

PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* var *caturra*), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica

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

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Por

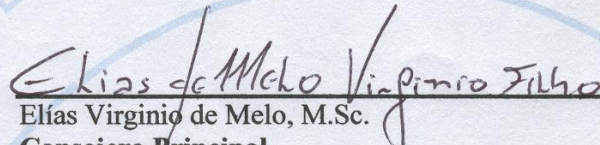
Marvin Elimelet Merlo Caballero

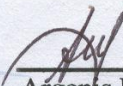
Turrialba, Costa Rica, 2007

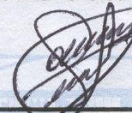
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

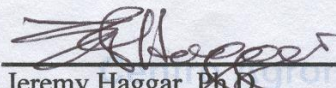
Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

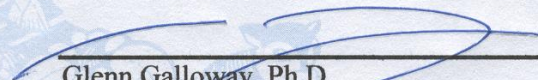
FIRMANTES:


Elías Virginio de Melo, M.Sc.
Consejero Principal


Argenis Mora, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero


Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero


Jeremy Haggart, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero


Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado


Marvin Elimelet Merlo Caballero
Candidato

DEDICATORIA

A Dios, padre y creador del universo por darme logros cada día

A mi esposa Eliza Zamora e hija Rosita Merlo por haberme dado la fuerza para seguir adelante con buenos pasos

A mis padres Marvin Merlo y Rosa Maria Caballero por apoyarme incondicionalmente en todos los momentos de mi vida, a mis abuelitos paternos y maternos por su siempre apoyo

A mis hermanos Elías, Wilmer y Edwin y mis hermanas Elizabeth, Jaqueline y Anabesis por darme deseos de superación y apoyo moral

A mi suegra Lorena Mayorga por su apoyo moral y espiritual

A quienes me han deseado lo mejor en el transcurso de mi formación educativa

A mi país Nicaragua la tierra que me vio nacer

AGRADECIMIENTOS

A Dios padre creador del Universo.

A la Organización de Estados Americanos (OEA) y al gobierno de Nicaragua, que a través de las oficinas de primera Dama de la republica me otorgaron la Beca para cursar estudios de maestría. Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por darme la oportunidad de aprender más en la vida. A la Universidad de los Andes (ULA) en Venezuela por poner a su disposición un asesor en mi investigación de tesis.

A quienes trabajaron conmigo en todo el proceso de la etapa de campo los cuales menciono ha continuación: Luís Romero, Hernán Romero, Alfonso Ureña, Minor Torres, y en especial a **mi esposa Eliza Zamora** quien me apoyo no solo en el trabajo de campo si no también en gabinete. A Gerardo Barquero, David Navarro, Marvin Aguilar, Eduardo Torres y a mi amigo Ney Ríos por colaborar en tan importantes momentos de la etapa de campo.

A mi consejero principal M.Sc. Elías de Melo Virginio, por dirigir, acompañar, enseñar, y orientar el proceso de la presente investigación de tesis.

A los miembros de mi comité asesor:

M.Sc. Argenis Mora Garcés, profesor de ULA y estudiante de doctorado en CATIE gracias por sus aportes, enseñanzas, su amistad, apoyo incondicional en el proceso de la presente investigación y conducción del aprendizaje de mi persona como estudiante.

Ph.D. Fernando Casanoves, por sus aportes, apoyo y enseñanza en el proceso de la presente investigación y su siempre disposición para atenderme cuando lo requerí.

Ph.D. Jeremy Haggar, por sus aportes en el mejoramiento del presente trabajo investigativo.

A los profesores que sin ser miembros de mi comité asesor tuvieron la amabilidad de atenderme cuando requerí consultarles, ellos son: Ph.D. Phillipe Vaast, Ph.D. Carlos Navarro, Ph.D. Glenn Galloway, Ph.D. John Beer, Ph.D. Luís Ugalde, M.Sc. Álvaro Vallejo, M.Sc. William Vásquez y M.Sc. Marcelino Montero.

A colaboradores que gustosamente aportaron en el proceso de tesis: Wilson Calero, Yesenia Benavides, Siyyid Romero y Manuel Serrano.

A tres amistades en CATIE: M.Sc. Jorge Cawich, estudiante de doctorado en CATIE, Ph.D. Julián Pérez y M.Sc. Teresa Alfaro a quines estaré siempre agradecido por su contribución y apoyo en el presente trabajo de investigación de tesis.

A quienes me prestaron equipos para medición de variables en campo, ya que no hubiera sido posible la medición sin dichos instrumentos, al personal de la Biblioteca Orton por su siempre colaboración durante mis estudios en CATIE. También a todas aquellas personas que hicieron que mi estadía en CATIE fuera más placentera

BIOGRAFÍA

El autor nació en León, Nicaragua en 1977. Se graduó en la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe de Nicaragua en el 2001, obteniendo el título de Ingeniero Agroforestal. Trabajó a través de convenios en el Proyecto de Conservación y Desarrollo Forestal como estudiante de la universidad. Años más tarde trabajó en el proyecto Corredor Biológico del Atlántico y Alcaldía Municipal de Bluefields, teniendo la oportunidad de ser docente temporal y sustituto en las Universidades URACCAN y BICU respectivamente.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO	VI
RESUMEN	IX
SUMMARY	XI
ÍNDICE DE CUADROS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio.....	3
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.2 Hipótesis del estudio	3
2 MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1 Los sistemas agroforestales	5
2.2 Agroforestería y la sombra en los cafetos	5
2.3 Porcentaje de dosel ocupado y la RAFA absorbida por los árboles	7
2.4 Producción de café convencional y orgánico	7
2.5 El cultivo de café en Costa Rica	10
2.5.1 <i>Historia</i>	10
2.5.2 <i>Clima</i>	10
2.5.3 <i>Suelo</i>	11
2.6 Especies utilizadas como sombra en cafetales de Costa Rica	11
2.7 Crecimiento de los árboles	13
2.8 Características de los árboles en estudio	14
2.8.1 <i>Poró (Erythrina poeppigiana Walp; D.F. Cook)</i>	14
2.8.2 <i>Amarillón (Terminalia amazonia J. F Gmelin) Exell</i>	15
2.8.3 <i>Cashá (Chloroleucon eurycyclum)</i>	17
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 Características del sitio de estudio.....	19

3.1.1	<i>Ubicación</i>	19
3.1.2	<i>Zona de vida y Clima</i>	19
3.1.3	<i>Suelo</i>	20
3.1.4	<i>Características del ensayo</i>	20
3.2	Diseño y tratamientos del experimento.....	21
3.3	Variables en estudio	22
3.3.1	<i>Rendimiento de cafetos</i>	23
3.3.2	<i>Agotamiento y vigor de tejidos en cafetos</i>	23
3.3.3	<i>Porcentaje de sombra en los cafetos y cobertura del dosel superior</i>	24
3.3.4	<i>Área de proyección de la copa</i>	26
3.3.5	<i>Sobrevivencia</i>	26
3.3.6	<i>Altura total</i>	27
3.3.7	<i>Diámetro a la altura del pecho</i>	27
3.3.8	<i>Diámetro de copa</i>	27
3.3.9	<i>Factor de forma o factor mórfico</i>	28
3.3.10	<i>Área basal</i>	29
3.3.11	<i>Volumen en los maderables</i>	30
3.3.12	<i>Incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA)</i>	30
3.3.13	<i>Biomasa de podas en árboles</i>	31
3.4	Análisis estadístico.....	32
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	Rendimiento de café bajo manejo convencional y orgánico	36
4.2	Agotamiento del café bajo manejo convencional y orgánico.....	42
4.3	Vigor de tejido productivo en cafetos bajo manejo convencional y orgánico	45
4.4	Caracterización de la sombra, la cobertura y el área proyectada de copa antes de la poda, bajo manejo convencional y orgánico.....	47
4.5	Relación entre el dosel ocupado y la sombra producida por los árboles	49
4.6	Sobrevivencia	51
4.7	Crecimiento del poró bajo manejo convencional y orgánico	52
4.8	Crecimiento e incrementos del amarillón y el cashá bajo manejo convencional y orgánico	55
4.9	Factor de forma en amarillón y cashá bajo manejo convencional y orgánico	61

4.10	Área basal y volumen total e incrementos en amarillón y cashá bajo manejo convencional y orgánico	62
4.11	Poda en árboles de sombra bajo manejo convencional y orgánico	67
5	CONCLUSIONES	70
6	Recomendaciones	72
7	BIBLIOGRAFÍA	73
8	ANEXOS.....	82

RESUMEN

Merlo C, ME. 2007. Comportamiento productivo del (*Coffea arabica* var caturra), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 92 p.

Palabras claves: sistemas agroforestales, rendimiento de café, crecimiento diamétrico, incremento medio anual, incremento periódico anual.

El presente trabajo se realizó en Turrialba, Costa Rica en el ensayo de sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var caturra) con sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*), amarillón (*Terminalia amazonia*), cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), amarillón-cashá, amarillón-poró, cashá-poró y un testigo (café plantado a pleno sol), bajo los manejos alto convencional, medio convencional, orgánico intensivo y bajo orgánico, dando como consecuencia tratamientos que son resultado de la combinación del tipo de asociación café-árbol (SAF) y el manejo. La importancia de investigar los sistemas agroforestales con café, en especial en Costa Rica, es que la información silvicultural generada en SAF presenta vacíos importantes. Particularmente se encuentran pocas referencias sobre la asociación de amarillón con café y en cashá no se encontró ningún estudio sobre su comportamiento en SAF con café. Con respecto al rendimiento de café no se tienen referencias en Turrialba sobre el manejo convencional y orgánico bajo sombra de amarillón y cashá. Por lo antes planteado, en el presente trabajo de investigación se estudió el comportamiento productivo de cafetos bajo diferentes condiciones de sombra y manejo, al mismo tiempo que se evaluó el desarrollo de las especies arbóreas (poró, amarillón y cashá) a través de variables silviculturales en los diferentes tratamientos. Los tratamientos fueron establecidos bajo un diseño de parcelas divididas con parcelas principales correspondiendo al tipo de SAF y la subparcela al nivel del manejo, constituyendo así un factorial incompleto en bloques completos al azar con tres repeticiones y 20 tratamientos, utilizándose para el análisis estadístico un ANDEVA y contrastes no ortogonales con un nivel de significación del 0.05 para las medias de tratamientos. Los datos de medias fueron transformados con el propósito de asegurar el cumplimiento de los supuestos del modelo y se realizaron análisis de correlación de Pearson

para conocer las relaciones entre algunas de las variables estudiadas. El mayor rendimiento promedio por años en la producción de café se observó en los tratamientos convencionales, encontrándose cambios de rendimientos de café a lo largo de los años los cuales variaron significativamente entre los manejos. Los manejos orgánicos mostraron muy bajos rendimientos en el comienzo de la primera cosecha pero se incrementaron conforme avanzaron los años, logrando rendimientos aproximados a los manejos convencionales. En cuanto al agotamiento de café, evaluado a través de las podas (parcial y total), se evidenció que hay un menor agotamiento en los tratamientos orgánicos con respecto a los convencionales. Por otro lado, con el propósito de determinar el efecto del rendimiento de café en el agotamiento de los cafetos, se llevó a cabo un análisis de correlación, el cual indicó que cuanto mayor es el rendimiento en la producción de café, más fuerte es el agotamiento producido en los tejidos de los cafetos. De igual manera se correlacionó el porcentaje de sombra con el rendimiento de café, encontrando como resultado un efecto negativo de la sombra sobre el rendimiento. Las variables de crecimiento, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT) y diámetro de copa (DC) en poró, mostraron diferencias significativas en las medias de tratamientos, debiendo sus diferencias en DAP y DC al manejo y tipos de SAF y en HT al manejo. Se encontró, mayor crecimiento de DAP y DC en los tratamientos donde el poró estaba asociado con otra especie arbórea. En cuanto al crecimiento en las especies maderables (amarillón y cashá) no se encontraron diferencias significativas en DAP, HT y DC. Respecto a las variables de incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) de las variables DAP, HT y DC, solo el IPA de DAP fue afectado por el manejo. Con respecto al volumen total (VT) y sus incrementos se encontraron diferencias significativas en las medias de los tratamientos, las cuales fueron afectadas por el tipo de SAF, encontrando que los valores más altos de VT y su IPA e IMA se produjeron donde había una especie sin la asociación de otra arbórea. También para las tres especies arbóreas (poró, amarillón y cashá) se realizó un análisis de correlación encontrándose que no existe correlación entre la cantidad de biomasa producida por la poda de los árboles y el crecimiento de DAP y HT en las especies antes mencionadas.

SUMMARY

Merlo C, ME. 2007. Productive behavior of the coffee (*Coffea arabica* var caturra), the poro (*Erythrina poeppigiana*), the amarillon (*Terminalia amazonia*), the casha (*Chloroleucon eurycyclum*) in agroforestry systems under managements conventional and organics in Turrialba, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 92 p.

Key words: agroforestry systems, coffee yield, diametric growth, mean annual increment, periodic annual growth.

The present study was conducted in Turrialba, Costa Rica in the coffee (*Coffea Arabica* var caturra) agroforestry systems trial with poró (*Erythrina poeppigiana*) shade, amarillón (*Terminalia amazonia*), cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), amarillón-cashá, amarillón-poró, cashá-poro and a witness (coffee planted in full sunlight), under the high conventional, medium conventional, intensive organic and low organic, resulting in treatments that are a combination of the type of coffee-tree association (AF) and management practices. The importance of studying coffee agroforestry systems, especially in Costa Rica, is because silvicultural information generated in AF presents very important gaps. In particular, there are few references on the association of amarillón with coffee and no information was found related to the behavior of cashá in coffee agroforestry systems. With regards to coffee yields, there are no references in Turrialba on the conventional and organic management under the shade of amarillón and cashá. Based on the above, we studied the productive behavior of coffee plantations under different shade conditions and management as well as the evaluation of the growth of tree species (poró, amarillón and cashá) through silvicultural variables in the different treatments. The treatments were established under split plot design with principal plots corresponding to the type of AF system and the sub-plot to the level of management, forming an incomplete factorial in random blocks with three repetitions and 20 treatments, utilizing ANOVA statistical analysis and non orthogonal contrasts with 0.05 level of significance for the treatment means. The means were transformed to ensure the fulfillment of the assumed model and Pearson correlation analysis were conducted to know the relationship amongst some variables studied. The higher mean average yield of coffee was observed in the conventional treatments, observing that yields varied significantly over the years amongst management practices. Organic management showed very low yields at the beginning of the

first harvest but increased over the years, obtaining similar yields to that of the conventional management. In relation to the exhaustion of coffee plantations, evaluated through partial and full pruning, it was observed that there was less exhaustion of organic coffee plantations compared to conventional ones. On the other hand, with the purpose of determining the effect of coffee yields on the exhaustion of coffee plantations, a correlation analysis was conducted which indicated that the higher the coffee yields, the higher is the exhaustion of the tissues of the coffee plantations. A similar correlation was conducted on the percentage of shade and coffee yields observing a negative effect of shade on yields. Growth variables, diameter at breast height (DBH), total height (TH) and crown diameter (CD) in poró, showed significant differences in the treatment means, being the differences in DBH and CD due to management and type of AF while in TH it was due to management. Higher growth in DBH and CD was observed in the treatments where poró was associated with another tree species. In relation to the growth of timber species (amarillón and cashá), no significant differences were observed in DBH, TH and CD. With regards to the annual mean increment (AMI) of the DBH, TH and CD variables, only the IPA and the DBH were affected by management. Significant differences were found with regards to treatment means of total volume (TV) and its increments, which were affected by the type of AF, observing that the higher TV, IPA and AMI values were produced where there was a species without the association of another tree species. Also, a correlation analysis was conducted for the three tree species (poró, amarillón and cashá), observing that there is no correlation between the quantity of biomass produced by tree pruning and growth of DBH and TH in the above mentioned species.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de especies utilizadas como sombra en cafetales en cinco sitios de Costa Rica.....	13
Cuadro 2. Aportes de nutrientes de T. Amazonia por tipo de manejo en el ensayo de sistema agroforestales en CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	17
Cuadro 3. Aportes de nutrientes en C. eurycyclum por tipo de manejo en el ensayo de sistema agroforestales en CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	18
Cuadro 4. Datos climatológicos de la estación meteorológica del CATIE.	19
Cuadro 5. Manejo anual utilizado para cada nivel de insumo en el ensayo comparativo de sistemas agroforestales orgánicos y convencionales, CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	21
Cuadro 6. Combinación de factores para obtención de tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales (café - árbol) evaluado en este estudio en CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	22
Cuadro 7. Contrastes de tratamientos para las variables rendimiento de café y agotamiento de tejidos, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	34
Cuadro 8. Contrastes de tratamientos para las variables crecimiento (DAP, altura total y diámetro de copa) en poró asociado con café, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	35
Cuadro 9. Contrastes de tratamientos para las variables crecimiento (DAP, altura total y diámetro de copa y sus incrementos medio anual e incremento periódico anual) en amarillón (a) y cashá (c) asociado con café, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	35
Cuadro 10. Análisis de la varianza de mediciones repetidas en el tiempo para el rendimiento (Fanega ha-1 año -1) de café (Coffea arabica L.) en los tratamientos sin sombra y con sombra bajo los manejos bajo orgánico, medio orgánico, medio	

convencional y alto convencional, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica	38
Cuadro 11. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en rendimiento de café asociado con árboles y sin sombra, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica	39
Cuadro 12. Análisis de la varianza en agotamiento de tejidos (poda total, poda parcial y la suma de ambas podas) de café (<i>Coffea arabica</i> L.) a pleno sol y con sombra, en los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica	44
Cuadro 13. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en agotamiento de tejidos de cafetos (poda total, poda parcial y la suma de ambas podas) a pleno sol y con sombra, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	45
Cuadro 14. Probabilidades de las pruebas F ($P > F$) del análisis de varianza correspondiente a los efectos evaluados para las variables vigor de tejidos en cafetos en las categorías muy bueno, bueno, regular y malo, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	47
Cuadro 15. Resultados de regresiones entre porcentaje de sombra y porcentaje de cobertura en sistemas agroforestales de árboles con café.	50
Cuadro 16. Porcentaje del dosel ocupado por cada sistema agroforestal de árboles con café en CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	50
Cuadro 17. Porcentaje de sombra por cada sistema agroforestal de árboles con café, CATIE, Turrialba, Costa Rica	50
Cuadro 18. Probabilidades de las pruebas F ($P > F$) del análisis de varianza correspondientes a los efectos evaluados para las variables silviculturales (DAP, altura y diámetro de copa), en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	54
Cuadro 19. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variables silviculturales (DAP, altura y diámetro de copa) en poró, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica	54

Cuadro 20. Diámetro de copa en árboles de poró con poda regulada bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	55
Cuadro 21. Probabilidades de las pruebas F ($p > F$) del análisis de varianza correspondientes a los efectos evaluados para las variables de crecimiento (DAP, altura total y diámetro de copa), e incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA) en las variables silviculturales DAP y altura total en amarillón y cashá, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	59
Cuadro 22. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variable silvicultural del cashá, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	59
Cuadro 23. Factores de forma promedios en amarillón y cashá bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica	62
Cuadro 24. Probabilidades de las pruebas F ($p > F$) del análisis de varianza correspondientes a los efectos evaluados para las variables silviculturales área basal (m^2) y volumen ($m^3 ha^{-1}$) y sus respectivos incremento medio anual (IMA), e incremento periódico (IPA) en amarillón y cashá, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	65
Cuadro 25. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variables silviculturales área basal (m^2) y volumen total ($m^3 ha^{-1}$) en amarillón y cashá, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	65
Cuadro 26. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en incremento medio anual (IMA), e incremento periódico (IPA) en área basal y volumen en las especies amarillón y cashá, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema de muestreo de RAFA a nivel de subparcelas en el ensayo de sistemas agroforestales CATIE, Turrialba, Costa Rica. 25
- Figura 2. Densiómetro esférico. 26
- Figura 3. Muestreo en subparcelas de una sola especie arbórea de sombra. 32
- Figura 4 Muestreo en subparcelas con dos especies arbóreas de sombra. 32
- Figura 5. Marcha del rendimiento (Fanega ha⁻¹ año⁻¹) de: A) café (*Coffea arabica* L.) sin sombra de árboles, B) café asociado con poró (*Erytrina poeppigiana*), C) café asociado con amarillón (*Terminalia amazonia*), D) café asociado con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), E) café asociado con amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró, F) café asociado con cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 37
- Figura 6. Marcha del rendimiento (Fanega ha⁻¹ año⁻¹) de café (*Coffea arabica* L.) sin sombra y con sombra en los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y Alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 40
- Figura 7. Marcha del rendimiento (Fanega ha⁻¹ año⁻¹) de café (*Coffea arabica* L.) con sombra frente a cafetos plantado a pleno sol, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 41
- Figura 8. Porcentajes promedios de podas parcial y total realizadas en cafetos agotados durante 2005 y 2006: A) café (*Coffea arabica* L.) sin sombra de árboles, B) café asociado con poró (*Erytrina poeppigiana*), C) café asociado con amarillón (*Terminalia amazonia*), D) café asociado con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), E) café asociado con amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró y F) café asociado con cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 43

- Figura 9. Porcentajes de tipos de vigor de tejidos productivos: A) café (*Coffea arabica* L.) sin sombra de árboles, B) café asociado con poró (*Erythrina poeppigiana*), C) café asociado con amarillón (*Terminalia amazonia*), D) café asociado con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), E) café asociado con amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró y F) café asociado con cashá-poró, en los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 46
- Figura 10. Porcentajes de sombra, cobertura y área proyectada de copa medidos en seis sistemas agroforestales café-árboles: café (*Coffea arabica*) asociado con poró (*Erythrina poeppigiana*), amarillón (*Terminalia amazonia*), cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), amarillón asociado con cashá, amarillón asociado con poró, cashá asociado con poró, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 48
- Figura 11. Gráfico de los resultados de la regresión entre el rendimiento de café y el porcentaje de sombra de los tratamientos bajo manejo convencional y orgánico, en el ensayo de sistemas agroforestales, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 49
- Figura 12. Porcentaje de sobrevivencia en *Erythrina poeppigiana* (poró) bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica. 51
- Figura 13. Porcentaje de sobrevivencia en especies de amarillón (a) y cashá (c) bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica. 52
- Figura 14. Crecimiento de poró en sistemas agroforestales de árbol-café bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica. 53
- Figura 15. Crecimiento de amarillón en sistemas agroforestales de café-árbol bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica. 55
- Figura 16. Crecimiento de cashá en sistemas agroforestales de árbol-café bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 56
- Figura 17. Marcha del crecimiento en altura total (m) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas: I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón asociado con poró y amarillón en mezcla con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), III) cashá solo y asociado con amarillón y IV) cashá asociado con poró bajo los manejos bajo orgánico (BO),

medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 57

Figura 18. Promedios de incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA) de DAP (cm año^{-1}) y HT (m año^{-1}) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas: I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón-poró y amarillón en mezcla con cashá y III) cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) y cashá en mezcla con amarillón, y IV) cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 58

Figura 19. Área basal y su incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró III) cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) y cashá en mezcla con amarillón, y IV) cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 63

Figura 20. Volumen total y su incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas: I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró III) cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) y cashá en mezcla con amarillón, y IV) cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. 64

Figura 21. Cantidad de biomasa ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) en poró producto de las podas en sistemas agroforestales de café-árbol, bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 68

Figura 22. Cantidad de biomasa ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) en las especies de amarillón (a) y cashá (c) producto de la poda en sistemas agroforestales de café – árbol, bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica. 69

1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de café (*Coffea* sp.) constituyen una de las formas más destacadas de uso de la tierra en el trópico húmedo debido al impacto que tienen en la economía de muchos países (Hernández *et al.* 1997). El café es uno de los cultivos de mayor importancia para los pequeños y medianos agricultores en América Central. En la región casi todos los caficultores utilizan sombra; o sea tecnologías agroforestales (Beer 1997). Las especies utilizadas como sombra en cafetales de Costa Rica son numerosas; no obstante, se pueden clasificar en especies de servicios, como poró (*Erythrina poeppigiana*) y guabas (*Inga* sp.), especies maderables, entre las que se puede mencionar el laurel (*Cordia alliodora*) y el eucalipto (*Eucalyptus deglupta*), y especies frutales, como la naranja, la mandarina, el limón (*Citrus* sp.), el banano y el plátano (*Musa* sp.) principalmente (ICAFE 1998; Virginio y Haggar 2004).

Los sistemas de manejo de café más promisorios para la mayoría de productores, deben responder a una caficultura ecológica y económicamente sostenible. Un atributo fundamental de la caficultura ecológica es la presencia de árboles, ya que estos permiten diversificar la producción y proveen al productor otra fuente de ingresos. En el caso de las especies de servicios estas fijan nitrógeno, reduciendo así los requerimientos de agroquímicos en el cultivo de café, minimizando los gastos del caficultor y la contaminación ambiental (Muschler 2000). Los árboles ayudan a reducir las exigencias de agroquímicos en el café por que aumentan la disponibilidad de nutrientes en los cafetos ya que funcionan como “bomba de nutrientes”, debido a que pueden extraer los nutrientes de las capas más profundas del suelo que luego se depositan en la superficie en forma de hojas y ramas (Fischersworing y RoBkamp 2001).

En general, el uso de árboles de sombra en el cafetal tiene diversas funciones, entre las que se destaca el efecto sobre la relación intensidad de luz-fotosíntesis, la formación de un microclima adecuado para la producción del cafeto y el mantenimiento de la fertilidad del suelo (ANACAFE 1997). En cuanto al comportamiento de árboles en cafetales, las especies de servicios como guaba (*Inga* sp.) y poró (*Erythrina* sp.) han mostrado un comportamiento y una adaptabilidad favorable para las diferentes zonas donde se produce café (Galloway y Beer 1997). Por su parte Dzib (2003), en un estudio en tres especies maderables en cafetales, encontró que la fertilización y la limpieza realizadas a los cafetales tienen influencia positiva y

significativa sobre la biomasa total aérea y la biomasa total de los árboles estimada para cada una de las especies forestales, y muestra que el mayor promedio por hectárea se presentó en la especie laurel ($77 + 54 \text{ t ha}^{-1}$), seguida por el amarillón ($66 + 33 \text{ t ha}^{-1}$) y por último el eucalipto ($28 + 20 \text{ t ha}^{-1}$).

La importancia de investigar los sistemas agroforestales con café en Costa Rica, es que se estima que 75% de los cultivos de cafetales se maneja bajo sombra (ICAFE 1998). Existen muchas asociaciones de café-árbol, no obstante la información silvicultural generada presenta vacíos importantes, particularmente se encuentra poca referencia sobre asocio de amarillón (maderable no fijador de nitrógeno) con café, en Turrialba no hay indicación sobre dicho asocio en las fincas. Para cashá (maderable fijador de nitrógeno) no se encontró ningún estudio en asocio en cafetales. El desarrollo de la reforestación comercial en Costa Rica ha alcanzado una tasa anual importante; sin embargo, poco se conoce sobre su calidad, rendimiento y si los mismos podrán alcanzar los objetivos fijados que motivaron su establecimiento (Murillo y Camacho 1992). Por otro lado, es de relevancia conocer y comparar la productividad de sistemas de asocio árbol-café bajo manejo convencional y orgánico. En este sentido hay estudios que indican variaciones en la producción. Lingbaek *et al.* (1999), al comparar fincas cafetaleras convencionales y orgánicas, encontraron que la producción de café fue 23% menor en fincas orgánicas que en convencionales. No obstante, el tema no está agotado, ya que en el ámbito general se conoce poco sobre las particularidades del manejo agroecológico de café bajo diferentes diseños de sombra y niveles de insumo¹. Por consiguiente, en el presente trabajo de investigación, se estudió el comportamiento productivo del café (en asocio con árboles) y de tres especies arbóreas (el poró, el amarillón, y el cashá) a través del rendimiento en granos cerezas en café y crecimiento de dichos árboles en Turrialba, Costa Rica.

¹ Virginio F deM, E. 2006. Cultivo de café convencional y orgánico. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Comunicación personal.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 *Objetivo general*

Comparar y evaluar el rendimiento y el agotamiento de tejidos de *Coffea arabica* cv “caturra” (café) y evaluar el efecto de la sombra producida por los árboles en el rendimiento de café, así como también comparar y evaluar la producción en árboles de sombra, bajo diferentes sistemas de producción y manejo convencional y orgánico.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Determinar y comparar las variaciones de rendimiento y agotamiento de café, bajo sombra de poró, amarillón y cashá en sistemas de manejo convencional y orgánico.
- Evaluar el vigor de tejidos productivos en cafetos agotados parcialmente (cafetos podados de forma parcial) y caracterizar la sombra producida por los árboles.
- Evaluar y comparar el crecimiento de *Erythrina poeppigiana* (poró), *Terminalia amazonia* (amarillón) y *Chloroleucon eurycyclum* (cashá) en asocio con café en sistemas de manejo convencional y orgánico.
- Evaluar y comparar el rendimiento de dos especies maderables (amarillón y cashá) asociados con café en sistema de manejo convencional y orgánico a través del volumen.
- Determinar la biomasa producto de la poda drástica en las especies poró, amarillón y cashá, para evaluar si la poda afecta el crecimiento de los árboles asociados con café, en sistema de manejo convencional y orgánico.

1.2 Hipótesis del estudio

- La asociación café-árbol en estudio, bajo manejo convencional y orgánico, no presenta diferencias significativas de rendimiento de café en el tiempo.
- El rendimiento productivo de café en granos cerezas es menor en asociación café-árbol que a pleno sol, en los diferentes sistemas a estudiar.

- Independientemente del tipo de árbol de asocio en el sistema a evaluar, hay un menor agotamiento de los cafetos en el manejo orgánico respecto a los convencionales.
- El agotamiento de cafetos es menor en asociación café-árbol (cafetos con sombra) que en pleno sol.
- El crecimiento inicial de *E. poeppigiana*, *T. amazonia* y *C. eurycyclum* en asocio con café, es menor bajo manejo orgánico que convencional.
- El rendimiento inicial de volumen total en *T. amazonia* y *C. eurycyclum* en asocio con café, es menor bajo manejo orgánico que convencional.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Los sistemas agroforestales

Según Leakey (1997) los sistemas agroforestales son sistemas de manejo de los recursos naturales dinámicos, con bases ecológicas, que por medio de la interacción de árboles en tierras de finca y tierras abiertas, diversifica y sustenta la producción de productores para un aumento de los beneficios sociales, económicos y ambientales. Por otro lado, Fassbender (1993) define los sistemas agroforestales como una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas y/o pastos, en función del tiempo y espacio, para incrementar y optimizar la producción de forma sostenida.

Los sistemas agroforestales pueden verse como una alternativa para el uso y manejo de los recursos naturales en regiones tropicales. Estos pueden ser utilizados en diferentes escalas geográficas y ecosistemas, cumpliendo importantes funciones tales como: diversificar la agricultura, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema, en función del rendimiento sostenido (Gliessman 2002).

2.2 Agroforestería y la sombra en los cafetos

Somarriba (1990) define la agroforestería como una forma de cultivo múltiple en las que se cumplen tres funciones fundamentales: i) existe al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, ii) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne, iii) al menos uno de los componentes es manejado con fines agrícolas (incluyendo pastos).

Por otro lado, Somarriba y Calvo (2000) consideran la agroforestería como el manejo de las interacciones entre las leñosas perennes y los otros componentes de los sistemas de producción de la finca. Si se quiere especificar qué es agroforestería en cultivo de café, puede definirse como el manejo de las interacciones que existen entre cafetos y árboles de asocio. Jiménez *et al.* (2001) muestran a través de un esquema las interacciones que producen los árboles sobre el cultivo en el estrato inferior, entre las que se mencionan: la sombra producida por el árbol, la protección del cultivo en el estrato superior, la reducción de malezas en el

suelo y la modificación del microclima dentro del dosel del cultivo. Sin embargo, pueden producirse interacciones competitivas por luz, agua y nutrientes.

En el ámbito mundial, tomando en cuenta las necesidades crecientes de establecer sistemas de producción económica y ecológicamente sostenibles que contribuyan a conservar los recursos naturales en zonas tropicales, el establecimiento de sistemas agroforestales es prioritario; en este contexto, el cultivo de café se presenta en forma ideal para la producción agroforestal (Fischersworing y RoBkamp 2001). Esto por ser el cultivo de café una especie que crece bien bajo sombra y que tiene su origen en los bosques sombríos de la selva tropical africana (ANACAFE 1999, Eskes y Leroy 2004).

La sombra en cafetos regula la cantidad y calidad de luz, con poca intensidad hay poca apertura de estomas de las hojas, baja la función de fotosíntesis, reduce la energía y el metabolismo del cafeto. A medida que la cantidad de luz aumenta, se intensifican y mejoran las funciones del cafeto; la mayor apertura de estoma aumenta la fotosíntesis y el metabolismo que conlleva a mayor producción. Si la intensidad de luz aumenta demasiado, hay funciones que se vuelven negativas, las estomas se cierran, la fotosíntesis disminuye, el calor de las hojas aumenta considerablemente y el metabolismo se acelera hasta causar perjuicios a la planta (ANACAFE 1991).

Una de las razones de tener el cultivo de café bajo sombra es propiciar el microclima óptimo, que provea la cantidad y calidad de luz solar necesaria para el proceso de fotosíntesis, así como las condiciones adecuadas de temperatura y humedad del ambiente (ANACAFE 1999; Siles 2001). Sin embargo, la sombra reduce el rendimiento en los cafetos en la producción de granos en un 18% en comparación con cafetos cultivados a pleno sol, aduciendo este fenómeno a que los nudos en la bandola de la plata del café son más largos, menos nudos fructificados y baja inducción floral, como respuesta a la menor exposición lumínica ejercida por la sombra (Vaast *et al.* 2005); pero es probable que se deba a que el cultivo de café puede adaptarse a altas intensidades de luz, la cual puede aumentar su producción si se combina con altas cantidades de insumos y elevadas poblaciones (Franco 1952, Soto 1986, citado por Hernández 1995).

La cantidad de luz se refiere a los rayos ultravioleta y a los rayos infrarrojos que son invisibles. La sombra filtra la luz que reciben los cafetos y cambia su calidad. La luz solar es vital sobre la diferenciación de yemas florales y sobre la floración, crecimiento, formación de fruto y desarrollo vegetativo. La sombra constituye un mecanismo de control en la regulación agua-temperatura (ANACAFE 1991). Sylvain (1981) opina que los árboles de sombra son un seguro que reduce las necesidades de aplicar fertilizantes y otros productos químicos. Por su parte Galloway y Beer (1997) hacen referencia a que si la sombra esta bien controlada y nunca es demasiado densa, se pueden tener rendimientos elevados. Por otro lado, la presencia de árboles favorece a los sistemas de producción en aspectos tales como mantenimiento del reciclaje de nutrientes, el aumento de la diversidad de productos, la búsqueda de las sostenibilidad ecológica y la conservación de biodiversidad, estas dos últimas basadas en perspectivas a largo plazo (Jiménez *et al.* 2001).

2.3 Porcentaje de dosel ocupado y la RAFA absorbida por los árboles

En tres regiones contrastantes de Costa Rica se realizó un estudio con tres especies maderables presentes en cafetales, encontrando en los análisis realizados para cada una de las especies (*Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia amazonia*), que al aumentar la densidad de los árboles dentro de los cafetales aumenta el porcentaje de ocupación del dosel. Por otro lado, los resultados de las regresiones mostraron que en los rangos estudiados el porcentaje de absorción de radiación fotosintética activa (RAFA) por parte del dosel esta siendo explicada por el porcentaje del dosel ocupado por los árboles en cada una de las especies estudiadas (Dzib 2003).

2.4 Producción de café convencional y orgánico

La producción de café bajo sistema convencional por lo general presenta mayores rendimientos, por su proceso productivo se basa en el uso de productos químicos como son los fertilizantes, los plaguicidas y otros insumos derivados de la industria química agrícola, así como el uso de técnicas particulares de manejo (alta densidades de siembra, poca o ausente

sombra en cafetos)². En cambio, en las prácticas agrícolas del café orgánico, no se permite la aplicación de productos químicos sintéticos. El café orgánico se diferencia del café convencional, no sólo por la ausencia de plaguicidas sintéticos (con excepción de fungicida hidróxido de cobre) incluyendo fertilizantes, sino que además por el uso de tecnología totalmente orgánica, complementada por el uso de árboles de sombra, que proporcionan un ambiente propicio para una resistencia natural de las plagas, el uso de mano de obra en el control de malezas y la intensificación de controles biológicos, lo que contribuye a un equilibrio ecológico (Henríquez y Mejía 1997).

Según Cannell (1976) las plantas de café son consideradas convertidoras de CO₂ y energía solar en carbohidratos, los cuales son utilizados en la producción de frutos; así los factores que determinan la producción de café son aquellos que afectan el área foliar disponible para la absorción del CO₂ y la luz, la tasa de absorción de CO₂ por unidad de área foliar y la distribución de la materia seca entre frutos y otras partes de la planta primaria. También considera que una manera de aumentar la productividad del cultivo de café, es incrementar el área de follaje adecuadamente iluminada por unidad de área cultivada, esto aumentará el número de nudos y por lo tanto, el número de unidades florales. Sin embargo, Alvin (1959) citado por Detlefsen (1988) menciona que a pesar que la planta de café es una C3, generalmente su intensidad fotosintética es baja en comparación con otras especies de esta misma clasificación.

Fournier (1988) manifiesta que es importante determinar la distancia de sombra que produce un dosel con buena capacidad de transmisión de luz y un adecuado índice de área foliar (IAF). Se ha reportado que la máxima fotosíntesis neta en hojas de café, unidas a la planta observadas es de 7 mg CO₂/dm²/h a una temperatura de 20°C (Cannell 1976), de ahí la importancia de la temperatura y la luminosidad en la regulación de la fotosíntesis neta del café; no obstante, ambos factores no solamente interaccionan entre sí para definir el nivel óptimo de condiciones ambientales propicias para este proceso fisiológico, sino que su acción depende del estado hídrico de la planta (Fournier 1988). Por otro lado, el cultivo de café desarrollado bajo sombra forma hojas grandes, tallos largos y tiernos, con el objetivo de

² Virginio Filho, E de M. 2006. Cultivo de café convencional y orgánico. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Comunicación personal.

aumentar el contenido de clorofila y capturar mayor cantidad de luz, por el contrario los cafetos a pleno sol, disminuyen el volumen y el área de sus hojas para limitar la superficie de evaporación (Menas *et al.* 1978). En la región Centroamericana, Henríquez y Mejía (1997) reportan rendimientos en la caficultura Salvadoreña de café convencional clasificándolo en alturas bajas, medias y óptimas con rendimientos de 17.51, 22.65 y 28.34 qq/ha respectivamente y rendimientos de café orgánico de 16.21 qq/ha.

En Costa Rica, la región cafetalera con mejores condiciones agroecológicas se encuentra en el Valle Central (zona óptima). La zona de Turrialba es considerada sub-óptima, por condiciones limitadas de temperatura, bajo contenido de base en los suelos y ausencia de una estación seca definida (Rojas 1987; Rojas 1989). En el distrito de Rivas de Pérez Zeledón, Costa Rica, Sosa (1997) encontró rendimientos promedios de café cereza fresco estimados (cosecha 1997-1998) en distintos sistemas agroforestales de café-poró, café-poró-plátano y café-sombra diversificada con cantidades de 49.09, 47.65 y 56.58 Fanegasⁱ ha⁻¹. En un estudio de rendimiento de café cereza fresca con poró bajo diferentes densidades de laurel (*Cordia alliodora*) en Turrialba, Costa Rica, Hernández (1995) señala que la producción de café es afectada negativamente por la densidad de laurel, dado que la producción promedio (1985-1994) fue de 72, 49, 40 y 32 Fanegas ha⁻¹año⁻¹ para densidades de 0, 100, 200 y 300 árboles de laurel ha⁻¹ respectivamente.

Detlefsen (1988) al evaluar el rendimiento de café cereza fresco (cosecha 1984-1987) en Turrialba, Costa Rica, encontró que el café por unidad de superficie fue mayor a pleno sol que en sombra de poró y el laurel con una producción de 51.35 fanegas ha⁻¹ (11914 kg/ha) a plena exposición solar y 39.93 Fanegas ha⁻¹ (9265 kg ha⁻¹) bajo sombra, debido probablemente a la mayor densidad de plantación utilizada a pleno sol ya que fue de 7215 frente a 4790 plantas ha⁻¹ respectivamente. Por otro lado Heuveltop (1985) en sistemas agroforestales de café con poró en Turrialba, Costa Rica, obtuvo rendimientos promedios de café cereza fresco (cosecha 1979-1984) de 35.96 fanegas ha⁻¹ (8343 kg/ha). Por su parte, Virginio (2005) al evaluar sistemas agroforestales con café en fincas de cooperativas en Guanacaste y Montes de Oro, Costa Rica, reportó que el promedio de los rendimientos histórico para 8 cooperativas fue

ⁱ Una Fanega = 20 cajuelas = 400 litros (l) = aproximadamente a 255 kg de café cereza fresco y un litro de café fresco pesa en promedio 0.58 kg (Alpizar *et al.* 1983; Hernández 1995; Sosa 1997).

de 29.5 Fanegas ha⁻¹, afirmando que el rendimiento encontrado está muy cerca de los promedios conocidos en el ámbito nacional.

2.5 El cultivo de café en Costa Rica

2.5.1 Historia

El café ha formado parte de policultivos tradicionales y de múltiples asociaciones. Se ha establecido en diversas plantaciones, en sistemas agroforestales con árboles de sombra, tales como maderables, frutales o leña; así como también se ha establecido y producido bajo condiciones de pleno sol (Samper 1999). Hace más de dos siglos que el café (*Coffea arabica* L.) comienza a producirse en Centroamérica y se convirtió en un importante producto de exportación destinado a Europa y luego Norteamérica. En Costa Rica se establecieron las primeras plantaciones con fines comerciales a finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX (Samper 1999; Kuhl 2004).

2.5.2 Clima

Según ICAFE (1998) el cafeto posee ciertos requerimientos y limitaciones a los factores climáticos, los cuales afectan directamente el comportamiento del cultivo. El clima se compone de la interrelación de factores, entre los que se tienen: altitud, temperatura, radiación solar, humedad relativa y viento. Con respecto a la altitud, la óptima para el cultivo de café se encuentra entre los 1200 a 1700 msnm; sin embargo, en Costa Rica se desarrolla café en altitudes de 500 a 1700 msnm, en relación a la temperatura el promedio anual favorable para el cultivo de café se ubica entre los 17 a 23°C. Este es el componente que está más relacionado con el crecimiento, las temperaturas bajas propician un retraso en el desarrollo y el fruto madura más lentamente, por el contrario temperaturas altas aceleran la senescencia de los frutos, causando anomalías en la flor y fructificación limitada, así como la ocurrencia de plagas y enfermedades.

En cuanto a la precipitación el cultivo de café se adapta a diferentes regímenes de lluvias, algunos estudios ubican rangos óptimos variables que van desde los 1600 a 1800 mm al año hasta un rango más amplio de 1800 a 2800 mm. La distribución de las lluvias presenta diferencias y se recomienda que haya un mínimo de 145 días y un máximo de 245 días

lluviosos al año, otros autores indican 160 a 200 días lluviosos al año. El cafeto requiere de un periodo seco para el crecimiento de la raíz, desarrollo de las bandolas y hojas, maduración de los frutos, especialmente para la estimulación floral; por otro lado, el factor de mayor influencia de la radiación solar en el cafeto es la intensidad lumínica. Una alta intensidad lumínica disminuye la fotosíntesis, en contraste la poca luz favorece la presencia de enfermedades y causa problemas de maduración y recolección. Finalmente, con respecto a la humedad relativa se considera que en promedio la óptima oscila entre el 70 y 85 %; cifras mayores al 85 % predisponen a enfermedades y afectan la calidad del café. De igual manera vientos fuertes inducen a la desecación y al daño mecánico del tejido vegetal y del tronco, y permiten la incidencia de enfermedades (ICAFE 1998).

2.5.3 Suelo

En Costa Rica, el cultivo de café prospera en suelos derivados de distintos materiales, pero sobresalen los desarrollados a partir de cenizas volcánicas y aluviales, en los cuales se ha obtenido la mejor respuesta. Los suelos aptos para el café requieren ser profundos, friables, permeables y de textura media; las tierras compactadas y de escaso drenaje no son buenas para el cultivo de café, así como los suelos sueltos, arenosos y livianos, que retienen escasa humedad en el verano (ICAFE 1998).

2.6 Especies utilizadas como sombra en cafetales de Costa Rica

Numerosas especies vegetales son utilizadas como sombra en los cafetales y estas cumplen funciones que se traducen en ventajas y desventajas. Según Muschler (2000) las ventajas de asociar el cultivo de café con árboles son muchas, ya que proporcionan un microclima más moderado (temperaturas más estables, menor transpiración, reducen el viento), los cafetos son más vigorosos y más resistentes a plagas y enfermedades, la vida útil de los cafetos es más larga (menor agotamiento de tejidos) y hay menos variabilidad entre plantas; también pueden mejorar la producción y calidad de café en ambientes marginales para su cultivo, presentar menos enfermedades (Cercospora, Antracnosis) y malezas agresivas adaptadas a niveles altos de luz. Por otro lado, los árboles ayudan a mantener la fertilidad del suelo incluyendo control de la erosión, reducción potencial de los requerimientos de insumos (fertilizantes y herbicidas) y aumento de la eficiencia en el aprovechamiento de fertilizantes, y proveer productos

adicionales como hojarasca, frutos y madera que reciclan nutrientes, además contribuyen al aumento de la biodiversidad (aves migratorias, control biológico). También los hongos entomopatógenos (*Beauveria*, *Metarhizium*) pueden ser favorecidos con la presencia de árboles y además la madera producida en los sistemas café-árbol reduce la necesidad de extraerla de los bosques naturales.

Entre las desventajas del asocio de árboles en cafetos se mencionan la disminución en la producción de café que es más marcada en ambientes ideales para su cultivo. Cuando las densidades de árboles son altas y/o las especies arbóreas son incompatibles; se requiere de recursos económicos y mano de obra adicional, los árboles pueden favorecer enfermedades y plagas adaptadas a una humedad alta (*Koleroga*) y/o sombra (*Mycena*) o asociadas a niveles altos de materia orgánica (*Rosellinia*, *Phylophaga*); también los árboles pueden ser hospederos potenciales para nuevas plagas y dificultar las labores de manejo en los cafetos, así como dañar los cafetos por la caída de ramas y extracción de madera (Muschler 2000). Por otro lado, Estivariz (1997) encontró que la sombra sobre los cafetos redujo la radiación fotosintéticamente activa (RAFA), en consecuencia hubo una menor producción de ejes plagiotrópicos que posiblemente fue la causa más importante en la menor producción de frutos de café bajo sombra homogénea, al compararla con la sombra heterogénea. Sin embargo, es una ventaja si la sombra esta bien controlada a través de la poda (Galloway y Beer 1997). Virginio y Hagggar (2004) resumieron una investigación de campo y fuente secundaria en cinco sitios (Coto Brus, Pérez Zeledón, Turrialba, Acosta y Puriscal) sobre las especies utilizadas en cafetales de Costa Rica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipos de especies utilizadas como sombra en cafetales en cinco sitios de Costa Rica

Maderables	Frutales	Servicios (leguminosas)
<i>Cedrela odorata</i> (cedro)	<i>Citrus</i> sp (naranja, mandarina, limón)	<i>Erythrina poeppigiana</i> (poró)
<i>Eucalyptus deglupta</i> (eucalipto)	<i>Mangifera indica</i> (mango)	<i>Inga</i> sp (guabas)
<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	<i>Musa</i> sp (banano, plátano)	<i>Gliricidia sepium</i> (madero negro)
<i>Diphysa americana</i> (guachipilín)	<i>Persea americana</i> (aguacate)	
<i>Ocotea tonduzii</i> (ira, ira rosa)	<i>Psidium friedrichsthalianum</i> (cas)	
<i>Tabebuia guayacán</i> (guayacán)	<i>Psidium guajava</i> (guayaba)	
<i>Alnus acuminata</i> (jaúl)	<i>Anona cherimola</i> (anona, cherimoya)	
<i>Miconia argentea</i> (lengua de vaca)	<i>Annona moricata</i> (guanábana)	
<i>Schizolobium parahybum</i> (gallinazo)	<i>Spondias purpurea</i> (jocote, sismoyo)	
<i>Tabebuia rosea</i> (roble sabana, roble)	<i>Macadamia integrifolia</i> (macadamia)	
<i>Bombacopsis quinata</i> (pochote)	<i>Byrsonima crassifolia</i> (nance)	
<i>Simarouba glauca</i> (aceituno)	<i>Carica papaya</i> (papaya)	
<i>Terminalia amazonia</i> (amarillón)	<i>Theobroma cacao</i> (cacao)	
<i>Lafoensia punicifolia</i> (cascarillo)	<i>Nephelium lappaceum</i> (mamón chino)	
<i>Anacardium excelsum</i> (espavel)	<i>Bactris gasipaes</i> (pejibaye)	
<i>Albizzia adinocephala</i> (gavilancillo)		
<i>Grevillea robusta</i> (gravilia)		
<i>Hymenaea courbaril</i> (guapinol)		
<i>Vochysia ferruginea</i> (mayo)		
<i>Aspidosperma megalocarpon</i> (manglillo)		
<i>Meliosma</i> sp (maria)		
<i>Astronium graveolens</i> (ron ron)		
<i>Terminalia ivorensis</i> (terminalia)		
<i>Tabebuia ochacea</i> (cotez amarillo)		

Fuente: Tavares *et al.* (1983), Espinoza (1983), Ocampo (1998) citados por Virginio y Hagggar (2004).

2.7 Crecimiento de los árboles

El crecimiento se define como el incremento gradual de un organismo, población u objeto en un determinado período de tiempo. El crecimiento acumulado hasta una edad representa el rendimiento a esa edad (Prodan *et al.* 1997). Generalmente es expresado en diámetro, altura, área basal, o en algunos casos pulpa en peso de árboles individuales (Vincent 1980). En árboles maduros el crecimiento se expresa normalmente en términos de volumen, el cual está influenciado por sus características genéticas y su interrelación con el medio ambiente, factores climáticos y de suelo (Prodan *et al.* 1997).

Finegan (1996) y Prodan *et al.* (1997) definen el incremento medio anual (IMA), como el promedio anual del incremento total y se obtiene dividiendo el rendimiento de un árbol o de un rodal hasta un determinado momento en el tiempo entre su edad alcanzada. El incremento periódico anual (IPA) es el incremento o crecimiento acumulado durante un período de varios años por un árbol o un rodal. Gálvez (1996) citado por Pinelo (2000) define el incremento periódico anual como el crecimiento determinado por dos mediciones: una al inicio del período y otra al final.

2.8 Características de los árboles en estudio

2.8.1 *Poró (Erythrina poeppigiana Walp; D.F. Cook)*

Esta especie es una leguminosa, perteneciente a la familia Papilonoideae (Fabaceae), tiene los nombres comunes de poró gigante, poró, pito extranjero y búcaro. El poró es originario de Colombia y Venezuela, de bosques húmedos y cálidos (Calderón y Standley 1941; Geilfus 1989 citado por Vallejo y Oviedo 1994). Se distribuye en América Tropical, desde Panamá hasta Bolivia, alcanza una altura entre los 20 y 30 m y un diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio entre 1.2 y 2 m; encontrándose en altitudes de 600 hasta 1700 msnm, con temperatura promedio anual de 18 a 28 °C y precipitación de 1000 a 1300 mm (CATIE 2000, Cordero *et al.* 2003).

Es una especie importante en sistemas agroforestales, utilizada en Costa Rica y en otros países desde principio del siglo XX como sombra en cafetales (Fonseca 1968); es un árbol fijador de nitrógeno y se conoce con nodulaciones abundantes y producción de grandes cantidades de hojarasca, de ahí el valor que tiene para mejorar y conservar el suelo y contribuir al rendimiento sostenible de los cultivos asociados. Por ejemplo, en América Central es una de las especies más importante para sombra en cafetos, valorada por su producción de abono verde y *mulch*, su capacidad de fijar nitrógeno y su tolerancia a podas frecuentes durante largo tiempo que permite ajustar la sombra del cultivo principal. En plantaciones de cafetales proporciona una sombra homogénea y fácilmente manejable, mejora el crecimiento y producción del cultivo de café y reduce la cantidad de malezas; sin embargo esta especie no es apta en la mayoría de los usos maderables (Cordero *et al.* 2003).

En un estudio realizado en la estación biológica La Selva en Sarapiquí, se plantaron 25 especies en tres sitios de pasturas abandonadas en terrenos bajos del Atlántico de Costa Rica. Se encontró que *Erythrina poeppigiana* (poró) a la edad de tres años en plantaciones mixtas tuvo en promedio en los tres sitios una sobrevivencia de 31%, un DAP de 2.7 cm, una altura de 2 m y un volumen total de 0.0025 m³ árbol⁻¹ (Tilki y Fisher 1998). En un ensayo de sistemas agroforestales con café en la finca CATIE, Turrialba, Costa Rica, Montenegro (2005), al considerar el aporte anual de biomasa de podas en sistemas agroforestales bajo manejo convencional y orgánico, encontró que poró fue la especie con mayor aporte de biomasa (11790 kg/ha y 10072 kg/ha, respectivamente) al compararlos con amarillón y cashá en igual tipos de manejo. Al evaluar el aporte total de nutrientes en el año, procedente de las podas, en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional con *Erythrina poeppigiana*, el sistema medio convencional de *E. poeppigiana*, tuvo un aporte de nutrientes en forma de N, P, K y Ca de 360.0, 29.7, 205.2 y 115.2 kg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. A diferencia del aporte de nutrientes en medio orgánico que fue menor en *E. poeppigiana* con cantidades en kg ha⁻¹ año⁻¹ de 300.1, 25.4, 186.3, y 96.9 en N, P, K, y Ca respectivamente.

2.8.2 Amarillón (*Terminalia amazonia* J. F Gmelin) Exell

Pertenece a la familia Combretacea y se la conoce con varios nombres comunes tales como: amarillón, roble coral, cancún, naranjo, volador, amarillo real (América Central y Panamá), sombrerete, tepesuchil (México) guayo, chicharrón (Cuba), bullywood (Belice), arispin, aceituno (Venezuela), gayabo león, paloprieto (Colombia) (Salazar *et al.* 2000). En Costa Rica está considerada como una especie promisoría por el crecimiento que ha demostrado, aún en los sitios más secos de la región, adaptándose bien en suelos ultisoles y andisoles (Calvo *et al.* 1997 citado por Torres y Luján 2002). Es un árbol con arquitectura favorable por su tendencia natural a producir fustes rectos de un solo eje, con ramas pequeñas y en verticilios (Torres y Luján 2002).

Terminalia sp. es el género tropical, constituido por alrededor de 250 especies arbóreas y arbustivas. *Terminalia amazonia* es la especie neotropical más distribuida del género y un elemento constitutivo del grupo de árboles emergentes en el dosel del bosque tropical muy húmedo, en el cual la temperatura alcanza hasta 18° C. Su ámbito geográfico se extiende desde el Golfo de México en la Vertiente Atlántica, hasta las Guayanas en América del Sur.

También se encuentra en las antillas (Trinidad y Tobago). La distribución altitudinal varía de 40 a 1200 msnm, con precipitaciones de 2500 a 3000 mm. El amarillón es un árbol muy alto que alcanza más de 50 m en los bosques amazónicos y Centroamericanos y 70 m en las selvas perennifolias mexicanas y un diámetro de 1 a 3 m. El amarillón es una especie de uso forestal intensivo, utilizada en programas de reforestación con buenos resultados y su madera es de excelente calidad. Es una especie con gran potencial de crecimiento, y no muestra especificidad por determinado tipo de suelo y crece bien en suelos ácidos, pobres y con toxicidad de aluminio (Camacho 1981, Nichols y González 1992, Flores 1994, CATIE 1997).

En un estudio de crecimiento de cuatro especies nativas en plantaciones de monocultivos, establecidas en tres sitios al norte del Valle Central en Costa Rica, se reportó que la especie amarillón a la edad de tres años tuvo en promedio en los tres sitios, un 86 % de sobrevivencia, un DAP de 5.8 cm, una altura de 5 m y un volumen de 3.16 m³ ha⁻¹ (Guevara y Zamora 1997). En sistemas agroforestales, el amarillón se ha encontrado en parcelas demostrativas con frutales (*Averrhoa carambola*, *Persea americana* y *Chrysophyllum caimito*) para recuperar pastizales abandonados en la región atlántica de Costa Rica. Los resultados de crecimiento en los frutales fueron los esperados para la especie y su estado sanitario fue satisfactorio; en cuanto al amarillón tuvo un buen desarrollo en comparación con parcelas de monocultivo o en condiciones de sombra de bosque secundario (Cordero *et al.* 2003). En Pérez Zeledón, Costa Rica, se le ha encontrado en asocio con cultivo de café, teniendo como razones la facilidad de manejo en los cafetos, además del valor potencial de la madera (Tavares *et al.* 1999).

En Turrialba, Costa Rica, en el ensayo de sistemas agroforestales con café (en CATIE), Montenegro (2005) encontró que el amarillón bajo tres tipos de manejo tales como alto convencional (AC), medio convencional (MC) y medio orgánico (MO) obtuvo cantidades de biomasa (aportada por poda anual) de 3453.2, 1270.3 y 1295.6 Kg ha⁻¹ respectivamente. También se evaluó el aporte total de nutrientes procedente de la poda en cada tipo de manejo (AC, MC, MO) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Aportes de nutrientes de *T. Amazonia* por tipo de manejo en el ensayo de sistema agroforestales en CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tipo de manejo	Kg ha ⁻¹ año ⁻¹ de nutrientes			
	N	P	K	Ca
AC	57.8	4	26.5	41.9
MC	20.7	1.7	10.4	20.8
MO	18.9	1.9	10.1	18.9

Fuente: Montenegro (2005). AC: alto convencional o intensivo convencional, MC: medio convencional, MO: medio orgánico o orgánico intensivo.

2.8.3 Cashá (*Chloroleucon eurycyclum*)

El cashá es una leguminosa de la familia mimosaceae (fijadora de nitrógeno) y se le ha descrito con los nombres de: *Abarema idiopoda* (Blake) Barneby & Grimes; *Pithecellobium idiopodum* Blake; *Pithecellobium pseudotamarindus* Standley (Cordero *et al.* 2003). Según Arce y Cooke (1997), los taxónomos han concluido que *Abarema* es un género exclusivo de los neotrópicos, con aproximadamente 45 especies. El género es distinguido de sus parientes por el fruto torcido dehiscente, y el endocarpio (las capas internas del fruto) que es normalmente rojo u ocre conservando lo rojo en el área de las semillas (Arce y Cooke 1997). El centro principal de diversidad de especies está en América del Sur, en la cuenca del río Amazonas y regiones montañosas de Guyana. El rango geográfico se extiende desde el norte de México hasta el sur de Bolivia.

Cashá es un árbol de hasta 25 m de altura y 80 cm de DAP, con un alto valor comercial, debido al uso como madera, leña, construcción, otras características de la especie es que tiene raíces con propiedades insecticidas, copa alta, abierta y alto contenido de nitrógeno. Requiere de poda de formación debido a sus ramificaciones irregulares o mal formadas. Su hábitat ocurre en el bosque tropical húmedo, bosque nublados, bosque semideciduo y áreas inundables a lo largo de la costa, en altitudes desde el nivel de mar a 1500 m (Cordero *et al.* 2003). En Costa Rica no se ha encontrado reporte de cashá en uso tradicional en asocio con café en fincas cafetaleras (Montenegro 2005).

Tilki y Fisher (1998), en la Estación Biológica La Selva en Sarapiquí, Costa Rica, evaluaron el crecimiento y rendimiento de *Chloroleucon eurycyclum* (cashá) a una edad de

tres años en un ensayo de plantaciones mixtas, obteniendo una sobrevivencia del 100%, un DAP de 7.3 cm, una altura de 6.5 m y un volumen de 0.0134 m³ árbol⁻¹. De las 25 especies evaluadas, el cashá fue una de las especies que tuvo la tasa de crecimiento en diámetro más alta a la edad de tres años (>2.0 cm año⁻¹) en todos los sitios; sin embargo, la tasa de crecimiento del diámetro disminuyó después de tres años de edad; dicha especie fue considerada entre las especies con mejor crecimiento en lo que se refiere a la altura, diámetro, y volumen de la copa, no obstante el tallo no tuvo forma recta (Tilki y Fisher 1998). Cabe mencionar que los suelos donde se estableció el ensayo fueron clasificados como inceptisol y ultisoles (Butterfield 1996 citado por Tilki y Fisher 1998).

Por otro lado, en Turrialba, Costa Rica, en el ensayo de sistemas agroforestales con café de CATIE, Montenegro (2005), encontró que cashá bajo dos tipos de manejo tal como medio convencional (MC) y medio orgánico (MO) obtuvo cantidades de biomasa (aportada por poda anual) de 3348.3 y 2776.3 Kg ha⁻¹. Montenegro (2005) evaluó el aporte total de nutrientes procedente de la poda total de cashá en cada tipo de manejo (MC y MO, Cuadro 3).

Cuadro 3. Aportes de nutrientes en C. eurycyclum por tipo de manejo en el ensayo de sistema agroforestales en CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tipo de manejo	Kg ha ⁻¹ año ⁻¹ de nutrientes			
	N	P	K	Ca
MC	126.1	4.7	23.6	25.5
MO	100.0	4.7	22.6	22.0

Fuente: Montenegro (2005). AC: alto convencional o intensivo convencional, MC: medio convencional, MO: medio orgánico o orgánico intensivo.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características del sitio de estudio

3.1.1 Ubicación

La investigación se realizó la finca experimental del CATIE, localizada aproximadamente a 4 km al sureste de la ciudad de Turrialba, Costa Rica (Alpizar *et al.* 1986). El presente trabajo se efectuó en el ensayo de sistemas agroforestales con café (Anexo 1), establecido en el año 2000. El ensayo tiene una área de aproximadamente 9.20 ha y tendrá una duración mínima de 20 años. El ensayo está localizado en el sector Bonilla 2 ubicado geográficamente en las coordenadas 9° 53' 44" N y 83° 40' 07" W y con una elevación de 600 msnm.

3.1.2 Zona de vida y Clima

La finca CATIE se localiza en la zona de vida Bosque Premontano Muy Húmedo (bpmh) según la clasificación de Holdridge (Jiménez 2003). Para la zona de Turrialba los datos meteorológicos de la estación de CATIE indican los siguientes promedios: precipitación mensual de 225.0 mm y 2,700.4 mm año⁻¹, temperatura mensual de 21.8 °C, humedad relativa de 88.1% y una radiación solar de 16.7 Mj/m² (Cuadro 4).

Cuadro 4. Datos climatológicos de la estación meteorológica del CATIE.

Meses del año	Precipitación Total (2005) Promedio mensual (mm)	Precipitación (1942-2005) Promedio mensual (mm)	Temperatura (1958-2005) Promedio mensual (°C)	Humedad relativa (1958-2005) Promedio mensual (%)	Radiación solar (1968-2005) Promedio mensual (Mj/m ²)
Enero	850.0	188.0	20.5	87.6	15.4
Febrero	222.3	141.9	20.8	86.5	17.1
Marzo	4.9	85.4	21.5	85.3	19.0
Abril	290.9	131.0	22.1	86.0	18.8
Mayo	141.2	244.5	22.6	87.9	17.9
Junio	255.1	281.9	22.5	89.0	16.5
Julio	200.1	276.9	22.2	89.7	15.4
Agosto	182.0	258.9	22.2	89.2	16.7
Septiembre	263.0	250.6	22.4	88.5	17.9
Octubre	268.6	256.0	22.2	88.9	17.2
Noviembre	364.3	276.8	21.7	89.7	14.8
Diciembre	117.3	308.5	20.9	89.1	14.0
Promedio	263.31	225.0	21.8	88.1	16.7

Fuente: CATIE, 2006.

3.1.3 Suelo

Los suelos del ensayo se caracterizan como aluviales mixtos, ultisol e inceptisol, contextura entre franco y franco-arcilloso en los primeros horizontes (Virginio *et al.* 2002). El orden ultisol se caracterizan por ser suelos químicamente pobres, de color rojizo, ácidos, lixiviados, sin reservas de minerales meteorizables, con saturación de bases menores al 35%, susceptibles a la compactación, comunes en clima húmedo y sin largas épocas secas. Por el contrario el orden inceptisol son suelos jóvenes que muestran poco desarrollo de horizontes, con buenas características químicas, conteniendo reservas de materiales meteorizables, por los cuales se consideran favorables para el desarrollo de los cultivos (Niuwenhuyse 2005).

3.1.4 Características del ensayo

El ensayo consiste en lotes de café caturra plantado a 2x1 m, con seis diferentes tipos de sombra obteniendo tres tipos de sistemas agroforestales (SAF) con cada una de las siguientes especies: *Erythrina poeppigiana* (poró), *Terminalia amazonia* (amarrillón) y *Chloroleucon eurycyclum* (cashá) y tres SAF con la combinación de dos especies entre las mencionadas anteriormente, manejando los SAF bajo diferentes sistemas de insumos (Cuadro 5). Las especies arbóreas fueron inicialmente plantadas a 6x4 m. “El propósito del establecimiento del ensayo a largo plazo es estudiar los procesos ecológicos que promueven la sostenibilidad y sinergismo de producción de café bajo diferentes condiciones ambientales, asociados con árboles y bajo manejos orgánicos y convencionales” (Virginio *et al.* 2002).

Cuadro 5. Manejo anual utilizado para cada nivel de insumo en el ensayo comparativo de sistemas agroforestales orgánicos y convencionales, CATIE, Turrialba, Costa Rica

Nivel de manejo	Fertilización al suelo*	Fertilización foliar	Control de malezas	Control de enfermedades	Regulación de sombra
Alto convencional o convencional intensivo (AC)	2 abonadas con F** completa (1000 kg ha ⁻¹). 1 abonada FN*** (310 kg ha ⁻¹)	3 aplicaciones (1 multim y B) (2 boro y zinc)	4 aplicaciones parejas 2 parcheos con herbicidas (calle y carril sin hierbas)	2 aplicaciones (atemi y cobre)	2 podas totales en poró y 2 podas de formación en amarillón y cashá
Medio convencional (MC)	2 abonadas F completa (500kg ha ⁻¹) 1 abonada FN (180kg ha ⁻¹)	1 aplicación	5 aplicaciones herbicidas solo carril 4 chapeas altas en la calle	1 aplicación (atemi y cobre)	2 podas parciales en poró y 2 podas de formación en amarillón y cashá
Medio orgánico o orgánico intensivo (MO)	2 abonadas gallinaza (10 ton ha ⁻¹) 1 abonada Kmag (100kg ha ⁻¹)	3 aplicaciones Biofermento con minerales	4 chapeas (selectiva en calle y baja en carril) 2 arranca de zacates	Según incidencia	2 podas parciales en poró y 2 podas de formación en amarillón y cashá
Bajo orgánico (BO)	2 abonadas broza o gallinaza (7 ton ha ⁻¹)	No se aplica	4 chapeas (selectiva en calle y baja en carril)	No se aplica con excepción de control de broca	2 podas parciales en poró y 2 podas de formación en amarillón y cashá

* Programa de fertilización año 2005, ** F: fertilización, *** FN: fertilización nitrogenada
Fuente: Virginio (2005).

3.2 Diseño y tratamientos del experimento

El experimento fue conducido bajo un diseño en parcelas divididas repetido en bloques completos al azar. En las parcelas principales se establecieron siete sistemas de producción que constituyen tipos de asociación árbol-café más pleno sol (factor A). Cada parcela principal esta subdivida en parcelas secundarias o subparcelas por grado de manejo e insumo (factor B). Los siete sistemas de producción (Cuadro 6) están presentes en los tres bloques, sin embargo los tratamientos de manejo e insumos no están en todas las parcelas principales, por lo que el diseño de tratamientos para efecto de esta investigación es un factorial incompleto en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y 20 tratamientos.

Los tratamientos surgen de la combinación de los factores tipos de asociación árbol-café (SAF), poró (*Erythrina poeppigiana*), amarillón (*Terminalia amazonia*), cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), amarillón-cashá, amarillón-poró, cashá-poró, más el pleno sol

(testigo) y el factor grado de manejo e insumo con los niveles alto convencional o convencional intensivo, medio orgánico o orgánico intensivo, medio convencional y bajo orgánico. Debido a que los niveles de insumo (subparcela) no están en todos los niveles de la asociación árbol-café más el pleno sol (parcela principal), para comparar y probar hipótesis sobre diferencias entre combinaciones específicas, *i.e.* tipos de asociación árbol-café y grado de manejo e insumo bajo los sistemas de producción presentes en el ensayo, se utilizaron contrastes no ortogonales.

Cuadro 6. Combinación de factores para obtención de tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales (café - árbol) evaluado en este estudio en CATIE, Turrialba, Costa Rica

¹ Sistemas de producción	1	2	3	4	5	6	7
Factor A (tipo de asociación café-árbol + pleno sol)	Poró (P)	Amarillón(A)	Cashá (C)	Amarillón+ Cashá (AC)	Amarillón + Poró(AP)	Cashá+ Poró (CP)	Pleno sol
Factor B (manejo y/o insumo)	AC, MC, MO, BO	AC, MC, MO, BO	MC, MO	MC, MO	MC, MO	AC, MC, MO, BO	AC, MC
Tratamientos (Factor A + Factor B)	PAC, PMC, PMO, PBO	AAC, AMC, AMO, ABO	CMC, CMO	ACMC, ACMO	APMC, APMO	CPAC, CPMC, CPMO, CPBO	SAC, SMC
Área efectiva de medición de sub parcela (factor B) por cada parcela principal (factor A).	36 x 10 m	18 x 18 m	18 x 18 m	24 x 18 m	24 x 18 m	24 x 18 m	23 x 20 m

AC: alto convencional, MC: medio convencional; MO: medio orgánico; BO: medio orgánico.

¹En el modelo para crecimiento de árboles no se toma el sistema 7 (pleno sol), el modelo de volumen para maderables el sistema 1 y 7 no son tomados en cuenta y en el modelo de rendimiento de cafetos todos los sistemas están incluidos.

3.3 Variables en estudio

Para determinar el comportamiento productivo de cafetos y árboles de sombra asociados, se evaluó el cultivo de café a través del rendimiento en granos cereza, agotamiento y vigor de tejidos bajo diferentes tipos de manejo e insumos; en este contexto se midió el porcentaje de sombra, cobertura del dosel superior y área proyectada de la copa para conocer en que medida estas variables afectan la producción del café. En el caso particular del crecimiento de los árboles el comportamiento se determino a través de la sobrevivencia, el diámetro a la altura

del pecho (DAP), la altura total, el diámetro de copa, el área basal, el volumen, el incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA) y biomasa de podas.

3.3.1 Rendimiento de cafetos

En el ensayo de sistemas agroforestales se llevó un registro del rendimiento de café cada año (2002-2005), trabajo realizado por el personal permanente de campo. Los rendimientos de café cereza se midieron en cajuela y se promediaron por tratamiento en cada uno de los años, convirtiéndose los datos en fanegas* ha⁻¹.

3.3.2 Agotamiento y vigor de tejidos en cafetos

Debido a que la planta de café produce una sola vez en una zona determinada de sus ramas, es necesario realizar podas, en determinados momentos. Las podas pueden ser de forma parcial y total. La poda parcial: es la que se corta parte del cafeto para obtener nuevos brotes productivos con el objetivo de reducir el agotamiento y mantener la producción adecuada. La poda total que consiste en la eliminación total de la planta a una altura de 25 a 30 cm del suelo, provoca un mayor grosor del tallo y desarrollo de hijos con menor vigor productivo (Enríquez y Mejía 1997).

El agotamiento de tejidos se midió registrando el número de plantas de cafetos podadas poscosecha en forma parcial y total (Anexo 2) en cada una de las subparcelas del área útil. Los datos analizados fueron los registrados en el año 2005 y 2006. En cuanto al vigor de tejidos productivos (Anexo 3) se evaluaron los cafetos podados de forma parcial (en el año 2006) en cada una de las subparcelas, tomando como criterio de evolución (Virginio 2005) los siguientes parámetros cualitativos:

1. Muy bueno: los troncos remanentes están completamente revestidos de tejido productivo en más del 90% de la planta.

* Una Fanega = 20 cajuelas = 400 litros = aproximadamente 255 kg café cereza fresco y un litro de café fresco pesa en promedio 0.58 kg (Alpizar *et al.* 1983; Hernández 1995; Sosa 1997).

2. Bueno: los troncos remanentes están revestidos de tejido productivo entre el 70% y 89% de la planta.

3. Regular: Los troncos remanentes están revestidos de tejido productivo entre el 50% y 69% de la planta.

4. Malo: Los troncos remanentes están revestidos de tejido productivo en menos del 49% de la planta.

3.3.3 Porcentaje de sombra en los cafetos y cobertura del dosel superior

Para la determinación del porcentaje de sombra se utilizó la metodología aplicada por Dzib (2003) y Lara (2005), quienes obtuvieron el porcentaje de sombra por diferencia de radiación fotosintéticamente activa (RAFA). Dentro de las parcelas útiles, se seleccionaron al azar seis subparcelas donde los árboles formaban un cuadro independientemente de la especie, y entre calles de cafetos se midieron seis puntos de RAFA en cada cuadro (Figura 1). Fuera del bloque se midió a cielo abierto por cada cuadro seleccionado, sin la intervención de cobertura aérea que produzca sombra. Cuando las condiciones a cielo abierto durante las mediciones dentro de la subparcelas cambiaron por alguna nubosidad momentánea, se procedió a salir fuera del bloque para hacer mediciones a cielo abierto y continuar con las mediciones en la subparcela⁵. Las mediciones de RAFA para el cálculo de sombra se realizaron antes y después de la poda, y con la tercera medición de cobertura se predijo la sombra a través de regresiones simples entre estas dos variables. Por otro lado, las mediciones de RAFA ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$) se midieron por medio de ceptómetro (Line Quantum Sensor) y un Data Logger, marca Li-COR[®] modelo LI-1000 y se cálculo el porcentaje de sombra utilizando la fórmula adaptada de Dzib (2003) y Lara (2005) la cual se expresa como:

$$\text{Sombra (\%)} = \frac{\text{Promedio de RAFA cielo abierto} - \text{Promedio RAFA de Subparcela}}{\text{Promedio de RAFA cielo abierto}} 100$$

⁵ Vaast, P. 2005. Medición de RAFA en árboles con cultivo de café. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Comunicación personal.

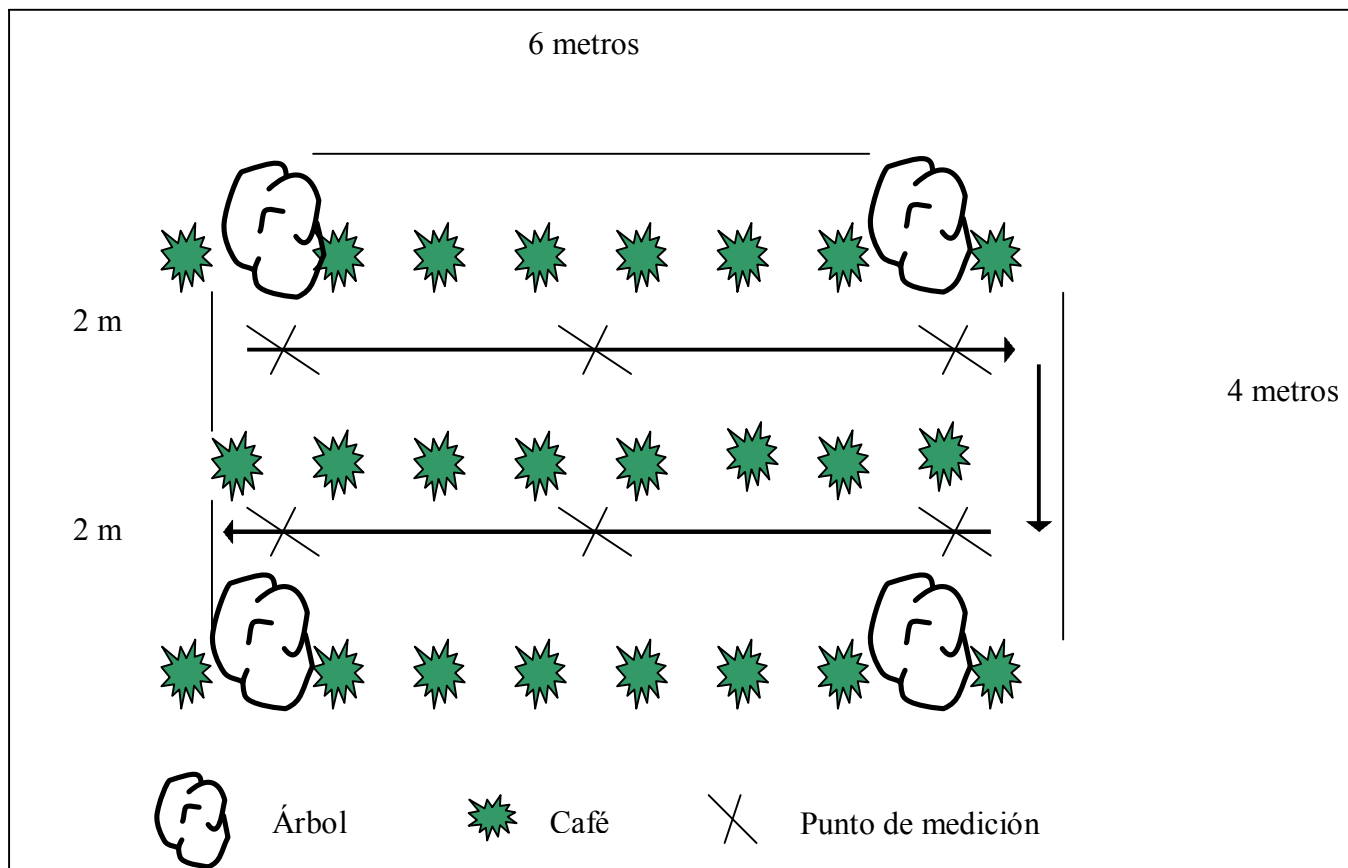


Figura 1. Esquema de muestreo de RAFA a nivel de subparcelas en el ensayo de sistemas agroforestales CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Para la medición del dosel ocupado por la copa de los árboles en asocio con el cultivo de café, se utilizó un densiómetro esférico Model-C® (Figura 2) con espejo cóncavo con 24 cuadros y a su vez cada uno dividido en cuatro cuadros imaginarios, el cual mide el nivel de ocupación del dosel de los árboles (Lemmon 1956). Para la determinación del dosel ocupado por los árboles se realizó un muestreo en cada subparcela, tomando seis puntos al azar, donde formaban un cuadro de cuatro árboles⁴ (Figura 1). La medida se tomó a 1.3 m de altura del suelo aproximadamente, evitando la sombra de los cafetos para tener únicamente el porcentaje de dosel ocupado por los árboles. En el caso que los cafetos se reflejaban en el densiómetro, estos fueron doblados a un lado de forma temporal. Para la caracterización de la cobertura se realizaron tres mediciones en el tiempo, una antes y después de la poda y la tercera antes de la segunda poda. Una vez obtenida la medición en cada subparcela se obtuvo un promedio de las

⁴ Virginio F deM, E; Vaast, P. 2005. Medición con densiómetro en árboles asociados a café. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Comunicación personal.

mediciones realizadas, luego se multiplica por el factor 1.04 que es un valor estándar establecido en el instrumento para obtener el porcentaje de cobertura de las subparcela en cada tratamiento.

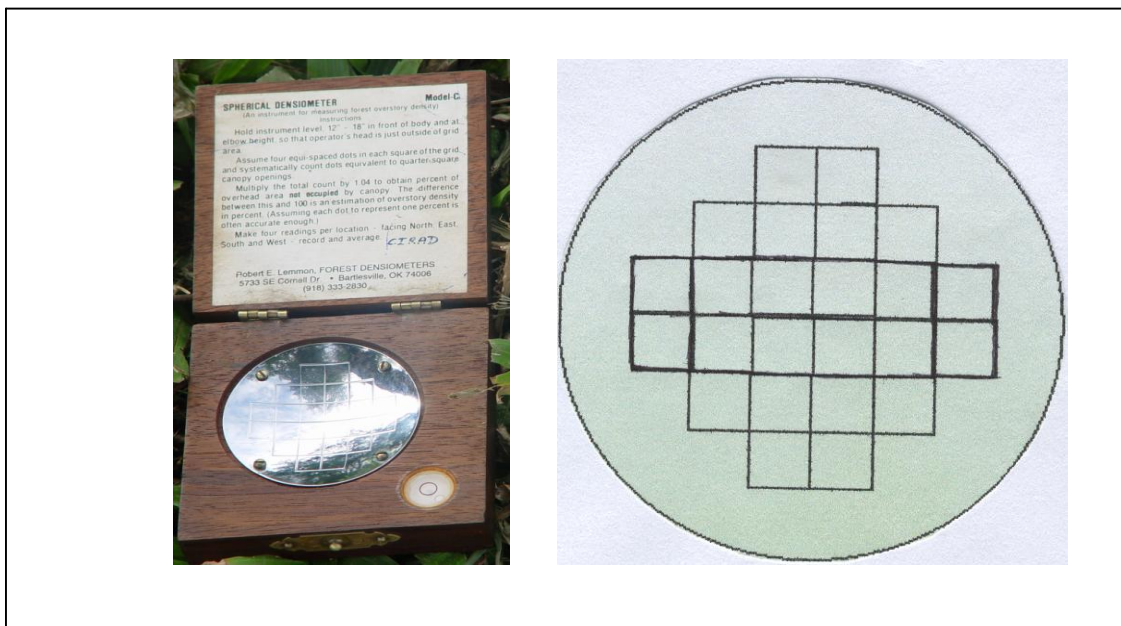


Figura 2. Densiómetro esférico.

3.3.4 Área de proyección de la copa

Con las mediciones del diámetro de copa de las especies maderables, se calculó el área de proyección de la copa (APC) por medio de la fórmula:

$$APC = \frac{\pi}{4} d^2$$

donde:

$$\pi = 3.1416$$

d^2 = es el diámetro medio de la copa del árbol

3.3.5 Supervivencia

Esta variable se midió cuantificando el número de árboles en pie (vivos) en cada una de las subparcelas.

3.3.6 Altura total

Dada la dificultad de emplear instrumentos de contacto o de medición directa como regla o varas, cuando los árboles alcanzan grandes alturas se usan en general instrumentos de tipo óptico, basados en principios geométricos y trigonométricos (Prodan *et al.* 1997). Para medir la altura total de los árboles se utilizó una vara telescópica (vara graduada). La altura total se midió desde el suelo hasta el ápice de los árboles. Para alturas de árboles (ht) mayores 15 m se realizó una estimación con clinómetro y cinta métrica, utilizando las fórmulas siguientes:

$$ht= L2 - L1/100 \times D$$

donde:

L2: lectura en % hecha al ápice del árbol

L1: lectura en % hecha a la base del árbol

D: Distancia del árbol al lugar donde fue hecha la lectura

3.3.7 Diámetro a la altura del pecho

La medición DAP es la más corriente y sencilla. En árboles en pie, 1.3 m es la altura del diámetro representativo del árbol. Por la altura a la que es medida, se denomina diámetro a la altura del pecho (Prodan *et al.* 1997). El DAP se ha utilizado tanto para describir el árbol y su adaptación al sitio, como para estimar la producción de madera en volumen por árbol o por área (Salazar 1989). La medición de esta variable se realizó tomando el diámetro del fuste con una cinta diamétrica a una altura de 1.3 m desde el nivel del suelo, medidos sobre la parte superior de la pendiente (Prodan *et al.* 1997).

3.3.8 Diámetro de copa

El diámetro de la copa usualmente se mide para conocer la cobertura de la especie, estimar producción de biomasa y follaje, leña o semilla (Salazar 1989). Este se determina generalmente mediante la proyección de puntos de su contorno sobre el terreno. Así también el diámetro de copa puede determinarse a través de fotografías aéreas (Prodan *et al.* 1997).

La determinación del diámetro de copa de los árboles en los tratamientos se realizó mediante un muestreo en cada subparcela, tomando seis puntos al azar, particularmente donde

se forma un cuadro de cuatro árboles independientemente de la especie (Figura 1). Para la medición del diámetro de la copa se tomó una cinta métrica entre dos personas y se extendió bajo la copa, siguiendo la orientación norte-sur, este-oeste y su dirección se obtuvo con una brújula. La lectura se realizó donde se formaron las perpendiculares entre la cinta y la proyección de la copa y luego se gira 90°. Posteriormente se sumaron los dos diámetros y se dividió entre dos para obtener el diámetro promedio de copa (CATIE 1984).

3.3.9 Factor de forma o factor mórfo

El factor de forma de un árbol es el factor de reducción por el cual el volumen de un cuerpo geométrico tiene que ser multiplicado para obtener el volumen de un árbol (Loetsh *et al.* 1973 citado por Santelices 1989). En consecuencia es un factor de reducción del volumen del cilindro al volumen real del árbol (Prodan *et al.* 1997).

Si el factor de forma es el natural o verdadero ($FF_{0.1}$), el diámetro para el cálculo del volumen del cilindro se considera a un décimo de la altura total. Por el contrario si el factor de forma es el artificial ($FF_{1.3}$), el diámetro para el cálculo del volumen del cilindro se considera a 1.3 m de la altura del árbol (Cubillos 1988b).

En contraposición al factor de forma falso, el factor de forma verdadero o real es una característica de la forma geométrica del fuste. Sin embargo, tiene el defecto de requerir un diámetro de referencia que se encuentra a una distancia variable desde la base y por lo tanto difícil de medir. El factor de forma falso, se refiere al diámetro a la altura del pecho, el cual se puede medir fácil pero caracterizado muy rústicamente la forma fustal (Cubillos 1988a; (Prodan *et al.* 1997). La medición de esta variable se realizó en las especies maderables (amarillón y cashá) para lo cual se efectuó mediciones de diámetro en cinco secciones de los árboles, utilizando como herramientas escalera, cinta diamétrica y equipo especializado de escalamiento ya que el método empleando no fue destructivo.

Para conocer el factor de forma de las especies maderables se realizó un muestreo, el cual consistió en seleccionar al azar un árbol por subparcela donde se encontró presente amarillón y cashá solo, en el caso particular donde había dos maderables asociados se

seleccionó uno de cada especie. Una vez obtenidos los factores de forma de los árboles maderables se promediaron para tener un único factor mórfico por especie.

A cada especie maderable se le calculó el factor de forma natural o verdadera considerando el volumen real de los árboles y del cilindro, incluyendo el espesor de la corteza. El factor de forma (FF) se estimó utilizando la fórmula general propuesta por Cubillos (1988a y 1988b), la cual se detalla a continuación:

$$FF = \frac{\text{Volumen real del árbol}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

Para estimar el volumen real del fuste se utilizó la fórmula de Hohenadl (Prodan *et al.* 1997), la que se presenta seguidamente:

$$\text{Volumen real del árbol} = \frac{\pi}{4} L (d_{0.1}^2 + d_{0.3}^2 + d_{0.5}^2 + d_{0.7}^2 + d_{0.9}^2)$$

donde:

- π es 3.1416
- L es el largo sección del árbol
- $d_{0.1}^2, \dots, d_{0.9}^2$ es el diámetro al cuadrado medido a la décima parte de la altura total del árbol.

El volumen del cilindro se obtuvo a través de la fórmula propuesta por Varona (1958), las cuales se expresan de la siguiente manera:

$$\text{Volumen del cilindro} = \text{Área basal} \times \text{altura}$$

3.3.10 Área basal

Prodan *et al.* (1997), manifiesta que el área basal es una de las dimensiones empleadas con mayor frecuencia para caracterizar el estado de desarrollo de un árbol, que se define como el área de una sección transversal del fuste a 1.30 cm de altura sobre el suelo. El área basal por su forma irregular, nunca se mide en forma directa, si no que se deriva de la medición del diámetro o perímetro, por lo que se obtendrá a partir de la expresión:

$$g = \frac{\pi}{4} d^2$$

donde:

g = es el área basal (cm²)

d = diámetro a la altura del pecho (cm)

π = 3.1416

3.3.11 Volumen en los maderables

La variable volumen total (V_t) fue estimada a través del modelo general propuesto para cálculo de volumen por Orozco y Brumér (2002):

$$V_t = g \cdot ht \cdot FF$$

donde:

g = área basal

ht = altura

FF = factor de forma

3.3.12 Incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA)

Considerando que en el ensayo de sistemas agroforestales con café se realizaron mediciones de amarillón y cashá en el 2004 y 2005, se estimó el incremento medio anual (IMA) y el incremento periódico anual (IPA) en altura total, diámetro a la altura del pecho, área basal y volumen total. Las fórmulas que se utilizarán se describen a continuación:

$$IMA = \frac{V\beta}{K}$$

donde:

$V\beta$: variable de interés del año

K : edad del árbol en años

$$IPA = \frac{V\beta_{ii} - V\beta_i}{P}$$

donde:

$V\beta_{ii}$: variable medida al final del período

V β i: variable medida al inicio del período

P: período en años medidos a una edad inicial hasta a una edad final

3.3.13 Biomasa de podas en árboles

Para la cuantificación de biomasa de podas en árboles en asocio con café en cada subparcela, se utilizó la metodología empleada por Salazar (1989) y Montenegro (2005); dicha valoración se apoyó de manera coordinada con un estudio paralelo desarrollado por Romero (2005)ⁱⁱ. Para cada tratamiento con una sola especie arbórea se muestrearon los cuatro árboles en grupo (Figura 3), en cambio cuando hubo dos especies en los tratamientos se seleccionaron los cuatro árboles en grupo (dos por especie) con la diferencia que las especies a muestrear estaban dispuestas en forma diagonal (Figura 4). El material podado de cada uno de los árboles seleccionados se clasificó en hojas y ramas, estas a su vez se dividieron en ramas gruesas y delgadas. El criterio de clasificación de ramas delgadas en poró fue ≤ 2 cm, y ramas gruesas > 2 cm. En el caso de cashá y amarillón se tomaron como ramas delgadas aquellas ≤ 1 cm, y ramas gruesas a las > 1 cm.

A los residuos de poda de los árboles muestreados se le midió el peso verde (PV) de cada componente (ramas y hojas) por especie en la subparcela. Posteriormente en campo se mezclaron los residuos de cada componente y se obtuvo una muestra homogénea de aproximadamente 500 g. Cada muestra fue identificada con el nombre de la especie, componente, número de bloque y tratamiento. Las muestras para ramas se cortaron en secciones lo más pequeñas posibles por especie podada, para luego llevarlas a secar al horno (65 °C) hasta obtener peso seco (PS) constante. Una vez obtenido el PV y el PS de cada componente se determinó para cada muestra la relación PS/PV y se utilizó para transformar los PV de cada árbol a PS o biomasa expresada en kilogramos (CATIE 1984).

ⁱⁱ Romero L, SA. 2005. Aporte de biomasa y nutrientes al suelo de seis sistemas agroforestales de café (*coffea arabica* var. caturra), con tres niveles de manejo. Anteproyecto de tesis. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 16 p.

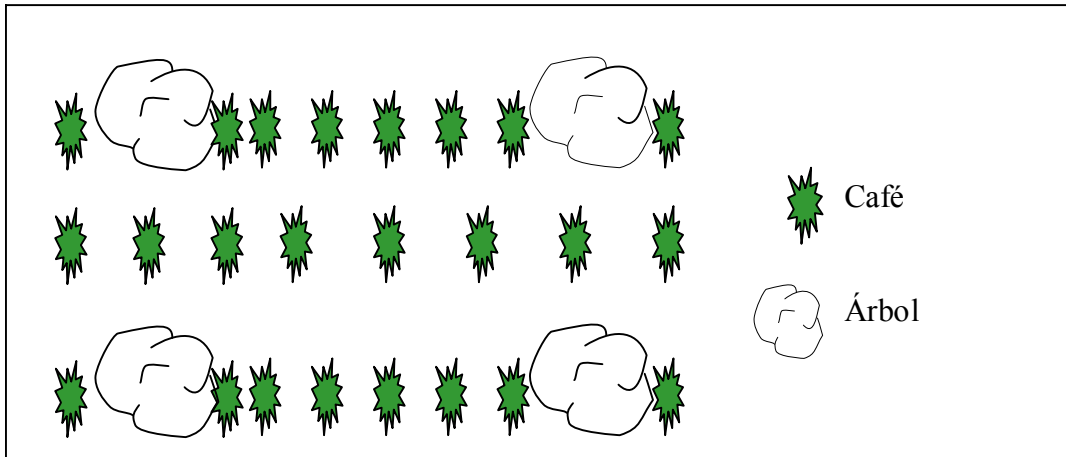


Figura 3. Muestreo en subparcelas de una sola especie arbórea de sombra.

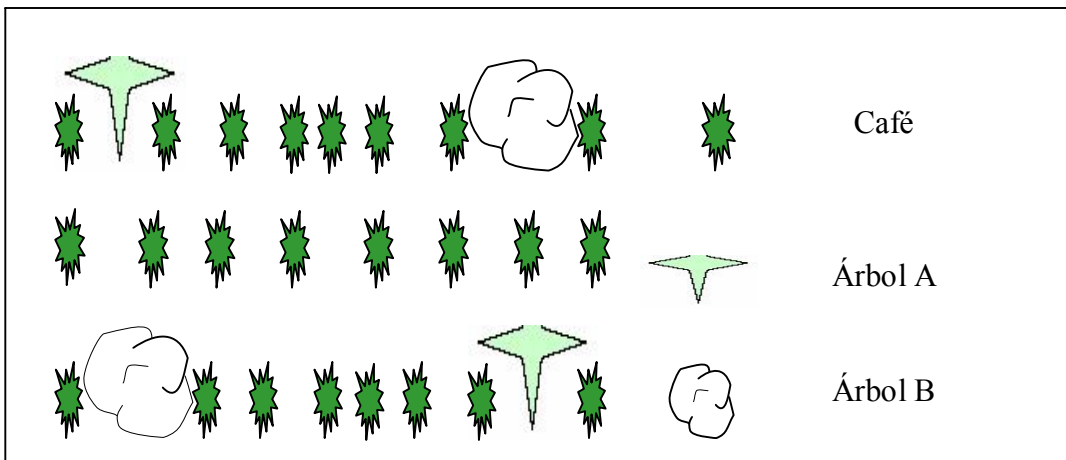


Figura 4 Muestreo en subparcelas con dos especies arbóreas de sombra.

3.4 Análisis estadístico

Se utilizó la técnica de ANOVA para un diseño en parcelas divididas con repeticiones en bloques completos al azar. Las medias de tratamientos fueron analizadas mediante contrastes no ortogonales. El nivel de significación utilizado fue 0.05. Las variables rendimiento en café, agotamiento de tejidos en café (poda total, poda parcial y suma de ambas podas) y vigor de tejidos en café (muy bueno, bueno, regular y malo), fueron transformadas a raíz cuadrada y las variables de sombra de árboles en café, cobertura de árboles, área proyectada de copa, DAP, altura total, diámetro de copa, área basal, volumen total e incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) fueron transformadas a rango. Las transformaciones se realizaron para

asegurar el cumplimiento de los supuestos del modelo. Para la variable rendimiento del café, el modelo matemático utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_k + AB_{ik} + T_1 + M_j + AT_{i1} + MT_{j1} + E_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijk} = Es el rendimiento en la k-ésima repetición con el i-ésimo nivel de asociación árbol-café más pleno sol y j-ésimo manejo

μ = Media general

A_i = Efecto del i-ésimo nivel asociación árbol-café

B_k = Efecto del k-ésimo bloque

AB_{ik} = Interacción asociación árbol-café bloque (error de parcela principal)

T_1 = efecto del 1-ésimo periodo de cosecha

AT_{i1} = interacción asociada árbol-café con el periodo de cosecha

M_j = Efecto del j-ésimo manejo

MT_{j1} = Interacción tipo de manejo con periodo de cosecha

E_{ijk} = Es el término del error experimental independiente (error de parcelas secundarias o subparcelas) con una distribución normal $(0, \sigma^2)$

Para el resto de las variables se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_k + AB_{ik} + M_j + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Son las variables respuesta en la k-ésima repetición con el i-ésimo nivel de asociación árbol-café más pleno sol y j-ésimo manejo

μ = Media general

A_i = Efecto del i-ésimo nivel asociación árbol-café

B_k = Efecto del k-ésimo bloque

AB_{ik} = Interacción asociación árbol-café bloque (error de parcela principal)

M_j = Efecto del j-ésimo manejo

E_{ijk} = Es término del error experimental independiente (error de parcelas secundarias o subparcelas) con una distribución normal $(0, \sigma^2)$

En café se realizaron contrastes en las variables rendimiento de café y agotamiento de tejidos (Cuadro 7). En poró (especie de servicio) se realizaron en las variables de crecimientos DAP, altura total y diámetro de copa (Cuadro 8), en caso de las maderables (amarillón y cashá), los contrastes se afectaron en las variables DAP, altura total (HT), diámetro de copa, área basal (AB) y volumen total (VT), así como también en los incremento medio anual e incremento periódico anual de DAP, HT, AB y VT (Cuadro 9).

Cuadro 7. Contrastes de tratamientos para las variables rendimiento de café y agotamiento de tejidos, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

No.	Contrastes en café asociado con poró, amarillón y cashá
1	Pleno sol (SAC+SMC) vs con sombra
2	Poró (PAC+PMC+PMO+PBO) vs amarillón (AAC+AMC+AMO+ABO)
3	Poró (PMC+PMO) vs cashá (CMC+CMO)
4	Amarillón (AMC+AMO) vs cashá (CMC +CMO)
5	Amarillón-Cashá (ACMC+ACMO) vs poró (PMC+PMO)
6	Amarillón-Cashá (ACMO) vs poró (PMO+PBO)
7	Amarillón-Poró (APMO) vs poró (PMO+PBO)
8	Poró (PAC+PMC+PMO+PBO) vs cashá-poró (CPAC+CPMC+CPMO+CPBO)
9	Poró (PMO +PBO) vs cashá-poró (CPMO+CPBO)
10	Poró (PAC+PMC) vs cashá-poró (CPAC +CPMC)
11	Poró (PMO+PBO) vs poró (PMC+PAC)
12	Poró PMO vs poró PBO
13	Poró (PMC) vs poró (PAC)
14	Amarillón (AMO+ABO) vs amarillón (AAC+AMC)
15	Amarillón (AMO) vs amarillón (ABO)
16	Amarillón (AAC vs amarillón (AMC)
17	Cashá (CMO) vs cashá (CMC)
18	Amarillón-cashá (ACMO) vs amarillón-cashá (ACMC)
19	Amarillón-poró (APMO) vs amarillón-poró (APMC)

Cuadro 8. Contrastes de tratamientos para las variables crecimiento (DAP, altura total y diámetro de copa) en poró asociado con café, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

NO.	CONTRASTES ASOCIADO CON PORÓ
1	Poró orgánico (PMO + PBO) vs Poró convencional (PMC + PAC)
2	Poró medio orgánico (PMO) vs Poró bajo orgánico (PBO)
3	Poró medio convencional (PMC) vs Poró alto convencional (PAC)
4	Poró medio orgánico (PMO) vs Poró asociado con cashá medio orgánico (CPMO)
5	Poró medio orgánico (PMO) vs Poró asociado con amarillón medio orgánico (APMO)
6	Poró bajo orgánico (PBO) vs Poró asociado con cashá bajo orgánica (CPBO)
7	Poró alto convencional (PAC) vs Poró asociado con cashá alto convencional (CPAC)
8	Poró medio convencional (PMC) vs Poró con cashá medio convencional (CPMC)
9	Poró medio convencional (PMC) vs Poró con amarillón convencional (APMC)

Cuadro 9. Contrastes de tratamientos para las variables crecimiento (DAP, altura total y diámetro de copa y sus incrementos medio anual e incremento periódico anual) en amarillón (a) y cashá (c) asociado con café, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

NO.	CONTRASTES EN CAFÉ ASOCIADO CON AMARILLÓN Y CASHÁ
1	Amarillón orgánico (AMO + ABO) vs amarillón convencional (AAC + AMC)
2	Amarillón medio orgánico (AMO) vs amarillón bajo orgánica (ABO)
3	Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón alto convencional (AAC)
4	Amarillón medio orgánico (AMO) vs amarillón con cashá medio orgánico (ACMO_a)
5	Amarillón medio orgánico (AMO) vs amarillón con poró medio orgánico (APMO)
6	Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón con cashá medio convencional (ACMC_a)
7	Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón con poró medio convencional (APMC)
8	Cashá medio orgánico (CMO) vs cashá con poró medio orgánico (CPMO)
9	Cashá medio orgánico (CMO) vs cashá con amarillón medio orgánico (ACMO_c)
10	Cashá medio convencional (CMC) vs cashá con poró medio convencional (CPMC)
11	Cashá medio convencional (CMC) vs cashá con amarillón medio convencional (ACMC_c)

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de café bajo manejo convencional y orgánico

Los datos de producción de café cereza se presentan por años y tratamientos (Figura 5, Anexo 4). Se nota que la producción de café tuvo el mayor rendimiento de cosecha en el año 2 con 68.31 Fanegas* ha⁻¹ año⁻¹ en el tratamiento a pleno sol (SAC) y en la asociación de cashá-poró (CPAC) con 59.21 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹. Si se consideran los promedios anuales de los últimos tres años (2da, 3era y 4ta cosechas) los resultados siguen siendo mayores en los tratamientos SAC y CPAC con 49.60 y 46.12 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Analizando la producción de café por año se tiene que en el segundo año los mayores rendimientos son de 68.31, 59.21, 56.90, 56.03, 51.65 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ en los tratamientos SAC, CPAC, SMC, PAC, AAC respectivamente, notándose que en los tratamientos altos convencionales predominan las mejores cosechas de café, sin incluir el SMC que es un medio convencional ubicado en tercer lugar con mejor rendimiento.

Por otro lado, los tratamientos orgánicos intensivos (PMO, AMO, CMO, ACOMO, APMO, CPMO) mantuvieron su producción por debajo de los convencionales y aunque superaron a los bajos orgánicos (PBO, ABO, CPBO) con diferencias significativas en el contraste 15 (Cuadro 11), no lograron superar a los medios convencionales (Figura 6) que a su vez no mostraron diferencias significativas frente a los altos convencionales. Las cosechas de café en el 3er año en los tratamientos convencionales bajaron su rendimiento con relación al año anterior; sin embargo, los orgánicos intensivos y los bajos orgánicos superaron la cosecha del 2do año (Figura 6). Con respecto al último año de análisis en la producción de café (4to año), se encontró que este supera las cosechas del año anterior en todos los tratamientos, encontrando que los mayores rendimientos lo tuvieron los tratamientos altos convencionales de SAC, AAC, PAC y CPAC con 60.61, 58.78, 54.63 y 54.13 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente, y los menores ABO, APMO, CMO, PMC, PBO con 30.64, 32.54, 32.99, 34.32 y 34.69 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

* Una Fanega = 20 cajuelas = 400 litros = aproximadamente 255 kg café cereza fresco y un litro de café fresco pesa en promedio 0.58 kg (Alpízar *et al.* 1983; Hernández 1995; Sosa 1997).

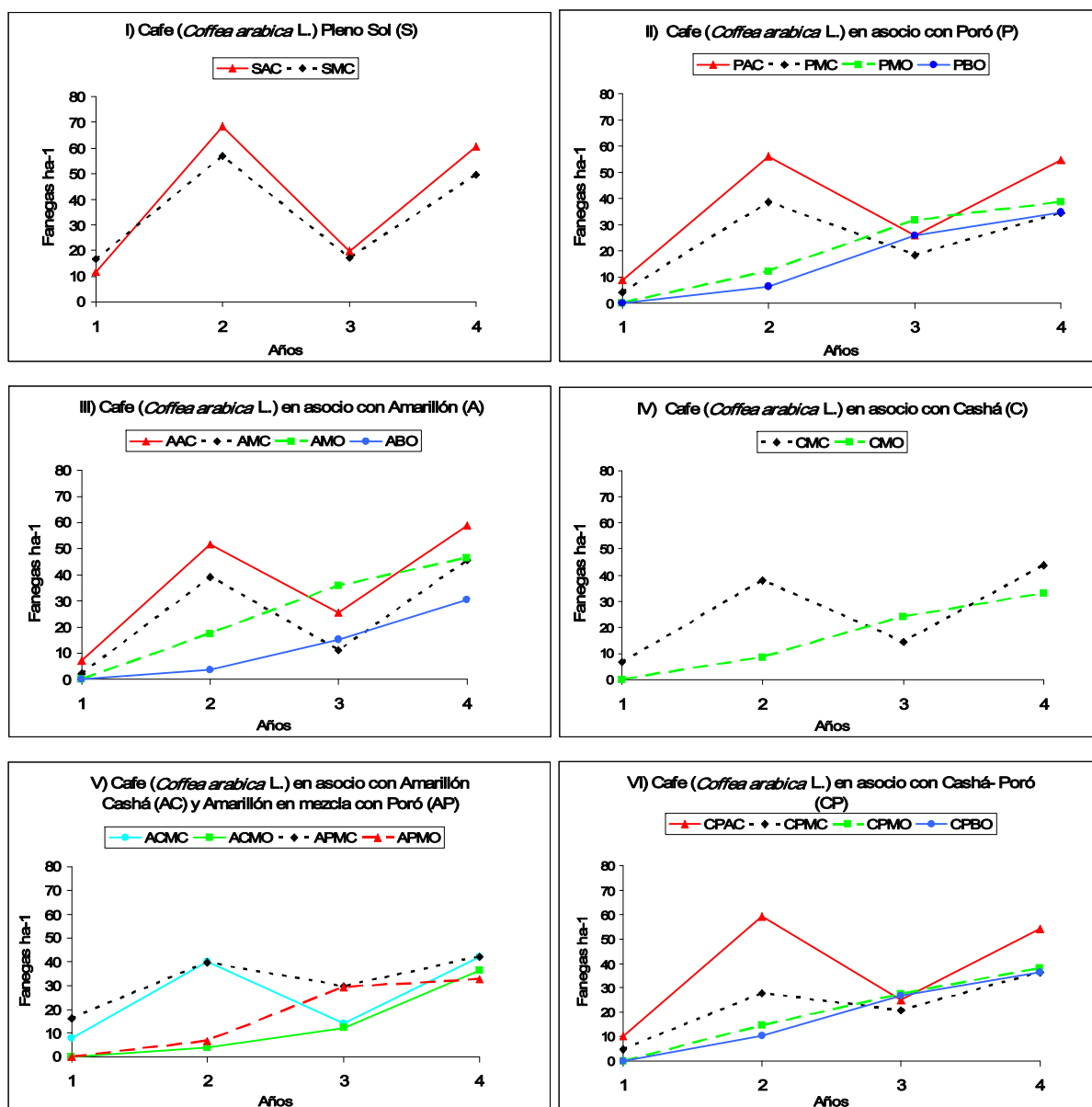


Figura 5. Marcha del rendimiento (Fanega ha⁻¹ año⁻¹) de: I) café (*Coffea arabica* L.) sin sombra de árboles, II) café asociado con poró (*Erythrina poeppigiana*), III) café asociado con amarillón (*Terminalia amazonia*), IV) café asociado con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), V) café asociado con amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró, VI) café asociado con cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

En relación a los promedios anuales de rendimiento en café (desde el 2do año hasta el 4to año de cosecha) los mayores rendimientos se presentaron en los tratamientos SAC, CPAC, PAC, AAC con 49.60, 46.12, 45.53 y 45.33 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente, y la menor

producción se encontró en ABO, ACMO, CMO, PBO, y APMO con 16.56, 17.50, 21.93, 22.29 y 22.91 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

Por otro lado, si se considera la producción de café por años de cosechas, clasificados en manejo convencionales (AC+MC) y orgánicos (MO+BO), en el 2do año de cosecha se encontró diferencias significativas ($p = 0.0001$) logrando el mayor rendimiento promedio los manejos convencionales (46.81 Fanegas ha⁻¹) con respecto a los orgánicos (9.36 Fanegas ha⁻¹). En el 3er año de cosecha no encontraron diferencias significativas ($p = 0.0955$) obteniendo la mayor producción promedio los manejos orgánicos (25.43 Fanegas ha⁻¹), en relación a los manejos convencionales (20.19 Fanegas ha⁻¹); sin embargo, el 4to año de cosecha vuelve a encontrarse diferencias significativas ($p = 0.0031$) en los convencionales (47.45 Fanegas ha⁻¹) en referencia a los orgánicos (36.33 Fanegas ha⁻¹).

Cuadro 10. Análisis de la varianza de mediciones repetidas en el tiempo¹ para el rendimiento (Fanega ha⁻¹ año⁻¹) de café (Coffea arabica L.) en los tratamientos sin sombra y con sombra bajo los manejos bajo orgánico, medio orgánico, medio convencional y alto convencional, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Fc	P > Fc
Manejos (A)	3	17.14	<.0001**
Tipo de Asocio Café-Árbol (B)	6	1.09	0.3823 ^{NS}
Años de cosecha (C)	3	193.61	<.0001**
A*C	9	12.27	<.0001**
B*C	18	1.59	0.0972 ^{NS}

** : Significativo al 0.01; NS: No significativo al 0.05

Para realizar comparaciones de rendimiento de café entre los tratamientos se efectuaron análisis de varianza (Cuadro 10) y contrastes no ortogonales (Cuadro 11, Anexo 5). Encontrando cambios de rendimiento de café a lo largo de los años de cosecha los cuales variaron significativamente entre los manejos ($p < 0.0001$), mostrando diferencias significativas entre los manejos convencionales y orgánicos debiendo sus diferencias al manejo y no al tipo de asocio café-árbol (SAF), como lo demuestra el análisis de varianza.

¹ Corresponde a un ANDEVA con mediciones repetidas en una misma unidad experimental (Littel *et al.* 1998).

Los manejos orgánicos mostraron muy bajos rendimientos al comienzo de la primera cosecha, pero se incrementaron conforme avanzaron los años (Figura 6) logrando rendimientos aproximados a los manejos convencionales, que mostraron un alto rendimiento de café durante el segundo y cuarto periodo de cosecha. Este comportamiento en el rendimiento de café se debe probablemente a la liberación de nutrientes procedentes de fuentes orgánicas que liberan gradualmente los nutrientes y micronutrientes esenciales para la nutrición de las plantas (CENICAFE 1993), teniendo mayor beneficio en la producción de café a mediano y largo plazo.

Cuadro 11. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en rendimiento de café asociado con árboles y sin sombra, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Contrastes	No.	Años de cosecha				
		1	2	3	4	Promedio 2-4
Rendimiento de café cereza						
Café plantado a pleno sol vs con sombra	1	**	**	NS	*	**
Poró orgánico vs convencional	11	**	**	NS	NS	*
Amarillón orgánico vs convencional	14	**	**	NS	*	**
Amarillón medio orgánico vs bajo orgánico	15	NS	*	*	NS	*
Cashá orgánico vs convencional	17	*	**	NS	NS	NS
Amarillón-Cashá orgánico vs convencional	18	**	**	NS	NS	*
Amarillón-Poró orgánico vs convencional	19	**	**	NS	NS	*

NS: no significativo al 0.05, *: significativo al 0.05, **: significativo al 0.01

La producción de café en los tratamientos en el ensayo de SAF bajo sombra con manejo convencional fue similar a la reportada por Hernández (1995) en el llano de San Lucas, en la finca experimental de CATIE, en cafetales con laurel (*Cordia alliodora*) en cosechas de 10 años manejados de forma convencional, donde en promedio encontraron 49, 40 y 32 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ para densidades de 100, 200 y 300 árboles ha⁻¹, respectivamente. En años anteriores en la misma finca en el experimento central de CATIE en Turrialba, Heuveldop *et al.* (1985) reportaron rendimientos de café (cosechas promedios de cinco años) de 33 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ manejado de forma convencional y asociado con poró. Cabe destacar que los rendimientos de café reportados en ensayo de SAF tienen en promedio cuatro años de cosecha y una densidad mayor (417 árboles ha⁻¹) a lo reportado en los estudios citados. Por otro lado, si se comparan los rendimientos de café bajo sombra (asociación café-árbol) frente a

cafetos a pleno sol o exposición solar, la mayor producción se da en cafetos a pleno sol (Figura 7, Anexo 5), confirmando lo dicho por Muschler (2000) quien expresa que cafetos bajo exceso de sombra (> 60%), limita la producción de café por la poca disponibilidad de luz.

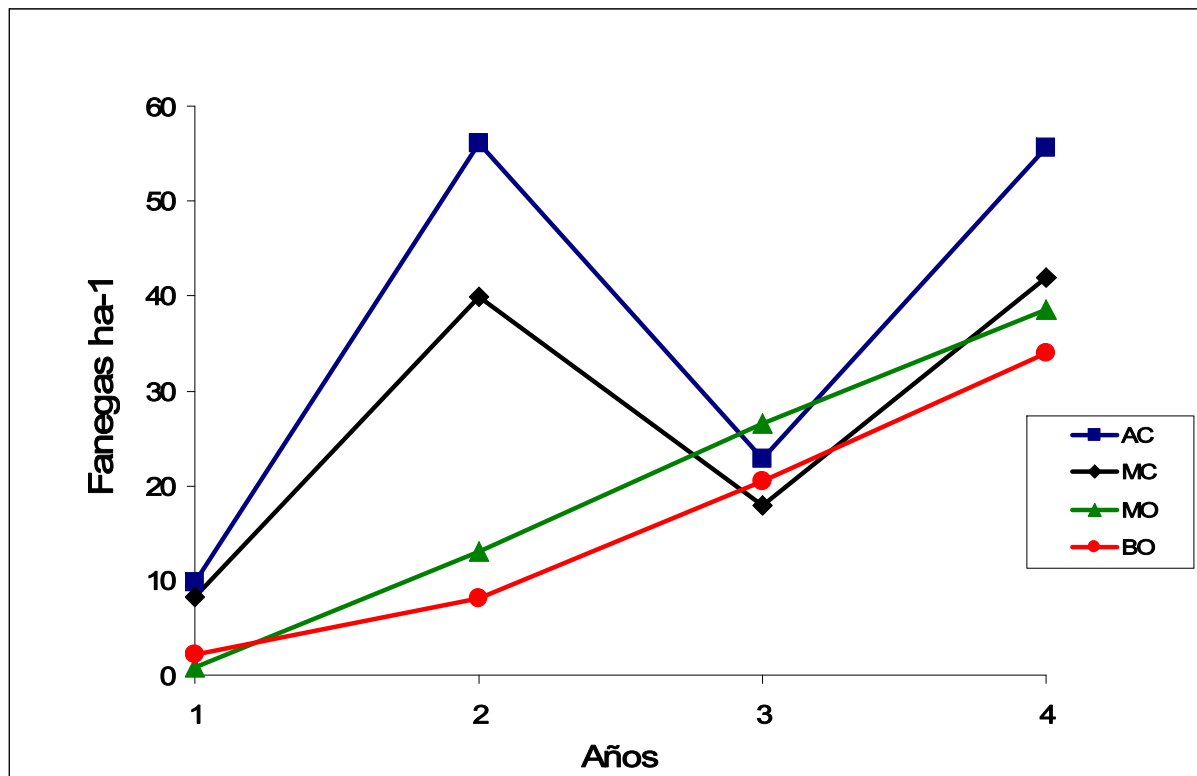


Figura 6. Marcha del rendimiento (Fanega ha⁻¹ año⁻¹) de café (*Coffea arabica* L.) sin sombra y con sombra en los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y Alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

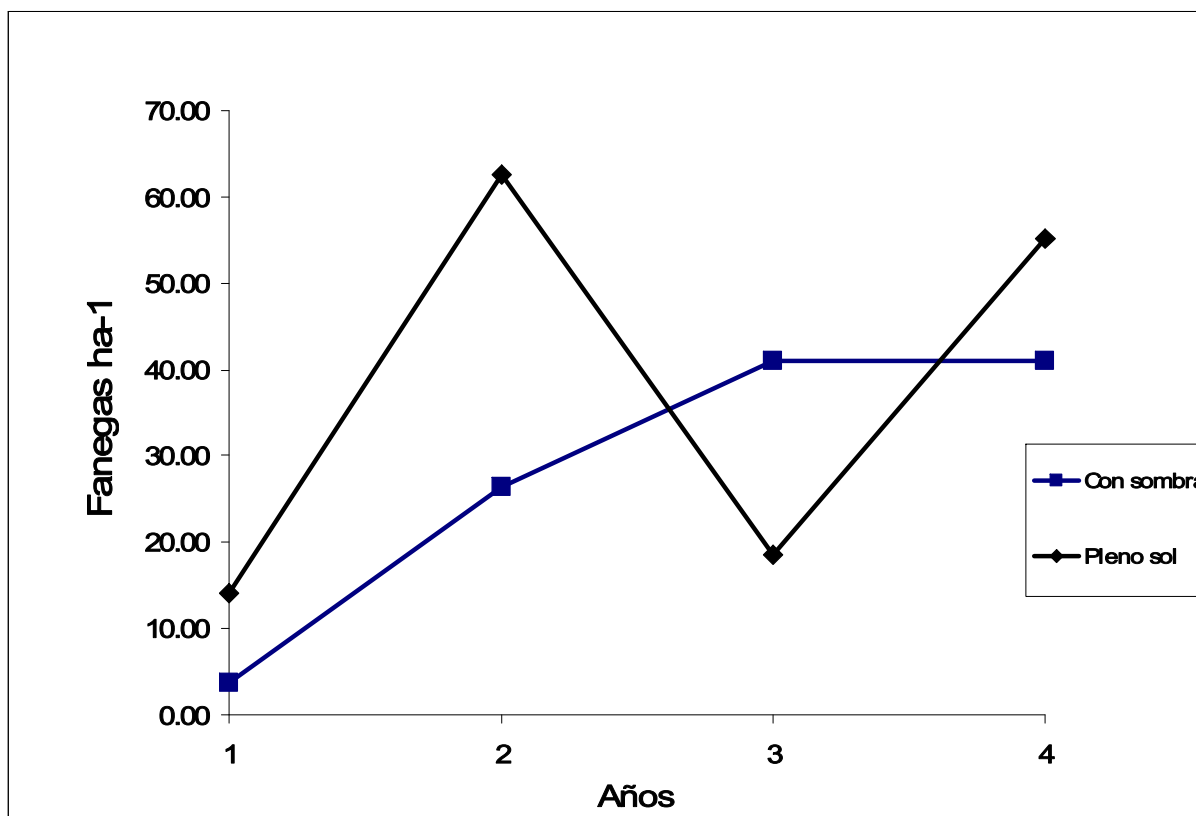


Figura 7. Marcha del rendimiento (Fanega ha⁻¹ año⁻¹) de café (*Coffea arabica* L.) con sombra frente a cafetos plantado a pleno sol, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

En cuanto a la producción orgánica, Lyngbaek (1999) reportó que la producción de café fue en promedio 23% menor en orgánicos que en convencional, pero las diferencias en los tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales son mayores encontrando un 35% menos en orgánicos que en convencionales, sin embargo Ramírez y Calvo (2003) consideran que la caída de los precios de café desde 1997 ha causado una reducción del rendimiento de café (14 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ en el pasado a 4 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ en la actualidad), debido a la intensidad del manejo en los cafetales. Por otra parte, Porras (2006) en fincas de Turrialba, Costa Rica, encontró una producción orgánica promedio de 6.59 Fanegas ha⁻¹ y en convencionales de 22.04 Fanegas ha⁻¹ en comparación con los tratamientos del ensayo de SAF que se encontraron en promedio 23.71 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ en manejos orgánicos y 38.15 Fanegas ha⁻¹ año⁻¹ en convencionales.

4.2 Agotamiento del café bajo manejo convencional y orgánico

El agotamiento del café se evaluó a través de los porcentajes promedios de poda parcial y total (Figura 8, Anexo 6). La poda parcial en el año 2005 fue menor en todos los tratamientos presentes, sin embargo los mayores porcentajes promedios de poda parcial en café se encontraron en AMO (35.18%) y AAC (32.10%), en poda total del mismo año los porcentajes máximos se presentaron en AMO (5.35 %) y PMC (2.38%). En cuanto a la poda de café del año 2006 los porcentajes más altos en poda parcial se encontraron en los tratamientos SAC (68.52%), AMC (68.52%), CMC (75.72%), CPAC (72.07%) y los porcentajes máximos en poda total se muestran en CMC (16.26%), ACMC (14.66%), AAC (13.99%), APMC (12.96%).

Si se considera la suma de poda total y poda parcial del año 2006, los porcentajes mas altos se presentan en los tratamientos CMC (91.98%), ACMC (81.02%), CPAC (81.02%), APMC (80.55%), AMC (80.45%), SAC (79.94%) y AAC (78.19%) y los porcentajes mas bajos en los tratamientos PBO (27.47%), CMO (29.22%), ACMO (32.72), ABO (38.27%) y CPBO (44.29%) encontrando en general menor agotamiento en los tratamientos orgánicos con respecto a los convencionales.

Para comparar la poda de cafetos en el 2006 entre tratamientos se realizaron análisis de varianza (Cuadro 12) y contrastes no ortogonales (Cuadro 13, Anexo 7). El análisis de varianza indicó que las diferencias significativas encontradas en los contrastes se deben al manejo producido en los tratamientos y no a los SAF. Por otra lado, con el propósito de determinar el efecto del rendimiento de café en el agotamiento de los cafetos, se llevo a cabo un análisis de correlación de Pearson, donde se relacionó el rendimiento promedio de café cereza y la poda de cafetos en los años 2004 ($r = 0.5473$, $p = 6.0E-06$) y 2005 ($r = 0.7109$, $p = 2.0E-10$).

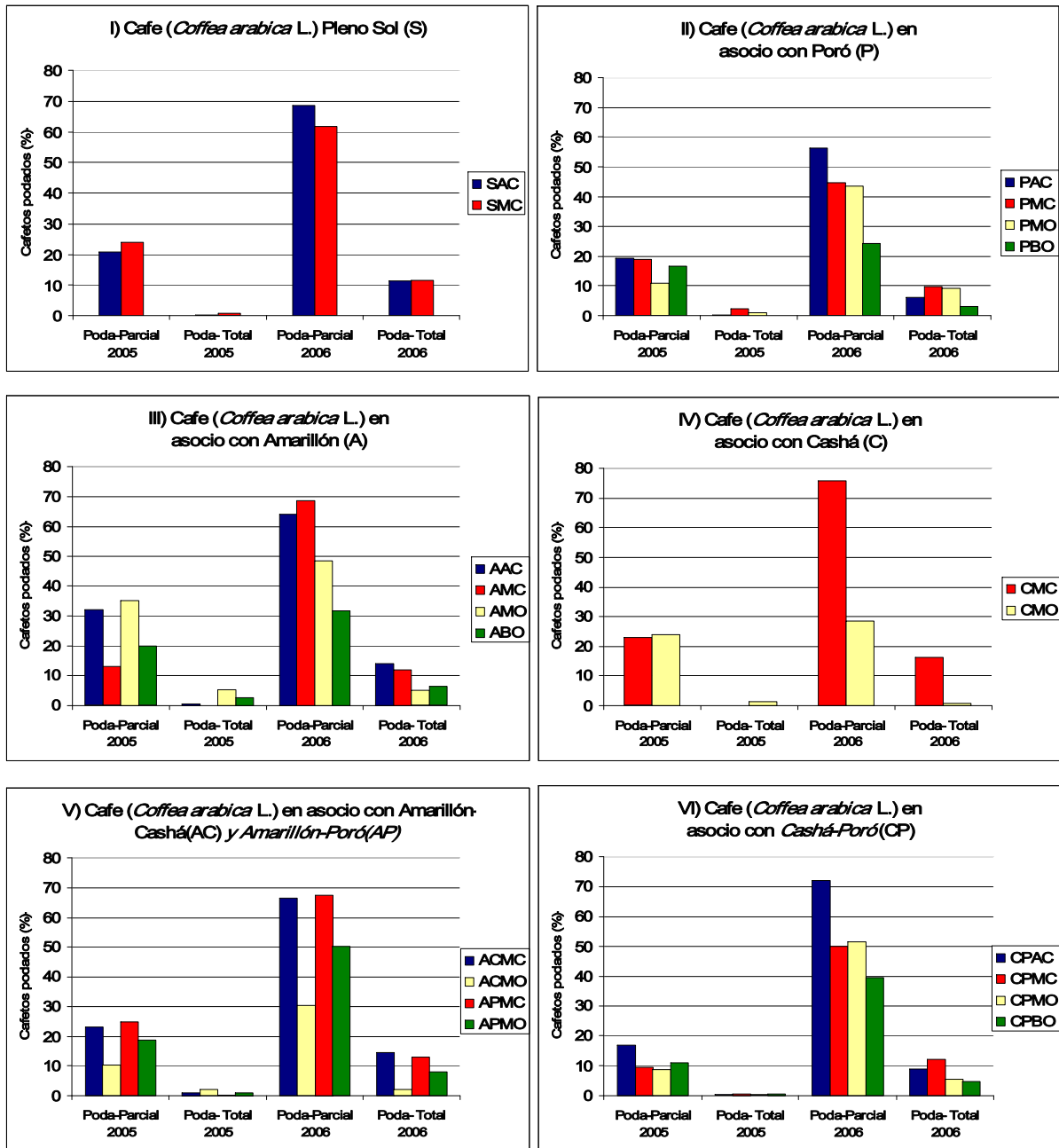


Figura 8. Porcentajes promedio de podas parcial y total realizadas en cafetos agotados durante 2005 y 2006: I) café (*Coffea arabica* L.) sin sombra de árboles, II) café asociado con poró (*Erythrina poeppigiana*), III) café asociado con amarillón (*Terminalia amazonia*), IV) café asociado con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), V) café asociado con amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró y VI) café asociado con cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Esto indicó que cuanto mayor es el rendimiento en la producción de café, más es el agotamiento producido en los tejidos de cafetos. Si se compara el agotamiento en cafetos a

pleno sol frente a cafetos con sombra, se presenta mayor porcentajes de agotamiento en cafetos a plena exposición solar según indico el Contraste 1 con diferencia significativa en el agotamiento de tejido (Anexo 7), confirmando lo dicho por Muschler (2000), que con poca sombra (< 20 %) o sin sombra, las plantas se agotan más fuertemente.

ICAFFE (1998) recomienda que continuamente se debe renovar el tejido en los cafetos a través de podas para formar nuevos tejidos productivos, ya que en la sección de la bandola de café (lugar donde se producen los frutos) no vuelven a formar yemas florales. Porras (2006) indica que hay una relación positiva entre la poda de cafeto y el rendimiento de café. Sin embargo, debe tenerse presente que la correlación de Pearson en la presente investigación, indicó que a mayor producción de café mayor es el agotamiento y por lo tanto requiere de mayor poda. Por su parte, Estívariz y Muschler (1997) señalan que después de una poda total del café (cuando las plantas no tienen ningún tipo de desgastes por cosechas anteriores), las diferencias de rendimiento entre tratamiento se reducen posteriormente.

Cuadro 12. Análisis de la varianza en agotamiento de tejidos (poda total, poda parcial y la suma de ambas podas) de café (Coffea arabica L.) a pleno sol y con sombra, en los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Poda parcial en cafetos			
Fuentes de Variación	Grados de libertad	Fc	P > Fc
Tipo de Asocio Café-Árbol (A)	6	1.31	0.2761 ^{NS}
Manejos (B)	3	10.04	<.0001**
A*B	10	1.07	0.4095 ^{NS}
Poda total en cafetos			
Fuentes de Variación	Grados de libertad	Fc	P > Fc
Tipo de Asocio Café-Árbol (A)	6	1.58	0.1786 ^{NS}
Manejos (B)	3	14.43	<.0001**
A*B	10	1.73	0.1083 ^{NS}
Sumas de podas (parcial y total) en cafetos			
Fuentes de Variación	Grados de libertad	Fc	P > Fc
Tipo de Asocio Café-Árbol (A)	6	1.47	0.2155 ^{NS}
Manejos (B)	3	12.22	<.0001**
A*B	10	1.24	0.2991 ^{NS}

NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05 **: Significativo al 0.01

Cuadro 13. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en agotamiento de tejidos de cafetos (poda total, poda parcial y la suma de ambas podas) a pleno sol y con sombra, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Contrastes	No.	PT06	PP06	SP06
Café plantado a pleno sol vs con sombra	1	*	NS	*
Amarillón orgánico vs convencional	14	*	*	*
Cashá orgánico vs convencional	17	**	*	*
Amarillón-Cashá orgánico vs convencional	18	*	*	*

PT06: poda total 2006, PP06: poda parcial 2006, SP06: sumas de las podas total y parcial 2006
 NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05 **: Significativo al 0.01

4.3 Vigor de tejido productivo en cafetos bajo manejo convencional y orgánico

Los porcentajes promedios de vigor productivo de tejidos fueron categorizados en muy bueno, bueno, regular y malo (Figura 9). Las plantas de café podadas parcialmente tienen mayores porcentajes de categoría muy bueno en los tratamientos PBO (13.91%), AMO (13.52%), PAC (11.59%) y CMO (10.07%); en categoría bueno, los porcentajes más altos se presentan en CMO (52.14%), ACMO (41.07%), CPBO (40.44%) y CPMO (38.06%), en la categoría regular los valores porcentuales mayores lo tienen los tratamientos CPAC (35.70%), ACMO (35.65%), SAC (33.87%) y CPMO (33.18%) y en malo los máximos porcentajes se presentan en PMC (79.93%), CMC (76.67%), ACMC (73.47%) y AMC (69.98%). Se nota que los tratamientos medios convencionales son los que menor cantidad de tejido productivo presentaron después de la cosecha de café y poda parcial realizada en los cafetos (Anexo 8).

Con el fin de visualizar si los porcentajes de vigor tejidos productivos en las categorías muy bueno, bueno, regular y malo, se deben al tipo de asociación café-árbol (sistema agroforestal), al manejo, o a la interacción entre el tipo SAF y el manejo, se realizó un análisis de varianza multivariado, encontrándose diferencias entre SAF (Wilks, $p=0.0033$) y entre manejos (Wilks, $p=0.0002$). Para visualizar las diferencias por categoría, se realizaron ANOVAS (Cuadro 14), indicando que hubo un efecto de manejo en la categoría muy bueno y regular, a diferencia de las categorías bueno y malo que se encontró un efecto del SAF, del manejo, y de las interacciones entre SAF y manejo.

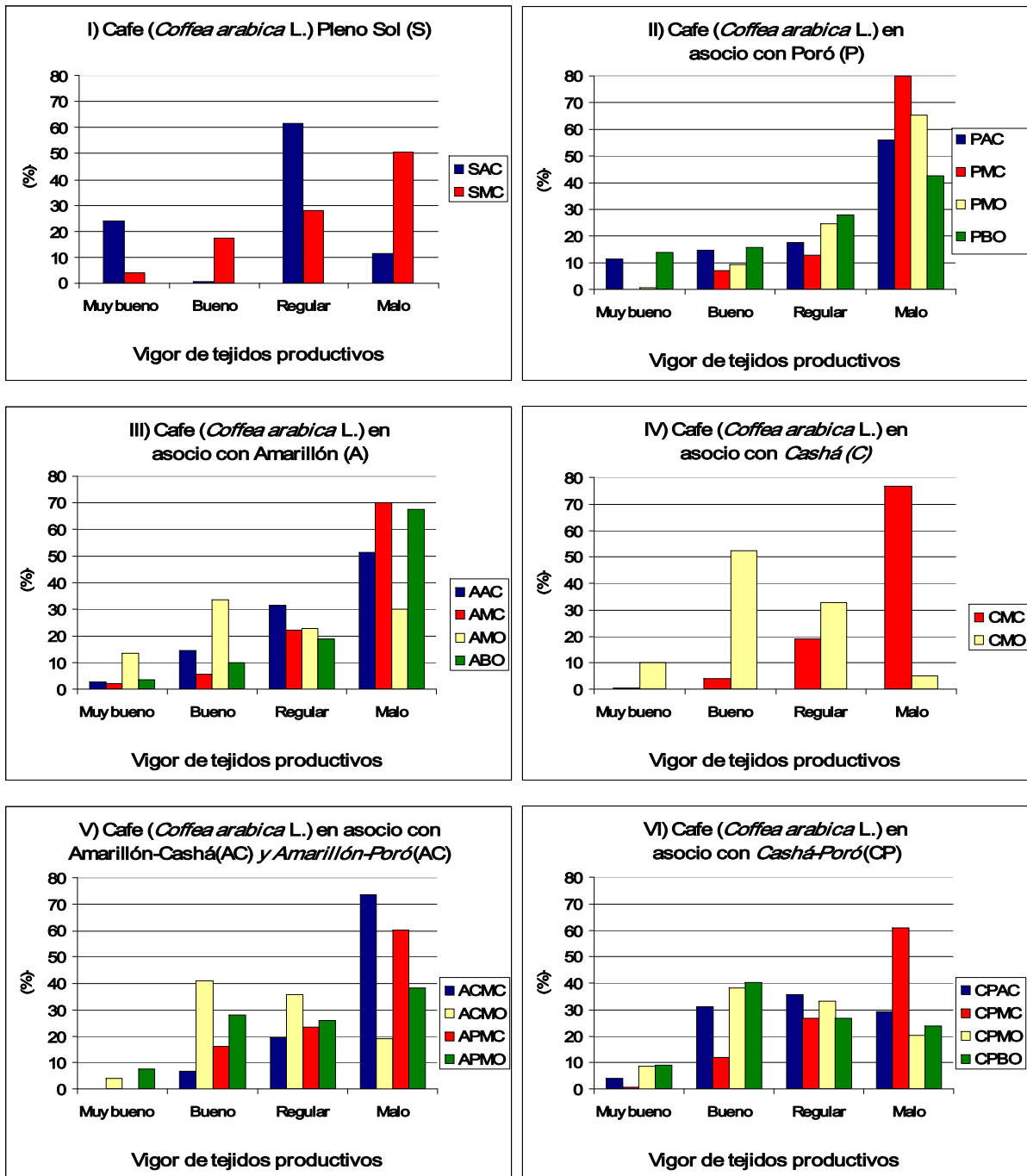


Figura 9. Porcentajes de tipos de vigor de tejidos productivos: I) café (*Coffea arabica* L.) sin sombra de árboles, II) café asociado con poró (*Erythrina poeppigiana*), III) café asociado con amarillón (*Terminalia amazonia*), IV) café asociado con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), V) café asociado con amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró y VI) café asociado con cashá-poró, en los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Romero *et al.* (2000) en el área experimental Cabiria en CATIE evaluaron el vigor de las plantas de café bajo diferentes substratos (insumos) y niveles de iluminación, encontrando que la interacción de ambos factores fueron estadísticamente significativos ($p < 0.001$). Por otro lado, Virginio (2005) en Montes de Oro, Pacífico de Costa Rica en fincas pertenecientes a la cooperativa Coopemontesdeoro encontró que el 60% de las fincas analizadas que no realizaron podas de café, explicaron en gran parte, por que el 40% de los cafetales no tuvieron una calificación buena al evaluar el vigor del tejido.

Cuadro 14. Probabilidades de las pruebas F ($P > F$) del análisis de varianza correspondiente a los efectos evaluados para las variables vigor de tejidos en cafetos en las categorías muy bueno, bueno, regular y malo, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

% Vigor de tejidos productivos en cafetos con poda parcial				
Fuente de Variación	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
Tipo de Asociación Café-Árbol (A)	0.7631 ^{NS}	0.0029*	0.1887 ^{NS}	<.0001**
Manejos (B)	0.0010*	<.0001**	0.0250*	<.0001**
A*B	0.0857 ^{NS}	0.0403*	0.4727 ^{NS}	0.0008*

NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05 **: Significativo al 0.01

4.4 Caracterización de la sombra, la cobertura y el área proyectada de copa antes de la poda, bajo manejo convencional y orgánico

Los mayores porcentajes de sombra se muestran en el SAF poró (64.59%) y en los tratamientos PMC (71.68%) y PMO (72.39%), en cobertura los máximos porcentajes están en el SAF cashá-poró (71.54%) y en los tratamientos CPMC (76.00 %) y CPMO (75.56%) (Figura 9). Con relación al área de copa el SAF con mayor área es cashá-poró (55.08 m²) y en los tratamientos CPMC (60.31 m²) y CPBO (58.24 m²), representando el mayor traslape de copa entre los árboles, reflejada por el área proyectada de la copa ya que las distancias de establecimiento fueron 4 x 6 m, cubriendo un área promedio ocupada por el árbol de 24 m² (Anexo 9). Por otro lado, con el objetivo de conocer el efecto que causa la sombra y la cobertura en la producción de café se realizaron análisis de correlación de Pearson, encontrando como resultado un efecto negativo y significativo de la sombra ($r = -0.3316$, $p = 0.0097$) y la cobertura ($r = -0.3458$, $p = 0.0068$) sobre el rendimiento de café. Finalmente para determinar mejor la relación entre la variable rendimiento de café en función de la sombra se realizó un análisis de regresión cuadrática, encontrando que la mayor producción de café se

produce en los porcentajes intermedios de sombra en los tratamientos caracterizados, mostrado en los tratamientos una disminución del rendimiento de café en un 31 % con sombra del 72 % en comparación con la sombra del 45 % (Figura 11). Los resultados de la presente investigación coinciden con Muschler (2000) que menciona que para zonas cafetaleras en Costa Rica con altura menor a los 800 msnm y altas temperaturas, tienen mayor producción de café a nivel intermedio de sombra (> 20% y < 60%), enfatizando que este comportamiento podría ser diferente en zonas donde la temperatura para café es óptima.

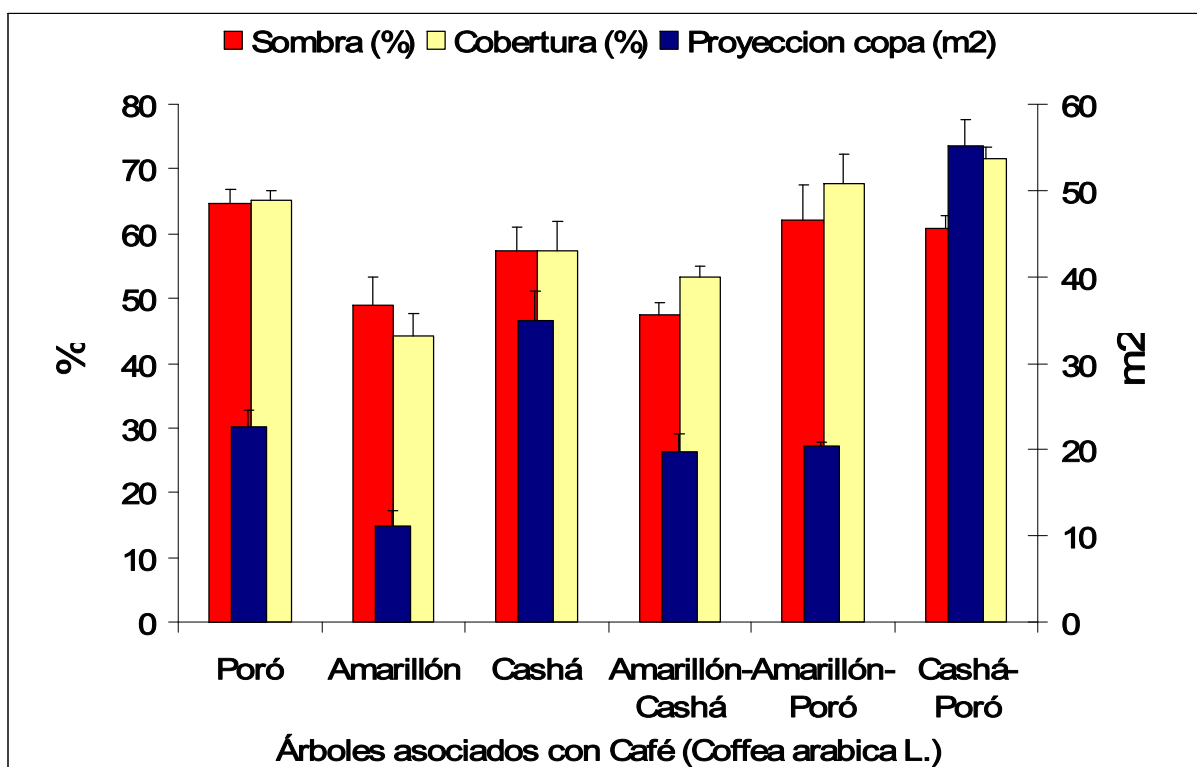


Figura 10. Porcentajes de sombra, cobertura y área proyectada de copa medidos en seis sistemas agroforestales café-árboles: café (*Coffea arabica*) asociado con poró (*Erythrina poeppigiana*), amarillón (*Terminalia amazonia*), cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), amarillón asociado con cashá, amarillón asociado con poró, cashá asociado con poró, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

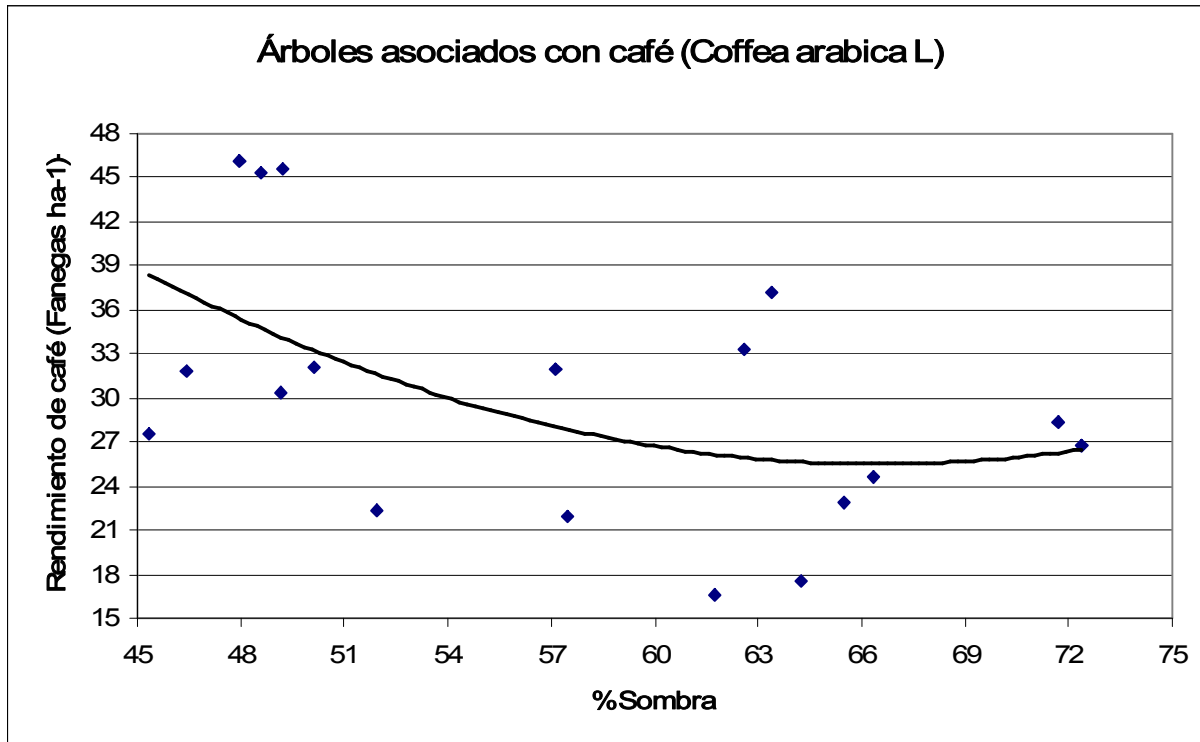


Figura 11. Gráfico de los resultados de la regresión entre el rendimiento de café y el porcentaje de sombra de los tratamientos bajo manejo convencional y orgánico, en el ensayo de sistemas agroforestales, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

4.5 Relación entre el dosel ocupado y la sombra producida por los árboles

Los resultados de los análisis de regresión con ordenada al origen cero (Cuadro 15), con los rangos estudiados en los porcentajes del dosel ocupado por los árboles (Cuadro 16) y el porcentaje de sombra producida por los árboles (Cuadro 17), indicaron que el porcentaje de sombra producida por los árboles esta siendo explicado por el porcentaje del dosel ocupado en cada uno de los sistemas establecidos. Cabe destacar que en algunas de las ecuaciones por SAF, se generó el modelo quitando algunos puntos raros de la curva de regresión lineal; sin embargo, la pendiente del mismo no difirió estadísticamente cuando se dejaron los puntos raros pero el R^2 disminuyo, aunque cuando se dejo la pendiente con dos dígitos la ecuación por SAF fue la misma.

Cuadro 15. Resultados de regresiones entre porcentaje de sombra y porcentaje de cobertura en sistemas agroforestales de árboles con café.

SAF	Ecuación	N	R ²
Poró	% Sombra = 0.9959(Do)	24*	0.95
Amarillón	% Sombra = 1.0951(Do)	26**	0.90
Cashá	% Sombra = 1.0150(Do)	26**	0.80
Amarillón con Cashá	% Sombra = 0.9715(Do)	30***	0.87
Amarillón con Poró	% Sombra = 0.9124(Do)	27****	0.76
Cashá con Poró	% Sombra = 0.8447(Do)	24*	0.85

*24 puntos promedios por subparcela (144 datos de sombra en total)

**36 puntos promedios y se retiraron 10 puntos para mejor ajuste de la ecuación (72 datos de sombra en total)

***30 puntos promedios (se generó la ecuación con 10 puntos promedios en amarillón, en cashá, y en amarillón-cashá)

**** 27 puntos promedios (54 datos de sombra en total)

Cuadro 16. Porcentaje del dosel ocupado por cada sistema agroforestal de árboles con café en CATIE, Turrialba, Costa Rica

SAF	Rango	Media	Desviación estándar
Poró	0.49 a 88.91	58.73	26.41
Amarillón	19.44 a 69.01	45.91	13.12
Cashá	13.54 a 66.32	39.71	12.87
Amarillón con Cashá	16.67 a 69.01	44.58	13.17
Amarillón con Poró	35.42 a 92.10	64.31	15.52
Cashá con Poró	38.86 a 83.94	68.00	12.51

Cuadro 17. Porcentaje de sombra por cada sistema agroforestal de árboles con café, CATIE, Turrialba, Costa Rica

SAF	Rango	Media	Desviación estándar
Poró	2.56 a 94.41	58.11	27.87
Amarillón	18.30 a 75.66	50.59	13.87
Cashá	10.21 a 61.68	40.52	13.85
Amarillón con Cashá	13.47 a 75.66	42.79	15.57
Amarillón con Poró	26.37 a 97.96	58.11	18.95
Cashá con Poró	29.30 a 82.59	56.98	13.99

4.6 Sobrevivencia

Erythrina poeppigiana (poró) en la mayoría de tratamientos obtuvo el 100% de sobrevivencia promedio, excepto CPMC, PMO, PBO que consiguieron el 97.33, 97.33 y 94 % respectivamente (Figura 12). En un estudio realizado en la estación biológica La Selva en Sarapiquí, se plantaron 25 especies en tres sitios de pasturas abandonadas en terrenos bajos del Atlántico de Costa Rica, encontrándose que poró a la edad de tres años en plantaciones mixtas tuvo en promedio en los tres sitios una sobrevivencia de 31 %, sin embargo en algunos sitios la sobrevivencia fue de 75 % atribuyendo la baja sobrevivencia en los demás sitios a herbívoros y hormigas (Tilki y Fisher 1998). Probablemente la alta sobrevivencia mostrada en los tratamientos de poró en el ensayo de sistemas agroforestales sea debido al manejo.

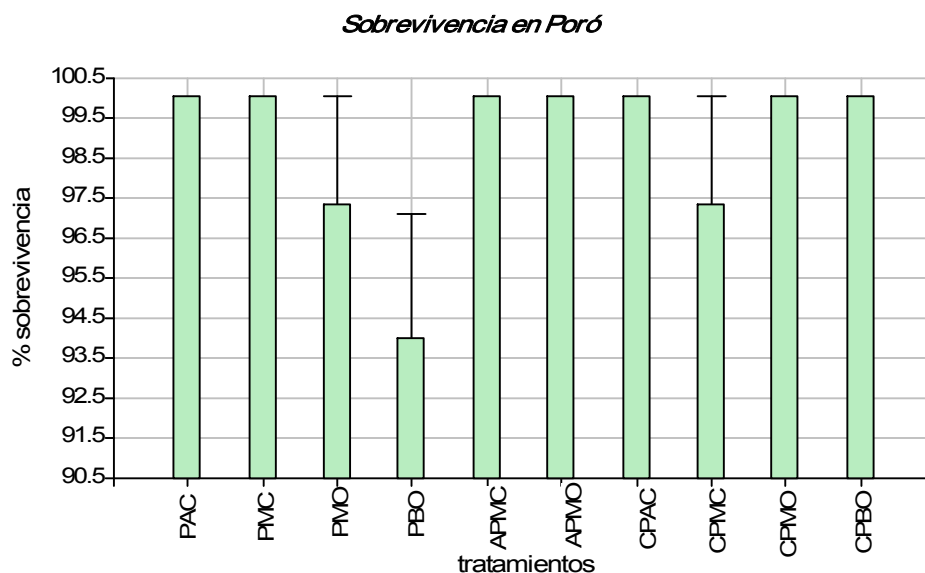


Figura 12. Porcentaje de sobrevivencia en *Erythrina poeppigiana* (poró) bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Respecto a los porcentajes de sobrevivencia promedio en amarillón y cashá, se manifiesta que en los tratamientos AAC, ACMC_a, APMO, ABO, AMO, APMC obtuvieron 98.33, 97.33, 97.33, 96.67, 93.33, 92.33% respectivamente (Figura 13). Por otro lado, los tratamientos ACMO a y AMC presentaron un 100 % de sobrevivencia en amarillón. De igual manera, el cashá tuvo en todos sus tratamientos el 100% de sobrevivencia.

En amarillón a una edad de tres años, Guevara y Zamora (1997) en Heredia, Costa Rica, encontraron más del 85% de sobrevivencia en plantaciones de potreros abandonados.

Por otro lado, Piotto (1998) en San Miguel de Sixaola, Costa Rica, encontró que amarillón obtuvo una sobrevivencia del 100% en pleno sol y un 64% bajo bosque intervenido, y en cashá encontró una sobrevivencia de 94% en pleno sol y un 89% bajo sombra parcial. De igual manera, Tilki y Fisher (1998) en Sarapiquí, Costa Rica, encontraron en plantaciones mixtas con una edad de tres años una sobrevivencia de 97% en cashá. Lo anterior coincide con el resultado de la presente investigación, demostrando que amarillón y cashá en el ensayo de SAF árbol-café, en general tienen un buen comportamiento de sobrevivencia, debido probablemente a la fertilización en cada uno de los tratamientos.

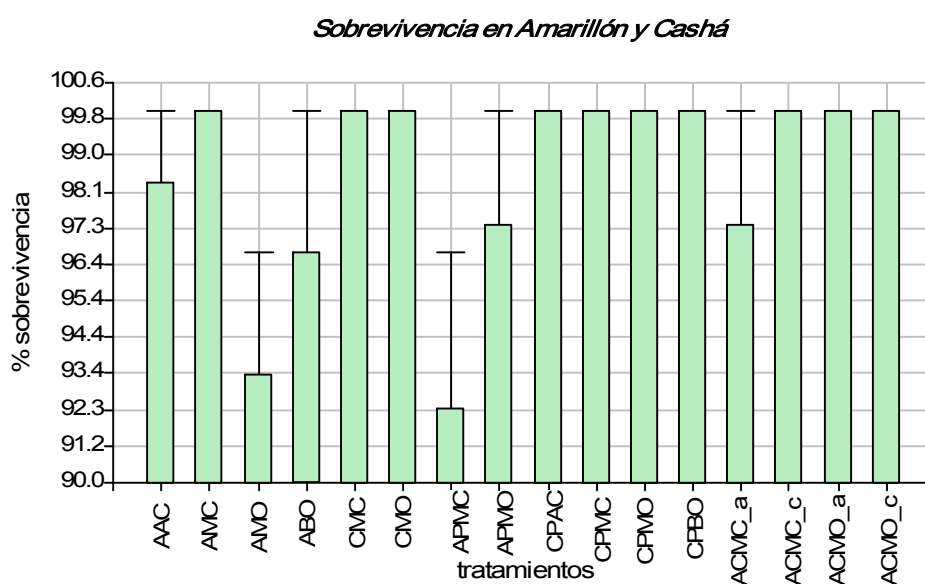


Figura 13. Porcentaje de sobrevivencia en especies de amarillón (a) y cashá (c) bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica.

4.7 Crecimiento del poró bajo manejo convencional y orgánico

El poró es una especie de servicio que aparte de producir sombra en los cafetales, provee materia orgánica en los tratamientos establecidos. Por lo tanto su crecimiento se afecta dos veces al año a través de podas donde, al 50% de árboles se les hace una poda drástica (descope) y al restante 50% una poda regulada. Estas podas se dan en los tratamientos medios convencionales (MC), medios orgánicos u orgánicos intensivos (MO) y en los bajos orgánicos (BO); sin embargo, en los alto convencional (AC) todos los árboles de poró son descopados totalmente (poda drástica) para tener una entrada de luz completa en los cafetos.

Tomando en cuenta los aspectos antes mencionados, el mayor DAP promedio en poró lo obtuvo APMO (26.74 cm) y el menor CPAC (16.10 cm) (Figura 14). En cuanto a la altura total promedio antes de la poda el crecimiento superior lo logro el tratamiento PBO (6.72 m). Por otro lado, el diámetro de copa manifiesta su máximo y mínimo crecimiento en CPMC (11.34 m) y en PAC (4.65 m), respectivamente (Anexo 10). Cabe mencionar que en esta variable el tratamiento APMO no fue considerado por no haberse tomado datos.

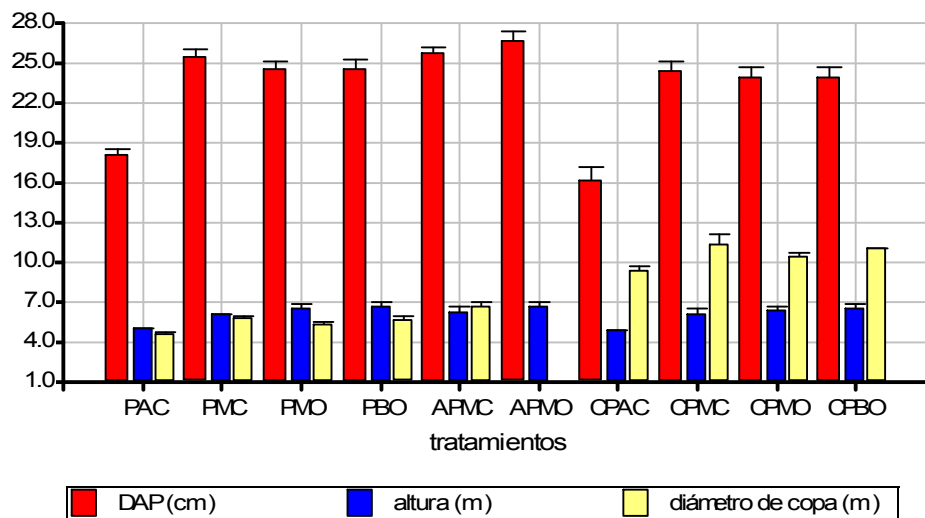


Figura 14. Crecimiento de poró en sistemas agroforestales de árbol-café bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Con la finalidad de comparar si en los tratamientos con poró existían diferencias en los promedios de DAP, altura total (HT) y diámetro de copa (DC) con las condiciones de manejo de poda antes descritas, se realizó un análisis de varianza y contrastes no ortogonales, encontrando que las diferencias significativas en poró (Cuadro 18) en las variables DAP y DC se deben al tipo de asociación café-árbol (sistema agroforestal) y al manejo, en el caso de HT se debe al manejo principalmente por la poda realizada, presentando diferencias significativas en los tratamientos (Cuadro 19, Anexo 11). Encontrando mayor crecimiento de DAP y DC en los tratamientos donde el poró se encuentra asociado con otra especie arbórea, caso particular de los contrastes 4 y 5 en DAP y 6, 7 y 8 en DC.

Cuadro 18. Probabilidades de las pruebas F ($P > F$) del análisis de varianza correspondientes a los efectos evaluados para las variables silviculturales (DAP, altura y diámetro de copa), en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

<i>Variables de crecimiento en poró</i>			
Fuente de Variación	DAP	HT	DC
Tipo de Asociación Café-Árbol (A)	0.0005*	0.2252	<.0001**
Manejos (B)	0.0013*	0.0013*	0.0002*
A*B	0.7059	0.9372 ^{NS}	0.8061 ^{NS}

NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05 **: Significativo al 0.01
DAP: diámetro a la altura del pecho, HT: altura total, DC: diámetro de copa.

Cuadro 19. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variables silviculturales (DAP, altura y diámetro de copa) en poró, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Contraste	No.	DAP	HT	DC
Poró orgánico (PMO+PBO) vs convencional (PMC+PAC)	1	NS	*	NS
Poró medio convencional (PMC) vs alto convencional (PAC)	3	*	NS	*
Poró medio orgánico (PMO) vs poró medio orgánico (CPMO)	4	*	NS	**
Poró medio orgánico (PMO) vs poró medio orgánico (APMO)	5	*	NS	Sin dato
Poró bajo orgánico (PBO) vs poró bajo orgánico (CPBO)	6	NS	NS	**
Poró alto convencional (PAC) vs poró alto convencional (CPAC)	7	NS	NS	**
Poró alto convencional (PAC) vs poró medio convencional (CPMC)	8	NS	NS	**

NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05, **: Significativo al 0.01.
DAP: diámetro a la altura del pecho, HT: altura total, DC: diámetro de copa.

Considerando que el poró recibe poda drástica y regulada fue necesario conocer el diámetro de copa antes de la poda y después de poda en árboles de poró con poda regulada (Cuadro 20). Se encontró que el mayor promedio en diámetro de copa en poró antes de ser podados (poda regulada) se registró en el tratamiento CPMO (8.70 m) y el menor en PMO (7.27 m); con respecto al diámetro de copa después de la poda el máximo promedio se encontró en el tratamiento CPMO (7.48 m) y mínimo en PMO (6.11 m). En cuanto a APMC y APMO no se realizaron tomas de datos en diámetro de copa después de la poda. Con el objetivo de visualizar si existían diferencias significativas entre el diámetro de copa en los árboles de poró con la poda regulada antes y después de ésta, se realizó una prueba t para observaciones apareadas, encontrando diferencias significativas ($p = <.0001$) y una reducción promedio de 1.23 m después de la poda.

Cuadro 20. Diámetro de copa en árboles de poró con poda regulada bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica

Árboles con poda regulada	Diámetro de copa (m)	
	Ante de poda	Después de poda
Tratamientos		
Poró medio convencional(PMC)	8.09±0.07	6.80±0.41
Poró medio orgánico(PMO)	7.27±0.42	6.11±0.29
Poró bajo orgánico(PBO)	8.07±0.73	6.85±1.17
Cashá-poró medio convencional(CPMC)	8.58±0.84	7.29±0.52
Cashá-poró medio orgánico(CPMO)	8.70±0.65	7.48±0.11
Cashá-poró bajo orgánico(CPBO)	8.22±0.67	7.01±0.07

NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (E.E).

4.8 Crecimiento e incrementos del amarillón y el cashá bajo manejo convencional y orgánico

Las variables de crecimiento en árboles de amarillón (DAP, altura total y diámetro de copa) no mostraron diferencias significativas (Figura 15). Los DAP se encontraron entre 9.50 cm (ACMO) y 12.19 cm (AAC).

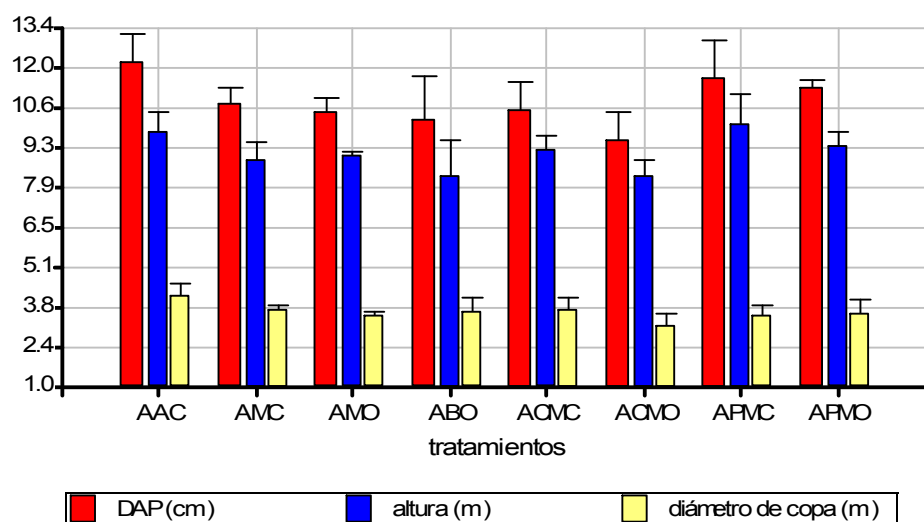


Figura 15. Crecimiento de amarillón en sistemas agroforestales de café-árbol bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica.

La altura total entre 8.26 m (ABO y ACVO) y 10.10 m (APMC) para el diámetro de copa el crecimiento se mostró entre 3.16 m (ACVO) y 4.16 m (AAC).

En los árboles de cashá no se encontraron diferencias significativas para las variables de crecimiento. El mayor promedio de crecimiento en DAP lo obtuvo el tratamiento ACMO (16.88 cm) y el menor CMC (15.23 cm), en altura total el promedio más alto lo muestra el ACMO (9.42 m) y el más bajo lo presentó el CPAC (8.48 m), en cuando al diámetro de copa el mayor crecimiento promedio lo consiguió el tratamiento CMO (6.84 m) y el menor lo tuvo PCAC (5.87 m) (Figura 16, Anexo 10). Para la altura total se realizaron curvas de crecimiento de las especies maderables del ensayo en estudio. Si bien no se encuentran diferencias por año entre los tratamientos, en el quinto año existe una tendencia a diferenciarse (Figura 17).

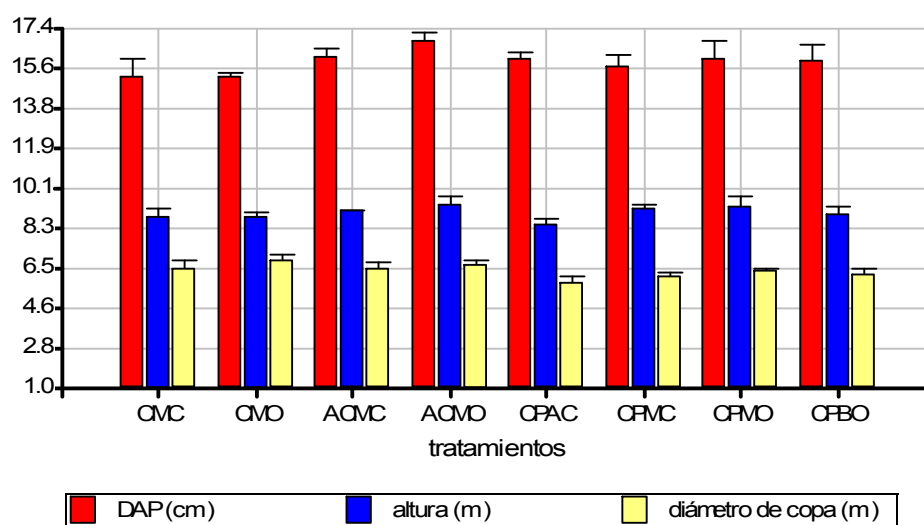


Figura 16. Crecimiento de cashá en sistemas agroforestales de árbol-café bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

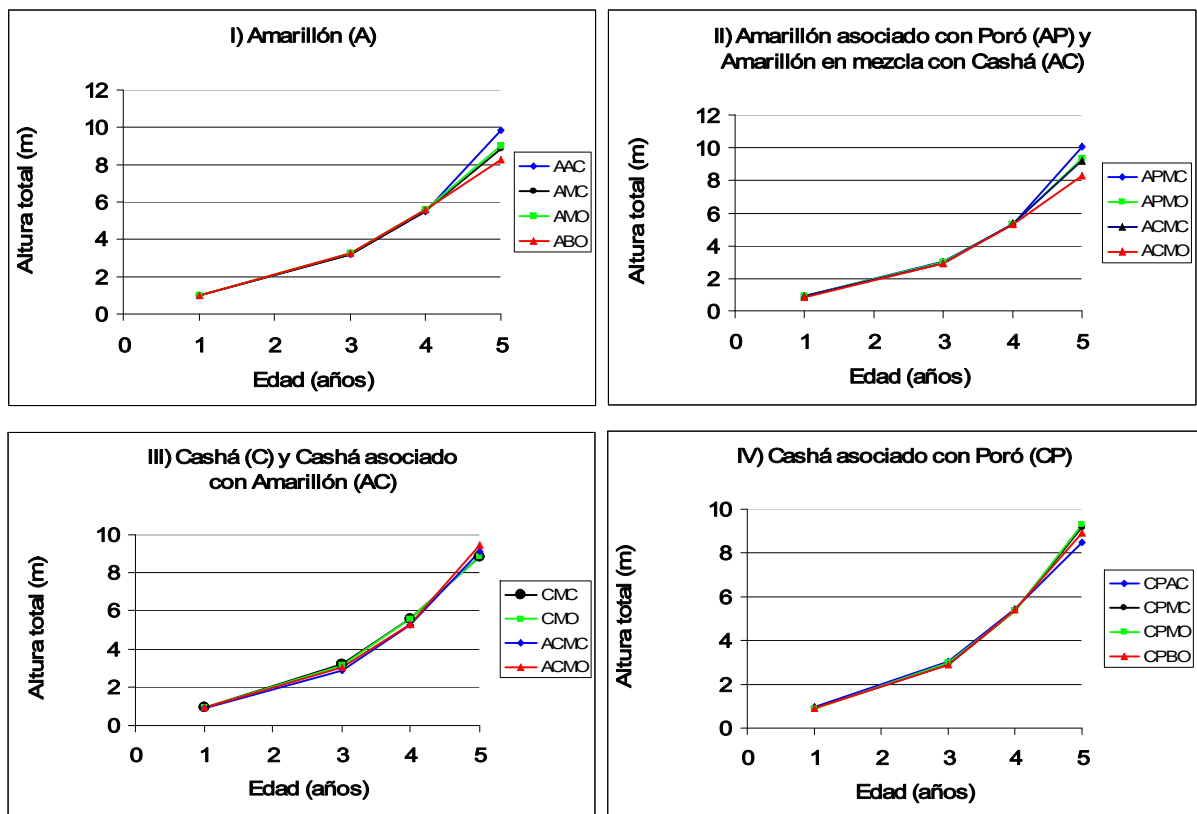


Figura 17. Marcha del crecimiento en altura total (m) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas: I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón asociado con poró y amarillón en mezcla con cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), III) cashá solo y asociado con amarillón y IV) cashá asociado con poró bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Los promedios de incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA) por tratamientos (Figura 18) para las variables DAP, altura total (HT), muestran que los tratamientos con mayor incremento medio anual en DAP (IMADAP) son: AAC (2.22 cm) y APMC (2.12 cm), y los incrementos medio anual de altura total (IMAHT) se muestran AAC (1.7 m) y APMC (1.84 m), cuando se trata del incremento periódico anual en DAP (IPADAP) los valores más altos se presentan en los tratamientos AMO (3.00 cm), AAC (2.89 cm), y el mayor incremento periódico anual en altura total (IPAHT) se muestra APMC (2.01 m) y AAC (1.98 m). En cuanto a los incrementos en cashá los tratamientos con mayor IMADAP son: ACMO (3.07 cm), ACMC (2.93 cm) y en IMAHT ACMO (1.71 m) y CPMO (1.69 m), para el

IPADAP los valores más altos se presentan en los tratamientos ACMC (4.38 cm), CPMO (3.15 cm) y en IPAHT se muestran en ACMO (1.87 cm) y CPMO (1.86 cm) (Anexo 12).

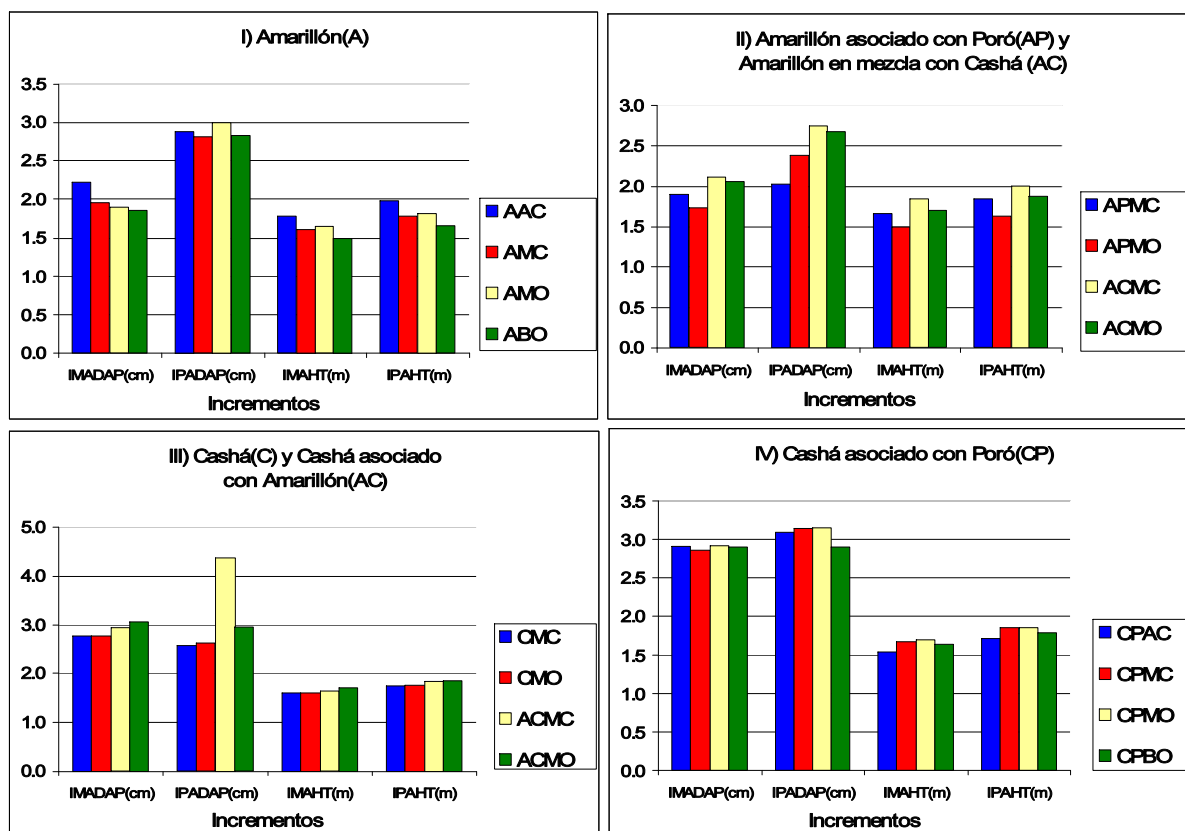


Figura 18. Promedios de incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA) de DAP (cm año^{-1}) y HT (m año^{-1}) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas: I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón-poró y amarillón en mezcla con cashá y III) cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) y cashá en mezcla con amarillón, y IV) cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 21. Probabilidades de las pruebas F ($p > F$) del análisis de varianza correspondientes a los efectos evaluados para las variables de crecimiento (DAP, altura total y diámetro de copa), e incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA) en las variables silviculturales DAP y altura total en amarillón y cashá, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Variables de crecimiento y sus incrementos en amarillón							
Fuente de Variación	DAP	IMADAP	IPADAP	HT	IMAHT	IPAHT	DC
Tipo de Asociación Café-Árbol (A)	0.3862 ¹	0.3456 ¹	0.3672 ¹	0.3931 ¹	0.3931 ¹	0.2727 ¹	0.5914 ¹
Manejos (B)	0.4954 ¹	0.4906 ¹	0.9969 ¹	0.5504 ¹	0.5504 ¹	0.4363 ¹	0.7134 ¹
A*B	0.8802 ¹	0.9094 ¹	0.8989 ¹	0.5691 ¹	0.5691 ¹	0.7085 ¹	0.8198 ¹
Variables de crecimiento y sus incrementos en cashá							
Fuente de Variación	DAP	IMADAP	IPADAP	HT	IMAHT	IPAHT	DC
Tipo de Asociación Café-Árbol (A)	0.0761 ¹	0.0761 ¹	0.0010*	0.1456 ¹	0.1456 ¹	0.1713 ¹	0.0557 ¹
Manejos (B)	0.8660 ¹	0.8660 ¹	0.5431 ¹	0.1774 ¹	0.1774 ¹	0.0919 ¹	0.5284 ¹
A*B	0.6476 ¹	0.6476 ¹	0.6503 ¹	0.9322 ¹	0.9322 ¹	0.9859 ¹	0.9918 ¹

1(NS): No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05. DAP: diámetro a la altura del pecho, IMADAP: incremento medio anual del DAP, IPADAP: incremento periódico anual del DAP, HT: altura total, IMAHT: incremento medio anual de HT, IPAHT: incremento periódico anual de HT, DC: diámetro de copa.

Las probabilidades del análisis de varianza en las variables de crecimiento DAP, altura total y diámetro de copa, así como también los incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) del DAP y altura total en las especies amarillón y cashá, mostraron que dichas variables no fueron afectadas por el manejo, por los SAF, ni por las interacciones entre manejo y SAF (Cuadro 21). Con excepción del incremento periódico anual del DAP que fue afectado por el manejo, el cual se encontró diferencias significativas en sus contrastes (Cuadro 22, Anexo 13).

Cuadro 22. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variable silvicultural del cashá, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Contrastes	No.	IPADAP
Cashá medio orgánico (CMO) vs cashá medio orgánico (CPMO)	8	*
Cashá medio convencional (CMC) vs cashá medio convencional (CPMC)	10	*
Cashá medio convencional (CMC) vs cashá medio convencional (ACMC)	11	*

IPADAP: incremento periódico anual del diámetro a la altura del pecho (IPADAP), *: significativo al 0.05.

Los resultados de crecimientos de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT) y diámetro de copa e incrementos en DAP y HT obtenidos para amarillón y cashá no mostraron diferencias significativas en los contrastes propuestos presentes en la metodología (Cuadros 8 y 9), con excepción del incremento periódico anual en DAP en los contrastes 8, 10 y 11 donde su mayor incremento se produce en los tratamientos que contienen una sola especie arbórea.

Por otro lado, Guevara y Zamora (1997) en Costa Rica, reportaron que amarillón en tres sitios y a una edad de 2.6 años tuvo un crecimiento promedio de 5.8 cm en DAP y 5 m en altura total; por su parte Aguilar (2000) en el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica, encontró que *Terminalia ivorensis* a una edad de 2 años asociado con café tenía un DAP de 7.7 cm, una altura total de 4.8 m y un diámetro medio de copa de 3.6 m. En el mismo sitio que reportó los crecimientos Aguilar (2000), un año después Siles (2001) reportó crecimientos mayores de *T. ivorensis* en relación al año anterior en DAP (13.7 cm), altura total (8.5 m) y diámetro de la copa (5 m). Los diámetros de copa encontrados por Aguilar (2000) así como el DAP y altura total encontrados por Siles (2001) coinciden con los encontrados en la presente investigación para los tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales a una edad de 5.5 años de plantados. En cuanto a cashá, Cordero *et al.* (1998) reportaron crecimientos medios de 7.3 cm de DAP y 6 m en altura total a pleno sol, y 5.3 cm de DAP y 5.2 m en altura total bajo sombra en plantaciones de 3 años. Por otro lado Tilki y Fisher (1998) encontraron en plantaciones de la misma edad, una altura total promedio de 6.0 m en plantaciones mixtas asociadas con otras leguminosas; por su parte Piotto (2005) reportó crecimientos en altura total de 6.4 y 7.8 m en bosques secundarios en plantaciones de 4 y 7 años respectivamente, encontrando mayor altura total en los tratamientos de sistemas agroforestales a una edad de 5.5 años de plantados.

En cuanto a incremento medio anual (IMA) en amarillón, Guevara y Zamora (1997) encontraron IMA de 2.2 cm en DAP y de 1.9 m en altura total a una edad de 2.6 años. Por su parte, Montero y Kanninen (2005) reportaron IMA de DAP de 1 cm en promedio y en altura total 0.7 m en promedio en sitios clasificados con crecimientos bajos (índice de sitio = 9). En sitios medios (índice de sitio = 17) los IMA en DAP y en altura total fueron de 1.6 cm y 1.3 m en promedio, respectivamente. En sitios clasificados como de alta producción (índice de sitio = 25) la misma especie de amarillón presentó un IMA en DAP y en altura total de 2.4 cm

y 2.4 m en promedio, respectivamente, haciendo énfasis que a medida que avanza la edad hay una disminución en el IMA.

Piotto (2005) encontró IMA en altura total que disminuyeron con la edad (2.54, 1.78 y 1.58 m en edades de 3, 6 y 7 años, respectivamente) para amarillón en pasturas abiertas en tierras bajas del Atlántico de Costa Rica. El DAP en los tratamientos en estudio fue similar a lo reportado por Guevara y Zamora (1997). Sin embargo, se encontró mayor IMA en el ensayo de sistemas agroforestales del presente estudio comparado con los reportados por Montero y Kanninen (2005) en sitios medios de producción para amarillón. En altura total el IMA fue mayor en los tratamientos en estudio al compararlos con los reportados por Guevara y Zamora (1997) y Montero y Kanninen (2005) en sitios medios de producción para amarillón y similar a los encontrados por Piotto (2005) a una edad de 6 años.

En cuanto a cashá Piotto (2005) reporta IMA en altura de 1.77, 1.64 y 1.14 m en edades de 3, 4 y 7 años, respectivamente, en bosques secundarios de tierras bajas del Atlántico de Costa Rica. En pasturas abiertas de la misma zona, el mismo autor reporta IMA de altura de 2.57, 2.55 y 1.66 m en edades de 3, 4 y 7 años, respectivamente. Dichos valores son similares a los observados en el ensayo de sistema agroforestales y también comparados con los reportados en bosques secundarios, pero son menores comparados con los mostrados en pasturas, a una edad de 4 años para ambos sitios.

4.9 Factor de forma en amarillón y cashá bajo manejo convencional y orgánico

La especie amarillón presentó el factor de forma (FF) más alto en el tratamiento APMC (0.547) y en cashá lo mostró CMC (0.545), sin embargo el FF que se consideró para el cálculo de volumen es el promedio de los FF por especie, de manera que se utilizó 0.526 y 0.499 en amarillón y cashá, respectivamente (Cuadro 23).

Cuadro 23. Factores de forma promedios en amarillón y cashá bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica

<i>Tratamiento</i>	<i>Especie</i>	<i>Factor de forma(FF)</i>	<i>Tratamiento</i>	<i>Especie</i>	<i>Factor de forma(FF)</i>
AAC	Amarillón	0.499±0.034	CMC	Cashá	0.545±0.032
AMC	Amarillón	0.546±0.033	CMO	Cashá	0.527±0.023
AMO	Amarillón	0.520±0.038	ACMC	Cashá	0.480±0.011
ABO	Amarillón	0.503±0.023	ACMO	Cashá	0.426±0.024
ACMC	Amarillón	0.531±0.035	CPAC	Cashá	0.496±0.045
ACMO	Amarillón	0.529±0.048	CPMC	Cashá	0.512±0.024
APMC	Amarillón	0.547±0.019	CPMO	Cashá	0.521±0.045
APMO	Amarillón	0.529±0.022	CPBO	Cashá	0.484±0.017
Promedio total		0.526±0.010	Promedio total		0.499±0.011

NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

4.10 Área basal y volumen total e incrementos en amarillón y cashá bajo manejo convencional y orgánico

Respecto al área basal, los IMA y los IPA para el amarillón y cashá, los tratamientos que muestran mayor área basal en amarillón son: AAC (5.53 m²ha⁻¹) y AMC (4.14 m²ha⁻¹) y en cashá CMO (7.95 m²ha⁻¹) y CMC (7.89 m²ha⁻¹) (Figura 19, Anexo 14). Por otro lado, el incremento medio anual del área basal (IMAAB) en amarillón fue mayor en los tratamientos AAC (1.01 m²ha⁻¹) y AMC (0.75 m²ha⁻¹) y los valores más altos en incremento periódico anual (IPAAB) se observaron en AAC (2.12 m²ha⁻¹) y AMC (1.75 m²ha⁻¹). En cuanto al cashá el mayor IMA se presentó en CMO (1.44 m²ha⁻¹) y CMC (1.43 m²ha⁻¹) y el mayor IPA se observó en los tratamientos CMO (2.40 m²ha⁻¹) y CMC (2.35 m²ha⁻¹) (Anexo 15).

Los mayores volúmenes para amarillón se presentan en los tratamientos AAC y AMO con rendimientos de 33.40 y 21.77 m³ha⁻¹ respectivamente (Figura 20, Anexo 14). En cuanto al volumen de cashá los mejores rendimientos se encuentran en los tratamientos CMO con 36.44 m³ha⁻¹ y CMC con 36.27 m³ha⁻¹.

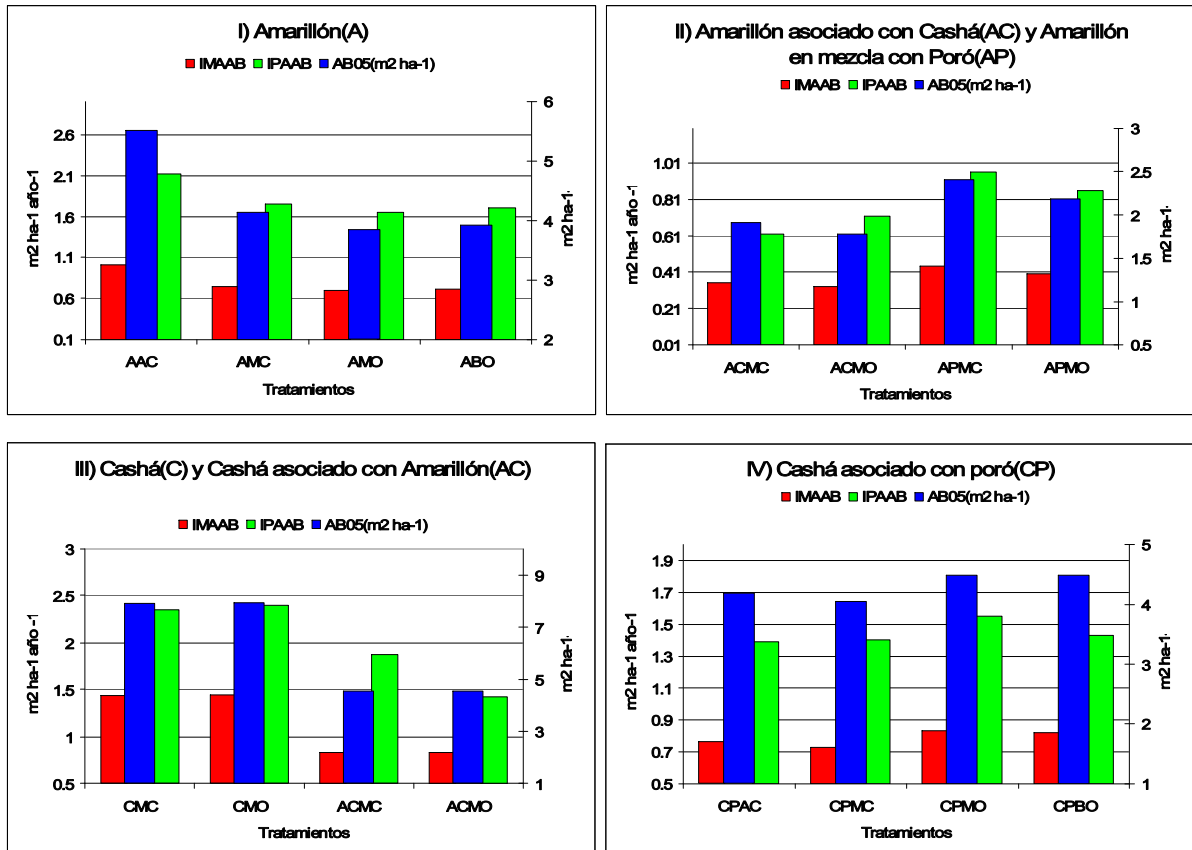


Figura 19. Área basal y su incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró III) cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) y cashá en mezcla con amarillón, y IV) cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Por otro lado, el incremento medio anual en volumen total (IMAVT) del amarillón fue mayor en los tratamientos AAC ($6.07 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y AMC ($4.02 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y el incremento periódico anual (IPAVT) presenta el mayor volumen en AAC ($17.08 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) AMO ($11.87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). En cuanto al cashá los valores más altos de incremento medio anual se muestran en CMO ($6.62 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y CMC ($6.59 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y el mayor incremento periódico anual se presenta en los tratamientos CMO ($14.95 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y CMC ($14.22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Anexo 15).

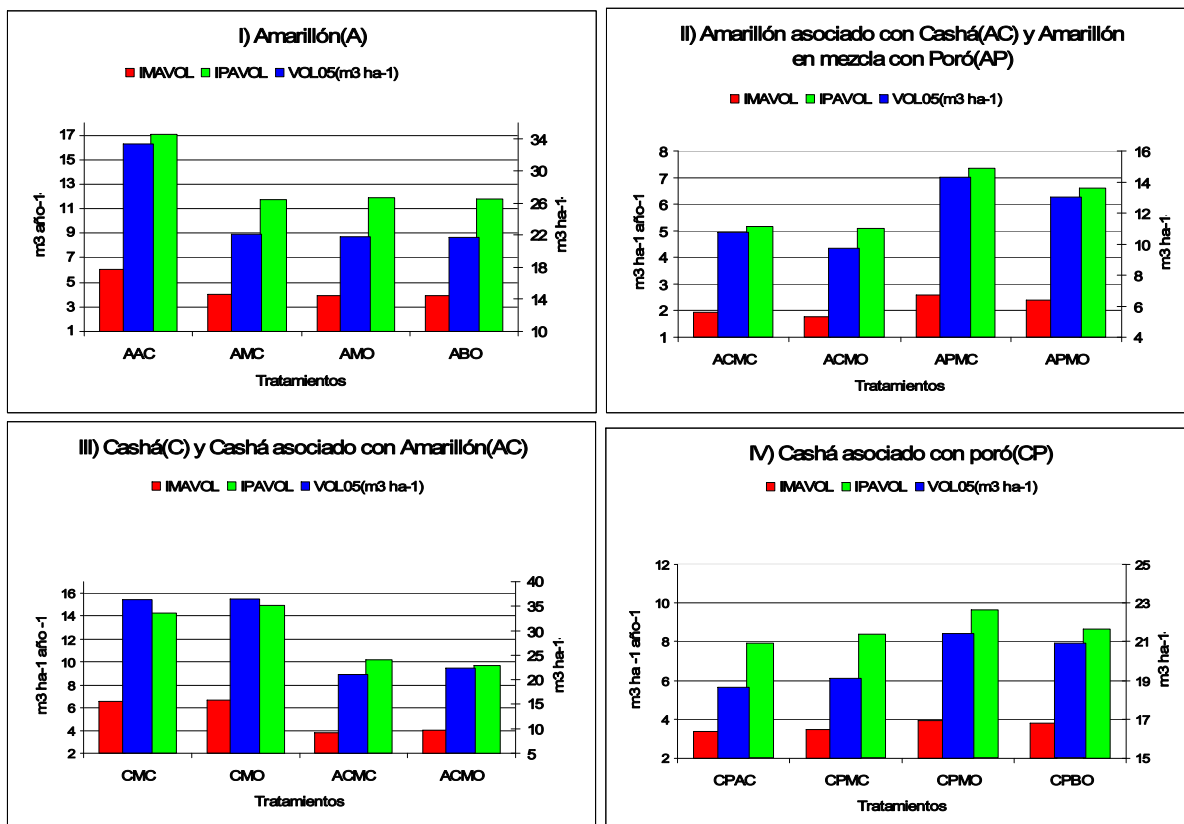


Figura 20. Volumen total y su incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) de árboles maderables (amarillón y cashá) asociados con café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes sistemas: I) amarillón (*Terminalia amazonia*), II) amarillón-cashá y amarillón en mezcla con poró III) cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) y cashá en mezcla con amarillón, y IV) cashá-poró, bajo los manejos bajo orgánico (BO), medio orgánico, (MO), medio convencional (MC) y alto convencional (AC) en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 24. Probabilidades de las pruebas F ($p > F$) del análisis de varianza correspondientes a los efectos evaluados para las variables silviculturales área basal (m^2) y volumen ($m^3 ha^{-1}$) y sus respectivos incremento medio anual (IMA), e incremento periódico (IPA) en amarillón y cashá, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

<i>Área basal y volumen en amarillón</i>						
Fuente de Variación	AB	IMAAB	IPAAB	VT	IMAVT	IPAVT
Tipo de Asociación	0.0009*	0.0009*	<.0001**	0.0008*	0.0007*	0.0007*
Café-Árbol (A)						
Manejos (B)	0.4879 ^{NS}	0.4233 ^{NS}	0.5036 ^{NS}	0.2544 ^{NS}	0.2448 ^{NS}	0.2448 ^{NS}
A*B	0.9656 ^{NS}	0.9591 ^{NS}	0.9086 ^{NS}	0.9778 ^{NS}	0.9744 ^{NS}	0.9744 ^{NS}
<i>Área basal y volumen en cashá</i>						
Fuente de Variación	AB	IMAAB	IPAAB	VT	IMAVT	IPAVT
Tipo de Asociación	0.0002*	0.0002*	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
Café-Árbol (A)						
Manejos (B)	0.5290 ^{NS}	0.5104 ^{NS}	0.8401 ^{NS}	0.6559 ^{NS}	0.6112 ^{NS}	0.4232 ^{NS}
A*B	0.5077 ^{NS}	0.4120 ^{NS}	0.0929 ^{NS}	0.8604 ^{NS}	0.7790 ^{NS}	0.3981 ^{NS}

AB: área basal, IMAAB: incremento medio anual del AB, IPAAB: incremento periódico anual del AB, VT: volumen total, IMAVT: incremento medio anual del VT, IPAVT: incremento periódico anual del VT.

NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05 **: Significativo al 0.01.

Las probabilidades del análisis de varianza para las variables área basal (AB) y volumen total (VT), así también como para los incrementos medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) de AB y VT en las especies amarillón y cashá (Cuadro 24), indicaron que las variables antes mencionadas fueron afectadas por el tipo de asociación café-árbol (SAF). Se encontraron diferencias significativas en los contrastes de AB y VT (Cuadro 25) y en el IMA e IPA de AB y VT (Cuadro 26).

Cuadro 25. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variables silviculturales área basal (m^2) y volumen total ($m^3 ha^{-1}$) en amarillón y cashá, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

<i>Contrastes</i>	<i>No.</i>	<i>AB</i>	<i>VT</i>
Amarillón medio orgánico (AMO) vs amarillón medio orgánico (ACMO)	4	*	*
Amarillón medio orgánico (AMO) vs amarillón medio orgánico (APMO)	5	*	*
Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón medio convencional (ACMC)	6	*	*
Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón medio convencional (APMC)	7	*	NS
Cashá medio orgánico (CMO) vs cashá medio orgánico (CPMO)	8	*	*
Cashá medio orgánico (CMO) vs cashá medio orgánico (ACMO)	9	*	*
Cashá medio convencional (CMC) vs cashá medio convencional (CPMC)	10	*	*
Cashá medio convencional (CMC) vs cashá medio convencional (ACMC)	11	*	*

AB: área basal, VT: volumen total, NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05 **: Significativo al 0.01.

Cuadro 26. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en incremento medio anual (IMA), e incremento periódico (IPA) en área basal y volumen en las especies amarillón y cashá, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Contrastes	No.	IMAAB	IPAAB	IMAVT	IPAVT
Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón alto convencional (AAC)	3	NS	NS	*	NS
Amarillón medio orgánico (AMO) vs amarillón medio orgánico (ACMO)	4	*	*	*	*
Amarillón medio orgánico (AMO) vs amarillón medio orgánico (APMO)	5	NS	*	*	*
Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón medio convencional (ACMC)	6	*	*	*	*
Amarillón medio convencional (AMC) vs amarillón medio convencional (APMC)	7	*	*	NS	*
Cashá medio orgánico (CMO) vs cashá medio orgánico (CPMO)	8	*	*	*	*
Cashá medio orgánico (CMO) vs cashá medio orgánico (ACMO)	9	*	*	*	*
Cashá medio convencional (CMC) vs cashá medio convencional (CPMC)	10	*	*	*	*
Cashá medio convencional (CMC) vs cashá medio convencional (ACMC)	11	*	NS	*	NS

IMAAB: incremento medio anual del área basal, IPAAB: incremento periódico anual del área basal, IMAVT: incremento medio anual del volumen total, IPAVT: incremento periódico anual del volumen total. NS: No significativo al 0.05, *: significativo al 0.05 **: Significativo al 0.01.

Los resultados de área basal (AB) y volumen total (VT) e incrementos de AB y VT mostraron diferencias significativas para amarillón y cashá en la mayoría de los contrastes propuestos en la metodología (Cuadros 8 y 9), encontrando que hay mayor AB y VT en los tratamientos donde se encuentra una especie sola sin la asociación de otra arbórea. En cuanto al amarillón Piotto (2005) reportó un AB de 14.46 m² ha⁻¹ y un VT de 85.17 m³ ha⁻¹ a la edad de 6 años en pasturas abiertas del Atlántico de Costa Rica. Por otro lado, en las mismas condiciones de sitio que el amarillón, el mismo autor ante citado encontró en cashá un AB de 11.15 m² ha⁻¹ y un VT de 59.81 m³ ha⁻¹ a la edad de 4 años y a la edad de 7 años alcanzó un AB de 17.11 m² ha⁻¹ y un VT 113.41 m³ ha⁻¹; Sin embargo, el cashá plantado bajo bosques secundarios en el Atlántico de Costa Rica presentó un AB de 2.05 m² ha⁻¹ y un VT de 9.65 m³ ha⁻¹ a una edad de 4 años y a la edad de 7 años un AB de 5.18 m² ha⁻¹ y 32.40 m³ ha⁻¹ de AB y VT respectivamente, a una edad de 7 años. Por su parte Tilki y Fisher (1998) reportaron en VT 14.92 m³ ha⁻¹ en promedio para plantaciones mixtas de cashá a una edad de 3 años en Sarapiquí, Costa Rica.

Al comparar los resultados obtenidos en el ensayo de sistemas agroforestales en las especies amarillón y cashá con los antes citados, es notorio que en pasturas abiertas ambas especies tienen mayor área basal y volumen total al compararlos con los tratamientos en estudio; sin embargo, el comportamiento de cashá plantado bajo bosques secundarios a la edad de 4 años presentaron menor área basal y volumen total que los tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales, los cuales mostraron mayor volumen y área basal en los tratamientos CMC y CMO, notándose que en estos tratamientos se encuentran sin la asociación de otra arborea. Por otro lado, si se considera comparar el volumen total del cashá reportados por Tilki y Fisher (1998) en plantaciones mixtas, con los encontrados en cashá del ensayo de sistemas agroforestales, es 29% mayor en los tratamientos en estudio donde el cashá se encuentra asociado y 58% mayor en los tratamientos en el que cashá se encuentra solo sin la asociación de otra arborea.

En cuanto a las diferencias significativas del amarillón y cashá en IMA e IPA de AB y VT el mayor incremento se produjo en los tratamientos donde había una especie sin asociar con otra arborea. Por su parte Piotto (1998) reportó un IMA de VT en amarillón de $23.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y en cashá valores de $30.7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con ambas especies plantadas a pleno sol, y una edad de 7 años; sin embargo el cashá bajo sombra obtuvo incrementos de $4.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Si se comparan los IMA de los tratamientos del ensayo de sistemas agroforestales del amarillón y el cashá con los encontrados a pleno sol por Piotto (1998) son mayores los citados que los mostrados en el ensayo; no obstante, el IMA de cashá bajo sombra es similar a los encontrados en los tratamientos de sistemas agroforestales.

4.11 Poda en árboles de sombra bajo manejo convencional y orgánico

En poró la cantidad de biomasa resultante de las dos podas hechas refleja que los tratamientos PMC, PAC y APMO produjeron la mayor cantidad de biomasa con 11,129.44, 9,818.63 y 7,753.03 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 21, Anexo 16).

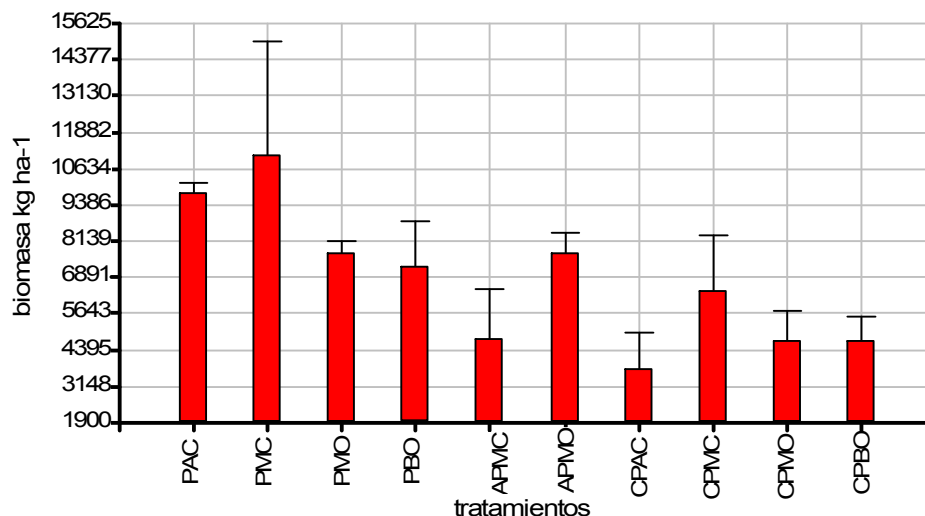


Figura 21. Cantidad de biomasa ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) en poró producto de las podas en sistemas agroforestales de café-árbol, bajo manejo convencional y orgánico, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

La cantidad de biomasa producto de una poda realizada en amarillón y cashá (Figura 22) muestra que el amarillón produce más biomasa en los tratamientos ABO ($2,033.18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), AMC ($1,872.15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y AAC ($1,657.63 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y el cashá en CMC ($2,926.20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), CMO ($2,147.38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), APMC ($2,187.49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Anexo 16).

Por otro lado, con el fin de conocer si la poda causó un efecto en crecimientos DAP en poró (especie de servicio), amarillón y cashá (especies maderables) se realizó un análisis de correlación de Pearson, encontrando que no existe correlación entre la cantidad de biomasa producida por la poda ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) y el crecimiento del DAP en las poró ($p = 0.5712$), amarillón ($p = 0.0620$), y cashá ($p = 0.6464$). De igual manera se correlacionó la biomasa de poda ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) con la altura total encontrando que hubo correlación entre la biomasa de la poda y altura total en las especies maderables amarillón (0.1326) y cashá ($p = 0.6307$).

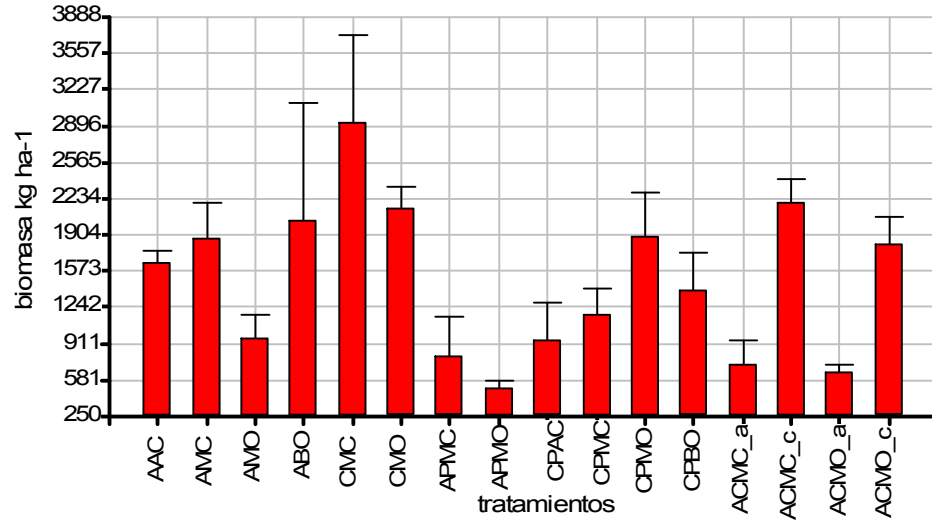


Figura 22. Cantidad de biomasa ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) en las especies de amarillón (a) y cashá (c) producto de la poda en sistemas agroforestales de café – árbol, bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica.

5 CONCLUSIONES

La mayor producción de café cereza (promedio año⁻¹) se encontró en los tratamientos convencionales, encontrando cambios de rendimientos de café a lo largo de los años de cosecha, los cuales variaron significativamente en los manejos, mostrando diferencias entre los manejos convencionales y orgánicos; sin embargo, los valores orgánicos aun mostrando muy bajos rendimientos al comienzo de la primera cosecha, se incrementaron conforme avanzaron los años logrando rendimientos aproximados a los manejos convencionales. Por otro lado, al comparar los rendimientos de café cereza en los tratamientos bajo sombra frente a cafetos pleno sol, se encontró diferencia significativa, mostrando menor producción de café bajo sombra que a plena exposición solar.

Los mayores porcentajes de agotamientos de tejidos se encontraron en los tratamientos convencionales, debiendo sus diferencias al manejo realizado en los tratamientos; sin embargo el análisis de correlación entre agotamiento y rendimiento indicó que cuanto mayor es la producción de café más fuerte es el agotamiento producido en los tejidos.

La evaluación de vigor de tejidos en la categoría muy bueno presentaron los mayores porcentajes en los tratamientos poró bajo orgánico y amarillón medio orgánico, en bueno los valores más altos en porcentaje se encontraron en cashá medio orgánico y amarillón-cashá medio orgánico, en regular los máximos porcentajes se mostraron en cashá-poró alto convencional y amarillón-cashá medio orgánico y en malo los mayores porcentajes se presentaron en poró medio convencional y cashá medio convencional. Por otro lado, los análisis indicaron que la categoría muy bueno y regular fueron afectadas por el manejo y la categoría bueno y malo tuvo un efecto significativo en la interacción sistema agroforestal y el manejo.

En relación al efecto de la sombra de árboles en el rendimiento de café, los análisis de correlación de Pearson mostraron que la sombra tiene un efecto negativo sobre el rendimiento de café, determinando mejor la relación sombra-rendimiento a través de una curva de análisis de regresión, la cual indicó que a medida que aumenta la sombra la producción de café disminuye.

En poró el crecimiento promedio fue evaluado a través diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT) y diámetro de copa (DC), presentando el mayor crecimiento en los tratamientos amarillón-poró medio orgánico, poró bajo orgánico y cashá-poró medio convencional respectivamente, encontrando que las diferencias significativas en las variables DAP y DC mostraron mayor crecimiento cuando el poró esta asociado con las maderables debiéndose a la asociación café-árbol; sin embargo, en la HT las diferencias se deben al manejo principalmente por la poda realizada en los tratamientos.

En amarillón y cashá no se encontraron diferencias significativas en DAP, HT y DC, por consiguiente que las variables incremento medio anual (IMA) y periódico anual (IPA) de DAP, HT y DC solo el IPA de DAP mostró diferencias significativas, la cual fue afectado por el manejo. Sin embargo, las variables volumen total y su IMA e IPA en amarillón y cashá mostraron diferencias significativas en los tratamientos, debiéndose a la asociación café-árbol y no al manejo, indicando que no hay diferencias entre los manejos convencionales y orgánicos. Por otro lado, los mayores volúmenes e incrementos se presentan cuando las especies amarillón y cashá están sin la asociación de otra arbórea.

No existe una correlación en las especies poró, amarillón y cashá entre la cantidad de biomasa producida por la poda y el crecimiento en las variables diámetro a la altura del pecho y altura total.

6 RECOMENDACIONES

Realizar un raleo en la especie poró en los sistemas agroforestales de poró, amarillón-poró y cashá-poró, dado que sus tratamientos presentaron porcentajes de sombra mayores al 60%.

Se recomienda efectuar una poda más drástica en los tratamientos de sistemas agroforestales (SAF): cashá medio convencional, cashá medio orgánico o orgánico intensivo, cashá-poró medio convencional, medio orgánico y bajo orgánico, de tal manera que disminuya el área proyectada de la copa y evite el traslape de copas entre árboles.

Debido a que la caracterización de la sombra tiene su complejidad en la toma de radiación fotosintética activa (RAFA), considerando que las condiciones climáticas deben ser las mismas a la hora de medir la RAFA a cielo abierto y dentro de los SAF, se recomienda utilizar las ecuaciones generadas para cada SAF en los rangos encontrados en base a los datos de cobertura de la presente investigación.

Se debe considerar continuar evaluando el crecimiento de las especies maderables, ya que en este estudio se observó que a la edad de cinco años mostraron diferencias aritméticas de altura total entre los manejos.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar C, A. 2000. Evaluación de sistemas agroforestales con café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* e implementaciones metodológicas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p.
- ANACAFE. 1991. Manual de Caficultura. Guatemala. Sugerencias de asuntos agrícolas. 169 p.
- ANECAFE. 1997. Importancia de la sombra en el cafetal. Agroforestería en las Américas. 4 (13): 25-29.
- ANACAFE. 1999. Manual de caficultora orgánica. Guatemala. 159 p.
- Alpizar, I; Fassbender, HW; Heuvelop, J; Folster, H; Enríquez, G. 1986. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poró (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. Agroforestry systems 4: 175-189.
- Alpizar, L; Enríquez, G; Fassbender, HW; Heuvelop, J. 1983. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento central de CATIE, Turrialba: producción agrícola y maderable. Turrialba, CR. CATIE. 26 p.
- Arce, R; Cooke, D. 1997. *Abarema idiopoda*: leguminosae – mimosoideae. Curtis Botanical Magazine 14: 198- 202.
- Beer, J. 1997. Café bajo sombra en América Central: ¿hace falta más investigación sobre este sistema agroforestal exitoso? Agroforestería en las Américas. 4 (13): 4-5.
- Camacho, P. 1981. Informe general del proyecto: Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 71 p.
- Cannell MGR. 1976. Crop physiological aspect of coffee bean yield. Kenya Coffe 41: 245-253.

- CATIE. 1984. Normas para la investigación silvicultural de especies para leña. Turrialba, Costa Rica. 115 p.
- CATIE. 1997. Terminalia amazonia (Gmel.) Excell. Turrialba, CR. Manejo de semillas forestales No. 10. 2 p.
- CATIE. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, CR. Serie Técnica, manual técnico no.41. 204 p.
- CENICAFE.1993. La materia orgánica y su importancia en el cultivo del café. Boletín Técnico No.16. Chinchina, Caldas, Colombia. 24 p.
- Cordero, J; Mesén, F; Montero, M; Stewart, J; Dossier, D; Chanberlain, J; Pennington, T; Hands, M; Hughes, C; Detlefsen, G. 2003. Descripciones de especies de árboles nativos de América Central. *In* Cordero, J; Boshier, DH (eds). Árboles de Centro América: un Manual para Extensionistas. Oxford,UK. FRP. OFI/CATIE. P 311-958.
- Cubillos D, V. 1988a. Funciones de volumen y factor de forma para renovales de Goigüe. *Ciencia e Investigación Forestal* 2 (4): 63-68.
- Cubillos D, V. 1988b. Funciones de volumen y factor de forma para renovales de Rauli. *Ciencia e Investigación Forestal* 2 (3): 103-113.
- Detlefsen R, EG. 1988. Evaluación del rendimiento de *Coffea arabica* cv. Caturra bajo diferentes densidades de *Cordia alliodora* y *Erythrina poeppigiana* plantados en un diseño sistematico de espaciamientos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 121 p.
- Dzib Castillo, BB. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 114 p.
- Eskes, AB; Leroy, Th. 2004. Coffee selection and breeding. *In* J, Wintgens. Ed. Coffee: Growing, processing, sustainable production. Alemania, Wiley-VCH. P 57-86.

- Estivariz C, JJ. 1997. Efecto de la sombra sobre la floración y producción de *Coffea arabica* var caturra, después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 73 p.
- Estivariz, J. y Muschler, R. 1997. Efecto de la sombra sobre la floración y producción de *Coffea arabica* var caturra, después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 5 (17-18): 49-53.
- Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Serie de materiales de enseñanza no 3. Segunda edición. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 530 p.
- Finegan, B. 1996. Comunidades de bosques tropicales: historia, perturbación y el efecto del medio físico. Notas de curso Bases ecológicas para el manejo sostenible. Programa de Post-grado. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 52 p.
- Fischersworrning Hömberg, B; RoBkamp Ripken, R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. GTZ. Alemania. 153 p.
- Flores, E. 1994. Roble Coral. *In* árboles y semillas del Neotrópico. San José, Costa Rica. 3 (1): 55-86.
- Fonseca, MT. 1968. El poró. *Revista de Agricultura (Costa Rica)*. 40 (6-7):102-112.
- Fournier, LA. 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense*. 12(1):131-146.
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Turrialba, Costa Rica. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 168 p.
- Gliessman, S.R. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 359 p.
- Guevara L, C; Zamora C, N. 1997. Evaluación del crecimiento y productividad de cinco especies nativas plantadas en Sarapiquí, Eredia, Costa Rica. Tesis Ing. Heredia. CR, Universidad Nacional. 173 p.

- Henríquez Chacón, GR; Mejía Figueroa, RE. 1997. El mercado metropolitano de café orgánico. Tesis Mag. Sc. San Salvador, Salvador, Universidad Tecnológica. 114 p.
- Hernández G, OR. 1995. Rendimiento y análisis financiero del sistema agroforestal café (*Coffea arabica* cv Caturra) con poró (*Erythrina poeppigiana*) bajo diferentes densidades de laurel (*Cordia alliodora*). 70 p.
- Hernández G, O; Beer, J; Von Platen, H. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. Agroforestería en las Américas. 4 (13): 8-13.
- Heuvel dop, J; Alpizar, L; Fassbender, H.W; Enriquez, G; Folster H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* cv Caturra) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. Turrialba. 35 (4):347-355.
- ICAFFE. 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo de café. San José, Costa Rica. 195 p.
- Jiménez, F; Muschler, R; Kopsell, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 187 p.
- Jiménez, LD. 2003. Aplicaciones de SILVIA en el ordenamiento de las plantaciones forestales del CATIE. Testis Ing. For. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 107 p.
- Kuhl A, E. 2004. Nicaragua y su café. Managua, Nicaragua. Hispammer. 371 p.
- Lara E, LD. 2005. Efecto de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad de café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) producido en sistemas agroforestales de la Zona cafetalera Norcentral de Nicaragua. 92 p.
- Leakey, R. 1997. Reconsiderando la definición de agroforestería. Agroforestería en las Américas. 4 (16):22-24.

- Lemmon, PE. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science*. P 315-321.
- Littell, RC; Henry, PR; Ammerman, CB. 1998. *Statistical Analysis of Repeated Measures Data Using SAS Procedures*. Departments of statistics and animal science, University of Florida. P 1216 -1231.
- Lyngbaek, AE; Muschler, RG. Sinclair, FL. 1999. Productividad, mano de obra y costos variables en fincas cafetaleras orgánicas y convencionales de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 6(23):24-26.
- Menas T, O; Ferrer C, G; Girante D, R; Rodríguez R, I; Durán M, A; Valdés, M. 1978. *Fitotecnia del café*. Ed. EM Silvia. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 222 p.
- Montenegro, GEJ. 2005. Efecto de la dinámica de la materia de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 67 p.
- Montero M, M; Kanninen, M. 2005. *Terminalia amazonia*. Ecología y silvicultura. Serie Técnica, Informe Técnico No. 339. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 32 p.
- Murillo, L; Hernández, X; Murillo, O. 1992. Evaluación de la calidad de plantaciones de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en el Valle Central de Guarco, Cartago, Costa Rica. *In Congreso Nacional Forestal (II, 1992, Alajuela, Costa Rica)*. San José, Costa Rica. P 51-52.
- Murillo, O; Camacho, P. 1992. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales. *In Congreso Nacional Forestal (II,1992, Alajuela, Costa Rica)*. San José, Costa Rica. P 40-42
- Muschler, RG. 2000. Árboles en Cafetales. Módulo de Enseñanza Agroforestal No.5. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. 139 p.

- Nichols, D; Gonzáles, E. 1992. Especies nativas y exóticas para la reforestación en la zona sur de Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales y Dirección General Tropical. San José, Costa Rica. 84 p.
- Niuwenhuyse, A. 2005. Taxonomía de suelos. Presentación “Curso de manejo de suelos”. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 60 diapositivas.
- Orozco, L; Brumér, C. 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Serie técnica, Manual Técnico No. 50. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 264 p.
- Pinelo M, GI. 2000. Manual para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Serie Técnica, Manual Técnico No. 40. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 52 p.
- Piotto, D. 1998. Evaluación de parcelas permanentes de especies forestales nativas. Universidad Estadual Paulista. San Miguel de Sixaola, Costa Rica. 13 p.
- Piotto, D. 2005. Growth of native tree plantations in open pastures, young secondary forest, and mature forest in humid tropical Costa Rica. Yale University, School of Forestry and Environmental Studies. 40 p.
- Porras V, CM. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 131 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA/GTZ. 561 p.
- Ramírez, E; Calvo, J.C. 2003. Caracterización de los sistemas agroforestales con café en el área de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera la Amistad, Pejibaye de Jiménez, Costa Rica. Agroforestería en las Américas. 10 (37): 37-38.
- Rojas, OE. 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. San José, Costa Rica. IICA. Series Publicaciones Misceláneas No. A1/OCR-87-007. 83 p.

- Rojas, OE. 1989. Determinación del potencial agroecológico para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. Turrialba (Costa Rica). 39 (3): 279-287.
- Romero, AC; Jiménez, F; Muschler, R. 2000. Crecimiento de almácigo de café con abono tipo bocashi y follaje verde de *Erythrina poeppigiana*. Agroforestería en las Américas. 7 (26): 37-42.
- Salazar, R. 1989. Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. Serie técnica No. 20. Turrialba, Costa Rica. 194 p.
- Salazar, R; Soihet, C; Méndez, JM. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Nota técnica No.10. P 19-20.
- Samper K, M. 1999. Trayectoria y viabilidad de las Caficultoras Centroamericanas. In Bertrand B; Rapidel, B. Eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. IICA. PROMECAFE. CIRAD. IRD. CCCR. P 1-68.
- Santelices M, RE. 1989. Funciones de volumen, factores de forma y modelos de crecimiento diametral para rodales de Lingue y Mañío. Ciencia e Investigación Forestal 2 (7): 1-19.
- Siles G, P. 2001. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y sin sombra. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 88 p.
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es agroforestería?. El Chasqui No. 24: 5-13.
- Somarriba, E; Calvo, C. 2000. Documento base del curso "Planificación Agroforestal impartido en el CATIE". Turrialba, Costa Rica. 52 p.
- Sosa, R. 1997. Reconocimiento de sistemas agroforestales sombra-café y sus características de rentabilidad y riesgo en Rivas, Pérez Zeledón, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 87 p.
- Sylvain, P. 1981. Problemas de la sombra: innovaciones agrotécnicas en caficultura. COMUNIHCAFE (Honduras). 1 (1):8.

- Tavares, FC; 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*. 6 (23): 17-20.
- Tilki, F. y Fisher, RF. 1998. Tropical leguminous species for acid soils: studies on plant form and growth in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 108: 175-192.
- Torres, CG y Luján, FR. 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.
- Ugalde A, LA. 2003. El sistema MIRA-SILV, componente de silvicultura. Manual del usuario versión 2.9-2003. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 91 p.
- Vaast, P; Van Kanten, R; Siles, P; Dzib, B; Frank, N; Harmand, J; Genard, M. 2005. Shade: A key factor for coffee sustainability and quality. ASIC conference, Bangalore, India. P 887-896.
- Vallejo, MA y Oviedo, FJ. 1994. Características botánicas, usos y distribución de los principales árboles y arbustos con potencial forrajero de América Central. In *Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central*. Benavides, JE. ed. V. 2. P 665-694.
- Varona T, J. 1958. Matemáticas y sus aplicaciones agrícolas. Obra para texto en universidades laborales, escuelas e institutos de enseñanza media profesional, escuelas agrícolas, normales de maestros y maestras, y de consulta para técnicos agrícolas y agricultores. Barcelona, Madrid, Buenos Aires, México, Río de Janeiro. 659 p
- Vicent, L. 1980. Manejo de plantaciones forestales con fines de producción. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Centro de Estudios Forestales de Postgrado, Departamento de Manejo de Bosques. 151 p.
- Virginio F deM, E; Hagggar, JP; Staver, CP. 2002. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: estudio a largo plazo de interacciones agroecológicas. *Café Cacao* (1):31-35.

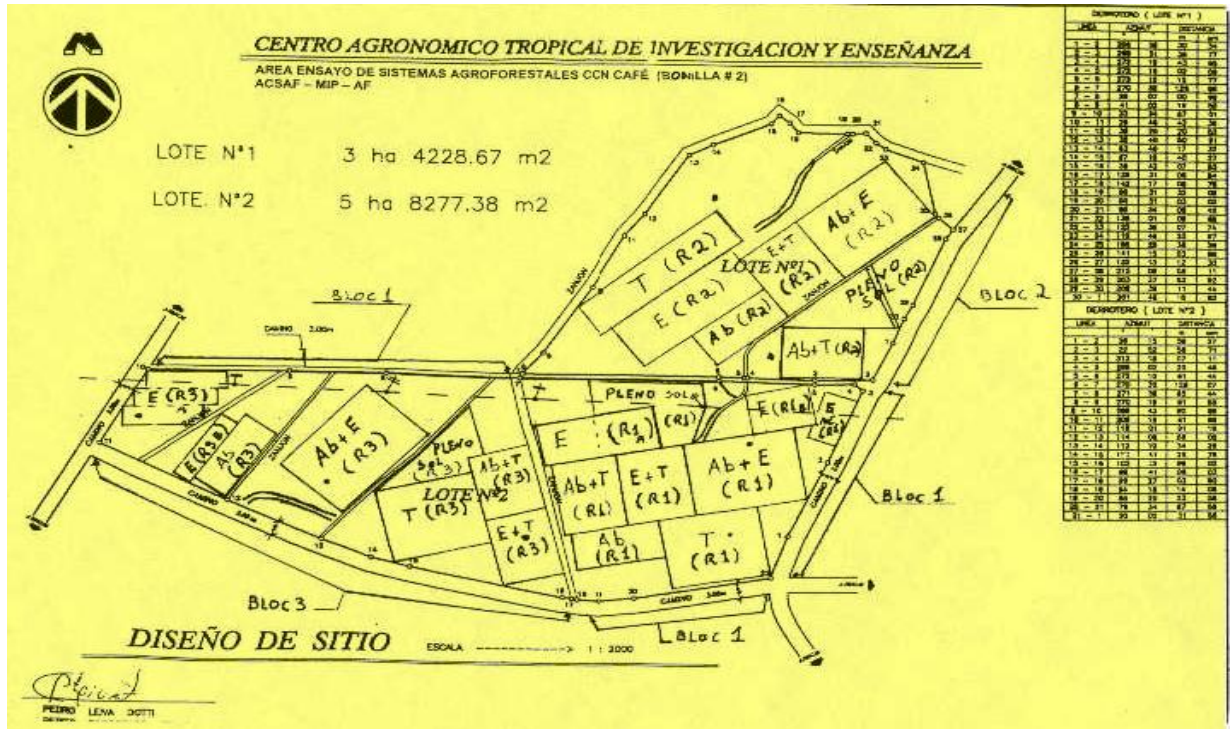
Virginio F deM, E; Haggar, JP. 2004. Programas de capacitación a productores (as) de cooperativas afiliadas a COOCAFE. CATIE - CEDECO. Turrialba, Costa Rica. 42 p.

Virginio F deM, E. 2005. Ensayo de sistemas agroforestales con café: estudios a largo plazo de relaciones agroecológicas. Presentación “Curso de metodología de investigación agroforestal”. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 14 diapositivas.

Virginio F deM, E. 2005. Evaluación de los sistemas agroforestales con café en fincas vinculadas al consorcio de cooperativas de caficultores de Guanacaste y Montes de Oro- COOCAFE: un aporte a la construcción de la sostenibilidad. CATIE/FUNCAFOR/ COOFACE. Turrialba Costa Rica. 45 p.

8 ANEXOS

Anexo 1. Croquis del ensayo de sistemas agroforestales con café, bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica



Anexo 2. Formato de medición de agotamiento de cafetos ensayo de sistemas agroforestales con café, bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica

Bloque: _____ Parcela _____ Subparcela _____		
Fecha: _____ Responsable _____		
No. Cafetos con poda parcial	No. Cafetos con poda total	Observación
///	///	
Total:	Total:	

Anexo 3. Formato de medición de vigor de tejidos en cafetos en el ensayo de sistemas agroforestales con café, bajo manejo convencional y orgánico en CATIE, Turrialba, Costa Rica

Bloque: _____ Parcela _____ Subparcela _____				
Fecha: _____ Hora de Inicio _____ Hora de fin _____				
Categoría de vigor(*)				Observación
Muy Bueno (1)	Bueno (2)	Regular (3)	Malo (4)	
///	///	///	///	
Total:	Total:	Total:	Total:	

Fuente: propuesto por Virgínio Filho, EdM.

Criterios (*):

1. Muy bueno: Los troncos remanentes están revestidos de tejido productivo en más del 90% de la planta.
2. Bueno: Los troncos remanentes están revestidos de tejido productivo entre el 70% y 89% de la planta.
3. Regular: Los troncos remanentes están revestidos de tejido productivo entre el 50% y 69% de la planta.
4. Malo: Los troncos remanentes están revestidos de tejido productivo en menos del 49% de la planta.

Anexo 4. Producción promedio de café (Fanegas ha⁻¹ año⁻¹), bajo manejo convencional y orgánico, en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tratamientos	RENDIMIENTOS DE COSECHAS POR AÑOS				
	1	2	3	4	Promedio 2-4
SAC	11.56±7.36	68.31±22.18	19.87±5.33	60.61±11.77	49.60±11.92
SMC	16.73±7.77	56.90±18.45	17.30±5.94	49.50±3.36	41.23±7.80
PAC	8.87±1.48	56.03±5.19	25.92±6.16	54.63±4.55	45.53±4.46
PMC	4.15±2.03	38.50±9.50	18.36±0.83	34.32±2.97	30.40±2.56
PMO	0.07±0.07	12.25±7.17	31.80±4.53	38.75±11.87	27.60±3.86
PBO	0.00±0.00	6.37±1.79	25.80±4.54	34.69±9.45	22.29±3.91
AAC	7.25±3.82	51.65±4.65	25.54±8.83	58.78± 9.86	45.33±4.07
AMC	2.22±2.14	39.06±7.42	11.10±1.06	45.47±3.88	31.88±3.64
AMO	0.00±0.00	17.48±8.18	35.83±15.47	46.52±14.94	33.27±9.62
ABO	0.00±0.00	3.63±3.17	15.41±6.18	30.64±14.33	16.56±7.02
CMC	6.74±6.12	37.93±8.81	14.29±4.74	43.80±3.74	32.01±2.74
CMO	0.05±0.05	8.68±2.96	24.13±4.42	32.99±0.82	21.93±1.44
ACMC	7.92±5.36	40.12±2.78	14.06±7.11	42.11±4.97	32.10±3.94
ACMO	0.00±0.00	3.90±2.64	12.21±2.44	36.38±5.43	17.50±2.57
APMC	16.14±6.66	39.65±7.35	29.71±9.82	42.15±6.68	37.17±3.38
APMO	0.00±0.00	6.81±0.95	29.37± 2.96	32.54±5.90	22.91±2.27
CPAC	10.18±6.37	59.21±9.84	25.02±5.27	54.13± 2.97	46.12±2.82
CPMC	4.63±2.67	27.60±7.31	20.92±5.86	36.41±9.85	28.30±4.42
CPMO	0.10±0.10	14.60±9.18	27.49±3.36	38.04±4.52	26.71±1.47
CPBO	0.00±0.00	10.52±4.07	26.82±7.72	36.39±10.42	24.58±6.56

NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

Anexo 5. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en rendimiento de café asociado con árboles y sin sombra, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

RENDIMIENTO DE CAFÉ		AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		PROMEDIO AÑOS 3 - 4	
Contrastes	No.	$P > F$		$P > F$		$P > F$		$P > F$		$P > F$	
SAC+SMC	1	<0.0001		<0.0001		---		0.0143		0.0007	
CON SOMBRA		14.15	5.69	62.61	26.33			55.06	41.04	45.42	30.12
ACMC+ACMO	5	---		---		0.0196		---		---	
PMC+PMO						13.14	25.08				
ACMO	6	---		---		0.0151		---		---	
PMO+PBO						12.21	28.80				
PMO+PBO	11	0.0004		<0.0001		---		---		0.0152	
PMC+PAC		0.07	6.51	9.31	47.27					24.95	37.97
AMO+ABO	14	0.0062		<0.0001		---		0.0294		0.0030	
AAC+AMC		0.00	4.74	10.56	45.36			38.58	52.13	24.92	38.61
AMO	15	---		0.0303		0.0210		---		0.0088	
ABO					17.48	3.63	35.83	15.41		33.27	16.56
CMO	17	0.0379		0.0015		---		---		---	
CMC		0.05	6.74	8.68	37.93						
ACMO	18	0.0058		<0.0001		---		---		0.0268	
ACMC		0.00	7.92	3.90	40.12					21.93	32.01
APMO	19	0.0001		0.0005		---		---		0.0492	
APMC		0.00	16.14	6.81	39.65					22.91	37.17
Total		<0.0001		<0.0001		0.0557		0.0932		0.0002	

SAC+SMC vs CON SOMBRA= TRATAMIENTOS PLENO SOL vs CON SOMBRA

Nota: números en negrillas y con cuatro decimales muestran diferencias significativas en los tratamientos (Probabilidades de las pruebas F), números con dos decimales muestran las medias de los contrastes en el orden en que se presentan.

Anexo 6. Porcentajes promedios de podas realizadas en cafetos agotados, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

TRATAMIENTOS	% PP05	% PT05	% PP06	% PT06	SP06
SAC	20.85±10.11	0.17±0.17	68.52±6.15	11.42±2.47	79.94±6.63
SMC	23.93±17.57	0.85±0.85	61.57±15.85	11.57±0.80	73.15±16.50
PAC	19.42±1.31	0.19±0.19	56.33±2.95	6.17±2.27	62.50±4.20
PMC	18.74±6.50	2.38±1.87	44.60±12.37	9.72±5.34	54.32±15.20
PMO	11.02±1.73	1.05±0.06	43.67± 3.48	9.26±4.68	52.93±8.16
PBO	16.82±8.44	0.00±0.00	24.23±10.83	3.24±1.75	27.47±12.49
AAC	32.10±11.47	0.41±0.21	64.20±5.87	13.99±1.35	78.19±6.80
AMC	13.01±5.11	0.00±0.00	68.52±10.03	11.93±3.81	80.45±6.96
AMO	35.18±16.76	5.35±3.66	48.35±18.29	4.94±1.78	53.29±19.41
ABO	19.75±8.15	2.68±1.44	31.89±14.39	6.38±4.05	38.27±18.44
CMC	22.84±5.38	0.00±0.00	75.72±4.75	16.26±4.85	91.98±2.47
CMO	23.87±2.63	1.44±0.54	28.40±5.84	0.82±0.54	29.22±6.28
ACMC	22.99±12.59	0.93±0.53	66.36±5.51	14.66±2.68	81.02±6.36
ACMO	10.34±3.86	2.16±1.72	30.56±8.60	2.16±1.26	32.72±8.83
APMC	24.85±11.72	0.31±0.15	67.59±4.95	12.96±3.74	80.55±8.57
APMO	18.83±4.15	0.93±0.27	50.31±10.91	8.02±4.28	58.33±15.15
CPAC	16.98±5.56	0.31±0.31	72.07± 0.86	8.95±4.39	81.02±3.53
CPMC	9.41±6.51	0.46±0.27	50.00±19.51	12.04±4.64	62.04±23.83
CPMO	8.64±1.93	0.31±0.15	51.54±8.59	5.56±3.34	57.10±11.92
CPBO	10.96±2.04	0.46±0.27	39.66±18.08	4.63±2.67	44.29±20.71

PT05: poda total 2005, PP05: poda parcial 2005, SP05: sumas de las podas total y parcial 2005, PT06: poda total 2006, PP06: poda parcial 2006, SP06: sumas de las podas total y parcial 2006. NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

Anexo 7. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en agotamiento de tejidos de cafetos (poda total, poda parcial y la suma de ambas podas) a pleno sol y con sombra, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

PODAS EN CAFETOS		pP06		pT06		sp06	
Contrastes	No.	P>F		P>F		P>F	
SAC+SMC	1	0.0332		---		0.0465	
CON SOMBRA		65.05	50.78	---		76.55	59.21
AMO+ABO	14	0.0057		0.0085		0.0038	
AAC+AMC		40.12	66.36	5.66	12.96	45.78	79.32
CMO	17	0.0001		0.0031		0.0007	
CMC		28.40	75.72	0.82	16.26	29.22	91.98
ACMO	18	0.0007		0.0163		0.0053	
ACMC		30.56	67.59	2.16	12.96	53.29	80.55
Total		0.0001		0.0052		0.0010	

P > F: probabilidades de las pruebas F, PP06: poda parcial 2006, PT06: poda total 2006, SP06: sumas de las podas total y parcial 2006. Nota: números en negrillas y con cuatro decimales muestran diferencias significativas en los tratamientos, números con dos decimales muestran las medias de los contraste en el orden en que se presentan.

Anexo 8. Porcentajes promedios de vigor productivo en los cafetos podados parcialmente, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

TRAT	% MUY BUENO	% BUENO	% REGULAR	% MALO
SAC	3.34±1.69	34.64±10.83	33.87±3.45	28.16±8.65
SMC	4.05±3.49	17.23±5.43	28.15±0.72	50.57±8.00
PAC	11.59±4.42	14.68±4.66	17.67±4.47	56.05±11.03
PMC	0.00±0.00	7.24±4.28	12.83±4.03	79.93± 8.12
PMO	0.61±0.61	9.45±1.19	24.65±1.93	65.29±0.59
PBO	13.91±6.98	15.85±3.06	27.75±4.36	42.49± 8.18
AAC	2.72±1.57	14.50±7.05	31.40±7.56	51.38±7.22
AMC	2.26±2.26	5.67±3.04	22.09±6.40	69.98± 9.19
AMO	13.52±5.39	33.64±8.70	22.92±4.18	29.91±5.19
ABO	3.55±3.55	9.85±2.19	18.99±2.15	67.62±5.36
CMC	0.25±0.25	4.07±1.92	19.02±8.15	76.67±9.88
CMO	10.07±5.91	52.14±4.49	32.87±0.68	4.92±2.95
ACMC	0.00±0.00	6.91±2.42	19.62±5.38	73.47±7.76
ACMO	4.10±1.00	41.07±5.79	35.65±3.31	19.19±8.45
APMC	0.00±0.00	16.37±11.92	23.44±3.74	60.18±14.32
APMO	7.59±7.00	28.19±11.17	26.00±5.99	38.21±15.45
CPAC	4.14±2.26	30.92±10.64	35.70±4.24	29.25±16.40
CPMC	0.61±0.61	11.96± 3.03	26.69±6.47	60.74±8.89
CPMO	8.59±5.52	38.06±5.99	33.18±6.41	20.16±4.98
CPBO	8.86±4.72	40.44±11.72	26.79±8.92	23.90±7.53

Trat: tratamiento, NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

Anexo 9. Porcentajes de sombra, cobertura y área proyectada de copa bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

TRATAMIENTOS	% SOMBRA	% COBERTURA	APC (M2)
PAC	47.94±2.46	47.53±2.20	17.00±1.27
PMC	71.68±2.01	73.08±1.15	26.01±1.49
PMO	72.39±2.03	74.49±0.69	22.52±1.75
PBO	66.34±2.25	65.20±2.43	25.19±2.91
AAC	49.21±3.75	43.26±2.79	13.83±2.63
AMC	49.16±4.75	43.62±5.42	10.66±0.81
AMO	45.34±4.18	40.50±2.20	9.53±0.56
ABO	51.95±4.52	49.15±3.61	10.59±2.88
CMC	57.10±3.64	57.83±5.80	33.11±3.76
CMO	57.46±4.06	56.85±3.32	36.84±3.00
ACMC	48.56±3.14	56.40±1.34	20.42±2.49
ACMO	46.41±0.59	50.20±2.22	18.92±1.77
APMC	62.59±2.57	67.25±2.08	20.45±0.34
APMO	61.72±8.27	67.98±7.28	Sin dato
CPAC	50.13±1.65	61.11±3.25	45.96±2.71
CMPC	63.36±2.12	76.00±1.23	60.31±6.14
CPMO	65.50±2.11	75.56±1.39	55.82±1.03
CPBO	64.23±2.27	73.49±1.19	58.24±2.65

APC: área proyectada de la copa, NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

Anexo 10. Crecimiento promedio de poró, amarillón (a) y cashá (c) en diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT) y diámetro de copa (DC), bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales, CATIE, Turrialba

SAF_CAFÉ - ÁRBOL	ESPECIE	TRAT	DAP (CM)	HT (M)	DC (M)
Poró	Poró	PAC	18.14±0.38	5.06±0.02	4.65±0.18
Poró	Poró	PMC	25.51±0.57	6.13±0.03	5.75±0.16
Poró	Poró	PMO	24.53±0.57	6.57±0.21	5.35±0.20
Poró	Poró	PBO	24.52±0.73	6.72±0.24	5.65±0.32
Amarillón	Amarillón	AAC	12.19±0.95	9.83±0.63	4.16±0.39
Amarillón	Amarillón	AMC	10.76±0.54	8.85±0.63	3.68±0.14
Amarillón	Amarillón	AMO	10.47±0.49	9.01±0.14	3.48±0.10
Amarillón	Amarillón	ABO	10.22±1.52	8.26±1.24	3.60±0.52
Cashá	Cashá	CMC	15.23±0.77	8.84±0.33	6.47±0.37
Cashá	Cashá	CMO	15.26±0.18	8.86±0.20	6.84±0.27
Amarillón - Cashá	Amarillón	ACMC_a	10.59±0.91	9.19±0.47	3.66±0.47
Amarillón - Cashá	Cashá	ACMC_c	16.12±0.42	9.10±0.03	6.50±0.23
Amarillón - Cashá	Amarillón	ACMO_a	9.50±1.02	8.26±0.60	3.14± 0.38
Amarillón - Cashá	Cashá	ACMO_c	16.88±0.39	9.42±0.31	6.66±0.15
Amarillón - Poró	Amarillón	APMC	11.66±1.32	10.10±1.04	3.48±0.32
Amarillón - Poró	Poró	APMC	25.75±0.40	6.32±0.37	6.73±0.24
Amarillón - Poró	Amarillón	APMO	11.33±0.29	9.33±0.44	3.54±0.51
Amarillón - Poró	Poró	APMO	26.74±0.66	6.66±0.29	Sin dato
Cashá - Poró	Cashá	CPAC	16.00±0.30	8.48±0.29	5.87±0.21
Cashá - Poró	Poró	CPAC	16.10±1.06	4.87±0.08	9.42±0.25
Cashá - Poró	Cashá	CPMC	15.72±0.51	9.17±0.25	6.14±0.11
Cashá - Poró	Poró	CPMC	24.44±0.81	6.09±0.42	11.34±0.81
Cashá - Poró	Cashá	CPMO	16.06±0.83	9.32±0.41	6.35±0.11
Cashá - Poró	Poró	CPMO	23.96±0.73	6.45±0.19	10.51±0.26
Cashá - Poró	Cashá	CPBO	15.93±0.72	8.96±0.35	6.21±0.27
Cashá - Poró	Poró	CPBO	24.02±0.64	6.53±0.26	11.00±0.12

SAF: Sistema agroforestal, Trat: tratamiento, DAP: diámetro a la altura del pecho, HT: altura total, DC: diámetro de copa. NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

Anexo 11. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variables silviculturales (DAP, HT y DC) en poró, bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

VARIABLES DE CRECIMIENTO		DAP		HT		dc	
Contrastes	No.	P>F		P>F		P>F	
PMO + PBO	1	---		0.0042		---	
PMC + PAC				6.65	5.60		
PMC	3	0.0013		---		0.0016	
PAC		25.51	18.14			5.75	4.65
PMO	4	---		---		<0.0001	
CPMO						5.35	10.51
PMO	5	0.0334		---		Sin dato	
APMO		24.53	26.74				
PBO	6	---		---		<0.0001	
CPBO						5.65	11
PAC	7	---		---		<0.0001	
CPAC						4.65	9.42
PMC	8	---		---		<0.0001	
CMPC						5.75	11.34
Total		0.0010		0.0187		<0.0001	

DAP: diámetro a la altura del pecho, HT: altura total, DC: diámetro de copa, P>F: probabilidades de las pruebas F. Nota: números en negrillas y con cuatro decimales muestran diferencias significativas en los tratamientos, números con dos decimales muestran las medias de los contraste en el orden en que se presentan.

Anexo 12. Incremento medio anual e incremento periódico anual promedio en DAP (diámetro a la altura del pecho) y HT (altura total) en amarillón (a) y cashá (c), bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

TRAT	IMADAP	IPADAP	IMAht	IPAht
AAC	2.22±0.17	2.89±0.15	1.79±0.11	1.98±0.12
AMC	1.96±0.10	2.82±0.21	1.61±0.11	1.79±0.13
AMO	1.90±0.09	3.00±0.48	1.64±0.03	1.82±0.03
ABO	1.86±0.28	2.83±0.30	1.50±0.23	1.66±0.25
CMC	2.77±0.14	2.58±0.05	1.61±0.06	1.76±0.04
CMO	2.78±0.03	2.62±0.09	1.61±0.04	1.77±0.02
ACMC_a	1.90±0.18	2.03±0.68	1.67±0.09	1.84±0.09
ACMC_c	2.93±0.08	4.38±1.35	1.65±0.01	1.84±0.01
ACMO_a	1.73±0.19	2.38±0.35	1.50±0.11	1.63±0.12
ACMO_c	3.07±0.07	2.96±0.15	1.71±0.06	1.87±0.06
APMC	2.12±0.24	2.75±0.41	1.84±0.19	2.01±0.21
APMO	2.06±0.05	2.68±0.07	1.70±0.08	1.88±0.07
CPAC	2.91±0.05	3.10±0.19	1.54±0.05	1.71±0.04
CPMC	2.86±0.09	3.14±0.08	1.67±0.05	1.86±0.04
CPMO	2.92±0.15	3.15±0.15	1.69±0.07	1.85±0.07
CPBO	2.90±0.13	2.90±0.18	1.63±0.06	1.78±0.06

Trat: tratamiento, IMADAP: incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho, IPADAP: incremento periódico anual del diámetro a la altura del pecho, IMAHT: incremento medio anual de altura total, IPAHT: incremento periódico anual de altura total. NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE)

Anexo 13. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en variables silviculturales (IPADAP) en cashá (c), bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL DEL DAP (IPADAP)		IPADAP	
Contrastes	No.	P>F	
CMO	8	0.0439	
CPMO		2.62	3.15
CMC	10	0.0228	
CMPC		2.58	2.75
CMC	11	0.0182	
ACMC_c		2.58	4.38

P>F: probabilidades de las pruebas F Nota: números en negrillas y con cuatro decimales muestran diferencias significativas en los tratamientos, números con dos decimales muestran las medias de los contraste en el orden en que se presentan.

Anexo 14. Área basal y volumen total en amarillón (a) y cashá (c), bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

SAF_CAFÉ-ÁRBOL	ESPECIE	TRAT	AB (M ² HA ⁻¹)	D.E.	VT (M ³ HA ⁻¹)	D.E
Amarillón	Amarillón	AAC	5.53±0.92	1.59	33.40±6.71	11.62
Amarillón	Amarillón	AMC	4.14±0.38	0.66	22.14±3.20	5.55
Amarillón	Amarillón	AMO	3.84±0.51	0.89	21.77±3.31	5.74
Amarillón	Amarillón	ABO	3.92±1.06	1.83	21.66±7.13	12.34
Cashá	Cashá	CMC	7.89±0.69	1.20	36.27±3.69	6.39
Cashá	Cashá	CMO	7.95±0.21	0.36	36.44±1.56	2.71
Amarillón - Cashá	Amarillón	ACMC_a	1.91±0.37	0.65	10.78±2.72	4.70
Amarillón - Cashá	Cashá	ACMC_c	4.55±0.24	0.41	21.15±1.07	1.85
Amarillón - Cashá	Amarillón	ACMO_a	1.78±0.37	0.64	9.76±2.64	4.57
Amarillón - Cashá	Cashá	ACMO_c	4.55±0.22	0.37	22.46±1.27	2.19
Amarillón - Poró	Amarillón	APMC	2.41±0.55	0.96	14.30±4.10	7.11
Amarillón - Poró	Amarillón	APMO	2.19±0.17	0.30	13.03±1.72	2.98
Cashá - Poró	Cashá	CPAC	4.18±0.16	0.27	18.64±1.16	2.00
Cashá - Poró	Cashá	CPMC	4.04±0.30	0.52	19.11±2.10	3.64
Cashá - Poró	Cashá	CPMO	4.49±0.42	0.74	21.42±2.72	4.71
Cashá - Poró	Cashá	CPBO	4.49±0.39	0.68	20.93±2.47	4.27

SAF: sistema agroforestal, TRAT: tratamiento, AB: área basal, VT: volumen total. D.E: Desviación Estándar, NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

Anexo 15. Incremento medio anual e incremento periódico anual promedio en área basal y volumen total en amarillón (a) y cashá (c), bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

TRAT	IMAAB (M ² HA ⁻¹ AÑO ⁻¹)	IPAAB (M ² HA ⁻¹ AÑO ⁻¹)	IMAVT (M ³ HA ⁻¹ AÑO ⁻¹)	IPAVT (M ³ HA ⁻¹ AÑO ⁻¹)
AAC	1.01±0.17	2.12±0.30	6.07±1.22	17.08±3.39
AMC	0.75±0.07	1.75±0.16	4.02±0.58	11.78±1.75
AMO	0.70±0.09	1.65±0.17	3.96±0.60	11.87±1.22
ABO	0.71±0.19	1.71±0.38	3.94±1.29	11.82±3.68
CMC	1.43±0.12	2.35±0.17	6.59±0.67	14.22±1.29
CMO	1.44±0.04	2.40±0.09	6.62±0.28	14.95±0.40
ACMC_a	0.35±0.07	0.62±0.24	1.96±0.49	5.17±1.53
ACMC_c	0.83±0.04	1.87±0.35	3.84±0.19	10.19±1.35
ACMO_a	0.33±0.07	0.72±0.18	1.77±0.48	5.10±1.52
ACMO_c	0.83±0.04	1.42±0.10	4.08±0.23	9.72±0.87
APMC	0.44±0.10	0.96±0.25	2.60±0.75	7.36±2.30
APMO	0.40±0.03	0.86±0.05	2.37±0.31	6.63±0.89
CPAC	0.76±0.03	1.39±0.06	3.39±0.21	7.93±0.27
CPMC	0.73±0.05	1.40±0.09	3.47±0.38	8.38±0.81
CPMO	0.83±0.08	1.55±0.14	3.95±0.52	9.66±1.06
CPBO	0.82±0.07	1.43±0.13	3.81±0.45	8.68±0.88

Trat: tratamiento, IMAAB: incremento medio anual del área basal, IPAAB: incremento periódico anual del área basal, IMAVT: incremento medio anual de volumen total, IPAVT: incremento periódico anual de volumen total. NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).

Anexo 16. Pruebas de contrastes con diferencia significativa para área basal (m²) y volumen total (m³ ha⁻¹) en amarillón (a) y cashá (c), bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

ÁREA BASAL Y VOLUMEN TOTAL		ab05		VT05	
Contrastes	No.	P>F		P>F	
AMO	4	0.0187		0.0080	
ACMO_a		3.84	1.78	21.77	9.76
AMO	5	0.0477		0.0237	
APMO		3.84	2.19	21.77	13.03
AMC	6	0.0086		0.0125	
ACMC_a		4.14	1.91	22.14	10.78
AMC	7	0.0187		---	
APMC		4.14	2.41	---	
CMO	8	0.0263		0.0173	
CPMO		7.95	4.49	36.44	21.42
CMO	9	0.0366		0.0435	
ACMO_c		7.95	4.55	36.44	22.46
CMC	10	0.0016		0.0045	
CPMC		7.89	4.04	36.27	19.11
CMC	11	0.0430		0.0155	
ACMC_c		7.89	4.55	36.27	21.15
Total		0.0002		0.0001	

AB05: área basal 2005, VT05: volumen total 2005, P>F: probabilidades de las pruebas F. Nota: números en negrillas y con cuatro decimales muestran diferencias significativas en los tratamientos, números con dos decimales muestran las medias de los contraste en el orden en que se presentan.

Anexo 17. Pruebas de contrastes con diferencia significativa en Incremento medio anual (IMA), e Incremento periódico (IPA) en variables silviculturales (Área basal y Volumen) en amarillón (a) y cashá (c), bajo manejo convencional y orgánico en el ensayo de sistemas agroforestales en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

INCREMENTOS DE VOLUMEN TOTAL	ÁREA BASAL Y	IMAab	IPaab	IMAvT	IPAVT
Contrastes	No.	P>F	P>F	P>F	P>F
AMC	3	---	---	0.0486	---
AAC				4.02 6.07	
AMO	4	0.0215	0.0009	0.0071	0.0014
ACMO_a		0.7 0.33	1.65 0.72	3.96 1.77	11.87 5.10
AMO	5	---	0.0019	0.0227	0.0032
APMO			1.65 0.86	3.96 2.37	11.87 6.63
AMC	6	0.0106	0.0002	0.0119	0.0017
ACMC_a		0.75 0.35	1.75 0.62	4.02 1.96	11.78 5.17
AMC	7	0.0203	0.0026	---	0.0192
APMC		0.75 0.44	1.75 0.96		11.78 7.36
CMO	8	0.0419	0.0164	0.0239	0.0213
CPMO		1.44 0.83	2.4 1.55	14.95 3.95	14.95 9.66
CMO	9	0.0319	0.0024	0.0343	0.0213
ACMO_c		1.44 0.83	2.40 1.42	6.62 4.08	14.95 9.72
CMC	10	0.0016	0.0015	0.0038	0.0045
CPMC		1.43 0.73	2.35 1.40	6.59 3.47	14.22 8.38
CMC	11	0.0338	---	0.0148	---
ACMC_c		1.43 0.83		6.59 3.84	
Total		0.0002	<0.0001	0.0001	<0.0001

P>F: probabilidades de las pruebas F, IMAAB: incremento medio anual del área basal, IPAAB: incremento periódico anual del área basal, IMAVT: incremento medio anual de volumen total, IPAVT: incremento periódico anual de volumen total. Nota: números en negrillas y con cuatro decimales muestran diferencias significativas en los tratamientos, números con dos decimales muestran las medias de los contraste

Anexo 18. Cantidad de biomasa en poró, en amarillón (a) y en cashá (c) como resultado de la poda anual en los manejos convencionales y orgánicos en el ensayo de sistemas agroforestales, CATIE, Turrialba, Costa Rica

SAF_CAFÉ - ÁRBOL	ESPECIE	TRAT	BIOMASA KG HA ⁻¹	D.E.
Poró	Poró	PAC	9818.63±306.55	530.96
Poró	Poró	PMC	11129.44±3872.39	6707.17
Poró	Poró	PMO	7706.92±455.55	789.03
Poró	Poró	PBO	7236.32±1567.21	2714.49
Amarillón	Amarillón	AAC	1657.63±98.46	170.53
Amarillón	Amarillón	AMC	1872.15±326.41	565.36
Amarillón	Amarillón	AMO	954.89±225.62	390.79
Amarillón	Amarillón	ABO	2033.18±1065.52	1845.53
Cashá	Cashá	CMC	2926.20±796.48	1379.54
Cashá	Cashá	CMO	2147.38±196.70	340.70
Amarillón - Cashá	Amarillón	ACMC_a	721.93±215.53	373.31
Amarillón - Cashá	Cashá	ACMC_c	2187.49±231.43	400.86
Amarillón - Cashá	Amarillón	ACMO_a	652.69±66.62	115.39
Amarillón - Cashá	Cashá	ACMO_c	1809.15±259.00	448.59
Amarillón - Poró	Amarillón	APMC	801.53±362.08	627.15
Amarillón - Poró	Poró	APMC	4754.24±1771.05	3067.55
Amarillón - Poró	Amarillón	APMO	496.71±81.34	140.89
Amarillón - Poró	Poró	APMO	7753.03±672.39	1164.61
Cashá - Poró	Cashá	CPAC	943.56±350.59	607.24
Cashá - Poró	Poró	CPAC	3754.02±1217.18	2108.22
Cashá - Poró	Cashá	CPMC	1179.89±230.75	399.67
Cashá - Poró	Poró	CPMC	6415.38±1910.43	3308.97
Cashá - Poró	Cashá	CPMO	1881.72±404.58	700.75
Cashá - Poró	Poró	CPMO	4689.14±1056.59	1830.07
Cashá - Poró	Cashá	CPBO	1403.92±341.62	591.70
Cashá - Poró	Poró	CPBO	4747.70±795.72	1378.23

Trat: tratamiento, D.E: desviación estándar, NOTA: números a la derecha de los signos (±) indican el Error Estándar (EE).