,00	2	2
7	3,50	2,80	7353	35,71	17,14	22,86	11,43	1	3
8	6,30	3,50	5000	42,86	35,71	14,29	4,29	3	3
9	2,80	2,45	4444	32,65	7,35	10,00	5,00	1	1
10	8,40	8,40	5000		14,29		17,14		5
11	1,40	1,40	5882	18,57	15,71	5,71	5,71	2	2
12	1,40	1,40	5000	15,71	7,14	5,71	0,00	2	1
13	5,00	3,00	5714	35,00	20,00	16,00	8,00	3	1
14	70,00	18,00	5000	20,00	15,00	14,00	4,00	5	5
15	5,60	1,40	5000	12,86	12,86	5,70	5,70	3	3
16	5,50	3,00	5952	26,67	20,00	12,00	8,00	3	3
17	4,20	4,20	5000	14,29	5,24	25,71		3	4
18	2,00	2,00	3333	20,00	9,00	10,00	5,00	5	5
19	4,20	2,45	4724	35,70	28,60	8,60	5,71	3	3
20	4,50	2,50	5000	40,00	16,00	20,00	0,00	4	3

1 saco = 1 quintal = 46 kg

**Anexo 12.** Datos del manejo y producción del café antes de la caída de los precios y actualmente en la región de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003).

Finca	Área Total (ha)	Área de café (ha)	DensidadCafé (plantas ha <sup>-1</sup> )	ProdAnterior (fanegas ha <sup>-1</sup> )	ProdActual (fanegas ha <sup>-1</sup> )	SacosAnteriores (ha)	SacosActuale (ha)	limpiezas anteriores	limpiezas actuales
1	60,20	60,20	5000		21,43		8,57		3
2	113,40	113,40	5556	26,46	22,05	34,29	22,86	3	2
3	70,00	70,00	5000	42,86	35,71	21,43	20,00	2	2
4	8,40	8,40	5952	57,14	42,86	25,71	17,14	3	3
5	4,90	1,05	4724	50,00	42,80	14,20	14,20	5	5
6	79,80	79,80	3019	67,14	47,14	25,71	25,71	2	2
7	25,90	24,50	5000	75,51	60,41	27,18	18,12	3	3
8	10,50	7,00	6250	128,57	85,71	51,43	17,14	4	3
9	210,00	196,00	7086	45,92	45,92	22,96	22,96	3	3
10	7,70	6,30	5000	55,87	40,16	26,19	0,00	3	3
11	3,00	3,00	5000	25,00	6,67	90,00	0,00	3	3
12	70,00	70,00	6614	48,57	22,86	27,86	27,86	2	2
13	147,00	147,00	5000	27,21	27,21	18,71	18,71	2	2
14	35,00	35,00	5000	64,29	38,57	25,71	17,14	2	2
15	35,00	35,00	5000	52,86	52,86	23,57	23,57	3	3
16	70,00	70,00	5848	42,86	28,57	19,29	19,29	3	3
17	6,00	6,00	5000	35,00	30,00	27,00	17,00	3	2
18	15,00	15,00	5000	35,00	30,00	27,00	17,00	3	2
19	70,00	56,00	5000	53,57	53,57	42,86	42,86	3	3
20	50,40	50,40	5000	50,00	50,00	17,14	17,14	3	3
21	52,50	52,50	5000	57,14	47,62	22,86	14,29	3	3

1 saco = 1 quintal = 46 kg

**Anexo 13.** Datos del manejo y producción del café antes de la caída de los precios y actualmente en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica (2003).

Finca	Área Total (ha)	Área de café (ha)	DensidadCafé (plantas ha <sup>-1</sup> )	ProdAnterior (fanegas ha <sup>-1</sup> )	ProdActual (fanegas ha <sup>-1</sup> )	SacosAnteriores (ha)	SacosActuales (ha)	limpiezas anteriores	limpiezas actuales
1	2,00	2,00	6536	25,00	5,00	15,00	2,00	2	2
2	1,75	1,75	4669	28,57	6,29	27,00	12,00	2	2
3	16,00	2,75	5000	50,09	29,09	24,00	12,00	3	2
4	2,10	2,10	5000	9,52	4,76	21,43	7,14	3	2
5	15,40	3,50	5000	52,00	22,00	21,43	7,14	2	2
6	70,00	1,40	5000		15,00	35,71	2,86	3	3
7	2,10	1,40	5669	50,00	25,00	30,00	0,00	3	3
8	5,00	3,50	5000		15,71	5,71	4,86	3	3
9	3,50	3,20	5000		30,00		18,00	0	3
10	4,20	4,20	5000		7,86		8,57		4
11	7,00	3,10	7003	40,45	31,26	22,06	22,06	2	2
12	16,10	4,20	5000	30,00	28,57	14,29	14,29	2	3
13	4,90	4,20	6667	30,95	23,81	14,29	9,52	2	3
14	140,00	7,00	5000	28,57	21,43	21,43	14,29	3	3
15	5,00	4,00	2500	30,00	30,00	9,00	9,00	3	3
16	7,50	3,30	5000	28,00		24,00		3	0
17	35,00	21,00	6667		33,33	25,71	25,71	2	2
18	35,00	9,10	5000	50,00	50,00	22,86	22,86	3	3
19	4,90	4,90	6667	10,20		8,16			3
20	3,50	3,50	5000	20,00	14,29	8,57	4,29	2	2
21	9,00	3,00	5000	120,00	26,67	45,00	30,00	3	3
22	1,50	1,50	5000	30,00	26,67	8,00	8,00	2	2
23	11,00	3,00	5669	45,00	30,00	10,00	10,00	2	2
24	3,50	2,10	5000	38,10	5,71	17,14	5,71	4	4
25	4,90	2,80	5000	28,57	8,93	21,43	0,00	2	2

1 saco = 1 quintal = 46 kg

**Anexo 14.** Ingresos estimados por venta de madera a diferentes edades y densidades de Laurel (*C. alliodora*) en la región de La Suiza, Turrialba, Cartago, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>Edad árbol (años)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor Madera (US\$ m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ingresos Madera En Pie (US\$)</b>
1	15	150	113,61	52,00	5908,06
2	13	163	141,03	52,00	7334,23
3	16	133	129,31	52,00	6724,65
4	12	127	47,65	52,00	2478,28
5	13	110	52,89	52,00	2750,29
6	13	125	64,87	52,00	3373,69
7	9	280	47,85	52,00	2488,40
8	14	130	84,39	52,00	4388,43
9	14	180	171,63	52,00	8925,82
10	14	138	111,01	52,00	5773,28
11	17	243	293,60	52,00	15268,61
12	10	287	83,89	52,00	4362,51
13	12	223	99,88	52,00	5194,33
14	12	133	52,17	52,00	2713,34
15	12	190	78,24	52,00	4068,76
16	16	360	389,18	52,00	20239,25
17	15	170	141,07	52,00	7336,40
18	14	200	146,77	52,00	7632,67
19	12	130	53,96	52,00	2806,21
20	15	210	162,22	52,00	8436,47

**Anexo 15.** Ingresos estimados por venta de madera a diferentes edades y densidades de eucalipto (*E. deglupta*) en la región de Grecia-Naranjo, Alajuela, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>Edad árbol (años)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor Madera (US\$ m<sup>3</sup>)</b>	<b>IngresosMaderaEnPie (US\$)</b>
1	7	70	38,44	23,29	895,01
2	8	40	31,09	23,29	723,85
3	4	50	17,92	23,29	417,23
4	7	140	34,88	23,29	812,30
5	11	70	29,92	23,29	696,74
6	7	50	37,09	23,29	863,74
7	13	140	147,27	23,29	3429,35
8	8	120	42,91	23,29	999,23
9	15	30	25,16	23,29	585,79
10	9	60	33,72	23,29	785,25
11	9	190	84,05	23,29	1957,11
12	8	50	49,57	23,29	1154,36
13	7	50	33,44	23,29	778,68
14	7	40	14,62	23,29	340,49
15	8	150	86,88	23,29	2022,98
16	7	40	41,30	23,29	961,59
17	5	60	15,73	23,29	366,40
18	7	70	21,21	23,29	493,97
19	10	60	41,37	23,29	963,38
20	4	90	29,91	23,29	696,45
21	10	70	52,03	23,29	1211,65

**Anexo 16.** Ingresos estimados por venta de madera a diferentes edades y densidades de amarillón (*T. amazonia*) en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica (2003).

<b>Finca</b>	<b>Edad árbol (años)</b>	<b>Densidad (Arb ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor Madera (US\$ m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ingresos Madera En Pie (US\$)</b>
1	10	310	36,71	46,57	1709,54
2	8	250	36,03	46,57	1677,91
3	8	660	104,52	46,57	4867,88
4	8	700	69,49	46,57	3236,36
5	8	400	48,51	46,57	2258,96
6	7	450	47,14	46,57	2195,38
7	10	490	89,02	46,57	4146,01
8	6	380	23,42	46,57	1090,93
9	10	600	93,62	46,57	4360,04
10	13	580	194,28	46,57	9047,81
11	13	110	45,21	46,57	2105,39
12	7	230	46,04	46,57	2144,00
13	8	130	58,03	46,57	2702,69
14	8	670	81,34	46,57	3788,08
15	10	350	136,80	46,57	6371,16
16	9	280	113,37	46,57	5279,78
17	9	120	32,90	46,57	1531,98
18	4	630	14,22	46,57	662,16
19	7	120	18,71	46,57	871,43
20	8	310	72,53	46,57	3377,96
21	8	410	108,01	46,57	5030,32
22	8	130	12,19	46,57	567,91
23	10	310	64,66	46,57	3011,36
24	10	500	108,58	46,57	5056,71
25	10	210	74,78	46,57	3482,56

## 17.2. Lista de figuras

Figura 1

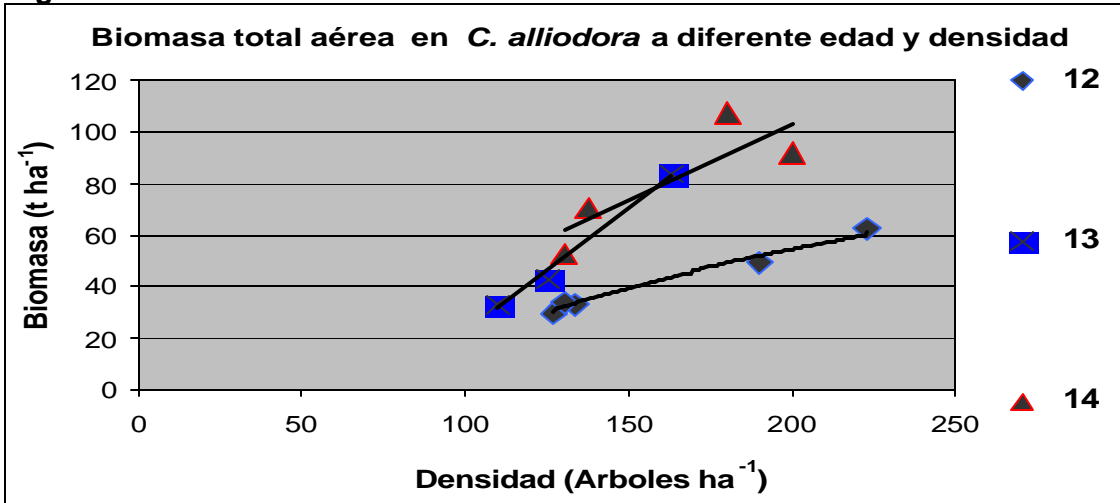


Figura 2

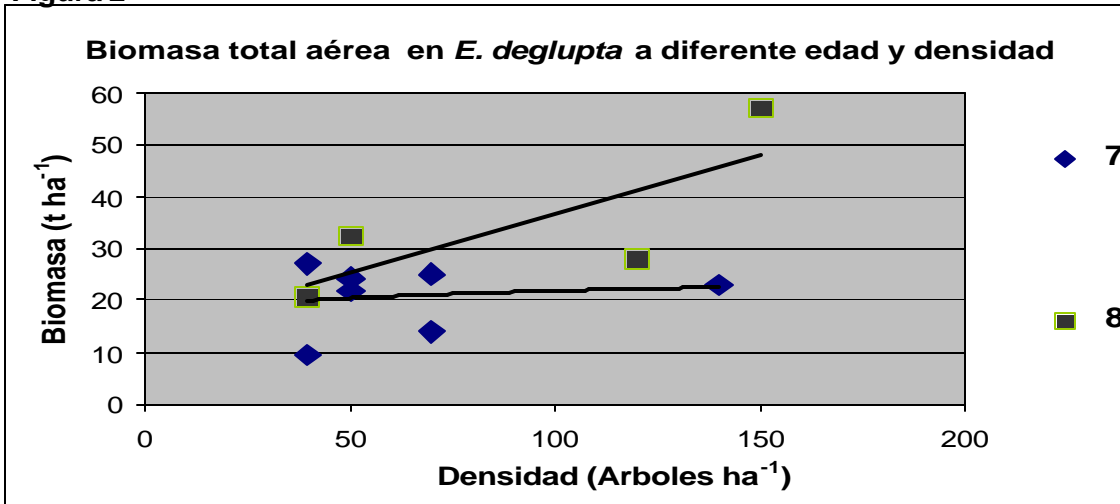


Figura 3

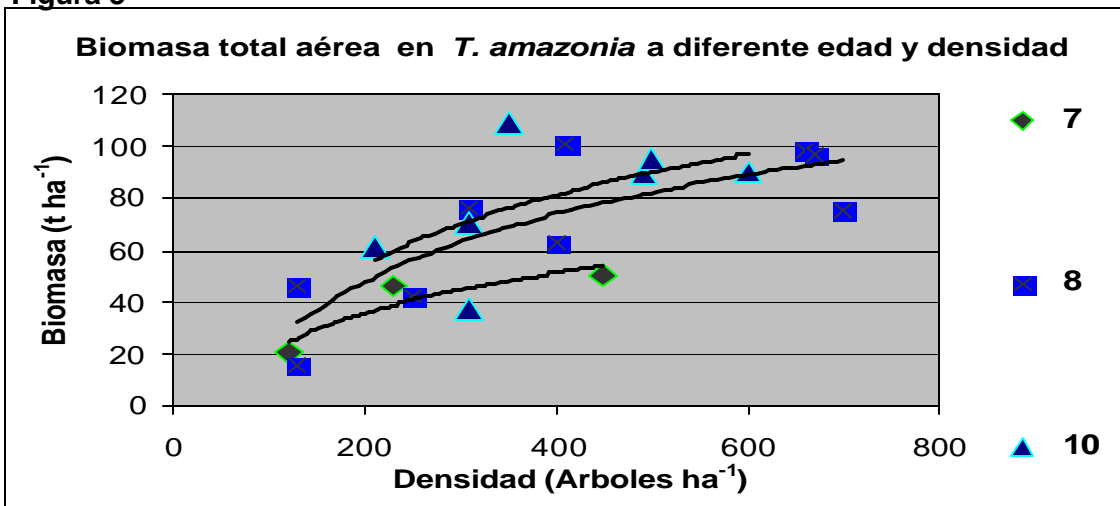


Figura 4

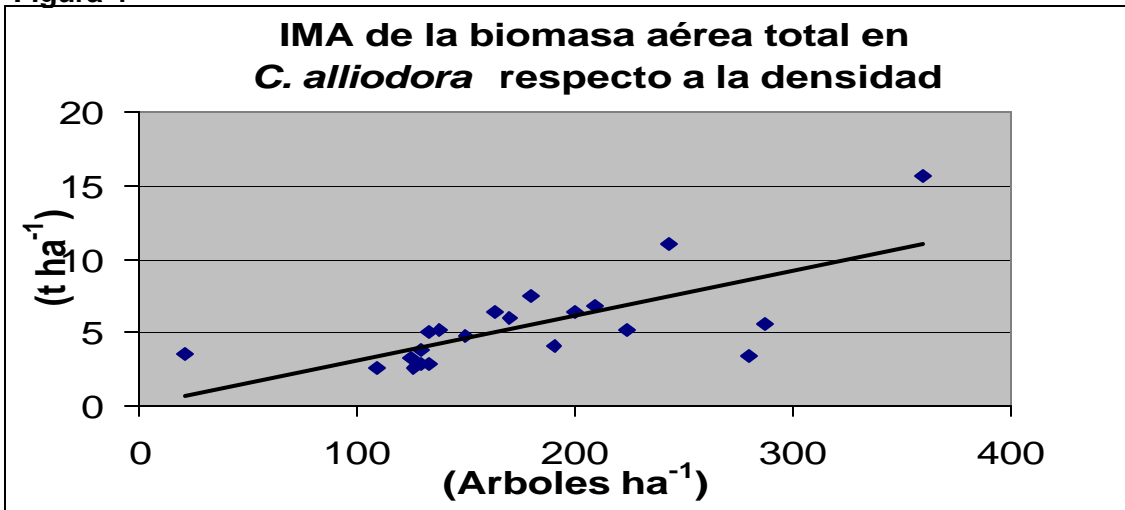


Figura 5

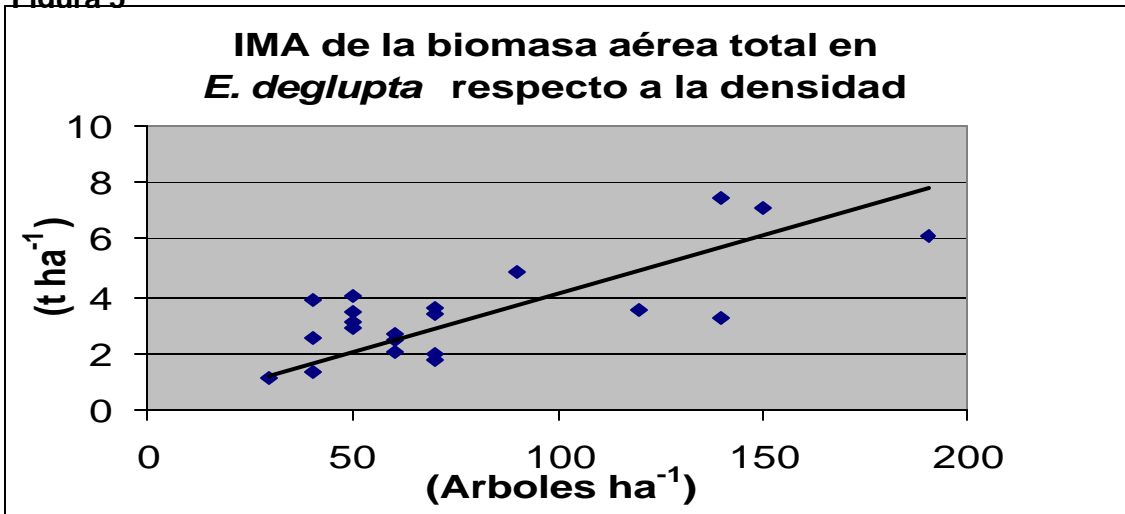


Figura 6

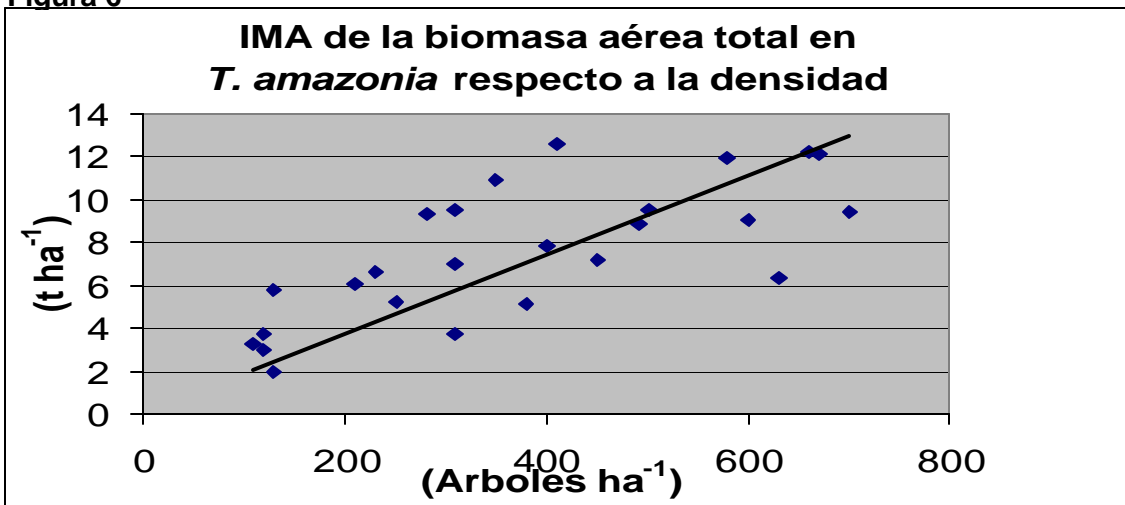




Figura 7

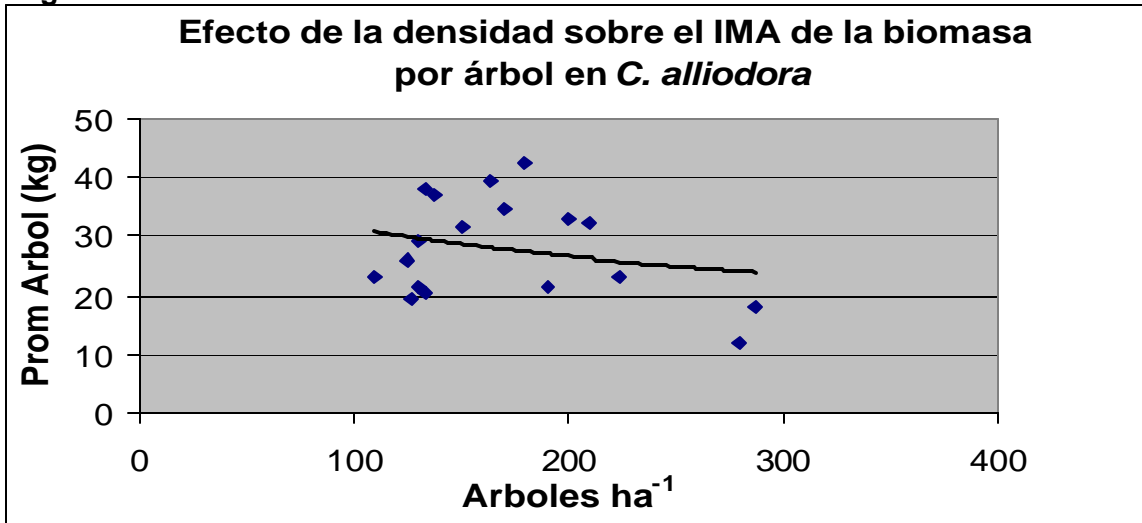


Figura 8

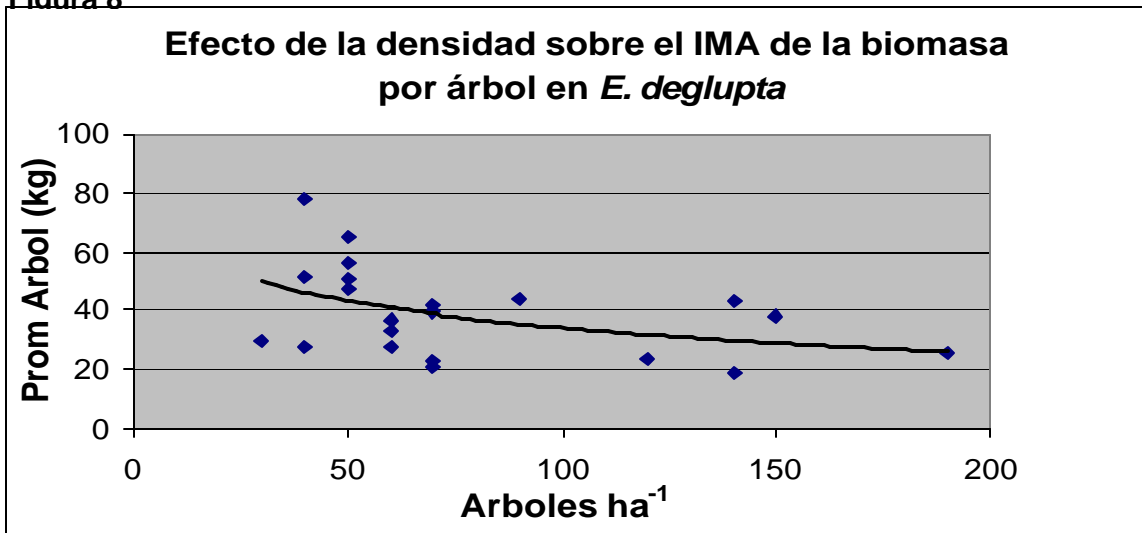


Figura 9

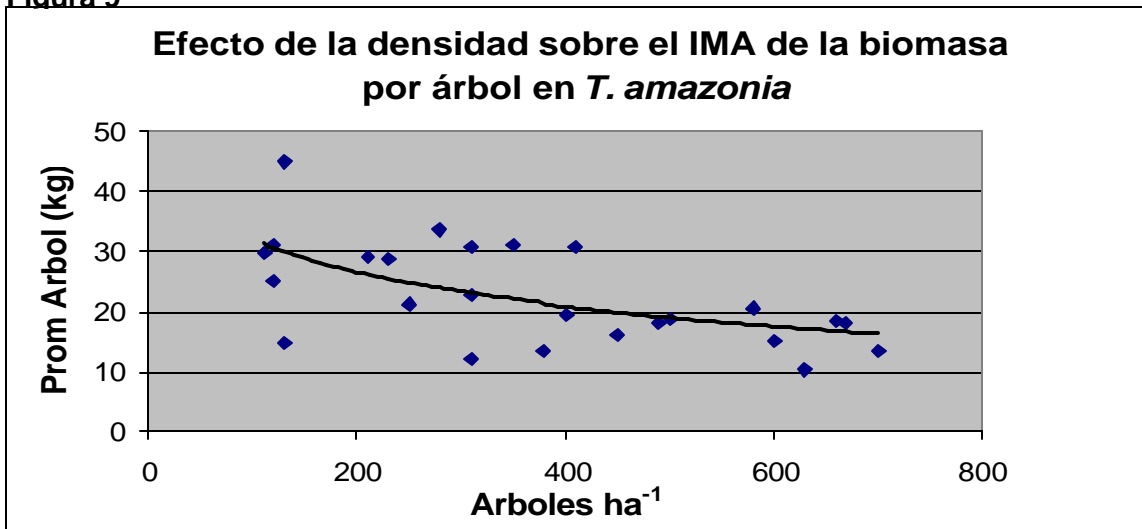


Figura 10

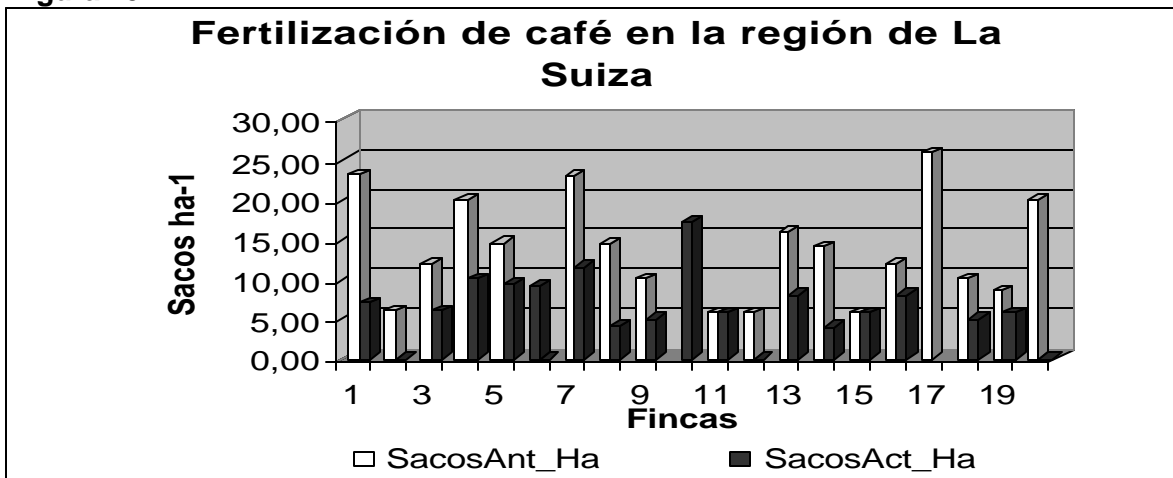


Figura 11

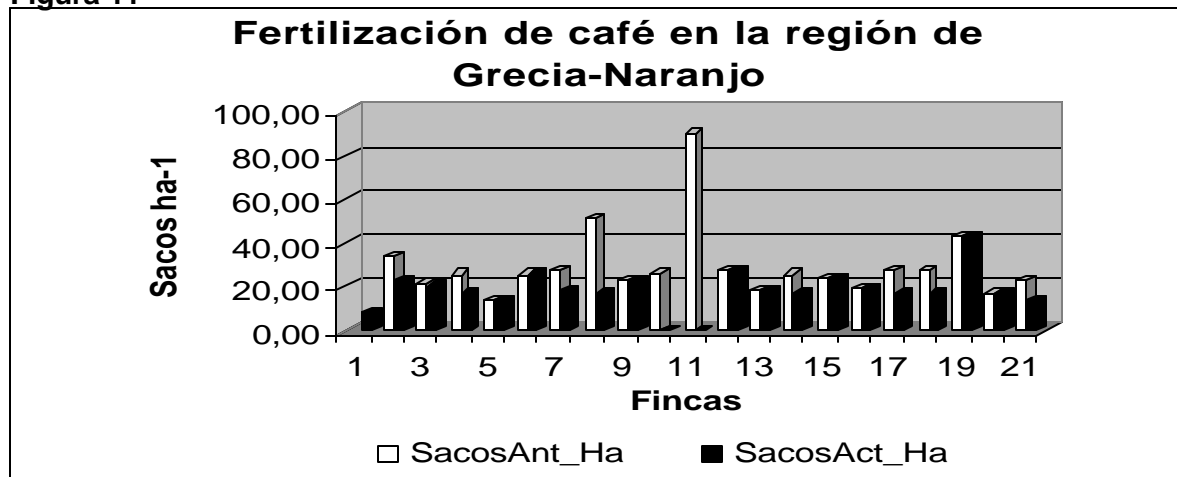


Figura 12

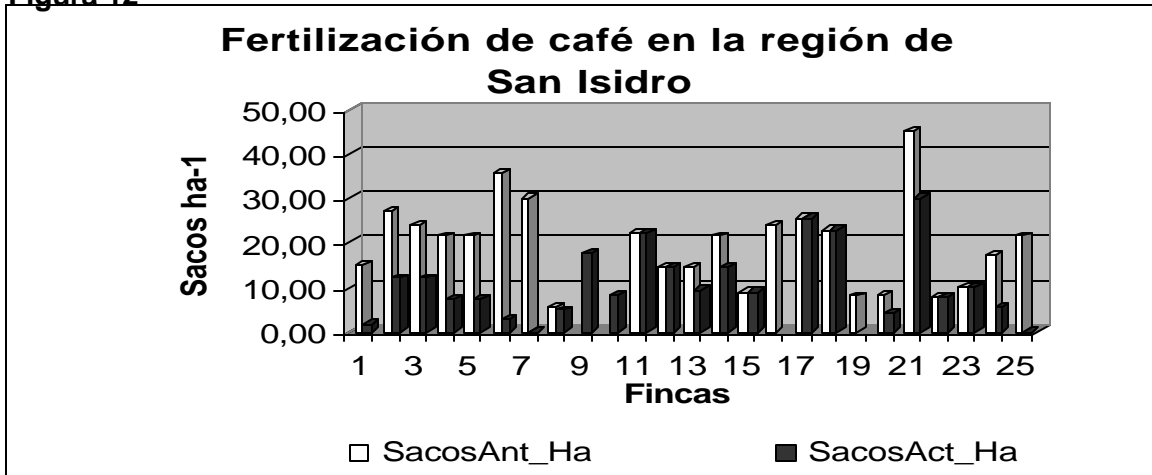


Figura 13

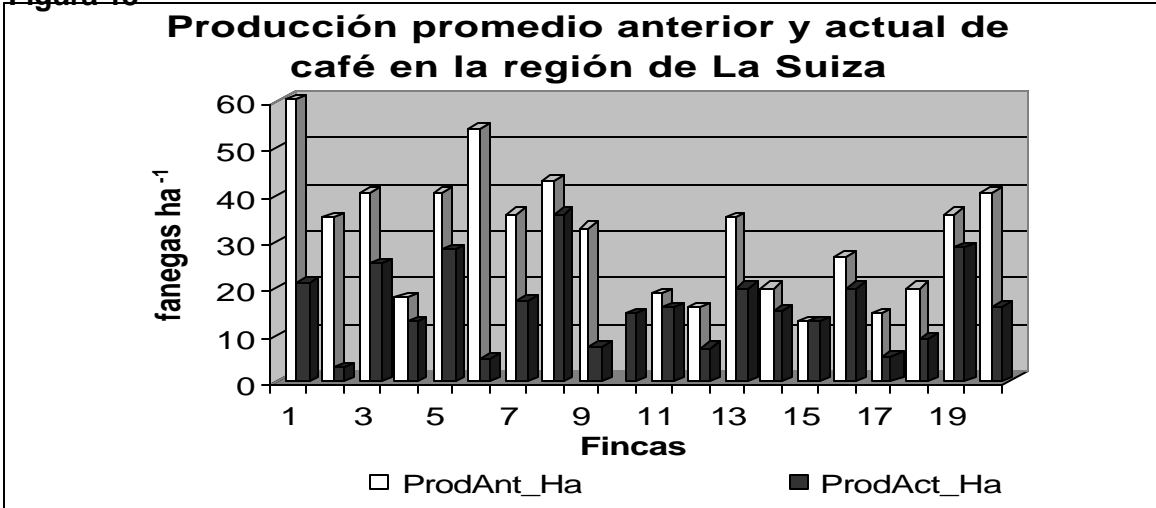


Figura 14

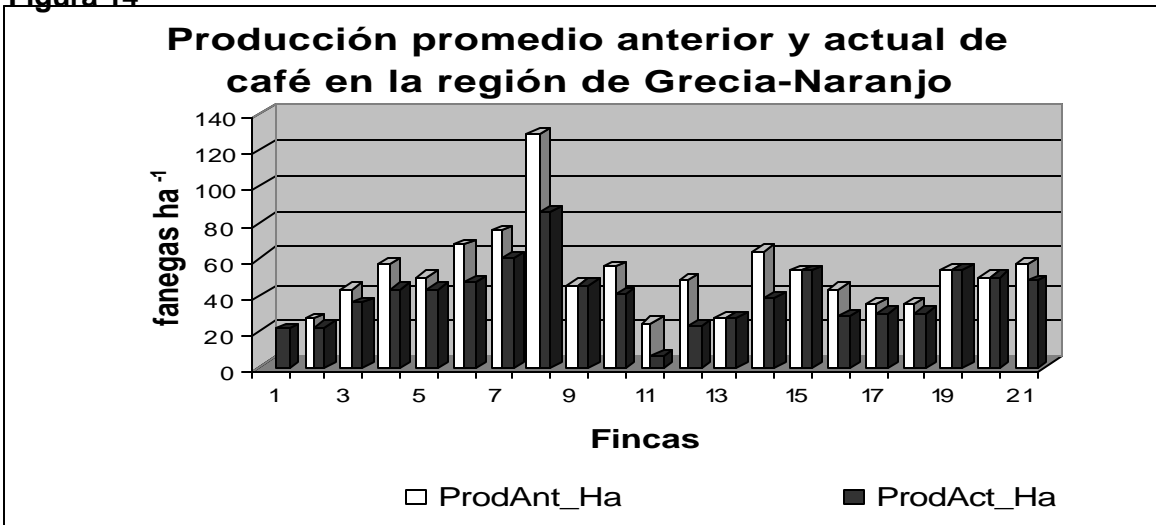


Figura 15

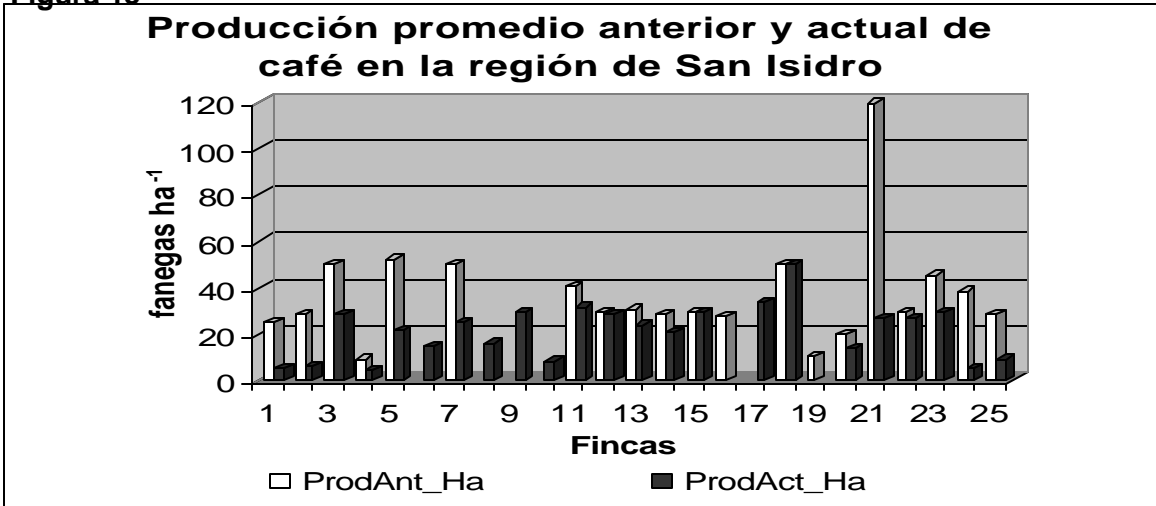


Figura 16

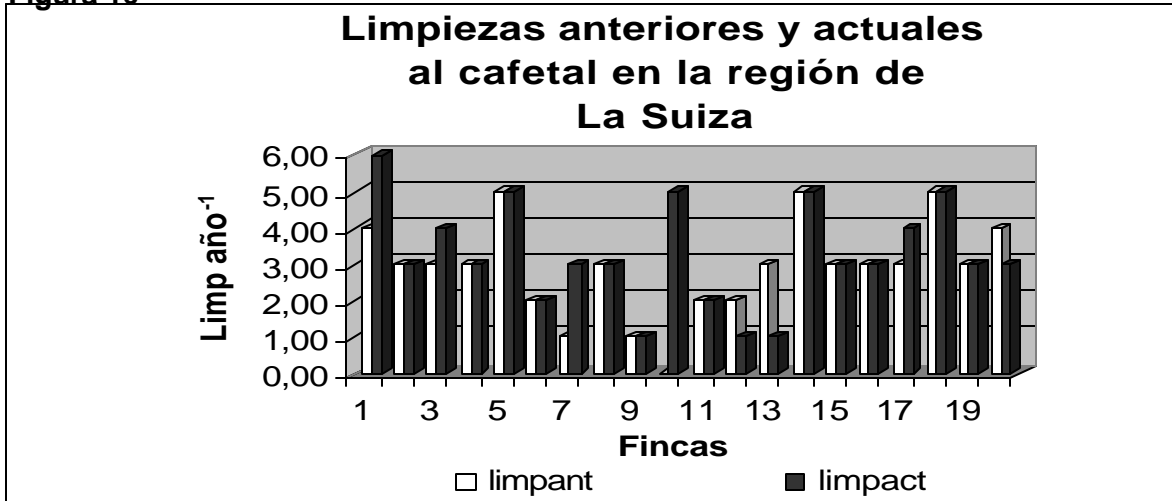


Figura 17

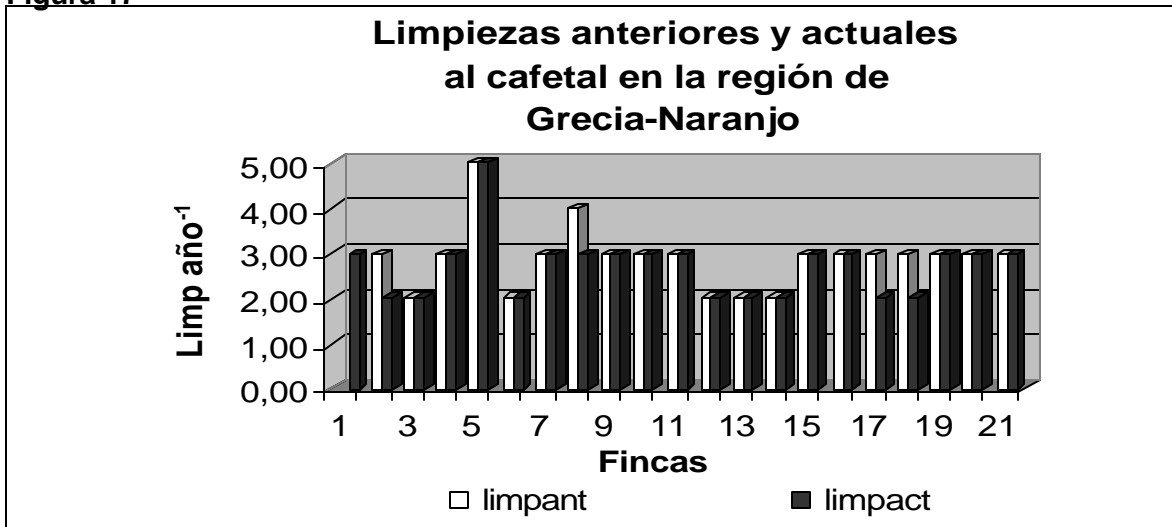


Figura 18

