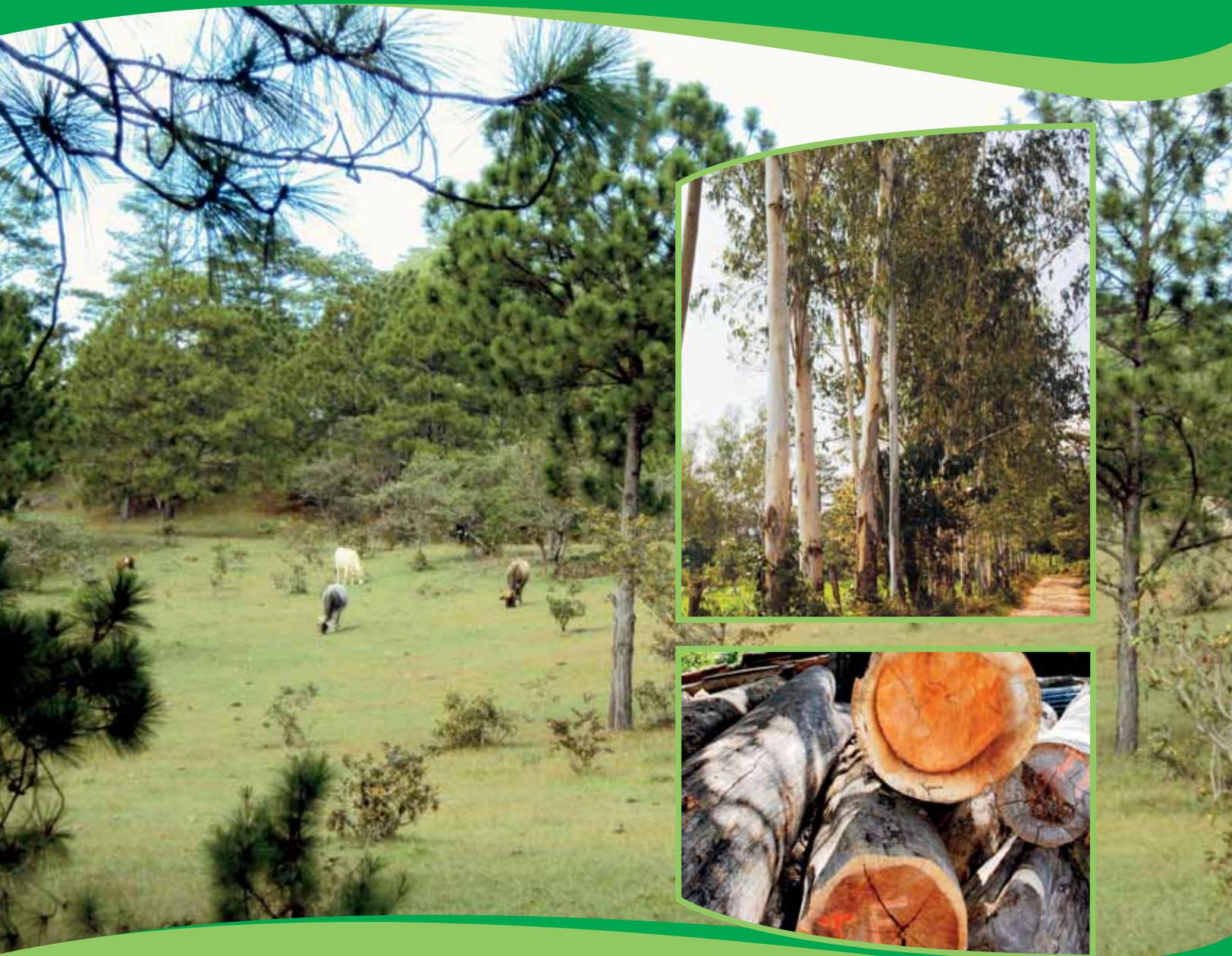


# Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica



Serie técnica  
Manual técnico no. 109

# Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica

**Editores**

Guillermo Detlefsen  
Eduardo Somarriba

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Turrialba, Costa Rica, 2012

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, España y el Estado de Acre en Brasil.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2012

**ISBN 978-9977-57-582-7**

631.58

P964 Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica / Tannia Ammour ... [et al.] ; editado por Guillermo Detlefsen y Eduardo Somarriba. – 1 ed. – Turrialba, CR : CATIE, 2012. 244 p. : il. – (Serie técnica. Manual técnico / CATIE ; no. 109)

ISBN 978-9977-57-582-7

1. Agroforestería – Producción de madera – América Central
  2. Sistemas silvopascícolas – Producción de madera – América Central
  3. Producción de madera – Análisis económico – Sistemas silvopascícolas
- I. Ammour, Tania II. Andrade, Hernán III. Beer, John IV. Detlefsen, Guillermo V. Ibrahim, Muhammad VI. Kent, Justine VII. López, Arlene VIII. Ordoñez, Yadid IX. Orozco, Luis X. Pezo, Danilo XI. Quirós, David XII. Salgado, Jhenny XIII. Scheelje, Mauricio XIV. Schlonvoigt, Andrea XV. Somarriba, Eduardo XVI. Venegas, Geoffrey XVII. Zapata, Piedad XVIII. CATIE XIX. Título XX. Serie.

## Créditos

### Producción general

Lorena Orozco Vílchez

### Corrección de estilo

Elizabeth Mora Lobo

### Diagramación

Rocío Jiménez, Oficina de Comunicación e Incidencia,  
CATIE

### Revisión técnica

Cristóbal Villanueva  
Hugo Villafuerte

### Fotografías de portada

Evelyn Vargas Carmona

Esta publicación es resultado del trabajo del proyecto MAP – Finnfor, Bosques y Manejo Forestal en América Central, financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Finlandia.

División de Investigación y Desarrollo  
Sede Central, CATIE  
[www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

# Contenido

Autores .....	6
Prefacio .....	7

## Primera parte

<b>1. Agroforestería y la producción de madera</b> .....	9
1.1 Área bajo cubierta agroforestal .....	10
1.2 Importancia de los sistemas agroforestales para la producción de madera .....	12
1.2.1 Árboles de sombra en sistemas agroforestales en cultivos perennes .....	12
1.2.2 Árboles maderables dispersos en potreros .....	13
1.2.3 Árboles maderables en linderos y otros arreglos de plantación .....	15
1.3 Bibliografía .....	18

## Segunda parte

<b>2. Definición de agroforestería</b> .....	21
2.1 Elementos que conforman la agroforestería .....	22
2.2 Bibliografía .....	26

<b>3. Dasometría y cubicación de la madera</b> .....	27
3.1 Introducción .....	27
3.2 Mediciones de árboles individuales en pie .....	28
3.2.1 Medición del dap .....	28
3.2.2 Medición de la altura del fuste .....	32
3.3 Estimación del volumen para árboles en pie .....	39
3.3.1 Método directo .....	39
3.3.2 Tablas de volumen .....	40
3.4 Estimación de otras variables .....	42
3.4.1 La biomasa encima del suelo .....	42
3.4.2 Biomasa subterránea .....	43
3.5 Las unidades de medida .....	46
3.5.1 Medidas lineales .....	46
3.5.2 Medidas de área .....	47
3.5.3 Medidas de volumen .....	48
3.6 Instrumentos utilizados en la cubicación de madera .....	49
3.7 Formas de medir el volumen de madera .....	50
3.7.1 Cubicación en metros cúbicos .....	51
3.7.2 Cubicación en pies cúbicos y pies tablares .....	54
3.7.3 Cubicación en pulgadas maderas ticas .....	56
3.7.4 Cubicación con el sistema Doyle .....	58
3.7.5 Cubicación con el sistema Huber .....	60
3.7.6 Cubicación con el método pulgada vara .....	61
3.7.7 Medición y cubicación de madera transportada .....	61
3.7.8 Medición y cubicación de leña .....	63
3.8 Conversión y equivalencia de unidades de cubicación de madera .....	64
3.9 Determinación del rendimiento de madera .....	65
3.10 Bibliografía .....	67

<b>4. Interacciones en sistemas silvopastoriles</b> .....	69
4.1 Introducción .....	69
4.2 Regulación del estrés climático .....	71
4.3 Las leñosas perennes como recurso alimenticio .....	72
4.3.1 Efecto del ramoneo sobre las leñosas .....	74
4.3.2 Posibles daños sobre las leñosas y cómo evitarlos .....	74
4.4 Efecto de la sombra sobre el estrato herbáceo .....	75
4.4.1 Producción de fitomasa .....	76
4.4.2 Cambios morfológicos y fenológicos .....	77
4.4.3 Efectos microclimáticos sobre el estrato herbáceo .....	78
4.5 Materia orgánica y reciclaje de nutrimentos .....	80
4.5.1 Vías de reciclaje de nutrimentos .....	80
4.5.2 Bombeo de nutrimentos .....	80
4.5.3 Factores que afectan el reciclaje de nutrimentos .....	81
4.5.4 Mejora en la eficiencia del uso de nutrimentos .....	81

4.6 Control de la erosión . . . . .	82
4.6.1 Rol de las pasturas . . . . .	82
4.6.2 Rol de las leñosas . . . . .	82
4.6.3 Intensidad y frecuencia de defoliación . . . . .	83
4.7 Pisoteo . . . . .	83
4.7.1 Efectos sobre las pasturas y leñosas . . . . .	83
4.7.2 Compactación del suelo . . . . .	84
4.8 Deposición de excretas . . . . .	84
4.8.1 Contaminación del follaje . . . . .	84
4.8.2 Dispersión de semillas . . . . .	84
4.9 Bibliografía . . . . .	85
<b>5. Análisis financiero y económico de la producción de madera en sistemas agroforestales . . . . .</b>	<b>91</b>
5.1 Introducción . . . . .	91
5.2 Características financieras y económicas relevantes de un sistema agroforestal . . . . .	92
5.3 Elaboración de un análisis financiero/económico . . . . .	95
5.4 Información necesaria para hacer un análisis financiero o económico . . . . .	110
5.5 Bibliografía . . . . .	111
<b>6. Producción de madera en sistemas silvopastoriles . . . . .</b>	<b>112</b>
6.1 Presencia de maderables en potreros . . . . .	112
6.1.1 Árboles dispersos . . . . .	112
6.1.2 Plantaciones lineales . . . . .	114
6.2 Diversidad de especies y potencial maderable en potreros . . . . .	115
6.3 Abundancia y regeneración natural de especies maderables en potreros . . . . .	117
6.4 Factores que afectan la regeneración natural de árboles en potreros . . . . .	118
6.5 Valor comercial de especies maderables encontradas en sistemas silvopastoriles . . . . .	120
6.6 Crecimiento y rendimiento de especies maderables en sistemas silvopastoriles . . . . .	121
6.7 Manejo y silvicultura de especies maderables en sistemas silvopastoriles . . . . .	122
6.7.1 Selección de especies maderables . . . . .	122
6.7.2 Manejo de árboles en potreros . . . . .	123
6.7.3 Espaciamiento de árboles maderables en potreros . . . . .	123
6.7.4 Protección a los árboles plantados . . . . .	123
6.8 Servicios ambientales de árboles en potreros . . . . .	124
6.8.1 Reducción del estrés calórico en bovinos . . . . .	124
6.8.2 Reciclaje de nutrientes . . . . .	127
6.8.3 Beneficios hidrológicos . . . . .	127
6.8.4 Fijación y almacenamiento de carbono . . . . .	128
6.8.5 Conservación de la biodiversidad . . . . .	129
6.9 Bibliografía . . . . .	130
<b>7. Producción de madera en sistemas agroforestales con cacao . . . . .</b>	<b>133</b>
7.1 Producción de madera en cacaotales . . . . .	134
7.1.1 Especies maderables plantadas . . . . .	134
7.1.2 Árboles maderables de regeneración natural . . . . .	136
7.2 Manejo y aprovechamiento de especies maderables en cacaotales . . . . .	139
7.2.1 Prácticas silviculturales . . . . .	139
7.2.2 Aprovechamiento . . . . .	140
7.3 Conclusiones . . . . .	142
7.4 Bibliografía . . . . .	142
<b>8. Producción de madera en sistemas agroforestales con café . . . . .</b>	<b>145</b>
8.1 Introducción . . . . .	145
8.2 La producción de madera en asocio con café . . . . .	146
8.2.1 Riqueza de especies maderables en SAF-café . . . . .	147
8.2.2 Densidad de siembra de especies maderables en cafetales . . . . .	151
8.3 Manejo de árboles en SAF con café . . . . .	152
8.3.1 Recomendaciones para el manejo de especies maderables en asocio con café . . . . .	154
8.3.2 Producción de madera en SAF-café . . . . .	155
8.4 Servicios ambientales de árboles en SAF-café . . . . .	158
8.5 Bibliografía . . . . .	158

<b>9. Sistemas taungya</b> .....	161
9.1 Orígenes del sistema taungya .....	161
9.1.1 ¿De dónde viene? .....	161
9.1.2 Diseminación del sistema taungya en el mundo .....	163
9.2 El sistema taungya: un sistema agrosilvicultural .....	163
9.3 Consideraciones previas al establecimiento y manejo de un sistema taungya .....	164
9.3.1 El objetivo de la reforestación con el sistema taungya .....	164
9.3.2 La preparación del sitio .....	166
9.3.3 Selección y siembra de la especie forestal .....	167
9.3.4 Selección de la especie agrícola .....	169
9.4 Establecimiento de una plantación taungya .....	170
9.5 El sistema taungya en América Central .....	171
9.5.1 Casos de Costa Rica .....	172
9.5.2 Casos de Guatemala .....	176
9.5.3 Otros ejemplos de América Latina .....	177
9.6 Taungya y cambio climático .....	177
9.7 Bibliografía .....	178
<b>10. Pastoreo bajo árboles maderables</b> .....	181
10.1 Combinaciones tradicionales de pastos y árboles .....	181
10.1.1 La ganadería como complemento de la actividad forestal .....	182
10.1.2 La actividad forestal como complemento de la ganadería .....	183
10.1.3 Factores que modifican el efecto de la sombra .....	185
10.2 Crecimiento de pasturas bajo dosel arbóreo .....	188
10.2.1 Efectos del pastoreo en las plantaciones arbóreas .....	190
10.2.2 Efectos del pastoreo en bosques .....	193
10.3. Relaciones dosel / sotobosque .....	194
10.4 Bibliografía .....	195
<b>11. Producción de árboles maderables en linderos</b> .....	199
11.1 Linderos maderables .....	199
11.1.1 Ventajas y desventajas de los linderos maderables .....	200
11.2 Selección de especies arbóreas y sitios .....	203
11.2.1 Criterios para la selección de las especies arbóreas maderables .....	203
11.2.2 Criterios para la selección de sitios .....	204
11.3 Establecimiento y manejo de linderos .....	206
11.3.1 Consideraciones técnicas de establecimiento .....	206
11.3.2 Costos de establecimiento y mantenimiento .....	209
11.4 Bibliografía .....	210
<b>12. Las normativas legales y el aprovechamiento de la madera en fincas</b> .....	211
12.1. Antecedentes .....	212
12.1.1 Tendencias en los sectores forestal y agropecuario .....	212
12.1.2 Árboles en fincas agropecuarias .....	215
12.1.3 Marco de políticas forestales .....	216
12.2. Desarrollo de las leyes y políticas forestales en cada país centroamericano .....	217
12.2.1 Contexto legal para la actividad maderera .....	217
12.2.2 Marco jurídico y político para el aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias .....	224
12.3 Manejo simplificado de árboles maderables en fincas ganaderas de Centroamérica: sostenibilidad y competitividad .....	239
12.3.1 Difusión del manejo simplificado de árboles maderables .....	239
12.3.2 Convenios regionales .....	240
12.3.3 Certificación del manejo simplificado de árboles maderables en fincas agropecuarias .....	241
12.4 Conclusiones .....	241
12.5 Recomendaciones .....	242
12.6 Bibliografía .....	243

## Autores

### **Tania Ammour, Dra**

Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central (Finnfor)  
Programa de Producción y Conservación en Bosques  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Turrialba, Costa Rica  
tammour@racsa.co.cr

### **Hernán Andrade, PhD**

Especialista agroforestal  
Grupo de Investigación Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales  
Director Departamento de Producción y Sanidad Vegetal  
Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima  
Ibagué, Tolima, Colombia  
hjandro@ut.edu.co

### **John Beer, PhD**

Especialista agroforestal  
División de Investigación y Desarrollo  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Turrialba, Costa Rica  
jbeer@catie.ac.cr

### **Guillermo Detlefsen, Mag. Sc**

Especialista agroforestal  
Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central (Finnfor)  
Programas de Producción y Conservación en Bosques y Ganadería y Medio Ambiente  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Turrialba, Costa Rica  
gdetlef@catie.ac.cr

### **Muhammad Ibrahim, Ph.D**

Coordinador del Programa Ganadería y Medio Ambiente (GAMMA)  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Turrialba, Costa Rica  
mibrahim@catie.ac.cr

### **Justine Kent, Mag. Sc**

Economista forestal  
Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central (Finnfor)  
Programa de Producción y Conservación en Bosques  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Turrialba, Costa Rica  
justinekent360@gmail.com

### **Arlene López, Mag. Sc**

Especialista agroforestal  
Proyecto Cacao Centroamérica  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
lopeza@catie.ac.cr

### **Yadid Ordoñez, Mag Sc**

Especialista de Bosques Naturales  
Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central  
Programa Producción y Conservación en Bosques  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
yordonez@catie.ac.cr

### **Luis Orozco, Mag. Sc**

Especialista agroforestal  
Federación Nacional de Cooperativas Agropecuarias y Agroindustriales (FENACOOOP R.L)  
Coordinador Proyecto Regional Orgánico (FENACOOOP-CLUSA-RUTA)  
Financiado por la Cooperación Austriaca para el Desarrollo  
luisoroz@catie.ac.cr  
lorozagui@hotmail.com  
coordpreagro@fenacoop.org.ni

### **Danilo Pezo, PhD**

Especialista en sistemas silvopastoriles  
International Livestock Research Institute  
Kampala, Uganda  
d.pezo@cgiar.org

### **David Quirós, Ing. For**

Especialista en manejo de bosques tropicales  
Turrialba, Cartago, Costa Rica  
carlosdavidquiros@hotmail.com

### **Jhenny Salgado, Mag Sc**

Especialista en Modelaje y Análisis de Datos Forestales  
Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central (Finnfor)  
Programa Producción y Conservación en Bosques  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
jsalgado@catie.ac.cr

### **Mauricio Scheelje, Mag. Sc**

Especialista Agroforestal  
Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central (Finnfor)  
Programa Producción y Conservación en Bosques  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
mscheelje@gmail.com

### **Andrea Schlonvoigt, PhD**

Especialista Internacional Asociada (CIM) para Agricultura, Manejo de Recursos Naturales y Cambio Climático  
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura  
San José, Costa Rica  
andrea.schlonvoigt@iica.int

### **Eduardo Somarriba, PhD**

Especialista en Agroforestería  
Programa Agroforestería y Agricultura Sostenible  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
esomarri@catie.ac.cr

### **Geoffrey Venegas, Ing. For**

Especialista en Aprovechamiento de Impacto Reducido  
Programa Producción y Conservación en Bosques  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
gvenegas@catie.ac.cr

### **Piedad Zapata, Mag. Sc**

Master en Agroforestería Tropical  
Docente Facultad de Ingeniería Agronómica  
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá, Colombia  
pzapata@udca.edu.co

## Prefacio

El Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central (Finnfor-CATIE/MAP) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), trabaja con el apoyo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia. El propósito del proyecto es “que familias productoras, organizaciones de productores, organizaciones no gubernamentales, empresas, instituciones académicas, instituciones de gobierno y de desarrollo locales, nacionales y regionales relacionados con el sector forestal en Mesoamérica, trabajan con información científica y técnica relevante, y capacidades técnicas y de negociación mejoradas, alianzas y trabajo en red que brindan la base para una producción tanto equitativa como económica y ambientalmente sostenible de bienes y servicios forestales a través de las cadenas de valor relacionadas”. En este contexto, el Proyecto ha asumido el reto de contribuir a remover barreras que afectan el desarrollo forestal, priorizando la generación de conocimientos, los ajustes a normativas y políticas que desincentivan el manejo forestal, el fortalecimiento de la capacidad de innovación de actores dentro y fuera del sector forestal, así como del diseño de iniciativas para promover inversiones en el sector. En la visión del Proyecto, el sector forestal incluye bosques naturales y secundarios, plantaciones, sistemas agroforestales y los ecosistemas forestales a nivel territorial.

Una de las estrategias innovadoras de Finnfor para mejorar el manejo forestal y visibilizar y promover un mayor aporte del sector forestal al bienestar económico, social y ambiental de la sociedad es enfocar el manejo de árboles y bosques desde la perspectiva de los productores agropecuarios. Ello significa, en muchos casos, un cambio en la cultura predominante centrada en un antagonismo entre agricultura y ganadería, por un lado, y los ecosistemas forestales por el otro.

Con este fin, se ha identificado como eje fundamental, la promoción del manejo productivo sostenible de los árboles y ecosistemas forestales en sistemas agroforestales (SAF), como base para la producción de madera, leña y otros productos, adicionalmente a los ya reconocidos beneficios ambientales. La experiencia ha demostrado que el uso y la generación de beneficios directos en las unidades productivas son fundamentales para que los usuarios finales se interesen en el mantenimiento y promoción del manejo de los árboles y ecosistemas forestales.

Al analizar el potencial maderable de los SAF para satisfacer la demanda de madera y leña, queda claro que si se quiere incorporar pautas de manejo, transformación y comercialización nuevas y/o mejoradas, es necesario generar y recopilar información útil que ayude en el diseño de esas pautas. Por esta razón, una acción prioritaria es la valoración del estado del arte sobre la producción de madera en SAF, principalmente en la región centroamericana. Este esfuerzo ha permitido, por una parte, compilar, sintetizar y analizar información relevante disponible en la región y, por la otra, generar nuevos elementos para la

producción de madera a partir de los cinco sistemas agroforestales más importantes que se utilizan en Centroamérica:

- Sistemas silvopastoriles
- Cultivos permanentes de café y cacao
- Sistemas taungya
- Pasturas bajo plantaciones forestales
- Plantaciones maderables en linderos de fincas agropecuarias

La publicación “Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica” busca ofrecer a técnicos de diferentes especialidades, agrónomos, zootecnistas y forestales, entre otros, un texto que condensa, de manera crítica, la información existente sobre el tema en la región centroamericana. El objetivo de esta obra es proveer de información, prácticas y pautas claras para el manejo de especies maderables en SAF. El texto cubre temas que van desde las definiciones y clasificaciones agroforestales, los métodos para estimar la producción de madera, las principales interacciones que ocurren en sistemas silvopastoriles, las pautas para desarrollar análisis financieros, hasta las implicaciones de las normativas forestales para el manejo maderable sostenible en sistemas agroforestales de Centroamérica.

El presente documento es el producto de un esfuerzo regional en el que participaron más de 15 especialistas agroforestales de diferentes universidades, centros académicos, instituciones públicas y otras organizaciones del sector agroforestal de la región, así como expertos del CATIE en particular de los Programas de Producción y Conservación en Bosques, Ganadería Ambiental y Agroforestería. Asimismo, el texto fue validado por alrededor de 70 técnicos del ámbito agropecuario y forestal de Guatemala, Honduras, El Salvador y Panamá, a través de cursos teórico-prácticos basados en el documento generado.

Como parte del documento base, se elaboraron varios materiales didácticos para que sean utilizados como material de capacitación. Por ello, adicionalmente al libro, se preparó un CD ROM que permitirá al lector y/o participantes de los cursos, profundizar sobre temas de interés. El CD ROM incluye:

- Las presentaciones en Power Point de cada uno de los capítulos
- Lecturas recomendadas sobre cada uno de los temas desarrollados
- Un número aún mayor de lecturas complementarias por tema

*Dra. Tania Ammour*  
*Coordinadora Regional*  
*Proyecto Finnfor-CATIE/*  
*MAP*  
*CATIE 7170, Turrialba,*  
*Costa Rica*  
*Correo electrónico:*  
*tammour@catie.ac.cr*

Se espera que el presente documento y los materiales complementarios sean de gran utilidad para las organizaciones involucradas en el aprendizaje, formación/enseñanza, innovación, servicios de asistencia técnica, diseño y aplicación de normativas para el desarrollo rural y manejo de recursos naturales, en particular. Con la aplicación de las prácticas y pautas analizadas en este documento base, se espera que se logre integrar y valorizar el manejo forestal en los sistemas agroforestales de los productores de la región.

## 1. Agroforestería y la producción de madera

Arlene López, Guillermo Detlefsen

La madera proveniente de los bosques naturales es cada vez más escasa. De acuerdo con FAO (2010), los bosques (primarios, intervenidos y plantados) representan alrededor del 31% de la superficie total de la tierra -aproximadamente 4 mil millones de hectáreas. De ellas, cerca de 1.200 millones ha (30% del área mundial de bosque) se explotan comercialmente para la producción de productos forestales maderables y no maderables. El área disponible para la producción se ha reducido en los últimos 20 años en más de 50 millones ha, a medida que los bosques se van destinando a otros usos. Por otra parte, el 25% del área total de bosques del planeta son áreas protegidas dedicadas a la conservación de la biodiversidad u otros fines. Más de la mitad de las áreas de conservación o protegidas existentes en el mundo han sido creadas en el último decenio, lo que demuestra las nuevas tendencias en el uso de los bosques (FAO 2010).

Aunque la tasa de deforestación (principalmente debido a la conversión de bosques tropicales en áreas agrícolas o pasturas) ha disminuido en los últimos años en varios países del mundo, aún continúa a un ritmo elevado en otros países. Se estima que en el periodo 2000-2010, cerca de 13 millones ha de bosques fueron convertidas anualmente a otros usos de suelo, en tanto que en el decenio de 1990 alcanzó los 16 millones ha/año. La superficie de bosques plantados representa el 7% del área total de bosques a nivel mundial (FAO 2010).

Centroamérica, con una extensión territorial de 52,4 millones ha distribuidas entre siete países (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá) y una población de alrededor de 41 millones de habitantes, posee aproximadamente 19,5 millones ha de bosques, el 37,2% de su extensión territorial. La mayor parte de esos bosques están bajo alguna categoría de protección. Además, alrededor del 38% del total de la región se dedica a la agricultura (20 millones ha) y el 23% a pastizales (12 millones ha) según la FAO (2010). La leña es el producto maderable más importante de la región, seguida de la madera industrial y la madera aserrada (Cuadro 1.1). A nivel de Centro y Norteamérica, la producción de madera generó ingresos por US\$ 2.620 millones en el año 2005 (FAO 2010).

Más de la mitad de las áreas de conservación o protegidas existentes en el mundo han sido creadas en el último decenio, lo que demuestra las nuevas tendencias en el uso de los bosques.

En Centroamérica, alrededor del 38% de su extensión territorial se dedica a la agricultura y otro tanto similar se encuentra bajo cobertura boscosa.

Cuadro 1.1. Productos maderables obtenidos en Centroamérica en 2008

País	Leña (1000 m <sup>3</sup> )				Madera industrial (1000 m <sup>3</sup> )				Madera aserrada (1000 m <sup>3</sup> )			
	Producción	Importación	Exportación	Consumo	Producción	Importación	Exportación	Consumo	Producción	Importación	Exportación	Consumo
Belice	674	0	0	674	41	4	2	42	35	7	1	40
Costa Rica	3398	0	0	3398	1198	21	144	1074	1227	39	7	1259
El Salvador	4217	0	0	4217	682	0	28	654	16	31	0	47
Guatemala	17319	0	0	17319	454	6	16	445	366	25	40	350
Honduras	8617	0	1	8616	662	5	68	600	349	47	125	271
Nicaragua	6033	1	0	6033	93	3	0	95	54	1	3	52
Panamá	1158	0	0	1158	151	6	80	77	9	7	16	0
Total	41415	1	1	41414	3281	45	338	2988	2057	157	194	2020

Fuente: FAO (2010)

### 1.1 Área bajo cubierta agroforestal

Los sistemas agroforestales, entendidos como la inclusión de árboles en diversos arreglos dentro de las fincas, han sido promovidos por los productores a nivel mundial para reducir la deforestación y la pobreza.

Durante varios milenios, los árboles y en general, el componente leñoso de las fincas han formado parte de los sistemas locales de uso de la tierra. El componente leñoso es común en las fincas por la variedad de productos y servicios que provee a las familias rurales (madera, leña, fruta, forraje, medicina, resina, sombra) y conservación del suelo y el agua (Zomer et ál. 2009, Anyonge y Rotscheko 2003, Long y Nair 1999). Los sistemas agroforestales (SAF), entendidos como el manejo de los árboles en las fincas podrían reducir la deforestación y la pobreza. Los SAF incluyen diversos sistemas de uso del suelo, desde sistemas silvopastoriles (SSP) hasta huertos caseros, producción de madera en fincas y árboles integrados con otros cultivos. En la mayoría de los países los árboles fuera del bosque son poco reconocidos en las estadísticas oficiales; en consecuencia, no se consideran en la toma de decisiones ni en la programación de políticas al nivel nacional. Con el fin de revertir esta situación, se han realizado diversos esfuerzos por determinar el área bajo SAF a nivel mundial. Nair et ál. (2009) estimaron un total de 823 millones ha bajo SAF en todo el mundo: 516 millones ha con SSP y 307 millones ha con otras prácticas agroforestales<sup>1</sup>. Otra estimación del área bajo SAF es la de Dixon (1995). Según este autor, en África, Asia y América, la disponibilidad de tierras apropiadas para SSP y SAF (no necesariamente ocupadas) es de 585 a 1215 millones ha.

Los árboles son parte integral del paisaje agrícola en todas las regiones del mundo, exceptuando el Norte de África y el Oeste de Asia. Zomer et ál. (2009) realizaron estimaciones del área cubierta por SAF utilizando el análisis geoespacial combinado con porcentajes de cobertura arbórea. Del total del área estimada como tierra agropecuaria (2.220 millones ha), un poco más de 1000 millones ha están ocupados por SAF con cobertura arbórea de más del 10% de las zonas agropecuarias (Cuadro 1.2). Las regiones con mayor área cubierta por

<sup>1</sup> Esta estimación proviene de datos de la FAO para tierras bajo uso agropecuario multiplicado por un 20% cubierto por agroforestería.

Cuadro 1.2. Área bajo sistemas agroforestales estimada a nivel mundial

País	Área (millones ha)	Información del sistema	Referencia
Indonesia	2,8	Agrobosques de caucho*	Wibawa et ál. (2006)
Indonesia	3,5	Todos los sistemas multiestratos**	Zomer et ál. (2009)
India	7,4	Estimación nacional	Zomer et ál. (2009)
Nigeria	5 a 6	Recién plantados	Zomer et ál. (2009)
Mali	5,1	90% de tierra agrícola	Cissé (1995); Boffa (1999)
Centroamérica***	9,2	Sistemas silvopastoriles	Beer et ál. (2000)
Centroamérica***	0,77	Sistemas agroforestales con café	Beer et ál. (2000)
España/Portugal	6	Agroforestería en dehesa	Gaspar et ál. (2007)
A nivel mundial	1.000	SAF con cobertura arbórea >10% de zonas agropecuarias	Zomer et ál. (2009)
A nivel mundial	7,8	Sistema agroforestales con cacao****	Zomer et ál. (2009)

\*80% del caucho de Indonesia, aproximadamente 24% de la producción mundial.

\*\*Bosques de caucho, benjuí, canela, agrobosques de damar (*Shorea javanica*, principal componente) y otros.

\*\*\*Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala.

\*\*\*\*5,9 millones ha en África Central y del Oeste; 1,2 millones ha en Asia y 0,7 millones ha en Centro y Suramérica

SAF son Suramérica (320 millones ha), África Sub-Sahara (190 millones ha) y Sureste de Asia (130 millones ha).

Kumar (2006), por su parte, estimó el área de huertos caseros en el Sur y Sureste asiático en 8 millones ha, en tanto que Reisner et ál. (2007) estimaron que los sistemas silvoarables de Europa cubrían alrededor de 65,2 millones ha. En Estados Unidos, Nair y Nair (2003) estimaron en 235,2 millones ha la extensión del área ocupada por cultivos en callejones, silvopasturas, cortinas rompevientos y zonas ribereñas. De acuerdo con Somarriba et ál. (2012), en Latinoamérica los SAF cubren entre 200-357 millones ha: 14-26 millones ha en Centroamérica y 88-315 millones ha en Suramérica. Según estas estimaciones, la cobertura de SAF en Centroamérica representa entre el 27 y 50% del área total de la región.

En Centroamérica, el grado de participación de los árboles en las actividades productivas es considerable. Por ejemplo, Beer et ál. (2000) sugirieron que el área bajo SSP en cinco países de la región (Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala) era de 9,2 millones ha y de 0,7 millones ha bajo SAF con café. Según Varangis et ál. (2003), el cultivo de café en la región cubre alrededor de 904.000 ha con una producción de 937.785 t/año y participan alrededor de 280.000 productores -la mayoría de ellos, pequeños productores-. En cacao se registran unas 20.000 ha cultivadas en la región y una producción anual de 6.000 t de cacao en grano, con una participación de 16.500 familias (98.400 personas) emplazadas en sitios remotos de importancia para la conservación y en manos de pequeños productores (Orozco y Deheuvels 2007). Por otra parte, el área de pasturas permanentes estimada por Ibrahim et ál. (2007) para los siete países centroamericanos es de unos 13,1 millones ha (aproximadamente el 38% del área de la región). Las cifras anteriores nos revelan la importancia de estos cultivos en el istmo y la oportunidad que representan para la provisión de madera, si fuesen manejados como SAF.

En Centroamérica, la participación de los árboles en las actividades productivas es considerable y representan una oportunidad única para la provisión de madera, si fuesen manejados como SAF.

## 1.2 Importancia de los sistemas agroforestales para la producción de madera

Los árboles maderables en SAF generalmente son cosechados cuando los precios de los cultivos principales no son competitivos o para cubrir gastos imprevistos (una emergencia, una celebración); esto permite obtener ingresos rápidos a los dueños de la tierra.

### 1.2.1 Árboles de sombra en sistemas agroforestales en cultivos perennes

En los trópicos, es común observar combinaciones de árboles maderables como sombra de cultivos perennes (café y cacao), árboles dispersos en campos agrícolas y en potreros, así como árboles en líneas y bajo el sistema taungya. Los árboles maderables en SAF generalmente son cosechados cuando los precios de los cultivos principales no son competitivos o para cubrir gastos imprevistos (una emergencia, una celebración); esto permite obtener ingresos rápidos a los dueños de la tierra. Por ejemplo, la provincia de Lampung, Indonesia, la producción de madera entre los pequeños productores se ha intensificado debido a la escasez de madera y a las expectativas de mercado surgidas en torno al consumo de madera (Anyonge y Rotscheko 2003). Las especies maderables de mayor uso por parte de los pequeños agricultores son *Tectona grandis* y *Paraserianthes falcataria*. Los SAF más utilizados para la producción de madera en esa provincia son: huertos caseros, pequeños bloques de plantaciones y árboles intercalados con cultivos de granos básicos (yuca, maíz, arroz de secano y maní).

En Centroamérica, la producción de madera comercial de *Cordia alliodora* como sombra de cafetales es del rango de 4-6 m<sup>3</sup>/ha/año (Beer et ál. 2000). *C. alliodora* es la principal especie maderable en las áreas agrícolas de las fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica, ya que representa el 40% del área basal total de los árboles de sombra en cacaotales y 54% en los bananales (Guiracocha et ál. 2001). La madera de esta especie es muy apreciada por los indígenas para la construcción de viviendas, botes y muebles (Borge y Castillo 1997). Del total de madera aprovechada legalmente en la Reserva Indígena Bribri, el 77% es de *C. alliodora*; de este volumen, el 82% se extrae de los cacaotales y bananales orgánicos (Suárez y Somarriba 2002).

En las comunidades Ngöbe de Panamá se identificaron siete SAF, en los que el componente maderable representa el 46% del total de árboles inventariados en los diferentes usos de suelo. El volumen comercial encontrado en estos sistemas es de aproximadamente 481 m<sup>3</sup>/ha con densidades entre 5 a 35 árboles/ha (Pastrana et ál. 1999).

En cafetales de Matagalpa, Nicaragua, los árboles maderables ocurren a razón de 17 árboles/ha y representan el 36% del total de árboles del dosel de sombra (Caballero 2005). En El Salvador, los maderables representan el 14% del total de árboles que conforman el dosel de sombra en cafetales; entre ellos, *C. alliodora* de regeneración natural se encuentra a razón de 6 árboles/ha (Escalante y Somarriba 2001). En las fincas cafetaleras de Turrialba, Costa Rica, los árboles maderables están presentes en el 34% de las fincas (Llanderal 1998). En Ecuador se estudió la producción de madera de cuatro especies maderables (*Tabebuia donnell-smithii*, *Cordia megalantha*, *Triplaris ingiana* y

*Tectona grandis*) bajo SAF-café y en monocultivo. Las cuatro especies presentaron mejor comportamiento en asocio que en monocultivo; en promedio, se obtuvo un IMA (incremento medio anual) en diámetro entre 3,1 y 5,1 cm/año; *C. megalantha* tuvo el menor incremento y *T. grandis* el mejor (Suatunce et ál. 2009).

En los cacaotales con sombra, el dosel alberga árboles de regeneración natural, remanentes del bosque original, o plantados. Los cacaotales de Mesoamérica retienen una diversidad arbórea de entre 50-153 especies con densidades de 84-198 árboles/ha. De las especies reportadas, los maderables están presentes en más de la mitad de las fincas (Orozco y Deheuvels 2007, Salgado et ál. 2007). Para los indígenas Bribris y Cabécares de Talamanca, Costa Rica, el cacao cultivado bajo diferentes doseles de sombra constituye su principal actividad económica. En las fincas indígenas, *C. alliodora* y *Cedrela odorata* son las principales especies maderables; de hecho, *C. alliodora* representa el 51% del área basal total del dosel de sombra en los cacaotales (Guiracocha 2000, Suatunce 2002). Ambas especies son muy apreciadas por su madera, abundante regeneración natural, rápido crecimiento y sombra rala; *C. alliodora* ofrece con la autopoda, una ventaja adicional. Cuando baja la producción o los precios del cacao, el aprovechamiento de los maderables ofrece un ingreso económico adicional a los productores indígenas (Dugumaet ál. 1999, Albertin y Nair 2004, Russell y Francell 2004), tal como sucedió cuando la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) destruyó la cosecha del cacao: por varios años, la madera de *C. alliodora* y *C. odorata* constituyó el único ingreso de los agricultores (Beer 1980).

### 1.2.2 Árboles maderables dispersos en potreros

Los árboles dispersos en potreros son otra forma de manejar árboles maderables en las fincas. La cantidad de árboles en potreros varía con el grado de tecnificación de las fincas ganaderas. Por ejemplo, en los sistemas de carne y mixtos en Río Frío, Costa Rica, se encontró casi el doble de árboles que en los sistemas de leche y doble propósito (Villacís 2008). En una evaluación del componente arbóreo en pastizales de Cañas, Costa Rica, se encontraron árboles dispersos y cercas vivas en el 93 y 88% de las fincas, respectivamente (Villanueva et ál. 2003b). Además, se determinó que las especies maderables representaban el 32% del total de árboles encontrados como árboles dispersos. Las especies maderables predominantes fueron *T. rosea* (12,8%) y *C. alliodora* (12%). En cercas vivas, el componente maderable representó el 30% del total de árboles registrados (Villanueva et ál. 2003a); la especie más frecuente fue *Pachira quinata* (27,6%). A partir de encuestas aplicadas a los productores, se determinó que ellos aprovechan los árboles provenientes de los potreros (36%), muy pocas veces los de cercas vivas (1%) y nunca los del bosque (Villanueva et ál. 2003b). El 48% de los árboles dispersos encontrados en las fincas evaluadas tenían un dap >40 cm, lo que evidencia la disponibilidad de árboles aptos para el aprovechamiento.

En los sistemas ganaderos de San Carlos, Costa Rica, entre el 70 y 80% de los árboles encontrados eran maderables (Souza de Abreu et ál. 2000); *C. alliodora*

fue la especie más abundante (11 árboles/ha), ya que se regenera naturalmente y sin ningún manejo silvicultural. Similares resultados se encontraron en las fincas de Río Frío, donde las especies maderables dominantes fueron *C. alliodora* y *Pentaclethra macroloba* (Villacís 2008). En pastizales de Esparza y Guápiles, la regeneración natural de *C. alliodora* según el estado de desarrollo varió entre 248-168 plántulas/ha, 429-303 brinzales/ha, 145-261 latizales/ha y 179-594 fustales/ha (Camargo et ál. 2000).

En Esparza, Costa Rica, Scheelje (2009) encontró que del total de especies registradas en los potreros activos, aproximadamente 42% poseen regeneración natural bajo el manejo actual de actividades ganaderas. En esos potreros, se encontró un volumen potencial promedio de 19,23 m<sup>3</sup>/ha y una cobertura arbórea de 12,44% de especies maderables comerciales. En todo el país se estima que existen 1,35 millones ha de pasturas (Corfoga 2001); entonces, si se extrapolaran los valores encontrados en Esparza al resto del país, el potencial de producción de madera sería de 25,96 millones m<sup>3</sup>-rollo. Sin embargo, habría que mejorar el manejo de la regeneración natural, ya que en Esparza no se encontró la abundancia esperada de una “J” invertida (1054 latizales, 2527 brinzales y 5109 fustales). Esto se debe al manejo selectivo por parte de los productores, quienes tienden a conservar los individuos adultos que, por otra parte, no pueden ser aprovechados adecuadamente debido a la cultura proteccionista del país, a las limitaciones impuestas por la Ley Forestal para el trámite de permisos de aprovechamiento de árboles dispersos en potreros y a la falta de conocimiento de los productores sobre el manejo y aprovechamiento de árboles maderables comerciales. En consecuencia, se pierde un recurso que podría ser irreparable en el futuro (Scheelje 2009).

Si bien en los pastizales centroamericanos es común encontrar árboles maderables provenientes de la regeneración natural, el manejo selectivo por parte de los productores, quienes tienden a conservar únicamente los individuos adultos, podría poner en peligro este valioso recurso.

Si bien en los pastizales centroamericanos es común encontrar árboles maderables provenientes de la regeneración natural, el manejo selectivo por parte de los productores, quienes tienden a conservar únicamente los individuos adultos, podría poner en peligro este valioso recurso.

Un estudio de árboles dispersos en 35 fincas representativas de SSP en el distrito de El Cayo, Belice, encontró un promedio de 26 individuos/ha; solamente en diez fincas se encontraron árboles en línea, con un mínimo de 4 árboles/ha y un máximo de 106 árboles/ha (Rosa 2010). El volumen promedio de especies maderables de alto valor comercial fue de 8,45 ± 1,92 m<sup>3</sup>/ha, con una cobertura arbórea del 20,5%. Las especies maderables más importantes fueron *C. odorata*, *Piscidia piscipula*, *T. grandis*, *Metopium brownei*, *Swietenia macrophylla* y *T. rosea* –aunque el 66,5% del volumen correspondió a *C. odorata*–. Si este resultado se extrapolara a las 50.000 ha de pasturas estimadas para Belice (FAOSTAT 2009), las fincas ganaderas del país podrían producir 422.000 m<sup>3</sup> de madera en rollo.

En los potreros activos de las fincas ganaderas ubicadas en la subcuenca del río Copán, Honduras, existe un alto potencial de regeneración natural de especies maderables con volúmenes comerciales promedio de 13,02 m<sup>3</sup>/ha en

pasturas con árboles latifoliados dispersos y de 71,52 m<sup>3</sup>/ha en pasturas bajo pino (Chavarría 2010). Sin embargo, los árboles dispersos en SSP no son vistos como un uso de la tierra competitivo debido a las excesivas regulaciones y restricciones al manejo de árboles dispersos en SSP. Dicha percepción explica por qué los finqueros optan por talar ilegalmente los árboles o eliminar la regeneración natural; esto hace que aumente la presión sobre los bosques y continúe la deforestación en el país, a pesar de que el incremento de áreas protegidas ha tenido una tendencia exponencial en Honduras en los últimos años (Apaza 2010).

### 1.2.3 Árboles maderables en linderos y otros arreglos de plantación

La plantación de **árboles en líneas** es otro arreglo agroforestal que permite producir madera en las fincas. En el municipio de Azul, Argentina, se promovió el establecimiento de cortinas rompevientos con *Eucalyptus camaldulensis*. Se realizaron evaluaciones del rendimiento volumétrico en función de las características de los suelos (textura y profundidad) y se obtuvieron rendimientos de madera de 3,8 a 19,3 m<sup>3</sup>/ha/año (Borzzone et ál. 2007). En el municipio de Llama, Honduras, los linderos de *C. odorata* asociados a café presentaron un IMA en altura y diámetro de 1,09 m y 3,77 cm, respectivamente. El aprovechamiento forestal se dio a los 20 años y se obtuvieron rendimientos promedio de 3,4 m<sup>3</sup>/árbol (Viera y Pineda 2004). En Changuinola, Panamá, se establecieron linderos de tres especies maderables (*T. grandis*, *Terminalia ivorensis* y *Acacia mangium*) y, si bien el IMA en diámetro y altura fue similar entre especies y entre localidades, los volúmenes promedio por especie variaron entre 50 a 156 m<sup>3</sup>/km, debido, en gran medida, a la mortalidad de las especies (Luján et ál. 1997).

La inclusión temporal de cultivos anuales en los primeros años de una plantación forestal se conoce como **sistema taungya**. Este sistema busca reducir los costos de establecimiento de las plantaciones y de los programas de reforestación y diversificar los ingresos de las fincas. Se han realizado varios estudios para analizar el rendimiento de los cultivos y el crecimiento de los árboles asociados (Ceccon 2005, Bertomeu 2004, Nissen y Midmore 2002, Nissen et ál. 2001, Schlönvoigt y Beer 2001). En general, el crecimiento de los árboles no es afectado por el asocio, pero los rendimientos de los cultivos sí son afectados negativamente a partir del segundo año de asocio, por los requerimientos fisiológicos de los mismos. En Filipinas, los productores podan los árboles para minimizar la disminución de los rendimientos de los cultivos (Bertomeu y Roshetko 2007).

En Costa Rica, Schlönvoigt y Beer (2001) evaluaron el efecto de la distancia árbol-cultivo en el crecimiento y desarrollo de dos especies maderables (*C. alliodora* y *Eucalyptus deglupta*) asociadas con maíz (*Zea mays*) o yuca (*Manihot esculenta*). Después de un año de evaluación, los resultados mostraron que las especies maderables se comportaron mejor en asocio con maíz (3-4 m y 7-8 m de altura para *C. alliodora* y *E. deglupta*, respectivamente) que con yuca (1,4 y 4,7 m de altura para *C. alliodora* y *E. deglupta*, respectivamente).

Los árboles dispersos en SSP no son vistos como un uso de la tierra competitivo debido a las excesivas regulaciones y restricciones al manejo de árboles dispersos en SSP.

En la región centroamericana, diversos arreglos como árboles en linderos, taungya, bloques y árboles dispersos permiten diversificar los sistemas agrícolas y ganaderos y, a la vez, obtener productos maderables y/o fruta para consumo o para la venta.

Bertomeu (2004) evaluó en Filipinas el desempeño de dos especies maderables (*Gmelina arborea* y *Eucalyptus camaldulensis*) asociadas con maíz bajo dos esquemas de plantación: bloques estrechos de 2,5 x 2,5 m e **hileras** cada 10 m. El crecimiento fue ligeramente superior (16%) en el arreglo en hileras. *G. arborea* presentó los mejores crecimientos: 4,7 cm/año y 4 cm/año en hileras y bloques, respectivamente. *E. camaldulensis* alcanzó 3,4 cm/año en hileras y 3,1 cm/año en bloques. Basado en estos resultados, a los ocho años se esperarían rendimientos volumétricos entre 60 y 110 m<sup>3</sup>/ha dependiendo del arreglo de plantación y la especie. En Mina Gerais, Brasil, *Eucalyptus grandis* presentó mejores rendimientos por hectárea al asociarse con frijoles negros que en plantación pura; a los dos años se obtuvieron rendimientos entre 68,5 y 75 m<sup>3</sup>/ha dependiendo del arreglo de plantación (Couto et ál. 1995).

En el municipio de Ilobasco, El Salvador, es común encontrar árboles dispersos en las áreas cultivadas con granos básicos. En promedio, se encuentran 192 árboles/ha de diferentes especies. La especie maderable dominante en los cultivos anuales (46% de los árboles registrados) es *C. alliodora*. Otros árboles maderables frecuentes en estos sistemas son *Lysiloma auritum*, *Genipa americana*, *Tabebuia rosea* y *Cedrela odorata* con densidades entre 14,8 y 7,6 árboles/ha (García et ál. 2001). Los árboles de *C. alliodora* son aprovechados a partir de los 15 cm dap y, en general, proveen de madera y leña a las fincas. Un sistema similar es el 'quezungual' practicado en el oeste de Honduras. Los productores retienen árboles maderables de alto valor comercial, como *C. alliodora*, *Diphysa robinoides* y *Swietenia* spp., los cuales son cortados a los siete años de edad y utilizados para la construcción de viviendas o para la venta (Hellin et ál. 1999).

### Comercialización de productos forestales en fincas ganaderas del Proyecto CATIE/Noruega-PD-Nicaragua

El Proyecto Desarrollo Participativo de Alternativas de Uso Sostenible de la Tierra para Áreas de Pasturas Degradadas en América Central (conocido en forma corta como proyecto Pasturas Degradadas CATIE/Noruega) tuvo como objetivo lograr que los productores ganaderos, sus familias y las instituciones nacionales de América Central desarrollaran y o fortalecieran sus capacidades y destrezas para manejar sistemas de uso de la tierra más sostenibles y diversificados en áreas de pasturas degradadas. Una de las estrategias del proyecto fue la identificación de oportunidades de mercadeo para productos y servicios forestales en las áreas pilotos que pudieran funcionar como motores para la adopción de alternativas tecnológicas factibles para sistemas ganaderos con pasturas degradadas.

#### Madera en rollo

En las fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua, zona piloto del Proyecto, Gómez (2008) encontró un componente forestal constituido por árboles en potreros y pequeños bosquetes, los cuales proveen de madera para construcción, leña y postes para cercos. En la comercialización de los productos participan los productores (finqueros), quienes venden la madera a los intermediarios (madereros, motosierristas, dueños de aserraderos y depósitos); estos a su vez, venden a ebanistas, empresas exportadoras y constructoras, fábricas de muebles y consumidores locales (Fig. 1.A). Las funciones de mercadeo que



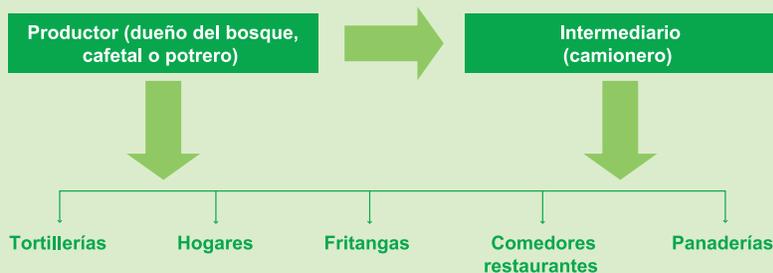
**Figura 1.A.** Principales canales de comercialización de la madera en rolo y aserrada en Muy Muy, Nicaragua para el sector de pequeños y medianos productores  
Fuente Gómez (2008)

se dan entre los diferentes actores de la cadena de comercio son: 1) compra/venta de madera en pie; 2) extracción y transporte de madera en rolo; 3) transformación, transporte y compra/venta de madera aserrada a nivel de depósitos; 4) transporte a las empresas constructoras y exportadoras fuera de la zona; 5) compra/venta y transporte a los talleres locales de ebanistería; 6) compra/venta de piezas de madera a nivel de compradores individuales y 7) utilización final de la madera.

En general, los productores venden la madera en pie a precios que oscilan entre US\$83y US\$240, dependiendo de la especie y las cantidades a vender. El comprador se encarga de los costos de extracción y de los permisos de extracción y transporte (Gómez 2008).

### Leña

En la comercialización de la leña en Muy Muy participan los dueños de fincas ganaderas, cafetaleras y/o dueños de bosques, quienes la venden directamente a los intermediarios (dueños de camiones), y consumidores directos, como tortillerías, panaderías, comedores, restaurantes, fritangas y hogares (Gómez 2008). Los canales de comercialización de este tipo de producto son, en su mayoría, transacciones directas. Las relaciones que se evidencian entre los diferentes actores de la cadena son las siguientes: compra/venta de árboles en pie; extracción, transformación y transporte de la leña; compra/venta a nivel de hogares y establecimientos comerciales (Fig. 1.B).



**Figura 1.B.** Principales canales de comercialización de la madera en rolo y aserrada en Muy Muy, Nicaragua para el sector de pequeños y medianos productores  
Fuente Gómez (2008)

### 1.3 Bibliografía

- Albertin, A; Nair PKR. 2004. Farmers' perspectives on the role of shade trees in coffee production systems: an assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Human Ecology* 32 (4):443-462.
- Anyonge CH, Roshetko JM. 2003. Farm-level timber production: orienting farmers towards the market. *Unasylva* 212(54):48-56.
- Apaza, A. 2010. Potencialidades socioeconómicas de la producción, procesamiento y mercadeo de productos maderables provenientes de sistemas silvopastoriles en Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 157 p.
- Beer J. 1980. *Cordia alliodora* con *Theobroma cacao*: una combinación tradicional agroforestal en el trópico húmedo. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 5 p.
- Beer, J; Ibrahim, M; Schlonvoigt, A. 2000. Timber production in tropical agroforestry systems of Central America. In Krishnapillay, B; Soepadmo, E; Lotfy Arshad, N; Wong HH, A; Appanah, S; Wan Chik, S; Manokaran, N; Lay Tong, H; Kean Choon, K. (Eds.). *Forests and society: The role of research. Vol. 1: Sub-plenary Sessions, XXI IUFRO World Congress, Kuala Lumpur.* p. 777-786. Disponible en [http://www.sri.cmu.ac.th/~environment/Download/database\\_FS\\_01.pdf](http://www.sri.cmu.ac.th/~environment/Download/database_FS_01.pdf).
- Bertomeu, M. 2004. Smallholder timber production on sloping lands in the Philippines: A systems approach. Thesis Ph.D. Madrid, España, Universidad Politécnica de Madrid. 338 p.
- Bertomeu, M; Roshetko, J. 2007. Pruning strategies for reducing crop suppression and producing high quality timber in smallholder agroforestry systems. In Harrison, S; Bosch, A; Herbohn, J. (Eds.). *Improving the triple bottom line returns from small-scale forestry: Proceedings of the International IUFRO 3.08 Conference.* Ormoc City, Leyte. p. 41-50.
- Boffa, JM. 1999. Agroforestry parklands in Sub-saharan Africa. Rome, FAO. (FAO Conservation Guide 34).
- Borge, C; Castillo, R. 1997. Cultura y conservación en la Talamanca indígena. San José, Costa Rica, EUNED. 259 p.
- Borzzone, HA; Bardi, JF; Laddaga, JE. 2007. Crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* cultivado como cortina en un establecimiento agropecuario del Partido de Azul (Pcia. de Bs. As.). *El Quebracho* 14:65-73.
- Caballero Herrera, AR. 2005. Diseño y manejo de cafetales en Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 63 p.
- Camargo, JC; Ibrahim, M; Somarriba, E; Finegan, B; Current, D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26):46-49.
- Ceccon, E. 2005. *Eucalyptus* agroforestry system for small farms: 2-year experiment with rice and beans in Minas Gerais, Brazil. *New Forests* 29:261-272.
- Chavarría, A. 2010. Incidencia de la legislación forestal en el recurso maderable de fincas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles de Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 194 p.
- Cissé, MI. 1995. Les parcs agroforestiers au Mali: Etat des connaissances et perspectives pour leur amélioration. Nairobi, Kenya, ICRAF. (AFRENA Rep. 93).
- Corfoga (Corporación Ganadera de Costa Rica). 2001. Censo bovino nacional (en línea). Consultado el 22 oct. 2009. Disponible en [http://www.corfoga.org/pdf/revvol03/Censo\\_Revista.pdf](http://www.corfoga.org/pdf/revvol03/Censo_Revista.pdf)
- Couto, L; Gomes, JM; Binkley, D; Betters, DR; Passos, CAM. 1995. Intercropping *Eucalyptus* with beans in Minas Gerais, Brazil. *International Tree Crops Journal* 8:83-93.
- Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: sources or sinks for greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31:99-116.

- Duguma, B; Gockowski, J; Bakala, J. 1999. Desafíos biofísicos y oportunidades para el cultivo sostenible de cacao (*Theobroma cacao* Linn.) en sistemas agroforestales de África Occidental y Central. *Agroforestería en las Américas* 6(22):12-15.
- Escalante, M; Somarriba, E. 2001. Diseño y manejo de cafetales en el occidente de El Salvador. *Agroforestería en las Américas* 8(30):8-16.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Roma, Italia. 346 p. (Informe Principal No. 163).
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Base de datos estadísticos (en línea). Consultado el 6 nov. 2009. Disponible en <http://faostat.fao.org>
- García, E; Jaime, M; Mejía, B; Guillén, L; Harvey, CA. 2001. Árboles dispersos dentro de cultivos anuales en el municipio de Ilobasco, El Salvador. *Agroforestería en las Américas* 8(31):39-44.
- Gaspar, P; Mesías, FJ; Escribano, M; Rodríguez de Ledesma, A; Pulido, F. 2007. Economic and management characterization of dehasa farms: implications for their sustainability. *Agroforestry Systems* 71:151-162.
- Gómez, M. 2008. Estudio de mercado de productos forestales en las zonas pilotos del proyecto CATIE/Noruega-PD. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 370).
- Guiracocha, FG. 2000. Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 145 p.
- Guiracocha, G; Harvey, CA; Somarriba, E; Krauss, U; Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):7-11.
- Hellin, H; Welchez, IA; Cherrett, I. 1999. The Quezungal system: an indigenous agroforestry system from western Honduras. *Agroforestry Systems* 46:229-237.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- Kumar, BM. 2006. Carbon sequestration potential of tropical homegardens. *In* Kumar, BM; Nair, PKR. (Eds.). *Tropical Homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry*. Dordrecht, The Netherlands. p. 185-204.
- Llanderal Ocampo, T. 1998. Diversidad del dosel de sombra en cafetales de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 59 p.
- Long, AJ; Nair, PKR. 1999. Trees outside forests: agro-community, and urban forestry. *New Forests* 17:145-174.
- Luján, R; Beer, J; Kapp, G. 1997. Manejo y crecimiento de linderos de tres especies maderables en el distrito de Changuinola, Panamá. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 41 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 242).
- Nair, PKR; Kumar, BM; Nair, VD. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10-23.
- Nair, PKR; Nair, VD. 2003. Carbon storage in North American Agroforestry Systems. *In* Kimble, JM; Heath, LS; Birdsey, RA; Lal, V. (Eds.). *The Potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. Boca Ratón, Florida. p. 333-346.
- Nissen, TM; Midmore, DJ. 2002. Stand basal area as an index of tree competitiveness in timber intercropping. *Agroforestry Systems* 54:51-60.
- Nissen, TM; Midmore, DJ; Keeler, AG. 2001. Biophysical and economic tradeoffs of intercropping timber with food crops in the Philippine uplands. *Agricultural Systems* 67:49-69.
- Orozco, L; Deheuvels, O. 2007. El cacao en Centroamérica: resultados del diagnóstico de familias, fincas y cacaotales (Línea base del Proyecto Competitividad y ambiente en los paisajes cacaoteros de Centroamérica). Documento de Proyecto. Managua, Nicaragua. 162 p.

- Pastrana, A; Lok, R; Ibrahim, M; Víquez, E. 1999. El componente arbóreo en sistemas agroforestales tradicionales de los indígenas Ngöbe, La Gloria, Changuinola, Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6(23):69-71.
- Reisner, Y; de Filippi, R; Herzog, F; Palma, J. 2007. Target regions for silvo-arable agroforestry in Europe. *Ecological Engineering* 29:401-418.
- Rosa Cruz, A. 2010. Desafíos de la legislación forestal para el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles del Cayo, Belice. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p.
- Russell, D; Franzel, S. 2004. Trees of prosperity: agroforestry, markets and the African smallholder. *Agroforestry Systems* 61:345-355.
- Salgado Mora, M; Ibarra Núñez, G; Macías Sámano, JE; López Báez, O. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32(11):763-768.
- Scheelje, JM. 2009. Incidencia de la legislación sobre el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 157 p.
- Schlönvoigt, A; Beer, J. 2001. Initial growth of pioneer timber tree species in a taungya system in the humid lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51:97-108.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre Orihuela, J; Andrade, HJ; Cerda, R; De Clerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, LA; Ibrahim, M; Krishnamurthy, L; Mena Mosquera, V; Mora Delgado, J; Orozco, L; Scheelje, M; Campos, JJ. 2012. Mainstreaming Agroforestry in Latin America. *In Ramachandran Nair, PK; Garrity, D. (Eds.). Agroforestry: The future of global land use. The Netherlands, Springer. p. 429-453. (Advances in Agroforestry 9).*
- Souza de Abreu, MH; Ibrahim, M; Harvey, C; Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26):53-56.
- Suárez, A; Somarriba, E. 2002. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36):50-54.
- Suatunce, CP; Díaz, CG; García, CL. 2009. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea arabica*) y en monocultivo en el litoral ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología* 2(2):29-34.
- Suatunce, P. 2002. Diversidad de escarabajos estercoleros en bosques y en cacaotales de diferentes estructuras y composición florística, Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 135 p.
- Varangis, P; Siegel, P; Giovannucci, D; Lewin, B. 2003. Dealing with the coffee crisis in Central America: Impacts and strategies. World Bank Policy Research Working Paper 2993. 76 p.
- Viera, CJ; Pineda, A. 2004. Productividad de lindero maderable de *Cedrela odorata*. *Agronomía Mesoamericana* 15:85-92.
- Villacís, J. 2008. Contribución de los árboles dispersos en potreros a los sistemas de producción ganadera en río Frío, Costa Rica (en línea). Cali, Colombia. Disponible en [www.agroforesteriaecologica.com](http://www.agroforesteriaecologica.com).
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Esquivel, H. 2003a. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en Las Américas* 10(39-40):9-16.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, CA; Sinclair, FL; Muñoz, D. 2003b. Decisiones claves que influyen sobre la cobertura arbórea en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):69-77.
- Wibawa, G; Joshi, L; van Noordwijk, M; Penot, E. 2006. Rubber-based Agroforestry systems (RAS) as alternatives for rubber monoculture system. IRRDB Conference Ho-chi-minh City, Vietnam.
- Zomer, RJ; Trabucco, A; Coe, R; Place, F. 2009. Trees on farm: Analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry. Nairobi, Kenya, ICRAF, World Agroforestry Centre. 72 p. (Working Paper No. 89).

## 2. Definición de agroforestería<sup>1</sup>

Eduardo Somarriba

Con apenas 30 años de edad, la agroforestería es una ciencia nueva. En los años iniciales (las décadas de 1980 y 1990) se dedicó bastante esfuerzo a la discusión, debate y concretización de cómo definir, clasificar y nombrar las formas de uso agroforestal de la tierra. Numerosas definiciones fueron propuestas por diferentes grupos de investigadores que trabajaban en África, América, Asia y las islas del Pacífico (p.e. Hawaii), las cuales se debatieron en diferentes congresos y en la literatura científica y técnica de la época. Las definiciones basadas en los componentes de un sistema de cultivo y sus interacciones (Nair 1989, Somarriba 1990, Torquebiau 2000) -típicas de las primeras dos décadas- se ampliaron para considerar también la dimensión territorial amplia, más allá de una finca y aún más grande que un sistema de cultivo en particular (Leakey 1996, Sinclair 1999), pero no cambiaron las conclusiones y definiciones anteriores a nivel del sistema de cultivo. Por esta razón, en lugar de simplemente dar al lector la lista de definiciones aportadas por los autores más representativos y calificados en el tema, en este trabajo se ofrece una versión editada de un artículo sobre cómo definir agroforestería (Somarriba 1990), el cual muestra el proceso de razonamiento por el que hay que discurrir para analizar una definición existente o para desarrollar una definición propia.

Los primeros intentos por definir la agroforestería se remontan a finales de la década de 1970. En esas primeras definiciones se mencionaba explícitamente la participación del elemento árbol y a veces se exigía la presencia del componente forestal –que en la mayoría de las ocasiones tiene la connotación de ‘maderable’ sujeto a las técnicas de la silvicultura clásica-. Combe y Budowski (1979). Por ejemplo, se definía la agroforestería como “...*el conjunto de técnicas de manejo de tierras que implican la combinación de los árboles forestales, ya sea con la ganadería, o con los cultivos*”. Poco después, Lundgren y Raintree (1982) propusieron (y se aceptó inmediatamente) el término leñoso perenne en sustitución de árbol. Este cambio permitió abarcar los sistemas agroforestales basados en el uso de arbustos, palmas, hierbas leñosas gigantes (como los bambúes) y hasta enredaderas leñosas perennes.

En sus inicios la agroforestería consideró al árbol como su elemento fundamental, pero luego se cambió el término árbol por leñoso perenne para abarcar sistemas agroforestales basados en el uso de arbustos, bambúes, palmas y bejucos leñosos.

<sup>1</sup> Adaptado de Somarriba (1990).

La necesidad de definir objetivamente el concepto agroforestal aún persiste.

En el desarrollo de la definición de agroforestería se diferencian dos etapas. En un principio, se trataba de definiciones muy extensas que más bien parecían una lista de atributos deseables (ver Wiersun 1981 y varios autores en Agroforestry Systems 1981). Posteriormente, se trató de darle a la agroforestería un contenido más realista y acorde con la experiencia acumulada durante los primeros años de vida de la disciplina. Las definiciones se hicieron más cortas y explícitas. Así, Nair (1985) enunciaba *“La agroforestería es un enfoque de uso integrado de la tierra que abarca la conservación de árboles, o la mezcla de árboles y otras plantas leñosas perennes, en terrenos agrícolas o ganaderos para obtener beneficios de las interacciones económicas y ecológicas resultantes”*. Una inspección de la práctica actual sugiere que la necesidad de definir objetivamente el concepto agroforestal aún persiste. En palabras de Spedding (1988) *“...el tratar de definir cualquier cosa que deseemos discutir es una actividad valiosa y desafiante, a condición de que tengamos en mente que debe ser una definición útil. Por ‘útil’ se quiere decir que permita distinguir entre las cosas que se quieren definir y lo demás”*.

## 2.1 Elementos que conforman la agroforestería

A partir de las definiciones ofrecidas por varios autores [Combe y Budowski (1979), Wiersun (1981), Nair (1985, 1989), Agroforestry Systems (1981)] se puede construir una proto-definición que se leería de la siguiente manera: La agroforestería es un sistema de uso de la tierra donde leñosas perennes interactúan biológica y económicamente en una misma área con cultivos y/o animales. Estos elementos pueden estar asociados en forma simultánea o secuencial, en zonas o mezclados. Las formas de producción agroforestal son aplicables tanto en ecosistemas frágiles como estables, a escala de campo agrícola, finca o región, a nivel de subsistencia o comerciales. El objetivo es diversificar la producción, controlar la agricultura migratoria, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema, respetando el principio de rendimiento sostenido. Se exige compatibilidad con las condiciones socioculturales de la población y servir para mejorar las condiciones de vida de la región.

Una observación salta a la vista en la proto-definición: ciertos elementos son aplicables en unos casos, pero no en otros. Por ejemplo, la fijación de nitrógeno sólo podría esperarse en aquellos casos que incluyen leguminosas u otras plantas capaces de fijar nitrógeno atmosférico. Por otro lado, si la agroforestería es aplicable en toda la gama de posibilidades latitudinales, ecológicas y económicas, entonces, ¿para qué mencionarla en la definición? La compatibilidad sociocultural es un requisito indispensable de cualquier forma de uso de la tierra (FUT), es decir, no es una exclusividad de la agroforestería. Finalmente, el rendimiento sostenido puede o no ser la meta de toda FUT. Por ejemplo, una gramínea de porte alto plantada entre hileras de una leñosa perenne forrajera, manejadas ambas especies en un sistema de corte y acarreo, sin fertilización, es un ejemplo agroforestal que pudiera no ser sostenible (ver Agroforestry Systems 1981).

Entonces, si eliminamos los elementos que no son exclusivos ni específicos a la agroforestería, una primera aproximación a la definición de agroforestería que contenga únicamente lo esencial podría ser:

*La agroforestería es una FUT que satisface cinco requisitos: 1) sus componentes se presentan en arreglos espaciales y temporales; 2) permite una producción diversificada; 3) los componentes interactúan biológica y/o económicamente; 4) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 5) es una forma de cultivo múltiple.*

Analicemos en detalle cada uno de esos requisitos.

### **Arreglos espaciales o temporales**

La especificación de arreglos en una definición agroforestal es una redundancia innecesaria. La producción de dos o más bienes o servicios en una misma unidad de tierra lleva implícita la consideración de arreglos espacio - temporales. El valor de especificar las formas de estos arreglos no está en su contribución a la definición de la agroforestería sino a la clasificación de las FUT agroforestales.

### **Diversificación de la producción**

Algunos autores han propuesto que monocultivos de leñosas perennes de uso múltiple pueden considerarse como sistemas agroforestales (King 1979, 1989; Kapp 1989). Sin embargo, la agroforestería debe, en principio, satisfacer la condición de cultivo múltiple. El uso múltiple no es condición suficiente para catalogar como agroforestal a una FUT. Por otro lado, las bondades de la diversificación (estabilidad de ingresos y minimización de riesgos) no son exclusividad del uso agroforestal. Por ejemplo, la combinación de cultivos múltiples con especies herbáceas anuales (no necesariamente agroforestales) tienen esos mismos efectos (Steiner 1984). Los beneficios son consecuencia, no de la inclusión del componente leñoso perenne, sino del cultivo múltiple mismo. La producción diversificada de bienes y/o servicios es una característica intrínseca a la existencia de dos o más componentes en el sistema y debería, entonces, excluirse de la definición.

Llegamos así a una segunda aproximación de la definición de agroforestería.

*La agroforestería es una FUT que satisface tres requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple; 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 3) los componentes interactúan biológica y/o económicamente.*

### **Naturaleza (biológica o económica) y magnitud de las interacciones agroforestales**

En las definiciones agroforestales existentes, la expresión “...componentes que interactúan biológica y/o económicamente...” implica que la existencia de interacciones económicas es una condición suficiente para caracterizar la naturaleza agroforestal de una FUT. Sin embargo, imaginemos el caso de una empresa que posee una finca de pastos en Costa Rica y plantaciones forestales

La contribución relativa del árbol al total de interacciones en un sistema agroforestal depende de la selección de los límites y configuración espacial del sistema.

de pinos en Honduras. A nivel de unidad empresarial siempre hay interacción económica entre los pastos en Costa Rica y los pinos en Honduras, a pesar de que el contacto biológico entre estas unidades de producción es prácticamente nulo. ¿Es esto agroforestería? Por otro lado, en una FUT (sea agroforestal o no) en la que los componentes interactúan biológicamente entre ellos, siempre se puede obtener una representación económica de esas interacciones (ya sean positivas o negativas).

Según Lundgren y Raintree (1982), las FUT agroforestales se caracterizan por la existencia de interacciones “significativas” entre componentes. Pero, ¿qué es una interacción significativa? La subjetividad (arbitrariedad) al establecer límites a este concepto puede ser grande. ¿Es agroforestería una finca de 1000 ha de pasto con un árbol de pino al centro? ¿Cambiaría nuestra apreciación si la finca midiera 0,10 ha? En el primer caso, la contribución de este árbol al total de interacciones biológicas de la finca es insignificante; pero el mismo árbol tendría un fuerte efecto en el segundo caso. Obviamente, la contribución relativa del árbol al total de interacciones depende de la selección de los límites espaciales del sistema, pero no afecta al hecho de que las interacciones siempre estuvieron presentes.

El volumen total de interacciones biológicas entre componentes depende de la magnitud de cada componente y de los arreglos espacio - temporales utilizados. Mil árboles de pino en 500 ha de pasto generan más interacciones que un solo árbol en la misma área. Por otro lado, en una finca de 1000 ha con un bloque de pino de 500 ha contiguo a otro bloque de pasto de igual tamaño, el volumen de interacciones que ocurren en la franja pino-pasto (ecotono) será menor al que se presenta en una finca con cinco bloques de pino de 100 ha cada uno y cinco bloques de pastos de igual tamaño, dispuestos como en un tablero de ajedrez. A la vez, este arreglo ofrecería un volumen total de interacciones menor al que se presentaría si se siguen fraccionando los bloques tanto como sea posible. El mayor volumen total de interacciones se alcanzaría con un arreglo de franjas de pino intercaladas con franjas de pasto, en algo muy parecido a un cultivo en callejones (*alley cropping o hedgerow intercropping*).

Del análisis de la naturaleza y magnitud de las interacciones entre componentes en una FUT agroforestal, podemos concluir que:

1. Debe haber interacción biológica entre los componentes: la mera existencia de interacciones económicas no es condición suficiente para caracterizar la naturaleza agroforestal de una FUT.
2. La magnitud de las interacciones depende de la escogencia de los límites del sistema, de las proporciones entre componentes y de los arreglos espacio - temporales utilizados.

En consecuencia, el concepto de interacción significativa no puede ser utilizado objetivamente para caracterizar la naturaleza agroforestal de una FUT: la existencia de interacciones biológicas es la única condición necesaria.

Llegamos así a una tercera aproximación de la definición de agroforestería.

*La agroforestería es una FUT que satisface tres requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple; 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 3) los componentes interactúan biológicamente.*

Esta definición incluye esquemas agroforestales como el cultivo en callejones, taungya, maderables como sombra de cultivos perennes, leñosas perennes dispersas en campos de cultivos anuales, bancos forrajeros de leñosas, huertos caseros, etc. Sin embargo, también incluye esquemas como la mezcla de dos o más especies maderables. Muchos dirán inmediatamente que esto no es agroforestería. Entonces, se debe imponer alguna restricción adicional a los elementos fundamentales usados en la definición.

### **Leñosas y maderables**

La única característica adicional capaz de discriminar entre combinaciones de dos o más maderables es la condición de que al menos uno de los componentes sea una especie (vegetal o animal) manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos). Esta misma idea ya había sido planteada por Huxley (1983). De este modo, llegamos a una cuarta aproximación de la definición de agroforestería.

*La agroforestería es una FUT que satisface cuatro requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple; 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; 3) los componentes interactúan biológicamente; y 4) al menos uno de los componentes es una especie manejada para satisfacer los objetivos del gerente de la tierra.*

La definición resultante aplica a casos como cacao, café y cualquier otra combinación de perennes con perennes. Aquí vale la pena un análisis más detallado. La mayoría –y quizás todos los profesionales en agroforestería– coincidirán en que el cultivo de cacao bajo caucho o coco es agroforestería. No obstante, cuando se trata de cítricos con macadamia o con aguacate, la decisión ya no es tan evidente: muchos dirán que estos arreglos son, simplemente, cultivos múltiples con perennes.

La claridad de la naturaleza agroforestal en estos casos desapareció debido a: 1) pérdida de la estructuración vertical del sistema, y 2) ausencia de (al menos) un componente con funciones arbóreas. Sin embargo, existen numerosos ejemplos en la literatura agroforestal de sistemas sin estructuración vertical. Por ejemplo, es fácil imaginar un cultivo en callejones (un ejemplo agroforestal típico) donde la leñosa perenne es podada frecuentemente a baja altura de modo que no se presentan diferencias de altura con el cultivo anual (por ejemplo maíz).

Por otro lado, con germoplasma y manejo adecuado, las plantaciones de leñosas perennes pueden desempeñar muchas funciones ‘arbóreas’ (leña, madera, sombra, reciclaje de nutrientes, gomas y resinas, frutas, etc.). Por ejemplo, la combinación de cítricos con nogal produce fruta y madera y mediante el

manejo se puede privilegiar la producción preferencial de una o la otra, pero no se puede cambiar la naturaleza esencial del sistema. De lo contrario, un mismo sistema que produce cantidades significativas de madera en un sitio será catalogado como agroforestal y no lo será en otro sitio donde el objetivo es producir mayormente fruta.

## En conclusión

*“La agroforestería es una forma de cultivo múltiple que satisface tres condiciones básicas: 1) existen al menos dos especies que interactúan biológicamente; 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 3) al menos dos de los componentes se manejan para satisfacer los objetivos del administrador de la tierra”.*

## 2.2 Bibliografía

- Agroforestry Systems. 1981. Editorial: What is agroforestry? *Agroforestry Systems* 1(1):7-12.
- Combe, J; Budowski, G. 1979. Classification of traditional agroforestry techniques. *In* de las Salas, G. (Ed.). Workshop on traditional agroforestry systems in Latin America (1979, Turrialba, CR). Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 17-47.
- Huxley, PA. 1983. Some characteristics of trees to be considered in agroforestry. *In* Huxley, PA. (Ed.). Plant research and agroforestry. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 3-12.
- Kapp, G. 1989. La agroforestería como alternativa de reforestación en la zona Atlántica de Costa Rica. *El Chasqui* 21:6-17.
- King, KFS. 1979. Concepts of agroforestry. *In* Chandler, T; Spurgeon, D. (Eds.). International cooperation in agroforestry. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 1-13.
- King, KFS. 1989. The history of agroforestry. *In* Nair, PKR. (Ed.). Agroforestry systems in the tropics. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publisher. p. 3-11.
- Leakey, R. 1996. Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today* 8(1): 5-7.
- Lundgren, B; Raintree, JH. 1982. Sustained agroforestry. *In* Nestel, B. (Ed.). Agricultural research for development: potentials and challenges in Asia. The Hague, The Netherlands, ISNAR. p. 37-49.
- Nair, PKR. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3:97-128.
- Nair, PKR. 1989. Agroforestry definition. *In* Nair, PKR. (Ed.). Agroforestry systems in the tropics. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publisher. p. 13-18.
- Sinclair, FL. 1999. A general classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems* 46: 161-180.
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es agroforestería? *El Chasqui (CR)* 24: 5-13.
- Spedding, CRW. 1988. An introduction to agricultural systems. London, United Kingdom, Elsevier. 2 ed. 189 p.
- Steiner, KG. 1984. Intercropping in tropical smallholder agriculture, with special reference to West Africa. Deutsch Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). (Schriftenreihe no. 137). 2 ed. 304 p.
- Torquebiau, EF. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Life Sciences* 323: 1009-1017.
- Wiersum, KF. 1981. Outline of the agroforestry concept. *In* Wiersum, KF. (Ed.). Viewpoints in agroforestry. Wageningen, The Netherlands Agricultural University. p. 1-21.

## 3. Dasometría y cubicación de la madera

Yadid Ordoñez, Hernán Andrade, David Quirós, Geoffrey Venegas

### 3.1 Introducción

Conocer la cantidad o volumen de madera proveniente del aprovechamiento de árboles en potreros, bosques o plantaciones no es solo de interés para industriales, madereros o técnicos forestales, sino también para productores interesados en la comercialización de madera en pie o productos obtenidos de la corta y transformación de árboles. Por ello, hay que tener un conocimiento básico de las técnicas apropiadas para cuantificar la madera en pie o en productos forestales (tablas, vigas, etc.), con una precisión aceptable para su comercialización (West 2009).

Las herramientas básicas para cuantificar el crecimiento y la producción forestal son proporcionadas por la dasometría, la cual provee de un conjunto de técnicas de medición y estimación de las dimensiones de árboles y bosques (Rojas 1977). La estimación de las existencias y el crecimiento del componente del árbol -ya sea volumen, biomasa o carbono- es indispensable para el manejo y aprovechamiento de los bosques, plantaciones, sistemas silvopastoriles y sistemas agroforestales.

La mayoría de las técnicas de medición forestal se adaptan al quehacer agroforestal; por eso, el objetivo de este capítulo es ofrecer algunos procedimientos de medición y cuantificación de las variables de interés de los componentes leñosos de un sistema agroforestal, requeridos para la cubicación de árboles en pie o productos obtenidos de su aprovechamiento. En el capítulo se ofrecen varios métodos para la cubicación de madera de forma sencilla y rápida, tanto de árboles en pie como de madera en rollo y madera procesada. También se brinda información básica sobre las unidades de medida considerando los aspectos a medir, fórmulas a utilizar y factores de conversión y/o equivalencias para realizar los cálculos necesarios que permitan estimar el volumen de la madera. Asimismo, debido al creciente interés por los proyectos de carbono, este capítulo incluye algunas técnicas para la estimación de biomasa arbórea. Los procedimientos que se sugieren se basan en criterios técnicos sencillos

El objetivo de la dasometría es medir y estimar variables, además de servir de instrumento para generar la información necesaria para el manejo del recurso de interés.

tradicionalmente usados en bosques naturales o plantados, y no en un tipo de bosque, un sistema de establecimiento de árboles o especies en particular.

El presente trabajo se basa en múltiples textos publicados sobre el tema pero, en particular, en una publicación sin fecha que la cooperación alemana al desarrollo publicara junto con otros organismos, bajo la responsabilidad técnica de Hans Buttgembach (DED et ál. sf.).

#### **La dasometría: definición y objetivo**

La dasometría es la ciencia que se ocupa de la medición y estimación de las dimensiones de árboles y bosques, de su crecimiento y de sus productos (Prodan et ál. 1997). La dasometría se divide en dos partes: 1) la dendrometría, entendida como la medición/estimación de las dimensiones de árboles y bosques a partir de un punto de análisis estático y 2) la epidometría, que ejecuta la medición/estimación a partir de un punto de análisis dinámico. En concreto: la dendrometría es la medición propiamente dicha y la epidometría, el estudio del crecimiento e incremento de los árboles.

El objetivo de la dasometría es medir y estimar variables, además de servir de instrumento para generar la información necesaria para el manejo del recurso de interés. En el quehacer dasométrico se requieren conocimientos básicos de álgebra, trigonometría y estadística, así como de la informática, que ha tenido un avance extraordinario en los últimos años.

#### **Componentes principales de un árbol**

En la Fig. 3.1 se presentan los principales componentes de un árbol maderable y en el Cuadro 3.1 se describen.

### **3.2 Mediciones de árboles individuales en pie**

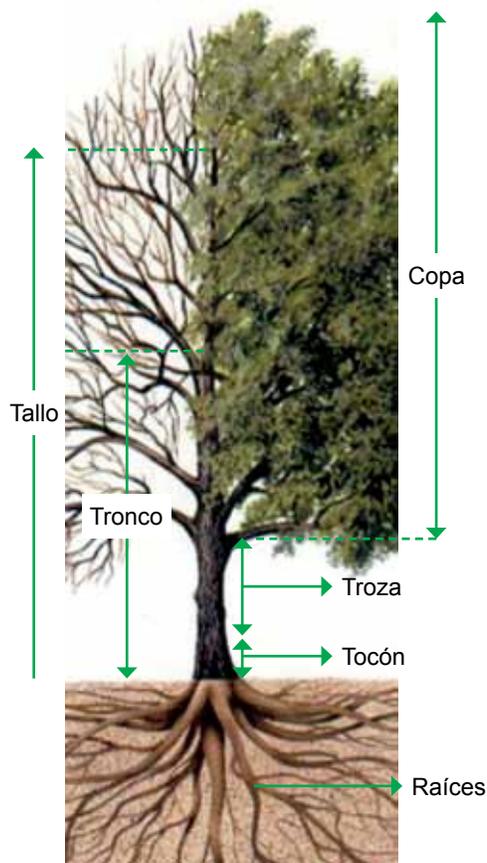
Para saber la cantidad de madera que se puede obtener de un árbol en pie, primero debemos medir el diámetro del árbol a la altura del pecho (dap); dicha medición se toma a 1,30 m de altura a partir de la base del árbol. También se debe determinar la altura comercial (Hc) del árbol; es decir la altura (longitud) hasta donde el fuste es recto, o hasta donde se pueda aprovechar algún producto.

#### **3.2.1 Medición del dap**

El dap –en conjunto con la Hc– es una de las variables fundamentales para determinar el volumen del árbol. La medición se toma siempre a 1,30 m, desde el punto donde el tallo principal sale del suelo (West 2009) (Fig. 3.2). Para la medición del dap se puede usar forcípula, cinta métrica o cinta diamétrica (Fig. 3.3). Cuando se utiliza una forcípula, se deben hacer dos mediciones en forma perpendicular una a la otra y luego se obtiene el promedio de las dos. Si se emplea una cinta métrica es necesario dividir el valor resultante por  $\pi$  (3,1416) para obtener el diámetro del árbol. Las cintas diamétricas, por su parte, tienen la ventaja de medir directamente el diámetro del árbol.

**Cuadro 3.1.** Componentes de un árbol maderable

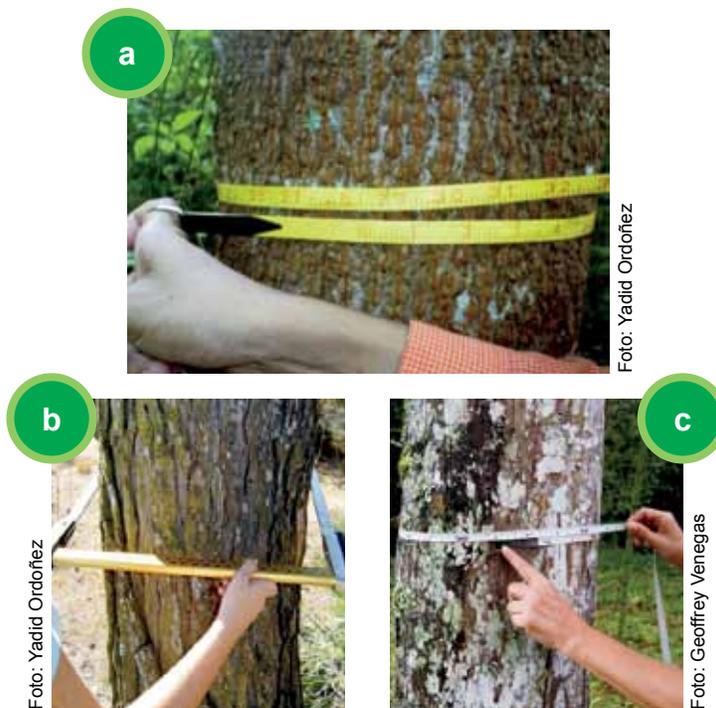
1. Base: parte inferior del tallo	1.1. Tocón	Remanente del tronco o fuste dejado en el campo después de la corta, cosecha o aprovechamiento.
	1.2. Raíces	Parte inferior del árbol que penetra en el suelo, cuya función es absorber agua y nutrientes minerales a través de pelos absorbentes y fijar o ser el sostén del árbol en el suelo.
2. Tallo: eje principal del árbol	2.1. Tronco o fuste	Situado entre la raíz y la copa. Está constituido por millones de células leñosas como las fibras, radios y vasos.
	2.2. Troza	Componente del árbol que mediante su transformación es apto para el aserrío, postes, leña u otro producto.
3. Copa: conjunto de ramas y hojas que forman la parte superior del árbol	3.1. Ápice	Extremo superior (punta) de la copa.
	3.2. Base de la copa	Parte donde inicia la ramificación; en árboles latifoliados por lo general está bien diferenciada.



**Figura 3.1.** Componentes de un árbol maderable  
Fuentes: Cailliez (1981), Thirakul (1991).



**Figura 3.2.** Obsérvese la altura (1,30 m) para medir el dap utilizando, en este caso, cinta diamétrica  
Fotos: Juan José Romero.



**Figura 3.3.** Instrumentos para la medición del dap

a. Medición con cinta diamétrica    b. Medición con forcípula    c. Medición con cinta métrica

Antes de medir el diámetro, hay que verificar que el árbol no presente gambas o aletones, ni nacimientos de ramas, ni cualquier deformidad como cicatrices o protuberancias en el punto donde se toma la medición.

### Casos especiales de medición del diámetro

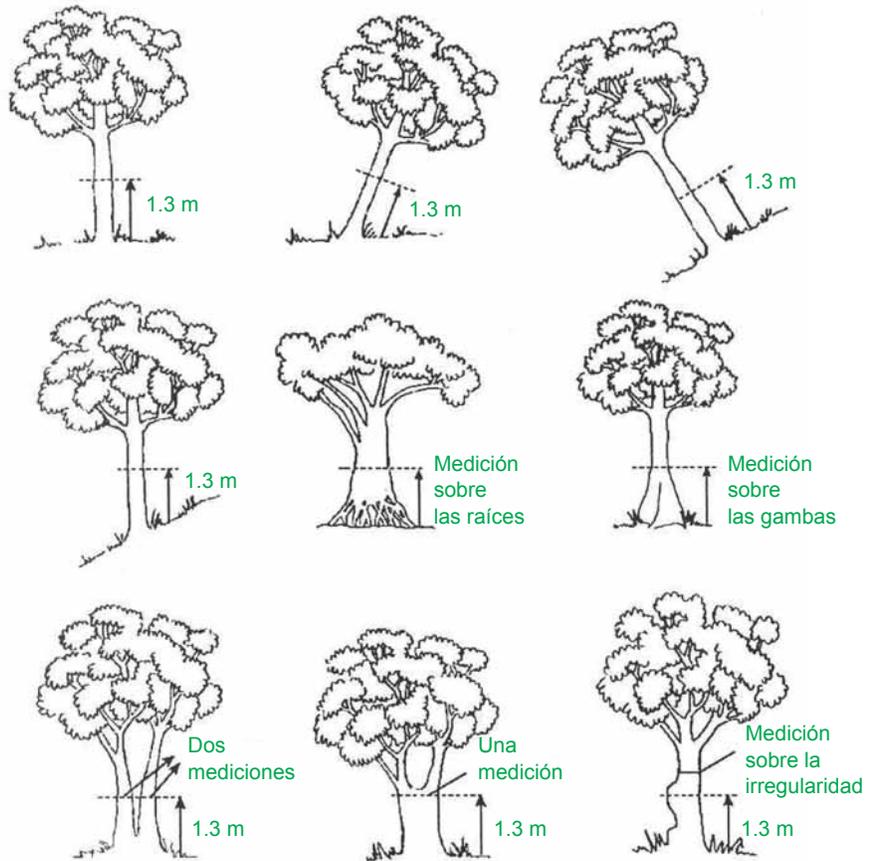
Es usual que durante la medición del dap se presenten casos difíciles de medir, como árboles grandes con gambas o aletones, o árboles con irregularidades en el tronco. En tales casos, la medición del dap debe hacerse a una altura mayor que 1,30 m (FAO 1981, Robertson 2000, Vallejo et ál. 2005, West 2009). En las Fig. 3.4 se ilustran algunos de esos casos especiales.

Antes de medir el diámetro, hay que verificar que el árbol no presente gambas o aletones, ni nacimientos de ramas, ni cualquier deformidad como cicatrices o protuberancias en el punto donde se toma la medición. A continuación se detallan algunos casos o consideraciones particulares para la medición del diámetro, mencionados por Camacho (2000), Robertson (2000) y Vallejo et ál. (2005).

**Pendiente del terreno e inclinación del árbol, gambas, malformaciones y bifurcaciones:** en sitios de pendiente, el diámetro se mide en el lado más alto de la pendiente (Camacho 2000). Si el árbol está inclinado, se mide por el lado más cercano al suelo (Fig. 3.4).

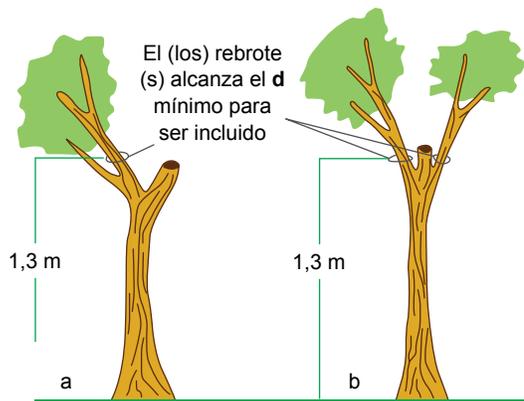
**Presencia de gambas o aletones y/o fuste con deformaciones:** si el árbol tiene gambas, raíces fúlcreas o malformaciones, la altura de medición se ubica un metro sobre las gambas o en los primeros 30 cm sobre la irregularidad o la malformación, en donde el fuste sea uniforme y se encuentre libre

de excrecencias. Si el árbol está bifurcado por debajo de 1,30 m, se mide cada eje por separado pero siempre como un solo árbol. Si la bifurcación está al menos 50 cm arriba de la altura del pecho, se registra y mide como un solo eje y se codifica como un árbol bifurcado. Es importante hacer la anotación correspondiente en la libreta de campo en todos los casos en donde la medición no se hizo a 1,30 m. En la Fig. 3.4 se ilustran las consideraciones para la medición del dap de los árboles bajo diferentes situaciones o características comentadas.



**Figura 3.4.** Localización del diámetro de referencia en árboles bajo diferentes situaciones  
Fuente: Camacho (2000)

**Árboles con rebrotes:** tradicionalmente este aspecto se ha considerado como un árbol bifurcado; no obstante, es importante tener presente que cuando el tallo principal se quebró por debajo de 1,3 m y el árbol emitió nuevos rebrotes (Fig. 3.5a), si alguno de esos rebrotes cumple con el diámetro mínimo requerido a 1,3 m de altura para ser incluido en el inventario, entonces ese árbol se considera como múltiple (Fig. 3.5b).



**Figura 3.5.** Medición de dap en árboles con rebrotes  
a) rebrote individual  
b) rebrote múltiple

**La medición del dap y la determinación del área basal**

Con la medición del dap se logra determinar la variable área basal, la cual es la superficie de la sección transversal de un árbol a la altura del pecho, expresada generalmente en metros o centímetros cuadrados. Esta medición se obtiene con la fórmula correspondiente al círculo:

$$g = \frac{\pi}{4} \times d^2 \quad [i]$$

donde:

g = área basal de un árbol (m<sup>2</sup>)

d= Diámetro del árbol (m)

$\pi/4= 0,7854$

2= constante

Veamos, por ejemplo, un árbol con un dap de 80 cm; desarrollando la fórmula tenemos:

$$\begin{aligned} g &= 0,7854 \times 0,8^2 \\ g &= 0,7854 \times 0,64 \\ g &= 0,50 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

El área basal de un rodal es la sumatoria del área de las secciones transversales de los árboles de una muestra o población.

$$G = \sum g \quad G = \sum (\pi.dap^2)/4 \quad [ii]$$

donde G = área basal del rodal (m<sup>2</sup>/ha)

**3.2.2 Medición de la altura del fuste**

Generalmente, la altura del fuste se define como la distancia desde el nivel del suelo hasta la bifurcación principal que marca el inicio de la copa, en tanto que la altura total es la distancia desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol (Fig. 3.1). Los instrumentos más usados para medir alturas son las varas graduadas, en el caso de árboles pequeños, y el hipsómetro o el clinómetro para árboles grandes; sin embargo, también se utilizan otros instrumentos, como la pistola haga, que no se consideran en este documento.

En árboles de mayor altura, la medición se hace de forma indirecta con un hipsómetro o un clinómetro, debido a que estos instrumentos funcionan con base en la trigonometría (Van Laar y Akça 2007). Para ello se debe conocer el largo de un lado del triángulo recto formado con el árbol, para luego determinar los demás lados y ángulos mediante el teorema de Pitágoras. La distancia del largo que necesitamos conocer se puede y recomienda medir con una cinta métrica.

En general, con el uso de los instrumentos de medición se busca obtener la altura comercial (Hc) del árbol.

### La vara graduada

Esta es una regla especialmente graduada en metros con subdivisiones en centímetros para realizar la medición directa del dap. Este instrumento es muy práctico y eficiente, aunque tiene la desventaja de no alcanzar grandes alturas (lo que limita su uso); su peso y rigidez son otros inconvenientes para el operario debido a la dificultad de manipulación en rodales densos y sitios de difícil acceso.

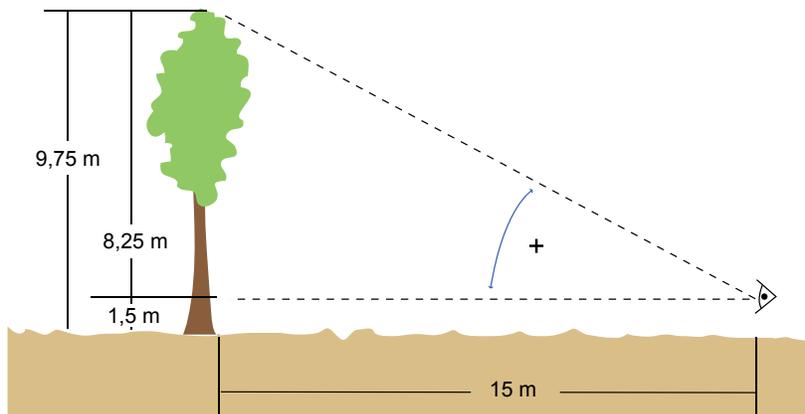
### El hipsómetro suunto

Este es un instrumento diseñado para medir la altura de los árboles con gran exactitud y rapidez; su peso y tamaño se adapta ergonómicamente a la mano del observador, lo que facilita su manipulación. Su cuerpo es de aluminio ionizado, resistente a la corrosión y en su interior hay un disco móvil herméticamente sellado y suspendido de un eje central y recubierto de un líquido que garantiza el libre movimiento y la detención súbita; además, evita vibraciones innecesarias al momento de realizar la lectura. El instrumento tiene un visor óptico con un lente por el que se observa el disco con una retícula graduada en dos escalas métricas para la lectura directa de la altura. La persona que realiza la lectura debe colocarse a una distancia tal que pueda observar la base del árbol y la altura a estimar. Al momento de la lectura, ambos ojos deben mantenerse abiertos para la localización de la escala y el punto de medición. Para la medición se utilizan dos distancias desde la base de árbol (15 y 20 metros según el caso); la altura del árbol se obtiene en función de alguna de estas distancias. Las lecturas deben ser duplicadas cuando se mide a distancias de 30 y 40 metros con la escala de 1/15 y 1/20 respectivamente, o reducidas a la mitad cuando se mide desde la base del árbol una distancia, por ejemplo de 10 m y se emplea la escala de 1/20. Al mirar por el visor y estabilizar el disco con la horizontal se observa el número “0” que coincide con la línea de referencia del visor; al mover el instrumento hacia arriba del nivel de visión, los números van acompañados por un signo ‘+’, y al moverlo hacia abajo, aparece un signo ‘-’. Al momento de realizar las observaciones, los valores en cuestión se suman o restan según el signo.

Para evitar errores en el momento de hacer las lecturas, hay que tomar en cuenta que la distancia escogida desde el árbol debe ser equivalente a su altura. En cuanto al punto sobre el terreno en el que se ubique el observador al momento de la lectura de la base y copa del árbol pueden presentarse diversas situaciones para averiguar la altura del árbol. A continuación detallamos los casos más frecuentes.

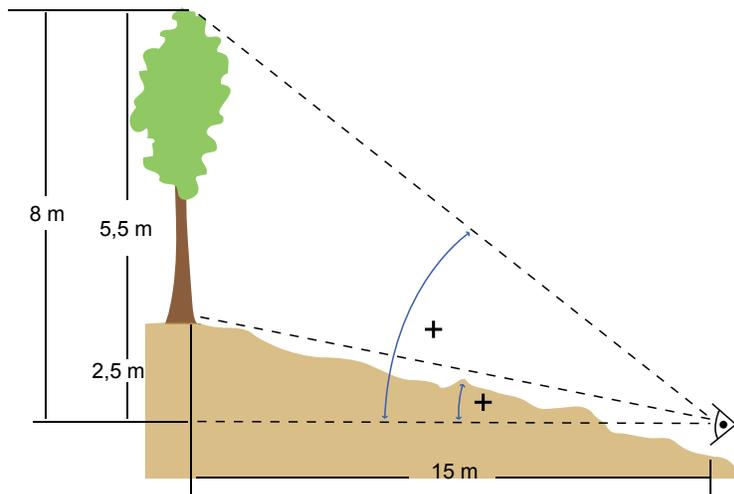
**Árbol en terreno plano:** con solamente la lectura por encima de la línea horizontal (signo +) es suficiente para la altura deseada (ya sea comercial o total). Además se debe sumar la altura al nivel de los ojos del observador para obtener dicha altura. En la Fig. 3.6 se ilustra la lectura de altura total de un árbol: altura al nivel del ojo = 1,5 m; lectura por encima de la horizontal = 8,25 m; altura total = 9,75 m.

Para evitar errores en el momento de hacer las lecturas, hay que tomar en cuenta que la distancia escogida desde el árbol debe ser equivalente a su altura.



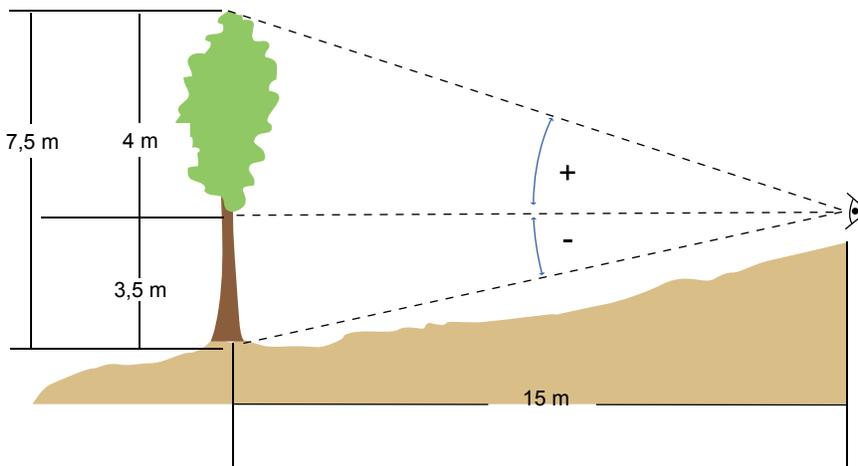
**Figura 3.6.** Utilización del hipsómetro en la medición de alturas en terreno plano

**Árbol en pendiente arriba:** se hace una lectura hacia la base del árbol y luego hacia arriba hasta la altura deseada (ya sea comercial o total). La altura deseada se obtiene de la diferencia entre las dos lecturas a partir de la medición horizontal, ya que se obtendrán signos iguales + y + respectivamente. En la Fig. 3.7 se ilustra la lectura de altura total: el resultado es igual a  $8,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m} = 6,0 \text{ m}$ .



**Figura 3.7.** Utilización del hipsómetro en la medición de alturas en terreno sobre la pendiente o pendiente arriba

**Árbol en pendiente abajo:** a partir de la medición horizontal, se hace una lectura hacia la base del árbol, y luego hacia arriba hasta la altura deseada (ya sea comercial o total); las lecturas se suman ya que se obtendrán signos opuestos - y + respectivamente. En la Fig. 3.8 se ilustra la lectura de altura total:  $4,0 \text{ m} + 3,5 \text{ m} = 7,5 \text{ m}$ .



**Figura 3.8.** Utilización del hipsómetro en la medición de alturas en terreno bajo la pendiente o pendiente abajo

En la utilización del hipsómetro es importante hacer corrección de distancia por pendiente, debido a que las distancias horizontales requeridas difieren de las distancias reales medidas en el terreno. Entonces, en mediciones pendiente arriba o abajo, hay que corregir la distancia horizontal para reubicarse y hacer la medición. Para ello se aplica un factor de corrección al determinar la distancia horizontal; ya existen tablas diseñadas para este fin que son de uso práctico y conveniente en el momento de la medición, aunque si lo prefiere, usted puede hacer los cálculos trigonométricos.

En la utilización del hipsómetro es importante hacer corrección de distancia por pendiente, debido a que las distancias horizontales requeridas difieren de las distancias reales medidas en el terreno.



**Figura 3.9.** Vista de un hipsómetro y de personal realizando la medición de la altura del fuste por medio del instrumento

Fotos: Yadid Ordoñez

### Clinómetro

Este aparato está diseñado para medir la inclinación o pendiente de los terrenos; sin embargo también se puede usar en la medición de edificios, árboles y otros. Se trata de un nivel graduado en porcentaje y en grados, los cuales están relacionados trigonométricamente (Robertson 2000, Van Laar y Akça 2007).

$$\% = \text{Tan}\theta \times 100 \quad [\text{iii}]$$

El procedimiento para medir la altura total (Ht) y comercial (Hc) del árbol usando un clinómetro es el siguiente (Fig. 3.10):

- La altura del árbol se estima ubicándose a una distancia desde donde se pueda ver completamente el árbol seleccionado. A continuación, se mide la distancia horizontal en metros entre el punto de medición y el árbol. Con el fin de evitar errores de medición, se sugiere que la distancia al árbol sea equivalente a la altura del mismo.
- Con el clinómetro se obtienen la lectura del ángulo en dos unidades: una en grados (cuya lectura se hace mirando la banda izquierda por el orificio del instrumento), la otra lectura es la pendiente en porcentaje (leyendo la banda derecha).
- Para medir el árbol se realizan tres mediciones: una hacia arriba visualizando la copa del árbol o su extremo superior ( $\alpha_3$ ); otra a la altura comercial del árbol ( $\alpha_2$ ) y la tercera hacia abajo a la base del árbol ( $\alpha_1$ ). En todos los casos, se deben anotar los porcentajes de inclinación de la pendiente (Fig. 3.10). La práctica más aceptada es utilizar la medición de la pendiente y no la medición en grados.

Las fórmulas para la obtención de las alturas son:

$$Ht = d \times (\alpha_3 - \alpha_1) / 100 \quad [\text{iv}]$$

$$Hc = d \times (\alpha_2 - \alpha_1) / 100 \quad [\text{v}]$$

donde:

Ht = altura total en metros

Hc = altura del fuste o altura comercial en metros

$\alpha_1$  = porcentaje a la base del árbol (%)

$\alpha_2$  = porcentaje al fuste o a la altura comercial (%)

$\alpha_3$  = porcentaje al ápice del árbol (%)

d = distancia en metros entre el clinómetro y el árbol

100 = constante

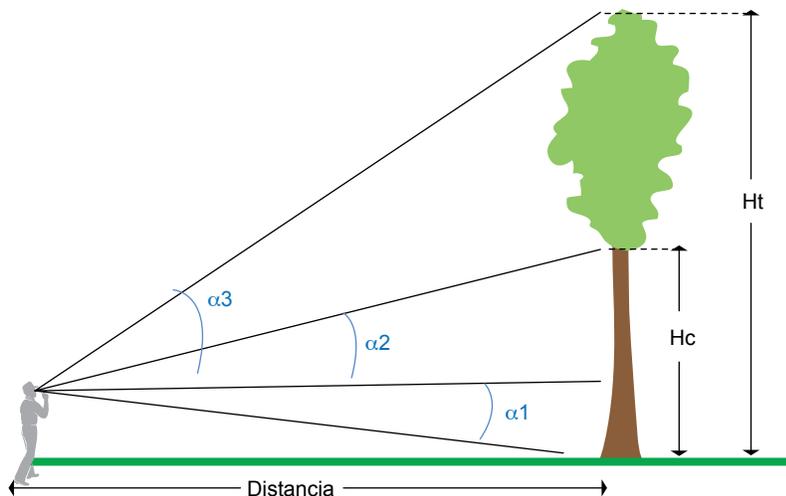
Veamos un ejemplo de aplicación de las fórmulas con los siguientes datos:

$$d = 20 \text{ m} \quad \alpha_1 = -5\% \quad \alpha_2 = 90\% \quad \alpha_3 = 120\%$$

aplicando la fórmula tenemos:

$$Ht = \frac{20 \times (120 - (-5))}{100} = \frac{20 \times 125}{100} = 25 \text{ m}$$

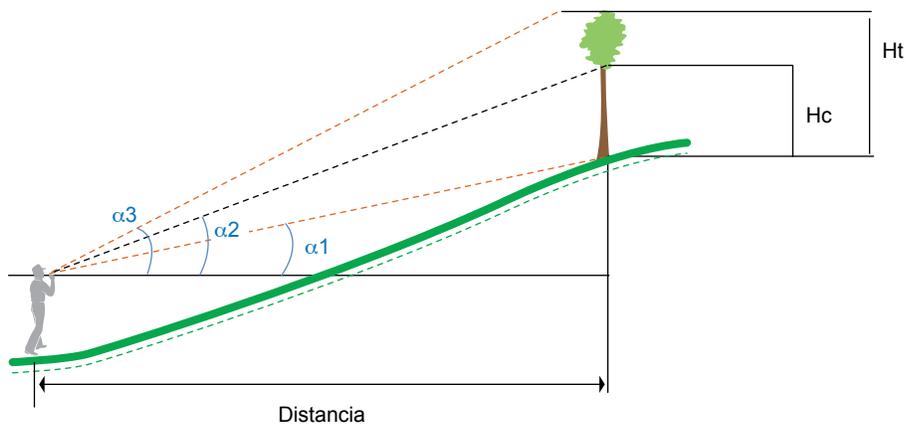
$$Hc = \frac{20 \times (90 - (-5))}{100} = \frac{20 \times 95}{100} = 19 \text{ m}$$



**Figura 3.10.** Toma de medidas con clinómetro

Fuente: Modificado de Proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia (sf).

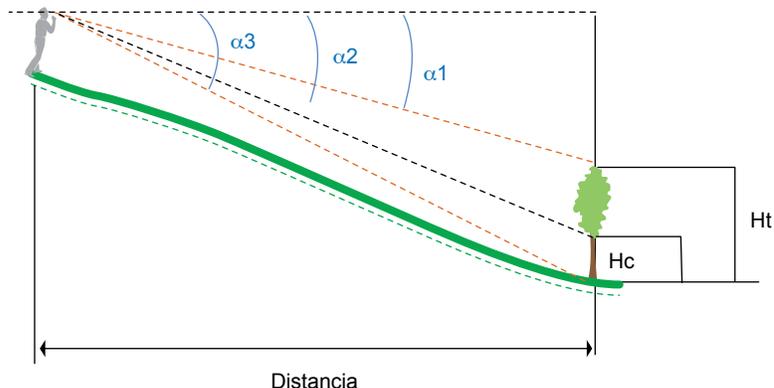
Dependiendo de las condiciones topográficas, las mediciones debe hacerse pendiente arriba o pendiente abajo (Fig. 3.11 y 3.12).



**Figura 3.11.** Toma de medidas con clinómetro en árbol pendiente arriba

Fuente: Modificado de Proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia (sf).

**Figura 3.12.** Toma de medidas con clinómetro en árbol pendiente abajo  
Fuente: Modificado de Proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia (sf).



Si deseamos obtener la  $H_t$  y la  $H_c$  en una medición pendiente arriba (en contra de pendiente) se aplican las fórmulas iv y v. Veamos un ejemplo:

$$d = 20 \text{ m} \quad \alpha_1 = 10\% \quad \alpha_2 = 50\% \quad \alpha_3 = 100\%$$

aplicando la fórmula tenemos:

$$H_t = \frac{20 \times (100 - (10))}{100} = \frac{20 \times 90}{100} = 18 \text{ m}$$

$$H_c = \frac{20 \times (100 - (50))}{100} = \frac{20 \times 50}{100} = 10 \text{ m}$$

Ahora bien, en la medición pendiente abajo (a favor de pendiente), la  $H_t$  se obtiene con la fórmula vi y para la  $H_c$  se aplica la fórmula vii:

$$H_t = d \times (\alpha_3 - \alpha_1) / 100 \quad \text{[vi]}$$

$$H_c = d \times (\alpha_3 - \alpha_2) / 100 \quad \text{[vii]}$$

donde:

$H_t$  = altura total en metros

$H_c$  = altura del fuste o altura comercial en metros

$\alpha_3$  = porcentaje a la base del árbol (%)

$\alpha_2$  = porcentaje al fuste o a la altura comercial (%)

$\alpha_1$  = porcentaje al ápice del árbol (%)

$d$  = distancia en metros entre el clinómetro y el árbol

100 = constante

Veamos un ejemplo:

$$d = 20 \text{ m} \quad \alpha_1 = -10\% \quad \alpha_2 = -50\% \quad \alpha_3 = -100\%$$

aplicando la fórmula tenemos:

$$H_t = \frac{20 \times (100 - (-10))}{100} = \frac{20 \times 90}{100} = 18 \text{ m}$$

$$Hc = \frac{20 \times (-100 - (-50))}{100} = \frac{20 \times -50}{100} = 10 \text{ m}$$

Con el clinómetro también es posible determinar las alturas de otra forma. De nuevo, se toman las tres mediciones ya mencionadas: la copa del árbol ( $\alpha_3$ ), la altura comercial ( $\alpha_2$ ) y la base del árbol ( $\alpha_1$ ); en todos los casos hay que anotar el ángulo correspondiente en grados. Con esta información se procede a hacer cálculos trigonométricos y se obtienen los resultados. También de forma gráfica, mediante el dibujo (ploteo) a escala, se puede obtener el valor de la altura.

### 3.3 Estimación del volumen para árboles en pie

El procedimiento para estimar el volumen de los árboles en pie consiste en convertir a volumen, algunas de las características del árbol medidas en campo. Las dos formas más usadas para estimar el volumen de árboles en pie son el método directo y las ecuaciones o tablas de volumen.

#### 3.3.1 Método directo

Las mediciones utilizadas para determinar el volumen por medio del método directo son el área basal ( $g$ ), la altura ( $h$ ) y el coeficiente o factor de forma ( $Ff$ ). La fórmula típicamente utilizada en la estimación del volumen de árboles – conocida como fórmula general- es la siguiente:

$$V = g \times Hc \times Ff \quad [\text{viii}]$$

donde:

$V$  = volumen del árbol en  $\text{m}^3$

$g$  = área basal en  $\text{m}^2$

$Hc$  = altura comercial del árbol en  $\text{m}$

$Ff$  = factor o coeficiente de forma (1 es el valor del cilindro perfecto)

El coeficiente de forma es un factor de reducción debido a que el árbol no tiene la forma de un cilindro; de hecho, su volumen siempre será menor que el de un cilindro. Para obtener el factor de reducción se toma el volumen real del árbol y se divide entre el volumen de un cilindro con el diámetro medido en el árbol a la altura del pecho. Cada especie tiene su propio factor de forma, el cual varía con el tiempo de crecimiento. La fórmula para calcular el coeficiente de forma es la siguiente:

$$Ff = \frac{Vr}{Vc} \quad [\text{ix}]$$

donde:

$Ff$  = factor de forma

$Vr$  = volumen real del árbol determinado al trocear el árbol físicamente

$Vc$  = volumen cilíndrico del árbol a partir de su área basal a 1,3 m de altura

Sin embargo, este método tiene algunos inconvenientes que hacen que su aplicación no sea tan confiable. El primero de ellos es que no siempre se estima el valor promedio del coeficiente de forma sino que se le asigna un valor arbitrario

Las mediciones utilizadas para determinar el volumen por medio del método directo son el área basal ( $g$ ), la altura ( $h$ ) y el coeficiente o factor de forma ( $Ff$ ).

-por lo general alrededor de 0,5 para bosque natural y 0,7 en plantaciones y sistemas agroforestales- y se desconoce si ese valor sobrestima o subestima el verdadero. El segundo es que Ff disminuye a medida que el árbol crece debido a que el manejo adecuado de los árboles busca una forma cilíndrica.

Para efectos prácticos, se utilizan los valores de Ff según el tipo de fuste que se ilustran en la Fig. 3.13.

Tipo de dendométrico del fuste	Factor de forma
Cilindro 	$ff \geq 0,85$
Paraboide 	$0,85 \geq ff \geq 0,70$
Cono 	$0,70 \geq ff \geq 0,50$
Neiloide 	$0,50 \geq ff \geq 0,35$

**Figura 3.13.** Factor de forma asignados según la forma del fuste  
Fuente: Proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia (sf).

Recordemos que el área basal se determina con:

$$g = \frac{\pi}{4} \times dap^2$$

$$g = 0,7854 \times 50 \text{ cm}^2$$

$$= 0,1963 \text{ m}^2$$

Entonces, si tenemos un árbol cuyas medidas son las siguientes: dap= 50 cm, Hc= 15 m y Ff= 0,75, al aplicar la fórmula viii tenemos que

$$V = g \times Hc \times Ff$$

$$V = 0,1963 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m} \times 0,75$$

$$V = 2,21 \text{ m}^3$$

Las tablas de volumen se construyen mediante ecuaciones de regresión, en las que la variable dependiente es el volumen y las independientes son comúnmente el dap y la altura total del árbol.

### 3.3.2 Tablas de volumen

Mediante expresiones tabuladas previamente definidas se puede determinar el volumen de los árboles a partir de una o más de las dimensiones fáciles de medir (dap o altura). Las tablas de volumen se construyen mediante ecuaciones de regresión, en las que la variable dependiente es el volumen y las independientes son comúnmente el dap y la altura total del árbol.

$$V = a + b \times dap^2 + c \times Ht$$

donde:

- V = volumen de madera de árboles individuales (m<sup>3</sup>)
- dap = diámetro a la altura del pecho (cm)
- Ht = altura total del árbol (m)
- a, b y c = coeficientes de regresión

En el Cuadro 3.2 se ofrece un ejemplo de tabla de volumen.

En algunos países ya se ha reglamentado el uso de ecuaciones para la determinación del volumen de los árboles provenientes de bosques naturales y plantaciones forestales, pero no para árboles y/o especies establecidas en sistemas agroforestales. En Costa Rica, por ejemplo, se emplean dos ecuaciones para determinar el volumen en bosques naturales (Mirenem 1994):

Ecuación para el cálculo del volumen de árboles de gavilán

(*Pentaclethra macroloba*):

$$V=0,000248 * (dap^{1,81847}) * (hc^{0,64862}) \quad [x]$$

donde:

V = Volumen en m<sup>3</sup>

Constantes = 0,000248; 1,81847; 0,64862

hc = Altura comercial (m)

dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

Cuadro 3.2. Ejemplo de tabla de volumen total para *Cordia alliodora* con corteza (m<sup>3</sup>/árbol)

Altura (m)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Dap (cm)													
10	0,041	0,055											
12	0,053	0,069	0,086										
14	0,066	0,086	0,106	0,126									
16	0,081	0,105	0,129	0,153	0,177								
18		0,127	0,156	0,185	0,213	0,242	0,271						
20			0,185	0,219	0,253	0,287	0,321						
22			0,218	0,258	0,297	0,337	0,377	0,416	0,456	0,496			
24				0,300	0,346	0,392	0,438	0,483	0,529	0,575	0,621	0,667	
26				0,346	0,398	0,451	0,504	0,556	0,609	0,662	0,715	0,767	0,820
28					0,455	0,515	0,575	0,635	0,695	0,755	0,815	0,875	0,935
30					0,516	0,584	0,652	0,720	0,788	0,856	0,924	0,992	1,060
32						0,658	0,734	0,810	0,887	0,963	1,040	1,116	1,192
34							0,822	0,907	0,992	1,078	1,163	1,248	1,133
36								1,009	1,104	1,199	1,294	1,388	1,483
38									1,122	1,327	1,432	1,537	1,642
40										1,462	1,578	1,693	1,809
42										1,604	1,731	1,857	1,984
44											1,891	2,030	2,168
46												2,059	2,361
48													2,398
50													2,772

Volumen total (m<sup>3</sup>) = 0,017615 + 0,000034 (d<sup>2</sup>h) – 0,000086 (d<sup>2</sup>) + 0,003358 (h)

Donde: d = dap (cm); h = altura (m)

Fuente CATIE (1994)

Ecuación para el cálculo del volumen de árboles de las demás especies:

$$\text{Log } V = (2,03986 * \text{log } \text{dap}) + (0,779 * \text{log } \text{hc}) - 4,07682 \quad [\text{xi}]$$

donde:

V = Antilog de Log V

Constantes = 2,03986; 0,779; -4,07682

hc = Altura comercial (m)

dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

log = Logaritmo base 10

### 3.4 Estimación de otras variables

Además del volumen de madera, en los árboles se tienen otras variables que vale la pena determinar, pues sirven para otros tipos de estudios; por ejemplo, en la cuantificación de carbono. A continuación analizaremos la estimación de las variables de biomasa superficial (tallos, ramas, hojas) y de biomasa subterránea (raíces).

#### 3.4.1 La biomasa encima del suelo

El peso de la madera o el volumen de los árboles, incluyendo tallo, ramas y hojas es lo que se considera como biomasa superficial. En la estimación del volumen por medio de modelos de biomasa se emplean las variables Ht y dap. Segura et ál. (2006) ofrece el siguiente ejemplo de determinación de la biomasa:

$$\text{Log}(B) = -0,56 + 2,07 \times \text{Log}(\text{dap}) \quad [\text{xii}]$$

donde:

B = biomasa de árboles individuales de *Inga punctata* en SAF con café (kg)

dap = diámetro a la altura del pecho

Log = logaritmo

-0,56 y 2,07 = constantes

La biomasa superficial también se puede estimar mediante el uso de los valores de volumen de madera, gravedad específica de la madera y factor de expansión de la biomasa.

$$B = \text{Vol} \times \text{GE} \times \text{FEB} \quad [\text{xiii}]$$

donde:

B = biomasa del árbol (t)

Vol = volumen del fuste (m<sup>3</sup>)

GE = gravedad específica o densidad básica de la madera (t/m<sup>3</sup>)

FEB = factor de expansión de biomasa

En el Cuadro 3.3 se resumen las principales variables dasométricas a tomar en cuenta para estimar la biomasa superficial arbórea.

**Cuadro 3.3.** Principales variables dasométricas para estimación de biomasa superficial arbórea

Parte del árbol	Atributo	Simbología (IUFRO)	Unidad de medida (sistema métrico decimal)	Instrumento / método de medición
Fuste	Diámetro	d	cm	Cinta diamétrica
	Circunferencia o perímetro	c	cm	Cinta métrica
	Altura	h	m	Clinómetro
	Volumen	v	m <sup>3</sup>	Modelos, tablas, factor de forma
	Área transversal	g	m <sup>2</sup>	$g = .\pi / 4.dapP^2$
	Área basal	G	m <sup>2</sup> /árbol ó m <sup>2</sup> /ha	$G = \sum g$
	Biomasa	B	t o Mg	Modelos, tablas, factor de forma
Copa	Diámetro	d	cm	Métodos indirectos
	Altura	h	m	Clinómetro
	Biomasa	B	t o Mg	Modelos, tablas, factor de forma

### 3.4.2 Biomasa subterránea

Las partes del árbol que se encuentran por debajo del nivel del suelo se consideran biomasa subterránea. La biomasa de raíces estructurales (diámetro >2 mm) se puede calcular mediante el uso de modelos de biomasa que establecen una relación entre biomasa de raíces: biomasa arriba del suelo (BR:BA); sin embargo, en la literatura científica no se encuentran datos contundentes. Algunos autores han sugerido relaciones que van desde 0,03 a 0,49 para bosques tropicales; los más conservadores emplean relaciones de 0,10 a 0,15 (MacDicken 1997). Dixon (1995) sugiere una relación BR:BA de 0,10 en zonas húmedas y de 0,30 en zonas semiáridas. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático recomienda el modelo de biomasa de raíces producido por Cairns et ál. (1997) para bosques tropicales (IPCC 2003).

La biomasa de raíces se puede calcular mediante el uso de modelos de biomasa que establecen una relación entre biomasa de raíces: biomasa arriba del suelo.

$$Br = e^{(-1,0587+0,88 \times Ln(Ba))} \quad [xiv]$$

donde:

- Br = biomasa de raíces (t/ha)
- Ba = biomasa arriba del suelo (t/ha)
- 1,0587 y 0,88 = constantes
- Ln = logaritmo natural

## Ejercicio práctico de dasometría

A continuación se presenta un par de ejemplos prácticos sobre estimaciones de variables dasométricas de dos rodales maderables: un rodal de araucaria (Cuadro 3.3 A) y un rodal de latifoliadas (Cuadro 3.3 B). El objetivo de este ejercicio es medir y calcular el volumen de ambos rodales para el aprovechamiento de madera aserrada, la biomasa sobre el suelo y el carbono fijado arriba del suelo.

Los datos mostrados en los Cuadros 3.3 A y 3.3 B provienen de un muestreo sistemático en el cual se estableció una parcela circular de 1000 m<sup>2</sup> para cada rodal. Se midió el dap y la altura total y comercial de los árboles en cada parcela. El equipo utilizado para la medición de ambas parcelas fue cinta métrica, cinta diamétrica y clinómetro.

## Rodal de araucaria

Supuestos y datos asumidos.- Puesto que el inventario se hizo con el propósito de aprovechar madera para aserrío, se decidió trabajar con un dap  $\geq 30$ cm como parámetro para la medida de la altura comercial. Para los cálculos, se asumieron los siguientes datos:

- Factor de forma para volumen comercial: 0,6
- Factor de forma para volumen total: 0,45
- Factor de expansión de biomasa: 1,5
- Densidad de madera: 0,45 g/cm
- Fracción de carbono: 0,5

Cuadro 3.3 A. Medición de árboles de *Araucaria* spp. en el arboreto del CATIE

No	dap (cm)	Distancia (m)	Pendiente abajo (%)	Altura total	Altura comercial
				Pendiente arriba (%)	Pendiente arriba (%)
1	18,5	13	-6	84	-
2	19,3	14	-4	85	-
3	37,5	20	-7	100	28
4	42,3	19	-4	92	40
5	50,0	20	-4	80	45
6	15,6	13	-5	75	-
7	27,9	22	-3	89	35
8	48,8	24	-4	95	65
9	12,4	10	-7	81	-
10	27,0	13	-8	102	-
11	25,7	12	-8	83	-
12	14,0	10	-4	70	-
13	19,0	12	-3	100	-
14	14,0	12	-1	85	-
15	48,5	14	-5	130	35
16	16,8	13	-4	75	-
17	39,5	15	-4	151	40
18	40,0	20	-3	120	25
19	39,1	20	-5	80	40

### Rodal de maderables latifoliados

**Supuestos y datos asumidos.**-El criterio utilizado para determinar la altura comercial de los árboles muestreados fue realizar la medición hasta la primera bifurcación del fuste y en algunos casos hasta donde se pudieran aprovechar las trozas. La altura comercial se midió con vara telescópica. Para los cálculos se asumieron los siguientes datos:

- Factor de forma para volumen comercial: 0,7
- Factor de forma para volumen total: 0, 5
- Factor de expansión de biomasa: 1,8
- Densidad de madera: 0,5 g/cm
- Fracción de carbono: 0,5

**Cuadro 3.3 B.** Medición de árboles latifoliados en el arboreto del CATIE

No	dap (cm)	Distancia (m)	Pendiente abajo (%)	Altura total	Altura comercial
				Pendiente arriba (%)	(m)
1	19,5	20	-10	74	-
2	34,3	20	-10	94	7,8
3	47,2	20	-9	112	4,4
4	33,9	20	-9	110	4,4
5	63,3	20	-7	112	3,6
6	37,7	20	-8	130	6,2
7	30,3	20	-8	135	7,8
8	70,5	20	-7	134	6,2
9	66,9	30	-6	110	2,2
10	48,3	30	-5	130	3,6
11	42,3	20	-9	110	3,7
12	42,0	20	-5	150	8
13	31,1	20	-5	90	2,4
14	50,6	20	-4	130	9,8

### Resultados esperados

Con base en las mediciones de los Cuadros 3.3 A y 3.3 B, es posible calcular las siguientes variables para cada árbol y por unidad de área (ha):

- Área basal (m<sup>2</sup>/ha)
- Volumen total de madera (m<sup>3</sup>/ha)
- Volumen comercial de madera (m<sup>3</sup>/ha)
- Biomasa arriba del suelo (t/ha)
- Carbono arriba del suelo (t/ha)

### 3.5 Las unidades de medida

Una unidad de medida es una cantidad estándar de una determinada magnitud, la cual se puede cuantificar. Para efectos prácticos, las magnitudes se pueden clasificar en dos tipos: magnitudes básicas que se definen por sí solas, como por ejemplo, la longitud, masa y tiempo, y las magnitudes compuestas o derivadas que son una combinación de las básicas, como por ejemplo, la rapidez, aceleración, fuerza y energía. Para la cubicación de madera es fundamental conocer las magnitudes básicas, pues son ellas las que nos permiten conocer las dimensiones de cualquier objeto. Con el fin de determinar las magnitudes básicas se usa, como instrumento de medición, el metro o la regla.

Un bloque de madera se define por tres dimensiones: alto (llamado ‘espesor’ en muchos países), ancho y largo. Estas dimensiones, a su vez, se definen por unidades de medida. Dependiendo de si utilizamos una, dos o las tres dimensiones, tendremos:

- Medidas lineales, cuando se utiliza una sola dimensión para medir algo.
- Medidas de área, cuando se utilizan dos dimensiones para medir algo.
- Medidas de volumen, cuando se combinan las tres dimensiones.

#### 3.5.1 Medidas lineales

La dimensión es, esencialmente, el número de grados de libertad para realizar un movimiento en el espacio. Las dimensiones de un objeto son las medidas que definen su forma y tamaño, y cuando utilizamos una sola dimensión, le llamamos “medida lineal”. Las medidas lineales usadas con mayor frecuencia son de dos tipos:

**El sistema métrico** se utiliza para medir magnitudes como la longitud (distancia entre dos puntos), capacidad (cantidad de contenido en un recipiente), masa (cantidad de materia de un cuerpo determinado), superficie (magnitudes de dos dimensiones) y volumen (magnitudes de tres dimensiones). En el sistema métrico, la unidad básica de longitud es el metro: 1 metro (m) = 100 centímetros.

**El sistema inglés** es el conjunto de unidades no métricas para determinar masa, longitud, tiempo, fuerza (Husch et ál. 2003). Las unidades más empleadas en la medición de árboles y masas forestales son el pie y la pulgada:

1 pulgada = 2,54 cm  
 1 pie = 30,48 cm = 0,3048 m  
 1 pie = 12 pulgadas

Si, por ejemplo, tenemos una tabla de laurel que mide 4 m y 20 cm (4,20 m) y queremos saber cuántos pies de largo tiene esta tabla, lo primero que debemos hacer es convertir las dos diferentes unidades de medida (metros y centímetros) en una sola; esto es, 420 cm. Si sabemos que 1 pie = 30,48 cm, entonces ¿cuántos pies tenemos en 420 cm? Para determinarlo aplicamos una regla de tres, que consiste en multiplicar y dividir como se ilustra a continuación:



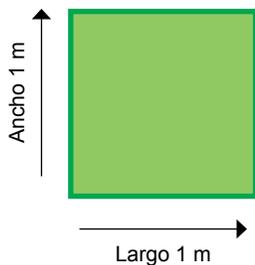
Si:  $1 \text{ pie} = 30,48 \text{ cm}$   
 $\hat{=} x? \text{ pies} = 420 \text{ cm}$

$$X = \frac{420 \text{ cm} \times 1 \text{ pie}}{30,48 \text{ cm}} = 13,78 \text{ pies}$$

Tenemos, entonces, que la tabla de laurel de 4,20 m (420 cm) tiene 13,78 pies de largo. Para fines prácticos, en mediciones maderables muchas veces se acostumbra a subestimar los decimales, en este caso se usa el valor = 13.

### 3.5.2 Medidas de área

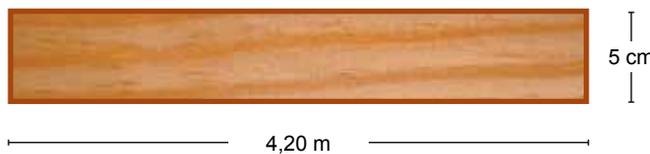
Para la determinación del **área** o superficie de un objeto se utilizan dos dimensiones: el largo y el ancho. La medida de un área se obtiene multiplicando las dos dimensiones del objeto. En el sistema métrico, el área es la longitud por la anchura.



En el ejemplo, tenemos el largo y ancho del cuadrado (dos dimensiones), que miden 1 m cada uno. Si multiplicamos ambas dimensiones, se tiene  $1\text{m} \times 1\text{m} = 1 \text{ m}^2$ , lo que indica que el cuadrado tiene un área de  $1 \text{ m}^2$ .

Las unidades de área del **sistema métrico** más utilizadas son el centímetro cuadrado ( $\text{cm}^2$ ), el metro cuadrado ( $\text{m}^2$ ), la hectárea (ha) y el kilómetro cuadrado ( $\text{km}^2$ ). En el **sistema inglés**, las unidades más empleadas son la pulgada cuadrada, el pie cuadrado, el acre y la milla cuadrada.

Siguiendo con el ejemplo de la tabla de laurel, si queremos saber cuál es el área de la tabla usando el sistema métrico, entonces se deben medir las dos dimensiones: 5 cm y 4,20 m.



Nuevamente, lo primero que se debe hacer es unificar las medidas a metros-metros o centímetros-centímetros; para esto necesitamos saber a cuántos metros corresponden los 5 cm de ancho que tiene nuestra tabla. Si, 1 m = 100 cm, entonces ¿cuántos metros tenemos en 5 cm? Para determinar esto realizamos una regla de tres igual que en el caso anterior.

$$\begin{aligned} \text{Si: } & 1 \text{ m} = 100 \text{ cm} \\ & \text{¿}x\text{? m} = 5 \text{ cm} \\ \\ X &= \frac{5 \text{ cm} \times 1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,05 \text{ metros} \end{aligned}$$

Una vez que se unifican las medidas se procede a estimar el área de la tabla:

Largo= 4,20 m

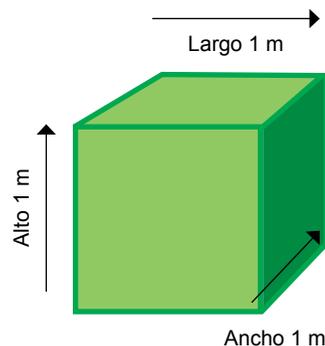
Ancho= 0,05 m

$$X = 4,20 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} = 0,21 \text{ m}^2$$

Entonces, el área de la tabla es de 0,21 m<sup>2</sup>.

### 3.5.3 Medidas de volumen

Para determinar el volumen de un objeto necesitamos utilizar las tres dimensiones del mismo. La medida del volumen se obtiene multiplicando las tres dimensiones del objeto: largo, ancho y alto. En el sistema métrico, el metro cúbico es la unidad fundamental de volumen; un metro cúbico equivale al volumen de un cubo que tiene un metro de lado. En el sistema inglés, la medida más utilizada es el pie cúbico.



Cada una de las dimensiones (largo, alto y ancho) de este cubo mide 1 m. Si multiplicamos las tres dimensiones, se tiene  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m} = 1 \text{ m}^3$ , lo que indica que el cubo tiene un volumen de 1 m<sup>3</sup>.

Siguiendo con el ejemplo de la tabla de laurel, ¿cuál es el volumen de esa tabla? Para ello debemos conocer o medir las tres dimensiones o lados de la tabla de madera: el largo, el ancho y el alto (espesor).



Nuevamente, lo primero que se debe hacer es unificar las unidades de medida que son diferentes, en unidades de medida iguales.

**PRIMERO:** de cm a m

Si:  $1\text{ m} = 100\text{ cm}$   
 $\text{¿x?} = 5\text{ cm}$

$$X = \frac{5\text{ cm} \times 1\text{ m}}{100\text{ cm}} = 0,05\text{ m (ancho)}$$

**SEGUNDO:** de pulgadas a cm

Si:  $1\text{ pulg} = 2,54\text{ cm}$   
 $1\text{ pulg} = \text{¿x? cm}$

$$X = \frac{1\text{ pulg} \times 2,54\text{ cm}}{1\text{ pulg}} = 2,54\text{ cm (alto)}$$

**TERCERO:** de cm a m

$$X = \frac{2,5\text{ cm}}{100\text{ cm}} = 0,0254\text{ m (ancho)}$$

$$X = 0,0254\text{ m de espesor}$$

Recordemos que:

$1\text{ m} = 100\text{ cm}$   
 $1\text{ pulg} = 2,54\text{ cm}$   
 $1\text{ pie} = 30,48\text{ cm}$   
 $1\text{ pie} = 12\text{ pulg}$

Tenemos entonces que la tabla de laurel tiene las siguientes medidas:

Largo = 4,20 m  
 Alto = 0,0254 m  
 Ancho = 0,05 m

Entonces la tabla de madera de nuestro ejemplo tiene un volumen de:

$$X = 4,20\text{ m} \times 0,05\text{ m} \times 0,0254\text{ m} = 0,005\text{ m}^3$$

### 3.6 Instrumentos utilizados en la cubicación de madera

Existen diversos instrumentos para la cubicación de madera; sin embargo, solo analizaremos los que se emplean con mayor frecuencia.

**Cinta métrica o flexómetro:** es un instrumento de medición indispensable para la medición lineal de madera. La cinta métrica tiene una escala graduada en metros, divididos en centímetros e incluso en milímetros; también puede subdividirse en pies y pulgadas.

**Cinta diamétrica:** en el caso de madera en rollo es el instrumento más práctico para la medición directa del diámetro. Generalmente tiene una escala graduada en metros, divididos en centímetros e incluso en milímetros.

Una vez obtenida la medición con la cinta métrica y diamétrica se procede a la estimación del volumen.



Figura 3.14. Instrumentos utilizados en la medición y cubicación de madera

**Regla Doyle:** es una regla que tiene una escala graduada en pies y pulgadas y sirve para medir el volumen de las trozas. Esta regla permite la medida directa tanto del diámetro, como del largo y el volumen de la troza (Ferreira 1995). Su uso es muy común y difundido en la cubicación de madera en troza debido a la rapidez con que se hacen las mediciones. Sin embargo, en trozas muy pequeñas o muy grandes, tiende a subestimar el volumen.

Las tablas de cubicación de madera son de uso común y se elaboran fácilmente por medio de una matriz diámetro vs. largo que da el volumen correspondiente.

Además de los instrumentos, se utilizan tablas que complementan la obtención del volumen. Estas son de uso común y se elaboran fácilmente por medio de una matriz diámetro vs. largo que da el volumen correspondiente (ver ejemplo en el Cuadro 3.2). Como se mencionó anteriormente, las tablas de volumen son muy útiles para determinar de manera rápida el volumen sin tener que hacer uso de las fórmulas o ecuaciones. Entre las tablas de cubicación de madera más comúnmente usadas están las dos siguientes:

**Tabla de cubicación Doyle:** es una tabla de rendimiento en la cual se encuentran los volúmenes que se obtienen en pies tablares de trozas de diferentes diámetros y largos (Ferreira 1995).

**Tabla de cubicación en metros cúbicos:** es una tabla de rendimiento en la cual se encuentran los volúmenes en metros cúbicos según diferentes diámetros y largos de los fustes y/o trozas.

### 3.7 Formas de medir el volumen de madera

La cubicación de madera en rollo o aserrada no es más que la medición de la misma, ya sea en el lugar de aprovechamiento, en el sitio de almacenamiento, en el lugar de procesamiento, en el vehículo de transporte o en el lugar de venta. A continuación veremos diferentes métodos utilizados en Centroamérica para la cubicación de madera en sus distintas presentaciones: madera en rollo (en pie o en trozas), madera procesada, leña, etc. Los procedimientos que se detallan

parten de criterios técnicos básicos y no discriminan entre especies. Más adelante en este mismo capítulo ofreceremos información básica sobre factores de conversión que relacionan las distintas unidades de cubicación utilizadas en los países de Centroamérica para realizar los cálculos necesarios y estimar el volumen de la madera.

### 3.7.1 Cubicación en metros cúbicos

#### Árbol en pie

Para saber la cantidad de madera que se puede obtener de un árbol en pie se utiliza, más que todo, el metro cúbico. Entre los pasos a seguir, primero debemos determinar el diámetro a la altura del pecho y la altura comercial del árbol; es decir la altura hasta donde el fuste esté recto o hasta donde se pueda aprovechar algún producto (Ver Fig. 1).

Si tenemos un árbol cuyas medidas son las siguientes:

$$dap = 50 \text{ cm} \quad Hc = 5 \text{ m} \quad Ff = 0,75$$

podemos determinar su volumen utilizando la fórmula viii:

Recordemos la fórmula de volumen:

$$V = g \times Hc \times Ff \quad \text{viii}$$

$$Vol = \frac{\pi \times (dap)^2 \times Hc}{4} =$$

$\pi = 3,1416$

Entonces,

$$Vol = \frac{3,1416 \times (0,5 \text{ m})^2 \times 5 \text{ m}}{4}$$

$$Vol = 0,98175 \text{ m}^3$$

Al aplicar el factor de forma (Ff), obtenemos:

$$0,98175 \times 0,75 = 0,7363 \text{ m}^3$$

$$Vol = 0,7363 \text{ m}^3$$

#### Madera en trozas

Cuando el árbol ya ha sido tumbado, se puede determinar su volumen de varias formas, aunque la más recomendada es la **fórmula de Smalian**. Esta fórmula permite estimar el volumen de una troza en metros cúbicos por medio del promedio del diámetro mayor (D) y el diámetro menor (d) de la troza (Ferreira 1995, Robertson 2000, Husch et ál. 2003). Para determinar el volumen se usa la siguiente fórmula:

$$Vol = \frac{\pi ((D+d)/2)^2 \times L}{4} \quad [\text{xv}]$$

La estandarización de unidades de medida, así como el cálculo de volúmenes de madera, tienen que ver con el detalle del inventario físico de la madera en el bosque y en lugares de acopio, el uso y manejo adecuado de las guías de transporte de madera en troza, la comercialización y demás movimientos y procesos a los que se somete la madera.

donde:

Vol = volumen en m<sup>3</sup>

L = largo de la troza en metros

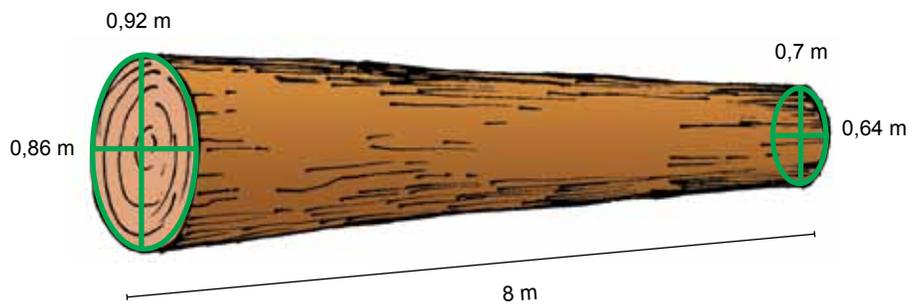
D = diámetro mayor de la troza en metros

d = diámetro menor de la troza en metros

$\pi = 3,1416$

Los diámetros (mayor y menor) se miden con cinta diamétrica; si se emplea cinta métrica deben ser medidos en cruz en ambos extremos de la troza en centímetros y sin corteza y luego se promedian.

Ejemplo:



Diámetros promedio

$$D \text{ mayor } \frac{0,92+0,86}{2} = 0,89 \text{ m}$$

$$D \text{ menor } \frac{0,7+0,64}{2} = 0,67 \text{ m}$$

Luego de obtener el diámetro promedio y el largo en metros, se utiliza la fórmula de Smalian (Fórmula xv), así:

$$Vol = \frac{\pi((0,89+0,67)/2)^2 \times 8}{4} = 3,82 \text{ m}^3$$

Otras formas en que se puede expresar la fórmula de Smalian son las siguientes:

$$V = \frac{g_1 + g_2}{2} \times l \quad [xv-a]$$

$$V = \left( \frac{D_1^2 \times \frac{\pi}{4} + D_2^2 \times \frac{\pi}{4}}{2} \right) \times l \quad [xv-b]$$

$$V = \left( \frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right) \times \frac{\pi}{4} \times l \quad [\text{xv-c}]$$

$$V = (D_1^2 + D_2^2) \times \frac{\pi}{8} \times l \quad [\text{xv-d}]$$

$$V = (D_1^2 + D_2^2) \times 0,3927 \times l \quad [\text{xv-e}]$$

### Madera aserrada

Se han desarrollado varias normas para cubicar madera aserrada, ninguna de las cuales es exacta pues el rendimiento depende de factores no considerados, tales como la calidad de la troza, el diámetro de la troza, el grueso de la sierra, el grueso de las tablas aserradas, el ancho, el largo mínimo, el método de aserrío, la habilidad del operador de la sierra, etc. Quirós et ál. (2006) afirman que cuando la madera ya está aserrada, es posible medir el rendimiento volumétrico; o sea, el volumen de productos maderables aserrados reales obtenidos por árbol o por troza.

Para la cubicación en **metros cúbicos** de madera aserrada se aplica la siguiente fórmula:

$$V = L * A * E \quad [\text{xvi}]$$

donde:

V = Volumen en metros cúbicos

L= Largo del producto en metros

A = Ancho del producto en metros

E = Espesor del producto en metros

Para desarrollar la fórmula debemos conocer el número de piezas aserradas y sus dimensiones. Supongamos que de una troza después de aserrada se obtuvieron 26 piezas de 4 m x 8" x 2" (cuatro metros de largo, ocho pulgadas de ancho y dos pulgadas de espesor)

Al aplicar la fórmula tendremos:

$$V = 4 \text{ m} * 0,2032 \text{ m} * 0,0508 \text{ m}$$

$$V = 0,04129 \text{ m}^3/\text{pieza} * (26 \text{ piezas})$$

$$V = 1,0735 \text{ m}^3$$

La medida de espesor y ancho en centímetros y largo en metros es muy utilizada con piezas de variadas dimensiones (cabería); por lo tanto con la fórmula siguiente es posible cubicar fácilmente cualquier cantidad o paquete de madera, sin importar las diferencias en dimensiones. Los resultados de la aplicación de la fórmula se ilustran en el Cuadro 3.4.

$$V = (L * A * E) / 10\,000 \quad [\text{xvii}]$$

donde:

- V = Volumen en metros cúbicos
- L= Largo del producto en metros
- A = Ancho del producto en centímetros
- E = Espesor del producto en centímetros

### 3.7.2 Cubicación en pies cúbicos y pies tablares

#### Árbol en pie

El pie tablar es una unidad de cubicación que forma parte del Sistema Inglés y es frecuentemente utilizada en Honduras y Nicaragua. Para conocer el volumen en pies tablares (pt) de un árbol en pie se utiliza el valor de 220 que corresponde al factor de conversión de 1 m<sup>3</sup> en rollo = 220 pt.

Siguiendo con el ejemplo anterior, el árbol cubicado en pie en metros cúbicos arrojó un valor de 0,7363 m<sup>3</sup>. Entonces, ¿cuántos pies tablares tendría ese árbol?

**Recordemos:**

1 m<sup>3</sup> de madera en rollo, equivale a 220 pies tablares de madera en rollo

Entonces  $1 \text{ m}^3 = 220 \text{ pt}$   
 $0,736 \text{ m}^3 = ? \text{ pt}$

$$X = \frac{0,736 \text{ m}^3 \times 220 \text{ pt}}{1 \text{ m}^3} = 161,92 \text{ pt}$$

$$X = 161 \text{ pt}$$

Cuadro 3.4. Ejemplo de cubicación de caberías en metros cúbicos

Espeor (cm)	Ancho (cm)	Largo (m)	Cantidad piezas	Volumen unitario (m <sup>3</sup> )	Volumen total (m <sup>3</sup> )
5,08	20,32	2,50	2	0,02581	0,05161
2,54	25,40	1,75	7	0,01129	0,07903
5,08	7,62	1,0	43	0,00387	0,1664
Total m <sup>3</sup>					0,2970

Fuente: Quirós et ál. (2006).

**Madera en trozas**

En cuanto a la cubicación en troza del volumen en pies cúbicos y pies tablares, Quirós et ál. (2006) afirman que la fórmula de Smalian es particularmente útil en Centroamérica porque permite cubicar en estas unidades. Para ello, hay que transformar los valores de diámetro y longitud a la unidad deseada. Si, por ejemplo, queremos el resultado en **pies cúbicos**, aplicamos la fórmula:

$$V = (D_1^2 + D_2^2) * 0,3927 * L \quad [\text{xv-e}]$$

donde:

V= Volumen en pies cúbicos

D<sub>1</sub>= Diámetro mayor de la troza en pies

D<sub>2</sub>= Diámetro menor de la troza en pies

L= Largo de la troza en pies

0,3927= constante, que corresponde también a  $\pi / 8$ ; ( $\pi = 3,1416$ )

1 pie cúbico = 12 pies tablares

1 pie tablar = 1''\*1''\*12''

1 pie = 0,3048 m

Al desarrollar la fórmula con el caso de la troza antes cubicada en metros cúbicos, para obtener ahora pies cúbicos tendremos que utilizar la fórmula de la siguiente forma:

$$V = (2,92^2 + 2,20^2) * 0,3927 * 26,24$$

$$V = (8,52 + 4,84) * 10,30$$

$$V = 13,36 * 10,30$$

$$V = 137,60 \text{ pies}^3$$

Ahora bien, si quisiéramos el resultado **en pies tablares** debemos multiplicar el valor de pies cúbicos por el valor de la constante = 12, como lo demuestra la fórmula siguiente:

$$V = (\text{Volumen en pies}^3) * 12 \quad [\text{xviii}]$$

donde:

V= Volumen en pies tablares

(V)= Volumen en pies cúbicos

12= Constante (1 pie<sup>3</sup> contiene 12 pt)

Al desarrollar la fórmula tendremos que:

$$V = 137,60 \text{ pies}^3 * 12$$

$$V = 1651 \text{ pt}$$

Este volumen es el total de pt en la troza sin descuentos por forma ni daños. Es importante indicar que en la comercialización tradicional no se utiliza esta forma de cubicación debido a que el comprador considera que no debe pagar por las mermas; la forma de pago comúnmente aceptada es por el rendimiento real de la troza una vez aserrada -aproximadamente 52% de rendimiento real-. Quirós (1998) encontró rendimientos de 52% en promedio para madera aserrada con motosierra y marco. Asimismo, la relación metro cúbico aserrado/pt

**Terminología importante en la cubicación de madera**

- **Madera en rollo:** se mide un rollo de madera; es decir, fustes o trozas, sin importar el lugar en donde se encuentren los productos.
- **Árbol en pie:** por estar en su posición y lugar de origen, considera la cubicación del segmento de madera en rollo que se ha determinado como aprovechable o comercial.
- **Madera en troza:** cubicación de los segmentos del fuste una vez que han sido talados y troceados.

En la región centroamericana, una forma frecuentemente usada en la compra y venta de madera es la determinación del volumen de la troza en pies tablares mediante una operación de multiplicación que considera el valor en metros cúbicos de la troza por el valor de 220 pt, el cual es el factor de conversión 1m<sup>3</sup> en rollo = 220 pt.

es de 424, y la de metro cúbico en rollo/pt es de 220; ambas relaciones de valores dan un rendimiento de 52%.

$$1 \text{ pt} = 0,00236 \text{ m}^3$$

$$424 \text{ pt} = 1 \text{ m}^3$$

### Madera aserrada

El pie tablar, como ya lo vimos, es una medida inglesa para la cubicación de la madera aserrada. La fórmula que se usa es la siguiente:

$$V = (E * A * L) / 12 \quad [\text{xix}]$$

donde:

V = Volumen en pies tablares

E = Espesor del producto en pulgadas

A = Ancho del producto en pulgadas

L = Largo del producto en pies

12 = Constante

Siguiendo con el ejemplo de la troza aserrada: antes dijimos que se obtuvieron 26 piezas de 4 m x 8" x 2" (cuatro metros de largo, ocho pulgadas de ancho y dos pulgadas de espesor); aplicando la fórmula tenemos:

$$V = (2 * 8 * 13,12) / 12 * 26$$

$$V = 17,49 * 26$$

$$V = 454,74 \text{ pt}$$

### 3.7.3 Cubicación en pulgadas maderas ticas

#### Madera en trozas

En Costa Rica se usa la medida de cubicación llamada 'pulgada maderera tica' (pmt) que consiste en una pulgada de espesor, por una pulgada de ancho, por una longitud de 4 varas:

$$1 \text{ pulgada} * 1 \text{ pulgada} * 4 \text{ varas} = 1 \text{ pmt}$$

donde:

$$1 \text{ vara} = 34 \text{ pulgadas} = 0,86 \text{ m}$$

$$1 \text{ pulgada} = 2,54 \text{ cm}$$

Este procedimiento de medición recibe varios nombres; en Costa Rica se le conoce también como 'método del mecate' debido a que la medición se acostumbra a hacer con una cuerda o mecate. Muñoz (2006) menciona que el procedimiento se deriva del sistema inglés, y que en Inglaterra se conoce como medida de cuerda Hoppus, mecate de Liverpool, medición británica, entre otros.

Este método funciona de la siguiente forma:

- La troza se mide por el extremo más delgado (generalmente).
- Los castigos por corteza, forma y diámetro se hacen de común acuerdo entre el vendedor y el comprador.

- Se mide el largo de la troza en varas, utilizando una varilla marcada o bien un mecate o cuerda que luego se compara con una cinta métrica en escala de pulgadas para determinar el largo real de la troza. También se utiliza directamente la cinta métrica en escala de pulgadas.
- Se mide el diámetro en pulgadas con un mecate o cuerda que luego se compara con una cinta métrica en escala de pulgadas para determinar la circunferencia real de la troza.
- Se calcula el rendimiento a partir de las equivalencias de 462 pmt/m<sup>3</sup> para madera aserrada y 362 pmt/m<sup>3</sup> para madera en rollo; con estas equivalencias se estima que un 78,4% del volumen de la troza se aprovechará como madera aserrada ( $362/462 = 0,784$ ).

La cubicación en rollo se hace con la fórmula:

$$V=(C/4)^2 * (L/4) \quad [xx]$$

donde:

V = Volumen en pmt

C = Circunferencia en pulgadas en el extremo menor de la troza

L = Largo en varas

1 vara = 34 pulgadas = 0,86 m

1 pulgada = 2,54 cm

4 = Constante

Sigamos con nuestro ejemplo. Recordemos que el diámetro menor de la troza era de 67 cm y que tenía un largo de 8 m; si aplicamos la fórmula xx a la misma troza tendremos que:

$$V=(82,86 / 4) ^2 * (9,30 / 4)$$

$$V=(20,71) ^2 * (2,325)$$

$$V= 428,90 * 2,325$$

$$V= 997,20 \text{ pmt}$$

Esta es una fórmula comercial de amplio uso en la comercialización de madera para obtener y procesar información sobre costos, rendimientos y mercadeo. Es importante destacar que la pmt y el sistema Doyle subestiman el volumen en rollo, pues la medición se hace por el extremo menor de la troza y estima solamente el bloque (*timber*) que saldría de la troza. Es decir, no toma en cuenta la madera residual de las costillas, producto de la conicidad de la troza. Por esta subestimación de la madera en rollo no es conveniente comparar los resultados con la cantidad de madera aserrada al final del proceso. Es evidente que estos dos métodos dejan en desventaja al vendedor de la madera en rollo (Quirós et ál. 2006).

Tanto la pulgada maderera tica como el sistema Doyle funcionan en contra del vendedor de la madera en rollo, pues subestiman el volumen en rollo al medirse la troza en su extremo menor.

### Madera aserrada

Para la cuantificación de la madera aserrada en pulgadas madereras ticas (pmt) se utiliza la fórmula:

$$V = E * A * L / 4 \quad [\text{xxi}]$$

donde:

V = Volumen en pulgadas madereras ticas

E = Espesor del producto en pulgadas

A = Ancho del producto en pulgadas

4 = Constante

L = Largo del producto en varas (en este caso 33" por vara debido a que se asume que en el proceso de aserrar y alistar (sanear) se pierde 1" de largo por vara. La medida en troza se sobredimensiona para prevenir inconvenientes en el proceso de acabado de la madera)

Entonces, las 26 piezas aserradas de 4 m x 8" x 2" rendirán:

$$V = 2 * 8 * 4,77 / 4 * 26$$

$$V = 19,08 * 26$$

$$V = 496 \text{ pmt}$$

Si lo que se desea es cubicar piezas cortas (cabería) en pmt, entonces se debe utilizar la fórmula de la manera siguiente. Esta fórmula es útil para calcular el volumen de piezas cortas no estándares y con dimensiones de ancho, espesor y largo en pulgadas.

$$V = E * A * L / 132 \quad [\text{xxii}]$$

donde:

V = Volumen en pulgadas madereras ticas

E = Espesor del producto en pulgadas

A = Ancho del producto en pulgadas

L = Largo del producto en pulgadas

132 = Constante, debido a la multiplicación de 4 varas x 33 pulgadas

$$1 \text{ pmt} = 0,00221 \text{ m}^3$$

$$462 \text{ pt} = 1 \text{ m}^3$$

Los resultados de la aplicación de la fórmula xxii aparecen en el Cuadro 3.5. Esta fórmula tiene la ventaja de que todas las dimensiones se expresan en la misma unidad y no hay que convertir la longitud a varas. Si los largos estuvieran expresados en varas, estos valores deben dividirse entre la constante 4 y el resultado se multiplica por el espesor y por el ancho en pulgadas para obtener la cubicación de la pieza.

### 3.7.4 Cubicación con el sistema Doyle

Este es el sistema de cubicación de madera en troza más usado en las negociaciones de madera en Centroamérica. Se usa el volumen de un cilindro como base, del cual se hacen deducciones por tapas, ancho de corte y contracción

Cuadro 3.5. Ejemplo de cubicación de caberías en pulgadas madereras ticas

Espesor (pulgadas)	Ancho (pulgadas)	Largo (pulgadas)	Vol. unit. (pmt)	Cantidad (piezas)	Vol. total (pmt)
2,00	8,50	99,0	12,75	12,00	153
2,00	8,00	99,0	12,00	1,00	12,00
2,00	7,50	99,0	11,25	2,00	22,50
2,00	9,00	82,5	11,25	2,00	22,50
2,00	8,00	82,5	10,00	2,00	20,00
2,25	7,50	82,5	10,55	2,00	21,10
2,00	8,00	66	8,00	2,00	16,00
1,00	8,00	66	4,00	14,00	56,00
3,00	8,00	49,5	9,00	2,00	18,00
Volumen total aserrado					341.10

Fuente: Quirós et ál. (2006).

(INAFOR 2004, Quirós et ál. 2006). La regla Doyle utiliza el diámetro menor para la estimación del volumen en pies tablares. Del diámetro menor se descuenta la corteza y cuatro pulgadas adicionales por tapas y orillas (D-4); con este procedimiento se busca definir el bloque inscrito dentro del círculo (*timber*). Posteriormente, para descontar el corte producido por la sierra al aserrar la madera y el encogimiento de la troza, se reduce el volumen del bloque final en un 25%.

El uso tan extendido del sistema Doyle para la cubicación de madera en troza se debe a lo simple del procedimiento y lo fácil de aplicarlo pues solo se necesita una cinta de medir.

El sistema Doyle funciona mejor y da buenos resultados con trozas entre 26” y 36” de diámetro. Para trozas de diámetros pequeños, el castigo de 4” reduce considerablemente las ganancias del vendedor de la madera en rollo. En trozas de diámetros grandes, en cambio, el castigo no afecta tanto.

La fórmula original es la siguiente:

$$(D-4)^2 * L / 12 * (1-0.25) \quad [xxiii]$$

aunque también se describe de otras formas:

$$(D - 4/4)^2 L \quad [xxiii-a]$$

$$(D- 4)^2 *L / 16 \quad [xxiii-b]$$

donde:

- V = volumen en pies tablares
- D menor = diámetro menor en pulgadas
- L = largo de la troza en pies
- 1, 0,25, 4, 12 y 16 = constantes

Veamos un ejemplo de aplicación del sistema Doyle en una troza de 5 pies de largo y 26" de diámetro menor. Para este ejemplo en particular, el espesor de la corteza es de 1" pulgada. El largo de la troza no incluye descuentos.

Entonces tenemos:

$$dc - (e \times 2) = dsc \quad [\text{xxiv}]$$

donde:

dc = diámetro menor con corteza

e = espesor de corteza

dsc = diámetro menor sin corteza

Al descontar la corteza del diámetro menor se tiene:

$$26 \text{ pulg} - (1 \text{ pulg} \times 2) = 26 - 2 = 24 \text{ pulg}$$

La fórmula xxv se incluye con fines ilustrativos únicamente. Esta se usa para calcular un descuento adicional por despunte, el cual se considera en algunos lugares; en la región centroamericana, sin embargo, no se aplica este tipo de descuento.

$$Ls - dp = Ld \quad [\text{xxv}]$$

donde:

Ls = largo de la troza sin despuntar

dp = descuento por despunte

Ld = largo de la troza despuntada

Entonces, utilizando la fórmula xxiii-b, el volumen de la troza es:

$$V = \frac{(24 \text{ pulg} - 4)^2 \times 5}{16} = 125 \text{ pies tablares}$$

Nótese que en este caso se aplicó el castigo por corteza y por costillas u orillas pero no por despunte.

### 3.7.5 Cubicación con el sistema Huber

Junto con el método de Smalian, el sistema de Huber es el que ofrece mayor exactitud en el cálculo del volumen de madera en troza (Husch et ál. 2003). El volumen se calcula en metros cúbicos, en función de un solo diámetro medido en el punto medio de la troza. La fórmula es la siguiente:

$$V = \frac{\pi}{4} (D_{\text{medio}})^2 \times L \quad [\text{xxvi}]$$

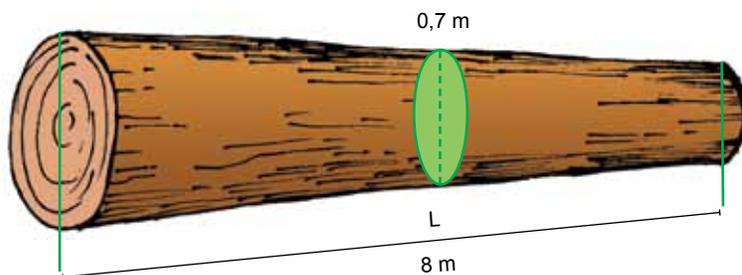
donde:

V = volumen en m<sup>3</sup>

D medio = diámetro medido en el punto medio de la troza, en metros

L = largo de la troza en metros

Consideremos, por ejemplo, la siguiente troza:



al aplicar la fórmula se tiene que el volumen de la troza es:

$$V = \frac{\pi}{4} (0,70)^2 \times 8 = 3,08 \text{ m}^3$$

### 3.7.6 Cubicación con el método pulgada vara

La pulgada vara se usa principalmente en Europa para medir madera aserrada. En Centroamérica, el método es conocido pero se usa poco. La fórmula empleada es la siguiente:

$$V = a \times l \times g \quad [\text{xxvii}]$$

donde:

- V = volumen en pulgada vara
- l = largo de la madera en varas
- g = grosor o espesor de la madera en pulgadas
- a = ancho de la madera en pulgadas

$$1 \text{ pv} = 0,00052 \text{ m}^3$$

### 3.7.7 Medición y cubicación de madera transportada

Los productos como leña y madera para pulpa se comercializan y transportan con frecuencia. El control o determinación del volumen apilado o transportado se puede realizar de dos formas. La más recomendable y exacta es la medición troza por troza pero, si no es posible, se hace una medición en estéreos, la cual permite estimar un volumen aproximado.

**Troza por troza:** a cada una de las trozas apiladas o transportadas se les mide el diámetro mayor y menor (método Smalian) y luego se suman todos los volúmenes. Este es el método más preciso para determinar el volumen de madera apilada o transportada. Sin embargo, es un método difícil de poner en práctica cuando se tiene una gran cantidad de madera.

Recordemos Smalian: 
$$Vol = \frac{\pi ((D+d)/2)^2 \times L}{4}$$

**Medición en estéreos:** este es el método más utilizado para determinar el volumen de madera transportada cuando se tienen varias trozas de diferentes dimensiones. Para la determinación del volumen utilizando el estéreo como unidad de medida, se debe considerar que no todas las trozas tienen el mismo largo y que tampoco la altura de la estiba es uniforme. Por lo tanto, primero se obtiene un promedio del largo de las trozas transportadas y luego un promedio de la estiba, a fin de mejorar la estimación del volumen. También es conveniente valorar el espaciamiento entre las trozas que se transportan. Según INAFOR (2004), con este método se puede aceptar un error del 10% de variación. Para determinar el volumen estéreo en troza que se transporta en camión se usa la siguiente fórmula:

$$Vol = A \times L \times h \times fe \quad [xxviii]$$

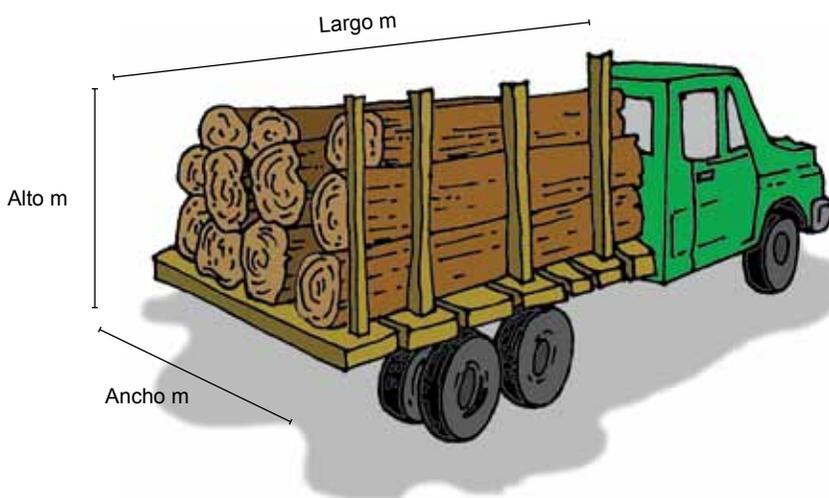
donde:

- Vol = volumen estéreo transportado, en m<sup>3</sup>
- A = ancho de cubrimiento de las trozas en el camión, en m
- L = largo promedio de las trozas, en m
- h = altura promedio de la estiba, en m
- fe = factor de espaciamiento (0,74)

La forma más recomendable y exacta de medir y cubicar madera apilada es la medición troza por troza pero, si no es posible, se hace una medición en estéreos, la cual permite estimar un volumen aproximado.

Debido a que la madera estibada o apilada genera espacios vacíos por la forma de las trozas (Fig. 3.15), el volumen obtenido se debe multiplicar por 0,74, para convertirlo a volumen sólido (INAFOR 2004). Consideremos, por ejemplo, un camionado de madera con las siguientes dimensiones: ancho = 2 m, alto = 2,20 m, largo = 4,10 m. ¿Cuál es el **volumen** de madera?

$$Vol = 2,20 \times 4,10 \times 2 \times 0,74 = 13,34 \text{ m}^3$$



**Figura 3.15.** Transporte y medición de madera en camión Tomado de INAFOR (2004).

### 3.7.8 Medición y cubicación de leña

El cálculo del volumen de madera puede variar ligeramente con las dimensiones y bastante con la forma de apilado; por esta razón, se suelen establecer normas específicas sobre dimensiones y métodos de apilado. Otros factores importantes son las irregularidades de las trozas, la variabilidad de los diámetros y el espesor de la corteza (INAB 2000, INAFOR 2004). Para determinar el volumen de leña, la unidad más utilizada es el metro cúbico estéreo. En términos generales, este método se basa en las tres dimensiones de la pila de leña: largo, ancho y alto (Fig. 3.15), y el volumen se calcula con la siguiente fórmula:

$$V: L * A * H * CA \quad [xxix]$$

donde:

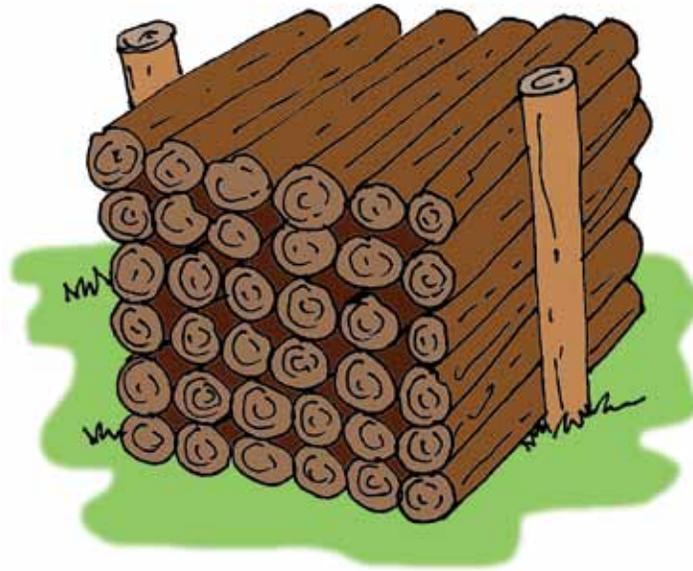
- V = Volumen cúbico de leña en m
- L = Largo de la pila de leña en m
- A = Ancho de la pila de leña en m
- H = Altura de la pila de leña en m
- CA = Coeficiente de apilado 0,66

El Proyecto Gobernanza Forestal (sf) recomienda diferentes coeficientes de apilado según el tipo de leña.

- para especies de eucalipto y coníferas: 0,740
- para especies nativas frondosas (troncos) 0,650
- para especies nativas frondosas (ramas): 0,500

En la región centroamericana se emplean unidades y/o medidas tradicionales para el apilado y comercialización de la leña. No obstante, la descripción y uniformización de estas unidades y/o medidas es una difícil tarea debido a que no existe una estandarización de términos, dimensiones, cantidades y forma de medición y cubicación; en consecuencia, la variabilidad entre una zona y otra -y ni qué decir de un país a otro- es muy alta. En América del Sur (Colombia) se emplean unidades y/o medidas utilizadas como la carreta, la marca, la cuerda y el manajo, según el Proyecto Gobernanza Forestal (sf).

- 1 carreta = 4 pies x 9 pies x 2,5 pies = 90 pies<sup>3</sup>
- 1 marca = 2 varas x 2 varas x 1 varas = 4 varas<sup>3</sup>
- 1 cuerda = 4 pies x 4 pies x 8 pies = 128 pies<sup>3</sup> apilado
- 1 manajo = 5 piezas de leña, con longitud de 1 vara



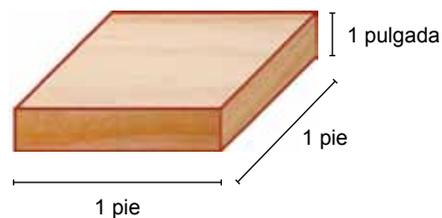
**Figura 3.16.** Pila de leña  
Tomado de INAFOR (2004)

### 3.8 Conversión y equivalencia de unidades de cubicación de madera

El volumen de un árbol o una pieza de madera se expresa generalmente en metros cúbicos; sin embargo, también se puede expresar en otras unidades de medida que dependen de las normas y/o costumbres en cada país. Las unidades más comúnmente usadas son el metro cúbico, pie cúbico, pie tablar y el estéreo (INAB 1999, INAFOR 2004). En el caso de Costa Rica la unidad más usada es la pulgada maderera tica.

El volumen de la madera puede calcularse en pie, en rollo (fustes, trozas, postes, varas) o aserrado (tablas, reglas, vigas, etc.). En todos los casos, las unidades mencionadas se pueden usar directamente o convertir de una unidad a otra: por ejemplo, los pies tablares (pt) se puede convertir a metros cúbicos ( $m^3$ ), o viceversa. Para la madera en rollo y aserrada se tienen **relaciones de equivalencias** entre las diferentes unidades de volumen.

**Concepto gráfico del pie tablar**



**Sabemos que:**

1 pie = 12 pulgadas  
 1 pt = 1 pulg. x 12 pulgadas x 12 pulgadas

**Entonces:**

1 pt = 1 pulg x 1 pie x 1 pie

**La conversión nos da:**

1 pt = 0,00236 m<sup>3</sup>

Volvamos ahora a nuestro ejemplo de la tabla de laurel. Recordemos sus medidas:

Largo = 4,20 m    Alto = 0,0254 m    Ancho = 0,05 m

y un volumen de

$$X = 4,20 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 0,0254 \text{ m} = 0,005 \text{ m}^3$$

Queremos ahora saber a cuántos pies tablares aserrados equivale esa medida. Entonces, lo único que tenemos que hacer es aplicar nuevamente una regla de tres:

**Recordemos:**

1 m<sup>3</sup> = 424 pies tablares aserrados

Entonces,  $\frac{1 \text{ m}^3}{0,005 \text{ m}^3} = \frac{424 \text{ pt}}{? \text{ pt}}$

$$X = \frac{0,005 \text{ m}^3 \times 424 \text{ pt}}{1 \text{ m}^3} = 2,12 \text{ pt}$$

Durante el proceso de aserrío se estima el rendimiento a partir de la diferencia entre el volumen de trozas que ingresa al aserradero y el volumen de madera aserrada que sale. Para esto es conveniente cubicar la madera en los dos momentos: al ingresar al aserradero y después del aserrado.

### 3.9 Determinación del rendimiento de madera

Durante el proceso de aserrío se estima el rendimiento a partir de la diferencia entre el volumen de trozas que ingresa al aserradero y el volumen de madera aserrada que sale. Para esto es conveniente cubicar la madera en los dos momentos: al ingresar al aserradero y después del aserrado (Quirós et ál. 2006). Este rendimiento se obtiene por medio de una razón o factor denominado factor de recuperación de la madera (FRM), el cual, multiplicado por cien, nos indica el porcentaje de rendimiento que se obtuvo al final del proceso de aserrío.

### Equivalencias de volúmenes a partir de diversas unidades utilizadas en Centroamérica

Un metro cúbico equivale a un metro de ancho por un metro de largo por un metro de alto.

- 1 metro cúbico = 423,84 pies tablares aserrados
- 1 metro cúbico = 462 pulgadas madereras ticas aserradas
- 1 metro cúbico = 220 pies tablares en rollo
- 1 metro cúbico = 362 pulgadas madereras ticas en rollo
- 1 metro cúbico = 35,32 pies cúbicos
- 1 metro cúbico = 1848,60 pulgadas vara aserradas

Un pie tablar equivale a un pie de ancho por un pie de largo por una pulgada de espesor.

- Un pie = 30,48 cm
- Una pulgada = 2,54 cm.

Un pie cúbico equivale a un pie de ancho por un pie de largo por un pie de espesor.

- 1 pie cúbico = 12 pies tablares

Una pulgada maderera tica equivale a una pulgada de ancho por una pulgada de espesor por cuatro varas de largo.

- 1 vara = 34 pulgadas

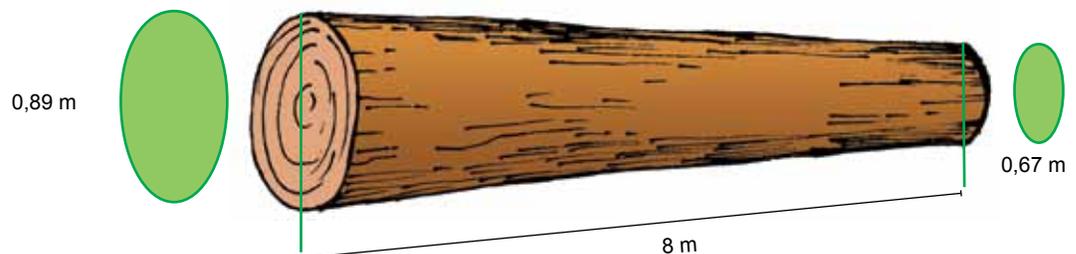
Una pulgada vara equivale a una pulgada de ancho por una pulgada de espesor por una vara de largo.

Un metro cúbico estéreo equivale a un metro de largo por un metro de ancho por un metro de alto. Esta es una medida para la cubicación de madera de pequeñas dimensiones, como la leña.

La relación del FRM con el sistema métrico decimal se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$FRM = \frac{\text{Vol de madera aserrada en m}^3}{\text{Vol. en troza en m}^3} \times 100 \quad [xxx]$$

El volumen en tablas generalmente se obtiene en pies tablares, por lo que hay que transformar el volumen de madera aserrada de pies tablares a metros cúbicos. El volumen de desperdicios se estima a partir de la diferencia del volumen en troza y el volumen de madera aserrada (Quirós et ál. 2006).



De acuerdo con la fórmula de Smalian, el volumen de la troza de nuestro ejemplo es de 3,82 m<sup>3</sup>. Después de aserrada, la troza produjo 593,6 pt. ¿Cuál es, entonces, el rendimiento de esa troza?

$$FRM = \frac{1,4 \text{ m}^3}{3,82 \text{ m}^3} \times 100 = 36,65\%$$

Si se conoce el número de piezas aserradas que se obtuvo y sus dimensiones, otra manera de determina el FRM es convirtiendo las dimensiones a centímetros y calculando luego en metros cúbicos. Supongamos que para la troza de nuestro ejemplo se obtuvieron 100 piezas de diversos anchos, largos y espesores, y que la suma de todo arrojó un total de 2,10 m<sup>3</sup>; entonces:

$$FRM = \frac{2,10 \text{ m}^3}{3,82 \text{ m}^3} \times 100 = 54,97\%$$

**Recordemos:**

1 m<sup>3</sup> = 424 pies tablares  
aserrados

**Entonces:**

1 m<sup>3</sup> = 424 pt  
X = 593,6 pt

$$\frac{x = 593,6 \text{ pt}}{424 \text{ pt}} = 1,4 \text{ m}^3$$

### 3.10 Bibliografía

Caillez, F. 1981. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con especial referencia a los trópicos. Roma, Italia, FAO. 92 p. (Estudio FAO: Montes 22/1. v.1).

Cairns, MA; Brown, S; Helmer, EH; Baumgardner, GA. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11

Camacho Calvo, M. (Comp.). 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical; guía para el establecimiento y medición. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 52 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 42).

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1994. Laurel (*Cordia alliodora*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica. 52 p. (CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 239).

Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry systems* 31: 99-116.

Ferreira, O. 1995. Manual de dasometría. Siguatepeque, Honduras, Esnacifor. 93 p.

Proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia. sf. Guía práctica para la cubicación de maderas. Bogotá, Colombia.

Husch, B; Beers, TW; Kershaw, JA. 2003. Forest mensuration. 4 ed. Hoboken, New Jersey, Wiley & Sons. 443 p.

INAB (Instituto Nacional de Bosques). 1999. Manual técnico forestal. Guatemala, INAB. 110 p.

INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2000. Guía práctica para la cubicación de madera. Guatemala, INAB. 17 p.

INAFOR (Instituto Nacional Forestal). 2004. Estandarización de unidades de medidas y cálculo de volúmenes de madera. Managua, Nicaragua, INAFOR. 22 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. In Penman, J; Gytarsky, M; Hiraishi, T; Krug, T; Kruger, D; Pipatti, R; Buendia, L; Miwa, K; Ngara, T; Tanabe, K; Wagner, F. (Eds.). IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. Hayama, Japan, IPCC. p. 113-116.

MacDicken, KG. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, USA, Winrock International. 87 p.

- Mirenem (Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas). 1994. Guías y procedimientos para la realización de planes de manejo. San José, Costa Rica. 110 p.
- Muñoz, F. 2006. Sistemas de medición utilizados en Costa Rica para calcular volumen de madera en troza y aserrada. *Revista Forestal Kurú* 3(7):1-7.
- Peam, kfw, GTZ, ACPC, DED (Proyecto Especial Alto Mayo, Cooperación Financiera Alemana, Cooperación Técnica Alemana, Asociación para la Conservación del Patrimonio de Cutivireni, Servicio Alemán de Cooperación Social). sf. Aprendamos a cubicar nuestra madera. Lima, Perú. 28 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, Costa Rica, IICA/BMZ/GTZ. 561 p. (Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible).
- Proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia. Guía práctica para la cubicación de maderas. Bogotá, Colombia
- Quirós, D. 1998. Utilización de motosierra con marco en La Tirimbina, Costa Rica: Determinación de costos, rendimientos y utilidades. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 8 p. (Manejo Forestal Tropical no. 2).
- Quirós, D; Venegas, G; Zúñiga, V. 2006. Aserrío *in situ*. In Orozco, L; Brumér, C; Quirós, D. (Eds.). Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 229-275 (Serie Técnica. Manual Técnico no. 63).
- Robertson, FD. 2000. Timber cruising handbook; Forest service handbook. Washington, USA, Department of Agriculture Forest Service. 237 p.
- Rojas, A. 1977. Dasometría práctica. Ibagué, Colombia, Universidad del Tolimal. 165 p.
- Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems* 68(2):143-150.
- Thirakul, S. 1991. Manual de dendrología del bosque latifoliado. Tegucigalpa, Honduras, COHDEFOR / Proyecto PDBL. 479 p.
- Vallejo, MI; Londoño, AC; López, R; Galeano, G; Álvarez, E; Devia, W. 2005. Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Bogotá DC, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 310 p. (Serie Métodos para Estudios Ecológicos a Largo Plazo no. 1).
- Van Laar, A; Akça, A. 2007. Forest mensuration; managing forest ecosystems. Dordrecht, The Netherlands, Springer. 377 p.
- West, P. 2009. Tree and forest measurement. 2 ed. Berlin, Germany, Springer Verlag. 190 p.

## 4. Interacciones en sistemas silvopastoriles

Muhammad Ibrahim y Danilo Pezo<sup>1</sup>

### 4.1 Introducción

Las interacciones entre las leñosas perennes y los animales pueden ser benéficas o perjudiciales para uno u otro de los componentes y pueden darse de forma directa, o mediada por el suelo y las pasturas. Entre las interacciones directas se pueden citar la protección que árboles o arbustos ofrecen a los animales contra las inclemencias del clima y el aporte de nutrientes a la dieta del animal mediante la provisión de fitomasa comestible (p.e. follaje, hojarasca, frutos e incluso corteza). Por su parte, el ganado puede ejercer efectos determinantes sobre los árboles y arbustos, especialmente en sus estadios juveniles, ya que provocan daños físicos al rascarse en los tallos, raspar la corteza o incluso al ramonear intensamente los nuevos brotes. Todo esto puede resultar eventualmente en una alta tasa de mortalidad de las leñosas.

Entre las interacciones mediadas por el suelo, se citan la provisión de nutrientes vía las excretas que depositan los animales y el efecto de compactación por pisoteo, el cual puede afectar directamente el crecimiento de las leñosas. La protección que las leñosas brindan a los animales contra el viento, los excesos de temperatura y la radiación solar son también interacciones mediadas que pueden incidir en el crecimiento y la calidad del forraje cosechado por los animales en pastoreo.

Muchos de los efectos positivos de los árboles en sistemas agroforestales han sido descritos por diversos autores; sin embargo, la competencia por recursos entre los componentes del sistema agroforestal es más una regla que la excepción (Jose et ál. 2004). En sistemas silvopastoriles (SSP), se han reportado efectos positivos de los árboles sobre el contenido de nutrientes del suelo (Escudero et ál. 1985, Gallardo et ál. 2000), la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Joffre y Rambal 1988, Cubera y Moreno 2007) y la producción de las pasturas, en términos de rendimiento, calidad, diversidad y estacionalidad (Puerto et ál. 1987, Pérez-Corona et ál. 1995). Estos estudios han demostrado

<sup>1</sup> Adaptado de Pezo e Ibrahim (1999).

que la fertilidad de los suelos en estos sistemas es en general baja y que los árboles juegan un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y, por ende, en el funcionamiento del sistema silvopastoril.

Es ampliamente aceptado que el uso del suelo puede influir en la distribución de los recursos, lo cual afecta la productividad y rentabilidad de los SSP. Sin embargo, ninguno de los estudios consultados ha determinado la importancia relativa de la facilitación y las interacciones competitivas entre el dosel de los árboles y el sotobosque en dichos sistemas. En tal sentido, es necesario un mejor conocimiento de la biomasa aérea y subterránea, así como de la distribución y utilización de los recursos por parte de diferentes tipos de vegetación en los sistemas silvopastoriles (Moreno et ál. 2007).

Cuando las leñosas perennes y las especies herbáceas comparten el mismo terreno, pueden presentarse relaciones de interferencia o de facilitación. La competencia por radiación solar, por agua y por nutrientes, así como las posibles relaciones alelopáticas entre componentes son relaciones de interferencia. En cambio, la fijación y transferencia de nutrientes y el efecto de protección contra el viento que pueden ejercer las leñosas perennes son ejemplos de relaciones de facilitación.

La magnitud de las interacciones entre leñosas perennes y pasturas, así como entre individuos en cada una de estas categorías es determinada por la disponibilidad de factores de crecimiento (luz, agua, nutrientes), los requerimientos específicos y las características morfológicas de los componentes, la población de plantas y su arreglo espacial y el manejo al que están sometidos.

En sistemas silvopastoriles, la presencia de las leñosas perennes puede contribuir a mejorar la productividad del suelo y, por ende, a favorecer el desarrollo del estrato herbáceo. Algunos de los mecanismos más importantes son la fijación de nitrógeno, el reciclaje de nutrientes, la mejora en la eficiencia de uso de nutrientes, el mantenimiento de la materia orgánica y el control de la erosión (Nair 1993). Sin embargo, en muchos sistemas de plantación donde se usan especies herbáceas como cobertura –y más aún si estas son leguminosas- esos mecanismos pueden funcionar en el sentido inverso (Reynolds 1995).

El efecto conjunto de los diversos mecanismos que inciden en el mejoramiento de la productividad del suelo puede ser tan fuerte que, en muchos casos, sobrecompensa el efecto perjudicial de la sombra. Bronstein (1984), por ejemplo, encontró que la producción del pasto estrella africana (*Cynodonn lemfuensis*) asociado con árboles de *Erythrina poeppigiana* sometidos a podas semestrales, fue tres veces superior a la obtenida en el monocultivo no fertilizado. En asocio con laurel (*Cordia alliodora*), el incremento fue del 55%. Además, estas diferencias resultaron en una mayor habilidad competitiva contra las malezas de hoja ancha.

A continuación evaluaremos los efectos más importantes que se dan con la combinación de pasturas y árboles en SSP.

La combinación de pastos y especies arbóreas en un mismo terreno causa efectos tanto positivos como negativos, directos e indirectos, de interferencia y de facilitación entre los componentes. Estos efectos inciden no sólo en la pastura sino también en el componente arbóreo.

## 4.2 Regulación del estrés climático

La presencia de leñosas perennes en sistemas ganaderos puede contribuir de manera directa a la productividad del sistema, pues las leñosas regulan o contrarrestan la intensidad de factores climáticos adversos para el animal; además, indirectamente crean un microclima que favorece el crecimiento y la calidad de las pasturas que los animales consumen (Torres 1987). En condiciones tropicales, la temperatura bajo la copa de los árboles es, en promedio, 2-3°C por debajo de la observada en áreas abiertas (Wilson y Ludlow 1991), aunque se han detectado diferencias de hasta 9,5°C bajo condiciones específicas de sitio (Reynolds 1995). Al bloquear parcialmente el paso de la radiación solar hacia la superficie corporal del animal, los árboles alivian la carga calórica del animal (Weston 1982) y reducen la incidencia de cáncer de piel y desórdenes de fotosensibilidad (Djimde et ál. 1989).

La reducción de la temperatura por la sombra de los árboles, aunque sea de 2-3°C, es extremadamente importante cuando la temperatura ambiental sobrepasa el límite superior del área de confort o zona de termoneutralidad. Fuera de esos límites, fallan los mecanismos de pérdida o emisión de calor que poseen los animales “homeotermos”; como resultado, se produce una elevación de la temperatura corporal que afecta la productividad animal (Djimde et ál. 1989). Cualquier baja en la temperatura ambiente favorece la eliminación de calor por evaporación y, por ende, la reducción de la carga calórica del animal. Adicionalmente, el viento y la ingesta de agua favorecen la eliminación de calor (Davison et ál. 1988, Cowan et ál. 1993).

Tanto la sombra artificial (Robinson 1983, Evans y Rombold 1984, Davison et ál. 1988) como la provista por los árboles (Daly 1984, Roberts 1984, Djimde et ál. 1989) contribuyen a reducir la temperatura ambiental, lo cual tiene implicaciones directas en la conducta, productividad, comportamiento reproductivo y supervivencia de los animales. A la vez, la sombra tiene efectos indirectos en la provisión de alimentos y la presencia de parásitos y vectores que diseminan enfermedades (Djimde et ál. 1989).

En términos generales, la contribución de los árboles a la prevención o reducción del estrés calórico de los animales es mayor a medida que se eleva la temperatura ambiental (Cowan et ál. 1993). Sin embargo, no siempre se han detectado efectos positivos de la sombra de los árboles sobre la productividad animal en clima caliente (Torres 1987, Reynolds 1995), aunque sí una mejora en el comportamiento de pastoreo de los animales.

Entre los efectos benéficos frecuentemente atribuidos a la sombra como reguladora del estrés calórico sobre el comportamiento y productividad de los animales en pastoreo, se citan los siguientes:

- Más tiempo dedicado a pastorear y rumiar.
- Mayor consumo de alimento.
- Disminución en los requerimientos de agua.

Una temperatura ambiental adecuada tiene implicaciones directas en la conducta, productividad, comportamiento reproductivo y supervivencia de los animales. Muchas especies arbóreas contribuyen a lograr esa temperatura adecuada.

- Incremento en la eficiencia de conversión alimenticia.
- Mayor ganancia de peso y de producción de leche y mayores rendimientos de lana (independientemente de la cantidad y calidad de alimento disponible).
- Mejoras en el comportamiento reproductivo del hato o el rebaño debido a una pubertad más temprana (mejores tasas de crecimiento en los animales jóvenes), mayor fertilidad (más alta tasa de concepción), alargamiento de la vida reproductiva útil, reducción en las pérdidas embrionarias, mejora en la libido y reducción en la proporción machos/hembras requerida para mantener un nivel adecuado de fertilidad en el hato.
- Reducción en la tasa de mortalidad de animales jóvenes (terneros, corderos) debido a una mejor condición y mayor producción de leche de las madres, menores dificultades al parto y mejoras en el peso al nacimiento.

Las leñosas también pueden proteger al animal contra el viento en áreas frías donde la temperatura ambiental esté por debajo del límite inferior de la zona de termoneutralidad. Esto tiene la ventaja adicional de que el animal no tenga que emplear parte de su energía para contrarrestar el frío y mantener su temperatura corporal y, entonces, la puede aprovechar para propósitos productivos (Cañas y Aguilar 1992). En los climas fríos, el efecto protector de las cortinas rompevientos no sólo se manifiesta en mejoras en la productividad, sino -lo que es más importante- en la supervivencia de los animales (especialmente los jóvenes), al disminuir la incidencia de neumonías (Alexander et ál. 1980, Djimde et ál. 1989).

### 4.3 Las leñosas perennes como recurso alimenticio

América Central es un área privilegiada en cuanto a la diversidad biológica de leñosas perennes con potencial forrajero.

América Central es un área privilegiada en cuanto a la diversidad biológica de leñosas perennes con potencial forrajero (Benavides et ál. 1992). Sin embargo, no es sino hasta hace pocas décadas que se iniciaron esfuerzos para el estudio sistemático de la calidad nutritiva, el manejo agronómico y el potencial de incorporación de estos forrajes en la dieta de los animales, como una forma de intensificación de la producción animal basada en forrajes (Pezo et ál. 1990, Benavides 1994).

El follaje, frutos e incluso la corteza de muchas leñosas perennes son parte importante de la dieta de los animales silvestres en su hábitat natural (Van Soest 1994). Para los animales domésticos, los árboles y arbustos son fuente tradicional de forrajes en diversos ecosistemas (Norton 1994). En los ecosistemas semiáridos y subhúmedos, especialmente, es donde las leñosas más contribuyen a la dieta durante el período seco, cuando los animales son manejados bajo pastoreo/ramoneo (Torres 1987).

En términos generales, la biomasa comestible de las leñosas perennes, en especial de las leguminosas, es rica en proteína cruda, vitaminas y la mayoría de minerales, excepto el sodio (Pezo et ál. 1990, Escobar et ál. 1996). Estos

contenidos pueden variar con la época del año, pero la magnitud de los cambios estacionales son bastante menores a los detectados en gramíneas, por lo que las diferencias se hacen más marcadas en el período seco (Torres 1987).

Quizás, el alto contenido de proteína cruda es el atributo más relevante del follaje de las leñosas perennes, especialmente de las leguminosas. Sin embargo, análisis detallados de la fracción proteica en *Erythrina* spp. y *Gliricidia sepium* han mostrado que el 75% está constituida por compuestos de nitrógeno no proteico (Kass et ál. 1993), lo cual puede resultar una limitante para su uso en monogástricos, pero no en rumiantes. Asimismo, una buena proporción del nitrógeno insoluble está ligado a la fibra detergente ácido y, en consecuencia, de baja disponibilidad para los animales que los consumen. Estas características son comunes en el follaje de muchas otras leñosas perennes.

La disponibilidad energética del follaje en muchas especies arbóreas y arbustivas es similar o superior a la observada en gramíneas tropicales (Torres 1987, Benavides 1994, Escobar et ál. 1996). Sin embargo, algunas muestran una baja degradabilidad ruminal, debido a los altos contenidos de taninos y otros metabolitos secundarios con efectos perjudiciales sobre la digestibilidad, el consumo y el comportamiento animal (Valerio 1994). Son conocidos los casos de, por ejemplo, los taninos en *Calliandra calothyrsus*, la mimosina en *Leucaena* spp., eritrodinas en el género *Erythrina*, cumarinas en *Gliricidia sepium*, saponinas en *Sesbania sesban* y oxalatos en algunas especies del género *Acacia*.

La magnitud de la respuesta al uso del follaje de leñosas perennes está condicionada, entre otros factores, por la calidad de la dieta base, la cantidad consumida, la condición corporal y el estado fisiológico de los animales (Norton 1994). En el caso de dietas típicas del período seco basadas en el uso de forrajes maduros o residuos de cosecha (caracterizados por altos niveles de fibra y muy pobres contenidos de proteína cruda), la suplementación con estos follajes incrementa el consumo de forrajes (Escobar et ál. 1996), evita la pérdida de peso, e incluso, logra ganancias de peso (Norton 1994). Además, se pueden obtener niveles aceptables de producción de leche, sin que las vacas tengan que hacer uso de sus reservas corporales (Camero et ál. 1993).

En contraste, cuando el forraje base no presenta limitaciones proteicas (>7,5% de proteína cruda), como es el caso de las pasturas durante el período de lluvias, los aumentos observados en la producción de leche por vaca han sido inferiores al 20% (Kass et ál. 1993). Sin embargo, un efecto sustitutivo parcial sobre el consumo de pasto puede redundar en incrementos en la carga animal (vacas/ha) mantenida por las pasturas y, por ende, una mayor producción por hectárea. Si el follaje de la leñosa perenne es de digestibilidad alta, como la morera (*Morus* spp.), el efecto aditivo de la suplementación puede ser más marcado (Oviedo 1995). Lo mismo ocurre si también se incluyen suplementos energéticos como melaza, pulidura de arroz, banano o granos (Kass et ál. 1993).

La disponibilidad energética del follaje en muchas especies arbóreas y arbustivas es similar o superior a la observada en gramíneas tropicales.

#### 4.3.1 Efecto del ramoneo sobre las leñosas

En los SSP en los que el ganado tiene acceso directo a las áreas donde se encuentran leñosas perennes palatables, los animales consumen sus hojas y frutos. Sin embargo, independientemente de si las leñosas son comestibles o no, los animales son fuentes potenciales de daño a los árboles porque raspan la corteza, se rascan en el tronco, se comen los brotes nuevos y pisotean las plántulas recién emergidas.

No obstante, la presencia de los animales en SSP también puede ejercer efectos favorables sobre las leñosas perennes, pues el consumo de los frutos puede constituirse en un mecanismo efectivo de dispersión de semillas (Somarriva et ál. 1985). Por otro lado, cuando los animales cosechan la vegetación herbácea están consumiendo un material potencialmente combustible, con lo que disminuye el riesgo de incendios. Además, es una forma de reducir costos de mantenimiento (Tajuddin et ál. 1991), pues en el manejo normal de plantaciones se hace necesario controlar la competencia ejercida por plantas invasoras.

Si bien los animales son fuentes potenciales de daño a los árboles, también pueden ejercer efectos favorables sobre las leñosas perennes.

En sistemas que involucran árboles forrajeros, la respuesta a la defoliación prácticamente sigue los mismos principios que regulan el uso racional de las pasturas. Así, es recomendable que siempre se deje área foliar remanente luego de una defoliación, ya que esto ayudará a prevenir que el árbol haga un uso muy intenso de sus reservas orgánicas durante el rebrote. En caso de que se use una intensidad de defoliación muy fuerte (poca o ninguna área foliar residual), se debe alargar el intervalo entre ciclos de uso para permitir que se restituyan las reservas utilizadas durante el rebrote (Mochiutti 1995). El primer corte o defoliación debe diferirse hasta que los tallos hayan alcanzado una altura de 1,0 a 1,5 m y los tallos hayan engrosado; con ello mejora la acumulación de reservas y el desarrollo radicular vigoroso (Ella et ál. 1991). Si se mantiene un patrón de defoliaciones fuertes y frecuentes, las plantas podrían morir (Stur et ál. 1994).

#### 4.3.2 Posibles daños sobre las leñosas y cómo evitarlos

El daño de los animales por consumo de follaje y raspado de la corteza en árboles y arbustos que no tienen propósitos forrajeros es más frecuente con caprinos, pero puede ocurrir también con bovinos y ovinos (Stur et ál. 1994). Estos daños son más críticos en los estadios juveniles de las leñosas, en los cuales es posible que el punto de crecimiento (meristemo apical) sea fácilmente consumido por estar al alcance de los animales (<2,0 m) y que el fuste no haya engrosado lo suficiente como para resistir la presión de los animales al rascarse (Chee y Faiz 1991, Reynolds 1995).

En sistemas silvopastoriles que incluyen árboles maderables o frutales, se han sugerido diferentes formas de protección para prevenir las pérdidas ocasionadas por la acción de los animales en pastoreo. Estas incluyen, entre otras prácticas, el manejo del pastoreo, el uso de repelentes y la protección mecánica. En el primer caso, se aconseja diferir el ingreso de los animales hasta que los árboles hayan alcanzado una altura tal que les permita evitar daños potenciales por defoliación de los meristemos apicales (Whiteman 1980); para la mayoría

de especies tropicales de rápido crecimiento, esto significa al menos los dos primeros años de la plantación. Además, se sugiere que en los primeros dos años de pastoreo se usen ovinos y recién al tercer año ingresen los bovinos al sistema (Lane 1981). Adicionalmente, el mantener un balance adecuado entre la disponibilidad de forraje y la carga animal ayuda a prevenir mayores daños por defoliación.

Una alternativa de bajo costo que ha mostrado efectividad en prevenir la defoliación de las leñosas en estadios juveniles, es pintar el fuste con excretas animales frescas (Payne 1985). También el uso de protectores mecánicos, como las cercas individuales, el alambre de púas y los sostenedores han demostrado efectividad en incrementar la supervivencia de los árboles (CATIE 1991), pero pueden resultar muy costosos en plantaciones de alta densidad (Pearson et ál. 1990). Su uso quizás pueda justificarse en sistemas de árboles dispersos en potreros cuando se trabaja con especies de alto valor comercial o cuando el propósito es la conservación de especies (Holmann et ál. 1992).

Para prevenir el daño que el pastoreo pueda causar a las especies arbóreas en SSP, se deben implementar medidas de protección; entre ellas, el manejo del pastoreo, el uso de repelentes y la protección mecánica.

#### 4.4 Efecto de la sombra sobre el estrato herbáceo

Ong y Huxley (1996) mencionan que existen diferentes tipos de interacciones entre árboles y cultivos. Por lo general, los efectos que comúnmente se le atribuyen a los sistemas agroforestales se determinan por observación directa o indirecta. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado al decidir si un efecto es consecuencia del SAF, o bien, si hay otras causas que generan confusión y resultados no certeros. En el Cuadro 4.1 se presenta una lista de los efectos que pueden ocurrir en las interacciones en sistemas agroforestales. Solo los seis primeros se pueden corroborar por medio de observaciones de campo; para los demás se hacen necesarios estudios adicionales para tener certeza de si el efecto es causado por el SAF o no. Los sistemas agroforestales también pueden tener efectos negativos, dependiendo de la combinación de especies, del manejo que se aplique y del lugar en donde se encuentre (Ong et ál. 1996).

Se debe tener mucho cuidado al decidir si un efecto es consecuencia del SAF, o bien, si hay otras causas que generan confusión y resultados no certeros.

**Cuadro 4.1.** Interacciones entre árboles y cultivos en sistemas agroforestales

Efectos	Evidencia de los efectos		Fuente
	Directa	Indirecta	
Incremento en la productividad	+	+	Ong (1991)
Mejoras en la fertilidad del suelo	+	+	Kang et ál (1990)
Reciclaje de nutrientes	+	+	Szott et ál (1991)
Conservación de suelos	+	+	Lal (1989), Wiersum (1991)
Mejoras al microclima	+	+	Monteth et ál. (1991)
Competencia	-	-	Ong et ál. (1991)
Alelopatía	0, ?	-	Rizvi (1991), Tian y Kang (1994)
Control de malezas	0	+	Rizvi (1991)
Sostenibilidad y estabilidad	0	+	Sánchez (1987), Young (1994)
Plagas y enfermedades	0	-, +	Zhan (1991)

Rao et ál. (1998) afirman que la cantidad y porcentaje de recursos que utilizan los componentes de un sistema agroforestal están determinados por la naturaleza y la intensidad de las interacciones entre ambos componentes. El mayor efecto de esta interacción se determina por la influencia del componente arbóreo sobre el otro componente y sobre todo el sistema. Esto se expresa en términos de cuánto afecta la composición del suelo, efectos microclimáticos, cantidad de recursos para su utilización y alelopatía. Algunas investigaciones han revelado que existen interacciones en sistemas simultáneos y secuenciales.

Gea et ál. (2009) afirmaron que el estrés biótico y abiótico mediado en las interacciones de los componentes del sistema agroforestal tiene efectos negativos y positivos, y que este efecto varía con la gradiente de estrés que se aplique sobre el componente. Tomemos, por ejemplo, un sistema agroforestal de pastos con árboles: en un año promedio, la sombra tendrá efectos positivos sobre el pasto especialmente cuando mejora la fertilidad del suelo; sin embargo, en un año seco cuando hay estrés por deficiencia de agua, la fertilidad del suelo no es aprovechada y, si se le suma la falta de luz por la sombra que dan los árboles, el crecimiento de la pastura sufrirá efectos negativos.

Las leñosas perennes por lo general tienen su copa por encima de las especies forrajeras, de manera que cuando crecen en el mismo terreno, las primeras interfieren el paso de la radiación solar al estrato herbáceo. Lo inverso puede ocurrir en las etapas iniciales del establecimiento de las leñosas perennes, en especial si se combinan con especies herbáceas de crecimiento rápido y erecto o con leguminosas que enredan (crecimiento voluble). Para evitar ese tipo de problemas, con frecuencia se difiere el establecimiento de las pasturas hasta que las leñosas hayan alcanzado una altura tal que puedan funcionar como especies dominantes sobre las forrajeras, o se intensifica el control de la competencia mediante chapias frecuentes.

#### 4.4.1 Producción de fitomasa

Shelton et ál. (1987) sostienen que el principal factor limitante para el crecimiento de las pasturas en sistemas silvopastoriles es el nivel de sombra ejercido por los árboles y arbustos. Si bien en la mayoría de situaciones, la tasa de crecimiento de las pasturas es menor cuando crecen bajo la copa de los árboles que a pleno sol (Home y Blair 1991), no todas las forrajeras responden de igual manera a la disminución en la incidencia de energía lumínica.

En términos generales, la sombra tiene un efecto más marcado sobre la tasa de crecimiento de las plantas forrajeras con ciclo fotosintético tipo C4 (gramíneas tropicales) que las tipo C3 (gramíneas de zona templada y leguminosas) (Sanderson et ál. 1997). No obstante, dentro de estos grupos se ha detectado variabilidad entre genotipos (Bazill 1987, Bustamante 1991, Reynolds 1995).

Hay menos información respecto a la tolerancia a la sombra en leguminosas arbóreas y arbustivas. Entre las especies identificadas por su tolerancia a los niveles intermedios de sombra se citan: *Gliricidia sepium*, *Calliandra calothyrsus*,

*Codario calyxgyrodes* y *Desmodium rensonii* (Oka Nurjaya et ál. 1991, Benjamin et ál. 1991). *Leucaena leucocephala*, *Sesbania grandiflora*, *Acacia vinosa* y *Albizia chinensis* han demostrado ser poco tolerantes a la sombra (Egara y Jones 1977, Benjamin et ál. 1991).

#### 4.4.2 Cambios morfológicos y fenológicos

La sombra también puede provocar cambios morfológicos y fenológicos en las especies forrajeras, los cuales funcionan como mecanismos de adaptación a la baja incidencia de radiación solar y la consiguiente reducción en el potencial fotosintético de las plantas. Para compensar esto, las especies forrajeras que crecen bajo sombra tienden a desarrollar hojas más largas pero menos gruesas (Sanderson et ál. 1997). Lo primero les ayuda a incrementar su habilidad competitiva para interceptar la luz, mientras que lo segundo les permite reducir su tasa de respiración (Wilson y Ludlow 1991). Es evidente que esos mecanismos de compensación no son suficientes, por lo que la actividad fotosintética total disminuye bajo condiciones de sombra.

Las plantas que crecen bajo sombra dan prioridad al desarrollo foliar, lo que afecta la disponibilidad de fotosintatos para otros órganos y procesos de la planta. Así, se ha evidenciado una reducción en el desarrollo radicular a medida que disminuye la radiación solar (Samarakoon et ál. 1990, Zelada 1996). Esto hace que las plantas que crecen bajo sombra tengan no sólo una menor habilidad para tolerar la sequía y captar nutrientes, sino también un anclaje más pobre. La sombra excesiva también afecta negativamente la formación de los órganos reproductivos, lo cual resulta en una floración tardía o, en muchos casos, la ausencia total de floración -y en consecuencia, no se producen semillas- (Oliveira y Humphreys 1986).

Además de los cambios morfológicos mencionados que resultan de la menor incidencia de luz, también ocurren otros en respuesta a la variación en la calidad de luz. La proporción de luz fotosintéticamente activa (entre 400-700 nm de longitud de onda) disminuye al pasar por el follaje de los árboles, lo cual promueve la elongación de los tallos e inhibe en cierto grado la formación de nuevos vástagos y ramificación en especies forrajeras (Wilson y Ludlow 1991, Zelada 1996). Estos efectos son más marcados en las especies con menor tolerancia a la sombra (Smith 1982).

En general, los cambios morfológicos y fenológicos que ocurren en las forrajeras que crecen bajo sombra tienden a comprometer su potencial de persistencia; por ello, el manejo del pastoreo o corte en SSP debe ser muy cuidadoso. Si se quiere prevenir la degradación de las pasturas es fundamental tener cuidado con la intensidad de defoliación, la cual puede ser regulada por medio de la carga o la presión de pastoreo. Las forrajeras de crecimiento rastrero, con rizomas o estolones, quizás tengan mayor potencial de persistir bajo esas condiciones pues son más tolerantes al sobrepastoreo esporádico. Sin embargo, estos aspectos necesitan ser investigados en ensayos de pastoreo (Wilson y Ludlow 1991).

Las plantas que crecen bajo sombra tienen no sólo una menor habilidad para tolerar la sequía y captar nutrientes, sino también un anclaje más pobre.

El uso de árboles en cortinas rompevientos es uno de los mejores ejemplos de efectos microclimáticos en un SAF, ya que las condiciones de crecimiento mejoran cuando se protegen los cultivos contra el viento o se modera la temperatura del aire.

#### 4.4.3 Efectos microclimáticos sobre el estrato herbáceo

##### Regulación del estrés térmico

El uso de árboles en cortinas rompevientos es uno de los mejores ejemplos de efectos microclimáticos en un SAF, ya que las condiciones de crecimiento mejoran cuando se protegen los cultivos contra el viento o se modera la temperatura del aire. Los efectos de los árboles dispersos sobre los cultivos dependen del cultivo mismo; para algunos de ellos, la sombra mejora su capacidad de crecimiento al modificarse las condiciones microclimáticas, aunque el exceso de sombra puede causar efectos contrarios (Ong y Huxley 1996).

La presencia de árboles en un SSP mitiga los extremos de temperatura que pueden afectar el estrato subyacente de vegetación herbácea. Si la temperatura a nivel del estrato herbáceo que crece debajo de la copa de árboles, difiere en apenas 2-3°C con respecto al campo abierto, su efecto sobre el crecimiento y la calidad de los forrajes es insignificante, excepto cuando la presencia de árboles previene daños por heladas (Ovalle y Avendaño 1988).

En términos generales, la temperatura óptima para el crecimiento de gramíneas tropicales (plantas C4) es de 35°C, y de 28-29°C para leguminosas tropicales (Whiteman 1980). Entonces, cuando la temperatura ambiente supera ese umbral, el efecto de ‘enfriamiento’ provocado por la presencia de árboles favorecerá la actividad fotosintética del estrato herbáceo, especialmente si se dan cambios de temperatura tan altos como los 9,5°C encontrados por Reynolds (1995) en plantaciones de cocoteros. Por otro lado, se espera que la calidad nutritiva de las pasturas que crecen bajo la copa de los árboles también se vea favorecida con la disminución de la temperatura. Estudios efectuados bajo condiciones controladas en cámara climática han demostrado que las menores temperaturas diurnas provocan una disminución en la fracción fibrosa del forraje y su grado de lignificación, lo cual resulta en una mayor digestibilidad (Pezo 1987).

##### Incremento en la humedad relativa

El incremento en la humedad relativa del aire es otra característica del microclima que se desarrolla bajo la copa de los árboles. Este incremento incide en un mayor riesgo de ataques por hongos a la vegetación herbácea que crece debajo de los árboles (Wong 1991, Reynolds 1995). Sin embargo, es posible que los genotipos adaptados a las condiciones de sombra hayan desarrollado mecanismos para tolerar el ataque de hongos y de insectos (Wilson y Ludlow 1991).

##### Amortiguamiento del estrés hídrico

En los SSP quizás sea más importante el efecto de los árboles sobre el balance hídrico del sistema (Wilson y Ludlow 1991). Cuando las leñosas y las pasturas comparten un mismo espacio, la menor temperatura en el estrato herbáceo bajo la copa de los árboles provoca una disminución en la tasa de pérdida de agua por transpiración a través de los estomas (Baruch y Fisher 1991). Además, se presenta una baja en la temperatura del suelo, lo cual resulta en menores

pérdidas de agua por evaporación (Wilson y Ludlow 1991). Estos efectos pueden retrasar la incidencia del estrés hídrico característico del periodo seco (Reynolds 1995) y adelantar el inicio del crecimiento a medida que mejoran las condiciones de humedad en el suelo (Djimde et ál. 1989). Sin embargo, no evita la competencia ni el eventual efecto negativo de uno sobre el otro, una vez que se presenta el déficit hídrico.

### Protección contra el viento

Cuando las leñosas forman parte de cortinas cortavientos, pueden presentarse efectos similares a los atribuidos a la presencia de árboles en potreros respecto al mantenimiento del balance hídrico. Se reconoce que el viento ejerce un efecto desecante sobre las pasturas pues incrementa la tasa de evapotranspiración en las mismas (Djimde et ál. 1989). Lynch y Marshall (1969) encontraron que la productividad de pasturas asociadas de *Phalaris tuberosa* y *Trifolium repens* se duplicó cuando se dispuso de protección contra el viento. Esto incidió en una mayor producción animal no sólo durante el período seco cuando se usaron cargas bajas y medias (15 y 30 ovinos/ha), sino también durante el periodo húmedo y con cargas más altas (38 ovejas/ha).

El viento también puede afectar directamente el crecimiento de las pasturas. Russell y Grace (1978) determinaron que la tasa de expansión de hojas, el índice de área foliar y la tasa de crecimiento relativo de *Festuca arundumacea* y *Lolium perenne* se redujeron a medida que se incrementó la velocidad del viento. Los mismos autores señalan que esto fue consecuencia directa del estímulo mecánico del viento, pues ni el potencial hídrico ni la tasa fotosintética de las hojas fueron afectados.

### Redistribución de la lluvia

Otra característica microclimática debajo de la copa de los árboles es la redistribución de la lluvia. Cuando las gotas de lluvia son interceptadas por la copa, una parte del agua se evapora a la atmósfera, otra parte cae a la superficie del suelo, otra parte queda retenida en el follaje y tronco, y el resto es canalizado hacia el suelo a través del eje principal del tallo y se infiltra en el área más cercana a la base del árbol (Torres 1987). Esto es más importante en las zonas áridas y semiáridas, pues esta concentración del flujo de agua es un factor que prolonga la fase vegetativa en las plantas que se encuentran en los sectores cercanos al tronco (Pressland 1973).

### Alelopatía

La alelopatía es una forma de interferencia de tipo químico que la pastura ejerce hacia la leñosa o viceversa. Este es un mecanismo de exclusión y dominancia diferencial que poseen ciertas especies de plantas, el cual es mediado por la secreción de compuestos químicos denominados “aleloquímicos” que pueden afectar la germinación, el crecimiento o la supervivencia de otras especies (Putnam 1988).

Cuando las leñosas forman parte de cortinas cortavientos, pueden presentarse efectos similares a los atribuidos a la presencia de árboles en potreros respecto al mantenimiento del balance hídrico.

En varias malezas se ha detectado actividad alelopática (Umaña y Akobundo 1989), pero también en algunas especies forrajeras y arbóreas (Reynolds 1995). Sin embargo, debe reconocerse que la acción alelopática es específica; es decir, no todas las especies son susceptibles a los aleloquímicos secretados por una especie determinada. Por ejemplo, Arosemena et ál. (1997) detectaron efectos alelopáticos del pasto ratana (*Ischae murnindicum*) sobre el maní (*Arachis pintoii*) y sobre el arroz (*Oryza sativa*), pero no sobre *Brachiaria brizantha*. El pasto gordura o calingero (*Melinis minutiflora*) ejerce efectos alelopáticos sobre *Eucalyptus saligna* y probablemente también sobre *Cordia alliodora* (Montagnini 1992). Por ello, cuando se diseñan SSP debe tomarse en cuenta la existencia de factores que indiquen posibles relaciones alelopáticas entre los componentes.

## 4.5 Materia orgánica y reciclaje de nutrientes

### 4.5.1 Vías de reciclaje de nutrientes

El reciclaje de nutrientes en SSP ocurre a través de la senescencia de biomasa aérea y de raíces, tanto de las leñosas como del estrato herbáceo. El material podado que se queda en el campo y las excretas que los animales depositan durante el pastoreo/ramoneo contribuyen al reciclaje de nutrientes. En SSP de baja productividad o sometidos a defoliación directa por los animales, la extracción de nutrientes es generalmente baja, por lo que el reciclaje es un mecanismo eficaz para prevenir una pérdida rápida del potencial productivo del sistema. En cambio, en sistemas con altos niveles de extracción, como los bancos forrajeros manejados bajo esquemas de corte y acarreo, la única forma de sostener la productividad es mediante la aplicación de altos niveles de fertilización (Oviedo 1995).

### 4.5.2 Bombeo de nutrientes

Las leñosas perennes poseen sistemas radiculares pivotantes que les permiten extraer nutrientes de sectores más profundos del perfil del suelo hasta donde no llegan las raíces de la vegetación herbácea. Por medio de la descomposición de hojas y ramas caídas, tales nutrientes se hacen disponibles para los forrajes. Esto se conoce como el efecto de bombeo de nutrientes: una de las ventajas más reconocidas de los sistemas agroforestales (Nair 1993). Sin embargo, tal efecto no ocurre en todas las condiciones, ya que depende de la morfología del sistema radicular de las especies que conforman el sistema, del tipo de material usado para el establecimiento de las leñosas y del manejo de defoliación que se les aplique. Por ejemplo, en bancos forrajeros de *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* establecidas por estacas y sometidas a defoliaciones frecuentes, los sistemas radiculares son bastante superficiales (Pezo e Ibrahim 1996); entonces, es más probable que haya competencia por nutrientes entre las raíces de las leñosas y las forrajeras herbáceas.

### 4.5.3 Factores que afectan el reciclaje de nutrientes

El potencial de reciclamiento de nutrientes a través de la biomasa senescente es mayor en suelos de alta fertilidad (Szott et ál. 1991). En alguna medida, el reciclaje es proporcional a la cantidad de biomasa aérea producida, pero puede ser modificado por la capacidad de retención de hojas, así como por el manejo de podas. La importancia del reciclaje a través de las raíces ha sido poco estudiado en el caso de las leñosas. Algunos autores aseguran que las leñosas se comportan de manera similar a las forrajeras herbáceas, en el sentido de que la muerte de raíces se acelera con la defoliación intensa y bajo condiciones de estrés climático (Humphreys 1991, Szott et ál. 1991, Nygren y Ramírez 1993).

La calidad del material senescente afecta también la tasa y magnitud de descomposición de la materia orgánica. En las zonas templadas, la tasa de mineralización de materia orgánica es una función de las relaciones carbono/nitrógeno (C/N) y lignina/nitrógeno en el material sujeto a descomposición (Keeney 1985). Este concepto aplica también en las zonas tropicales, pero puede ser modificado ante la presencia de niveles medios a altos de taninos y otros polifenoles (Palm 1995) que afectan negativamente la actividad de los organismos y enzimas responsables de la degradación de materia orgánica (Valerio 1994, Lascano et ál. 1995).

En términos generales, la relación C/N en el material senescente de gramíneas tropicales es alta, lo cual contribuye a una menor tasa de descomposición de materia orgánica y a una fuerte inmovilización del nitrógeno, con lo que queda poco disponible para las plantas (Keeney 1985). Las hojas de las leñosas perennes y de las leguminosas poseen niveles altos de nitrógeno, lo que tiene efectos positivos sobre la actividad biológica en el suelo y la mineralización y liberación de nutrientes a partir de la materia orgánica (Rao et ál. 1992). Esto sucede siempre y cuando el material senescente no contenga sustancias inhibitoras de la actividad de los organismos y enzimas responsables de la descomposición de la materia orgánica.

### 4.5.4 Mejora en la eficiencia del uso de nutrientes

La sombra moderada estimula la absorción de nitrógeno en las gramíneas, pero la inhibe en las leguminosas (Wong y Wilson 1980). En consecuencia, el crecimiento de las gramíneas se ve menos afectado en condiciones de baja radiación solar (Ludlow 1980). Incluso en suelos pobres en nitrógeno, algunas gramíneas cultivadas bajo sombra han producido más biomasa que las que crecen a pleno sol (Wilson y Wild 1991). Este efecto también explica el mayor contenido de proteína cruda detectado en plantas que se cultivan bajo sombra (Bronstein 1984, Bustamante 1991, Zelada 1996).

La menor temperatura del suelo bajo la copa de los árboles puede llegar a ser hasta 10°C más baja que en terreno abierto (Wilson y Wild 1991). Esto provoca una disminución en la tasa de mineralización de la materia orgánica, pero no necesariamente en la cantidad total de materia orgánica mineralizada (mineralización potencial). Belsky et ál. (1993) señalan que el microclima (humedad, temperatura) creado por la presencia de leñosas perennes en las pasturas es

Las hojas de las leñosas perennes y de las leguminosas poseen niveles altos de nitrógeno, lo que tiene efectos positivos sobre la actividad biológica en el suelo y la mineralización y liberación de nutrientes a partir de la materia orgánica.

El microclima (humedad, temperatura) creado por la presencia de leñosas perennes en las pasturas es más favorable para la actividad biológica de la micro y macrofauna, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

más favorable para la actividad biológica de la micro y macrofauna, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

## 4.6 Control de la erosión

### 4.6.1 Rol de las pasturas

Las pasturas de crecimiento rastrero o decumbente, cuando son bien manejadas, hacen una buena cobertura del suelo que previene la pérdida de suelo por erosión eólica e hídrica (Humphreys 1991). Esta es una de las razones por las cuales se han incorporado las pasturas como cultivos de cobertura en diversos sistemas de plantación que involucran leñosas perennes. Además, las pasturas rastreras compiten ventajosamente con las malezas y colaboran con la fijación de nitrógeno cuando la vegetación herbácea de cobertura incluye leguminosas (Whiteman 1980, Reynolds 1995). En sistemas ganaderos, los problemas de erosión, escorrentía y lavado de nutrientes regularmente se dan en praderas degradadas, de pobre cobertura, con amplios espacios de suelo desnudo y poco productivo. Los problemas son más críticos en áreas de pendiente, en suelos compactados con limitada capacidad de infiltración y en suelos con pobre estabilidad estructural.

Las pasturas rastreras compiten ventajosamente con las malezas y colaboran con la fijación de nitrógeno cuando la vegetación herbácea de cobertura incluye leguminosas.

### 4.6.2 Rol de las leñosas

En un SSP, al igual que en las pasturas, las leñosas también pueden contribuir a contrarrestar la erosión. De hecho, uno de los propósitos de la incorporación de leñosas en cortinas cortavientos es, justamente, aliviar o prevenir problemas de erosión eólica (Nair et ál. 1995). En otros sistemas donde los árboles están dispersos en las áreas de pastoreo, su contribución más efectiva se da en la amonización de la erosión hídrica.

Se afirma que los árboles contribuyen a controlar la erosión hídrica porque su copa atenúa el impacto de las gotas de lluvia que caen al suelo, lo que evita que las partículas más pequeñas sellen los espacios porosos y provoquen una reducción en la tasa de infiltración de agua (Gutteridge y Shelton 1994, Pezo e Ibrahim 1996). Quizás esto sea cierto en el caso de leñosas que presentan una copa densa y baja, como las cultivadas en bancos forrajeros sometidos a defoliación frecuente. En cambio, en árboles de copa alta (>20 m), con hojas grandes y anchas, las gotas pequeñas se juntan y forman gotas grandes que generan un fuerte impacto al caer al suelo y provocan efectos negativos mayores que si no hubiese árboles (Nair et ál. 1995).

La mayor contribución de las leñosas en el control de la erosión hídrica se da a través del incremento en el contenido de materia orgánica del suelo.

En la mayoría de situaciones, la mayor contribución de las leñosas en el control de la erosión hídrica se da, más bien, a través del incremento en el contenido de materia orgánica del suelo. El mantillo de hojas y ramas que se acumula sobre la superficie del suelo atenúa el impacto directo de la lluvia. Además, por acción de la mesofauna, esa materia orgánica es incorporada paulatinamente al suelo, y contribuye a mejorar la estabilidad del suelo y la capacidad de infiltración del agua (Nair et ál. 1995). En áreas de pendiente, este efecto puede ser ampliado

si las leñosas perennes son sembradas como barreras vivas de alta densidad (Faustino 1994).

#### 4.6.3 Intensidad y frecuencia de defoliación

El manejo del pastoreo, por medio del cual se regulan la intensidad (carga animal) y frecuencia de defoliación (duración de los periodos de descanso y ocupación), es particularmente crítico en aquellos SSP en donde las leñosas y las herbáceas comparten el mismo terreno, pues ello incide en la habilidad competitiva y el potencial de persistencia de las especies deseables (Shelton 1991).

Para prevenir la pérdida de especies deseables, la carga animal debe ajustarse a la oferta de especies palatables, antes que a la disponibilidad de biomasa total de las especies herbáceas (Humphreys 1991). Si se pretende favorecer la persistencia de las especies más apetecibles, el período de descanso debe ser más prolongado que el recomendado para sistemas exclusivamente pastoriles, ya que debe compensar, en cierta medida, la menor tasa de rebrote que muestran las pasturas que crecen bajo sombra (Wong 1991).

### 4.7 Pisoteo

#### 4.7.1 Efectos sobre las pasturas y leñosas

Los herbívoros que poseen pezuñas con bordes filosos (p.e. ovinos, bovinos, caprinos) son los que más provocan cortes o laceraciones a hojas y tallos en árboles jóvenes y nuevos vástagos. La presión ejercida por cualquier animal que pastorea causa el entierro parcial de la biomasa aérea, con enlodamiento de hojas y tallos en suelos muy húmedos (Pezo et ál. 1992). En casos extremos, pueden ocurrir daños en la corona y raíces de las especies herbáceas (Humphreys 1991) y en las raíces de algunas leñosas perennes, como el hule (*Hevea brasiliensis*).

El potencial de respuesta al pisoteo no es el mismo en todas las pasturas. Los mayores daños por pisoteo ocurren en estadios tempranos de crecimiento, ya que causa la muerte de vástagos por ruptura del hipocolito, o porque las raicillas quedan expuestas al desecamiento (Humphreys 1991). Las especies de crecimiento erecto son más afectadas por el pisoteo que las de crecimiento rastrero, aunque cuando estas últimas forman parte de SSP, es posible que los cambios morfológicos inducidos por la sombra (elongación de tallos, menor ramificación y reducción del desarrollo radicular) las hagan más susceptibles al pisoteo (Wilson y Ludlow 1991).

En las especies estoloníferas, el pisoteo moderado puede ejercer efectos favorables para la propagación vegetativa, al poner en contacto los entrenudos con el suelo húmedo. En el caso de las especies que producen semilla garnica, el pisoteo puede favorecer la emergencia de plántulas al enterrar la semilla y compactar el suelo (Humphreys 1991).

El pisoteo del ganado afecta tanto a los componentes vegetales del SSP como al suelo.

#### 4.7.2 Compactación del suelo

La presión estática ejercida por la pezuña de los ovinos y bovinos es de 0,8-0,95 kg/cm y de 1,2-1,6 kg/cm, respectivamente (Pearson e Ison 1987). Esta presión puede duplicarse cuando los animales se movilizan y es mayor a medida que se incrementa la velocidad de desplazamiento (Humphreys 1991). A mediano o largo plazo, la presión ejercida por las pezuñas de los animales reduce el volumen de macroporos en el suelo, lo que afecta negativamente la tasa de infiltración de agua, incrementa la resistencia a la penetración de las raíces y disminuye la disponibilidad de oxígeno para el sistema radicular (Pezo et ál. 1992). Tales efectos de la compactación no sólo afectan a las pasturas, sino también al componente de leñosas perennes (Adams 1975, Reynolds 1995).

Una amplia disponibilidad de biomasa aérea y radicular amortigua el efecto de compactación. En términos generales, el problema es más frecuente...

- en pasturas nativas que con especies mejoradas (Pinzón y Amézquita 1991);
- en suelos de textura arcillosa (Pinzón y Amézquita 1991) que en suelos con altos niveles de arena o de origen volcánico (Ibrahim 1994);
- en la vegetación herbácea de crecimiento erecto.
- cuando se incrementa la carga animal (Ramírez 1974, Ibrahim 1994);
- donde los animales tienden a concentrarse (debajo de la copa de los árboles, cuando hay pocos árboles dispersos en los potreros, o cerca de las fuentes de agua).

#### 4.8 Deposición de excretas

En un SSP, las excretas depositadas por los animales en pastoreo pueden ejercer cuatro tipos de efectos:

- contaminación del follaje
- dispersión de semillas
- reciclaje de nutrimentos
- medio nutritivo para el desarrollo de algunos patógenos.

En un SSP, las heces y orina depositadas por los animales en pastoreo pueden ejercer cuatro tipos de efectos: contaminación del follaje, dispersión de semillas, reciclaje de nutrimentos y medio nutritivo para el desarrollo de algunos patógenos. A continuación se describen los dos primeros; el tercero ya se analizó ampliamente en este mismo capítulo y el último se sale de la cobertura de este libro.

##### 4.8.1 Contaminación del follaje

El forraje contaminado por la deposición de excretas tiende a ser rechazado por los animales durante un período variable que depende de la precipitación y el tipo de excretas. Este efecto es más duradero con las heces que con la orina (Leaver 1985), aunque también depende de la presión de pastoreo aplicada a una pastura. El rechazo de los animales por el forraje contaminado no sólo se presenta en el follaje directamente impactado por las excretas, sino también en las áreas circundantes; de hecho, el área afectada puede ser de 6 a 12 veces mayor que el área "manchada" por las excretas (Pezo et ál. 1992).

##### 4.8.2 Dispersión de semillas

El papel de las excretas como vehículo para la diseminación de semillas puede ser benéfico o perjudicial, dependiendo de si las semillas dispersadas provienen de especies deseables o invasoras (Pezo et ál. 1992). La efectividad de este

mecanismo para la dispersión y la viabilidad potencial de las semillas tiene que ver con la especie animal que las ingiere, el tamaño y la dureza de la semilla, la calidad de la dieta y el tiempo que permanecen las semillas dentro de las excretas. Simao et ál. (1987) encontraron que la recuperación de semillas viables era mayor en las excretas de bovinos que en las de caprinos y ovinos. Además, encontraron que las semillas pequeñas y con tegumento más duro tenían mayor potencial para escapar intactas a su paso por el tracto gastrointestinal de los animales. Las dietas de mayor calidad pasan más rápido por el tracto y requieren de menor actividad de rumia, lo cual resulta en una mayor recuperación de semillas viables en las excretas.

En el caso particular de los sistemas silvopastoriles con bovinos, el microclima que se crea bajo la copa de los árboles quizás sea el factor más favorable para que las semillas dispersadas en las excretas puedan dar origen a nuevas plantas. Bajo condiciones tropicales, la temperatura en los parches de heces de bovinos expuestos a la acción directa del sol puede llegar hasta 70°C en el momento de mayor calor y de más alta actividad fermentativa, lo cual compromete la supervivencia de las plántulas (Simao et ál. 1987). En cambio, la menor temperatura y mayor humedad que caracterizan el ambiente debajo de la copa de los árboles podría atenuar estos efectos.

#### 4.9 Bibliografía

- Adams, SN. 1975. Sheep and cattle grazing in forest: A review. *Journal of Applied Ecology* 12: 143-152.
- Alexander, G; Lynch, JJ; Mottersheada, BE; Dondly, JB. 1980. Reduction in lamb mortality by means of grass windbreaks: results of a five years study. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 113: 329-332.
- Arosemena, E; Pezo, D; De la Cruz, R; Argel, P. 1997. Interferencia por alelopatía y competencia del pasto ratana (*Ischae muminidicum* (Hout) Merrill) sobre *Brachiaria brizantha* y *Arachis pintoii*. Turrialba, Costa Rica, CATIE (documento sin publicar).
- Baruch, Z; Fisher, MJ. 1991. Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de pasturas. In Lascano, CE; Spain, JM. (Eds.). *Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de investigación*. [6ª Reunión Comité Asesor RIEPT, Veracruz (México), noviembre 1988]. Cali, Colombia, CIAT. p. 103-142.
- Bazill, JAE. 1987. Evaluation of tropical forage legumes under *Pinus caribaea* var. hondurensis in Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 5: 97-108.
- Belsky, AJ; Mwonga, SM; Duxbury, JM. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannahs. *Agroforestry Systems* 24:1-20.
- Benavides, JE. 1994. La investigación en árboles forrajeros. In Benavides, JE. (Ed.). *Árboles y arbustos forrajeros en América Central*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 3-28. (Serie Técnica, Informe Técnico no 236. V. 1).
- Benavides, JE; Ramlal, H; Pezo, D. 1992. Feeding resources for goats in Central America and the Caribbean region. In Acharya, RR. (Ed.). *5th International Conference on Goats*. New Delhi, India, Indian Council of Agricultural Research. V. 2: Invited Papers, part 1. p. 134-142.
- Benjamin, A; Shelton, HM; Gutteridge, MC. 1991. Shade tolerance of some tree legumes. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). *Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop*. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990]. Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding No 32. p. 75-76.

- Bronstein, GE. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 110 p.
- Bustamante, J. 1991. Evaluación del comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.
- Camero, A; Vásquez, R; Alagón, G; Kass, M; Romero, F. 1993. Uso de *Erythrina poeppigiana* como suplemento a forrajes con bajo contenido proteico. In Westley, SB; Powell, MH. (Eds.). *Erythrina in the new and old worlds*. Paia, USA, Nitrogen Fixing Trees Association. p. 231-236.
- Cañas, R; Aguilar, C. 1992. Uso de la bioenergética en producción de bovinos. In Ruiz, ME. (Ed.). Simulación de sistemas pecuarios. San José, Costa Rica, IICA-RISPAL. p. 7-100.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1991. Sistemas silvopastoriles para el trópico húmedo bajo. Fase II Proyecto CATIE/MAG/IDA/CIID 3-P-89-0114. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Chee, YK; Faiz, A. 1991. Sheep grazing reduces chemical weed control in rubber. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990]. Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding No 32. p. 120-123.
- Cowan, RT; Moss, RJ; Kerr, DV. 1993. Northern dairy feedbase 2001. 2. Summer feeding systems. *Tropical Grasslands* 27: 150-161.
- Cubera, E; Moreno, G. 2007. Effect of single *Quercus ilex* trees upon spatial and seasonal changes in soil water content in dehesas of central western Spain. *Ann. For. Sci.* 64(3):355-364.
- Daly, JJ. 1984. Cattle need shade trees. *Queensland Agricultural Journal* 110:21-24.
- Davison, TM; Silver, BA; Lisle, AP; Orr, WN. 1988. The influence of shade in milk production of holstein-friesian cows in a tropical upland environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28:149-154.
- Djimde, M; Torres, F; Migongo-Bake, W. 1989. Climate, animal and agroforestry. In Reifsnnyder, WS; Darnhofer, TO. (Eds.). *Meteorology and agroforestry*. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 463-470.
- Egara, K; Jones, RJ. 1977. Effect of shading of seedling growth of the leguminous shrub *Leucaena leucocephala*. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 17:976-981.
- Ella, A; Blair, GJ; Stur, WW. 1991. Effect of age of tree legumes at the first cutting on subsequent production. *Tropical Grasslands* 25:275-280.
- Escobar, A. Romero, E; Ojeda, A. 1996. El mata ratón (*Gliricidia sepium*) un árbol multipropósito. Caracas, Venezuela. Fundación Polar-Universidad Central de Venezuela. 71 p.
- Escudero, A; García, B; Luis, E. 1985. The nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* & *Q. pyrenaica* ecosystems ("dehesas") of Spain. *Oecol Plant* 6:73-86.
- Evans, PT; Rombold, JS. 1984. Paraiso (*Melia azederach* var. Gigante) woodlots: an agroforestry alternative for the small farmer in Paraguay. *Agroforestry Systems* 2:199-214.
- Faustino, J. 1994. Conservación de suelos en parcelas de elevada pendiente con plantación de leñosas forrajeras y pasto. In Benavides, JE. (Ed.). Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 583-597. (Serie Técnica. Informe Técnico no 236. V. 2).
- Gallardo, A; Rodríguez-Saucedo JJ; Covelo, F; Fernández-Ale's, R. 2000. Soil nitrogen heterogeneity in a dehesa ecosystem. *Plant Soil* 222:71-82.
- Gea-Izquierdo, G; Montero, G; Cañellas, I. 2009. Changes in limiting resources determine spatio-temporal variability in tree-grass interactions. *Agroforestry Systems* 76:375-387.
- Gutteridge, RC; Shelton, HM. 1994. The role of forage tree legumes in cropping and grazing systems. In Gutteridge, RC; Shelton, HM. (Eds.) Forage tree legumes in tropical agriculture. Wallingford, UK, CAB International. p. 3-14.
- Holmann, F; Romero, F; Montenegro, J; Chana, C; Oviendo, E; Baños, A. 1992. Rentabilidad de los sistemas silvopastoriles con pequeños productores de leche en Costa Rica: primera aproximación. Turrialba 42:79-89.

- Home, PM; Blair, GJ. 1991. Forage tree legumes. IV. Productivity of leucaena/grass mixtures. *Australian Journal of Agricultural Research* 42: 1231-1250.
- Humphreys, LR. 1991. *Tropical pasture utilization*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Ibrahim, MA. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures for sustainable animal production in the Atlantic Zone of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Agricultural University.
- Joffre, R; Rambal, S. 1988. Soil water improvement by trees in the rangelands of Southern Spain. *Acta Oecol. Oec Plant* 9:405-422.
- Jose, S; Gillespie, AR; Pallardy, SG. 2004. Inter specific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61:237-255.
- Kass, M; Pérez, A; Rodríguez, G. 1993. Valor nutritivo de la biomasa comestible de diferentes especies y clones del género *Erythrina*. In Westley, SB; Powell, MH. (Eds.). *Erythrina in the new and old worlds*. Paia, USA, Nitrogen Fixing Trees Association. p. 217-222.
- Keeney, D. 1985. Mineralization of nitrogen from legume residues. In Barnes, RF; Ball, PR; Brougham, RW; Marten, GC; Minson, DJ. (Eds.). *Forage legumes for energy efficient animal production*. Springfield, USA, USDA/ARS. p. 177-182.
- Lane, IR. 1981. The use of cultivated pastures for intensive animal production in developing countries. In Smith, AJ; Gunn, RG. (Eds.). *Intensive animal production in developing countries*. London, UK, British Society of Animal Production. (Occasional Publication no. 4).
- Lascano, CE; Maas, B; Keller-Grein, G. 1995. Forage quality of shrub legumes evaluated in acid soils. In Evans, DO; Szott, LT. (Eds.) *Nitrogen fixing trees for acid soils [Proceedings of a workshop held in CATIE, Turrialba, July 3-8, 1994]*. Morriton, USA, Winrock International and Nitrogen Fixing Trees Association. p. 228-236.
- Leaver, JD. 1985. Milk production from temperate grasslands. *Journal of Dairy Research* 52: 313-344.
- Ludlow, MM. 1980. Stress physiology of tropical pasture plants. *Tropical Grasslands* 14: 136-145.
- Lynch, JJ; Marshall, JK. 1969. Shelter: a factor increasing pasture and sheep production. *Australian Journal of Science* 32:22-23.
- Mochiutti, S. 1995. Comportamiento agronómico y calidad nutritiva de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. bajo defoliación manual y pastoreo en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 144 p.
- Montagnini, F. (Ed.). 1992. *Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos*. San José, Costa Rica, Organización para Estudios Tropicales. 2 ed. 662 p.
- Moreno Marcos, G; Obrador, JJ; García, E; Cubera, E; Montero, MJ; Pulido, F; Dupraz, C. 2007. Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. *Agroforestry Systems* 70:25-40.
- Nair, PKR. 1993. *An introduction to agroforestry*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers-International Centre for Research in Agroforestry. 499 p.
- Nair, PKR; Kang, BT; Kass, DCL. 1995. Nutrient cycling and soil-erosion control in agroforestry systems. In Juo, ASR. (Ed.). *Agriculture and environment: bridging food production and environmental protection in developing countries*. p. 117-138. (ASA Special Publication no. 60).
- Norton, BW. 1994. Tree legumes as dietary supplements for ruminants. In Gutteridge, RC; Shelton, HM. (Eds.) *Forage tree legumes in tropical agriculture*. Wallingford, UK, CAB International. p. 192-201.
- Nygren, P; Ramírez, C. 1993. Phenology of N<sub>2</sub>-fixing nodules in pruned clones of *Erythrina poeppigiana*. In Westley, SB; Powell, MH. (Eds.). *Erythrina in the new and old worlds*. Paia, USA, Nitrogen Fixing Trees Association. p. 297-305.
- Oliveira, PRP; Humphreys, LR. 1986. Influence of level and timing of shading in seed production in *Panicum maximum* cv Gatton. *Australian Journal of Agricultural Research* 37:412-424.
- Oka Nurjaya, MG; Mendra, IX, Gusti, M; Oka, IN; Sukarji, W. 1991. Groserooi tree legumes umkroconuis in Bah. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). *Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop*. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990]. Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding no. 32. p. 70-71.

- Ong, CK; Black, CR; Marshall, FM; Corlett, JE. 1996. Principles of resources capture and utilization of light and water. *In* Ong, CK; Huxley, P. (Eds.). *Tree-crop interactions: A physiological approach*. Wallingford, UK, CAB International. p. 73-158.
- Ong, CK; Huxley, P. 1996. *Tree-crop interactions: a physiological approach*. Wallingford, UK, CAB International. 386 p.
- Ovalle, C; Avendaño, J. 1988. Interactions de la strate ligneuse avec la strate herbacée dans les formations d' *Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. 2. Influence de l'arbre sur quelques éléments du milieu: microclimat et sol. *Oecologia Plantarum* 9:113-134.
- Oviedo, F. 1995. Morera (*Morus* sp.) en asocio con poró (*Erythrina poeppigiana*) y como suplemento para vacas lecheras en pastoreo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 87 p.
- Palm, CA. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* 30:105-124.
- Payne, WJA. 1985. A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics. *Forest Ecology and Management* 12:1-36.
- Pearson, CJ; Ison, RL. 1987. *Agronomy of grassland systems*. Cambridge, UK, Cambridge University press. 169 p.
- Pearson, HA; Baldwin, VC; Barnett, JP. 1990. Cattle grazing and pine survival and growth in subterranean clover pastures. *Agroforestry Systems* 10:161-168.
- Pérez-Corona, ME; García-Ciudad, A; García-Criado, B; Vázquez-Aldana, B. 1995. Patterns of aboveground herbage production and nutritional quality structure on semiarid grasslands. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 26:1323-1341.
- Pezo, D. 1987. Nutritional diversity of maritime accessions of the virgata section of *Panicum*. Ph.D. Thesis. Raleigh, USA, North Carolina State University. 203 p.
- Pezo, D; Ibrahim, M. (Eds.). *Sistemas silvopastoriles; módulo de enseñanza agroforestal no. 2*. Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ. 2 ed. (Materiales de Enseñanza no. 44).
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. *Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos*. Presentado al 1er. Foro Internacional sobre Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales [Veracruz, México, 7-9 noviembre 1996]. Morelia, México, FIRA-Banco de México. 39 p.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Interacciones leñosa perenne – animal. *In* Pezo, D; Ibrahim, M. (Eds.). *Sistemas silvopastoriles; módulo de enseñanza agroforestal no. 2*. Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ. 2 ed. Materiales de Enseñanza no. 44. p. 15-97.
- Pezo, D; Kass, D; Benavides, J; Romero, F; Chaves, C. 1990. Potential of legume tree fodders as animal feed in Central America. *In* Devendra, C. (Ed.). *Shrubs and tree fodders for farm animals [Proceedings of a Workshop held in Denpasar, Indonesia, July 24-29, 1989]*. Ottawa, Canada, IDRC. p. 163-175.
- Pezo, D; Romero, F; Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. *In* Fernández-Baca, S. (Ed.). *Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano*. Santiago, Chile. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. p. 47-98.
- Pinzón, A; Amézquita, E. 1991. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas Tropicales (Col.)* 13(2): 21-26.
- Pressland, AJ. 1973. Rainfall partitioning by an arid woodland species (*Acacia aneura* F. Muell.) in south western Queensland. *Australian Journal of Botany* 21: 235-245.
- Puerto, A; García, JA; García, A. 1987. El sistema de ladera como elemento esclarecedor de algunos efectos del arbolado sobre el pasto. *Anu. CEBA Salamanca* 12:297-312.
- Putnam, AR. 1988. Allelopathy: problems and opportunities in weed management. *In* Altieri, M; Liebman, M. (Eds.). *Weed management in agroecosystems: ecological approaches*. Boca Ratón, USA, CRC Press. p. 78-86.
- Ramírez, A. 1974. Efecto del ciclo de uso, la presión de pastoreo y la fertilización nitrogenada en la producción de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* K. Schum) Pilger. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 118 p.
- Rao, IM; Ayarza, MA; Thomas, RJ; Fisher, MJ; Sanz, JI; Spain, JM; Lascano, CE. 1992. Soil-plant factors and processes affecting productivity in ley farming. *In* *Pastures for the tropical lowlands: CIAT contribution*. Cali, Colombia, CIAT. p 145-175.

- Rao, MR; Nair, PKR; Ong, CK. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38: 3-50.
- Reynolds, SG. 1995. Pasture-cattle-coconut systems. Bangkok, Thailand. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific. <http://www.fao.org/docrep/005/af298e/af298e00.htm>
- Roberts, G. 1984. Plotting a better future for lambs: a practical guide to providing shade. *Queensland Agric. Journal* (Jan.-Feb.): 25-26.
- Robinson, P. 1983. The role of silvopastoralism in small farming systems. *In Agroforestry systems for small-scale farmers* [Proceedings ICRAF - BAT Workshop, September 1982]. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 147-169.
- Russel, G; Grace, J. 1978. The effect of windspeed on the growth of grasses. *Journal of Applied Ecology* 16: 507-514.
- Samarakoon, SP; Wilsonm, JR; Shelton, HM. 1990. Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. *Journal of Agricultural Science* 114: 161-169.
- Sanderson, MA; Stair, DW; Hussy, MA. 1997. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. *Advances in Agronomy* 59:171-224.
- Shelton, HM. 1991. Productivity of cattle under coconuts. *In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990].* Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding no. 32. p. 92-96.
- Shelton, HM; Humphreys, LR; Batello, C. 1987. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: performance and prospects. *Tropical Grasslands* 21:159-167.
- Simao Neto, M; Jones, RM; Radcliff, D. 1987. Recovery of pasture seed ingested by ruminants.
- Smith, H. 1982. Light quality, photoperception and plant strategy. *Annual Review of Plant Physiology* 33:481-518.
- Somarriba, E; Vega, E; Detlefsen, G; Patiño, H; Twum-Ampofo, K. 1985. Pastoreo bajo plantaciones de *Pinus caribaea* en Pavones, Turrialba, Costa Rica. *El Chasqui* 11:5-8.
- Stur, WW; Shelton, HM; Gutteridge, RC. 1994. Defoliation management of forage tree legumes. *In Gutteridge, RC; Shelton, HM. (Eds.) Forage tree legumes in tropical agriculture.* Wallingford, UK, CAB International. p. 158-167.
- Szott, LT; Palm, CA; Sánchez, PA. 1991. Agroforestry in aid soils in the humid tropics. *Advances in Agronomy* 45:275-301.
- Tajuddin, I; Ng, KF; Chong, DT. 1991. The potential and prospects for improving forages under rubber in Malaysia. *In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990].* Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding no. 32. p. 130-133.
- Torres, F. 1987. Role of woody perennials in animal agroforestry. *In Zulberti, E. (Ed.). Professional education in agroforestry.* Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 266-316.
- Umaña, RP; Akobundo, IO. 1989. Effects of tropical weeds on yield in white yam (*Dioscorea rotundata* Poir). *Weed Research* 29:1-6.
- Valerio, S. 1994. Contenido de taninos y digestibilidad in vitro de algunos forrajes tropicales. *Agroforestería en las Américas* 1(3):10-13.
- Van Soest, PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Corvallis, USA, Cornell University. 2 ed. 479 p.
- Weston, RH. 1982. Animal factors affecting intake. *In Hacker, JB. (Ed.). Nutritional limits to animal production from pastures.* Farmham Royal, UK, CAB International. p. 183-198.
- Whiteman, PC. 1980. Tropical pasture science. Oxford, UK, Oxford Univ. Press, CABI. 392 p.
- Wilson, JR; Ludlow, MM. 1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. *In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990].* Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding no. 32. p. 10-24.
- Wilson, JR; Wild, DWM. 1991. Improvement of nitrogen nutrition and grass growth under shading. *In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990].* Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding no. 32. p. 77-82.

- Wong, CC. 1991. Shade tolerance of tropical forages: a review. *In* Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops; Proc. of a Workshop. [Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 June, 1990]. Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceeding no. 32. p. 64-69.
- Wong, CC; Wilson, JR. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. *Aust. J. Agric. Res.* 31:269-285.
- Zelada, EE. 1996. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la Zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 88 p.

## 5. Análisis financiero y económico de la producción de madera en sistemas agroforestales

Justine Kent, Tania Ammour

### 5.1 Introducción

En Mesoamérica, es un hecho ampliamente aceptado que los sistemas agroforestales (SAF) son rentables para los productores bajo diferentes condiciones y fines económicos. Los SAF más comunes en la región permiten que los pequeños productores cumplan con las necesidades básicas de sus familias; únicamente cuando se hayan satisfecho las necesidades familiares, se busca vender el excedente en los mercados locales o nacionales. Los estudios realizados demuestran que los SAF con producción destinada al mercado son rentables pero, a la vez, son de mayor riesgo que los sistemas de subsistencia debido a los problemas inherentes a la demanda y precios de mercado (Ramírez et ál. 2001). Los SAF más ampliamente aceptados y adoptados por los productores en Mesoamérica han sido el taungya, cultivos perennes bajo sombra, árboles en contornos y árboles en línea y, en menor grado, cultivos en callejones, huertos caseros, cortinas rompevientos, árboles dispersos con cultivos y en pasturas (Current et ál. 1995). Estos mismos autores destacan la necesidad de profundizar más con estudios sobre tamaño de finca, acceso a mercados y contextos sociales, para entender mejor los factores de adopción de diferentes tipos de SAF.

Dentro de este contexto y para la toma de decisiones prácticas a nivel de campo, es imprescindible evaluar la rentabilidad de los SAF bajo diferentes condiciones. Debemos, entonces, analizar los costos e ingresos de un sistema para recomendar a los agricultores productos y técnicas de producción que sean realistas y alcanzables. Un buen análisis financiero/económico debe evaluar los insumos, materiales, mano de obra, productos y sus precios en el contexto de las cadenas de valor maderables existentes y potenciales. Tal análisis permitirá definir cuáles especies son los más adecuadas y cuándo y cómo se deben incorporar y, además, evaluar las ventajas y desventajas de prácticas de manejo en los SAF. Dada la importancia de la parte financiera en la toma de decisiones, los propósitos de este capítulo son:

Un buen análisis financiero/económico debe evaluar los insumos, materiales, mano de obra, productos y sus precios en el contexto de las cadenas de valor maderables existentes y potenciales.

- Establecer las bases conceptuales del análisis financiero/económico en un sistema agroforestal.
- Describir metodologías y herramientas utilizadas para llevar a cabo dicho análisis financiero/económico y analizar un sistema agroforestal en cuanto a:
  - el rendimiento/rentabilidad del sistema de producción desde el punto de vista del productor, empresa, o institución
  - la estabilidad de generación de ingresos en el tiempo
  - el riesgo financiero que enfrenta el productor, empresa o institución.

## 5.2 Características financieras y económicas relevantes de un sistema agroforestal

Los sistemas agroforestales cuentan con algunas ventajas en cuanto a aspectos financieros y económicos:

- **Generan ingresos inmediatos:** los productos agropecuarios ayudan a minimizar los costos incurridos al inicio de la rotación del componente forestal.
- **Permiten el uso más eficiente del espacio:** una misma unidad de espacio se puede aprovechar para producir más productos y servicios, lo cual puede resultar en mayor rentabilidad por unidad de área.
- **Proveen una diversidad ecológica mayor:** la diversidad de especies, protección de suelos y fertilización de suelos, entre otras ventajas, redundan en mayores servicios y bienes económicos por unidad de área.
- **Mayor flexibilidad económica:** para manejar el riesgo económico y ecológico se deben incorporar diferentes opciones de manejo de cultivos según las necesidades del sitio. Diversas actividades productivas permiten generar ingresos en momentos diferentes, según condiciones diferentes de mercado (la diversificación de productos permite reducir riesgos internos y externos).

En un sistema agroforestal, la actividad agropecuaria genera ingresos netos mucho antes que el componente forestal, lo que permite la complementariedad económica entre los componentes del sistema.

Una ventaja importante de los cultivos agrícolas anuales, en comparación con los forestales, es la generación de ingresos desde el inicio del período de producción del sistema agroforestal (Fig. 5.1). Dependiendo del cultivo, los productos agrícolas se pueden aprovechar desde el primer año. En el caso de los productos forestales es necesario invertir insumos y esfuerzo al inicio de la rotación para asegurar el crecimiento adecuado del árbol. El ingreso neto positivo se logra cuando el árbol alcanza su edad de aprovechamiento (a veces más de 10-20 años). En un sistema agroforestal, la actividad agropecuaria genera ingresos netos mucho antes que el componente forestal, lo que permite la complementariedad económica entre los componentes del sistema.

A pesar de la ventaja económica considerable, hay que reconocer que los SAF son sistemas complejos por varias razones (Godsey 2010):

- **Objetivos múltiples:** diferentes cultivos y/o sistemas pecuarios y arbóreos efectivos en rendimiento/rentabilidad según la sinergia entre los componentes del sistema agroforestal.

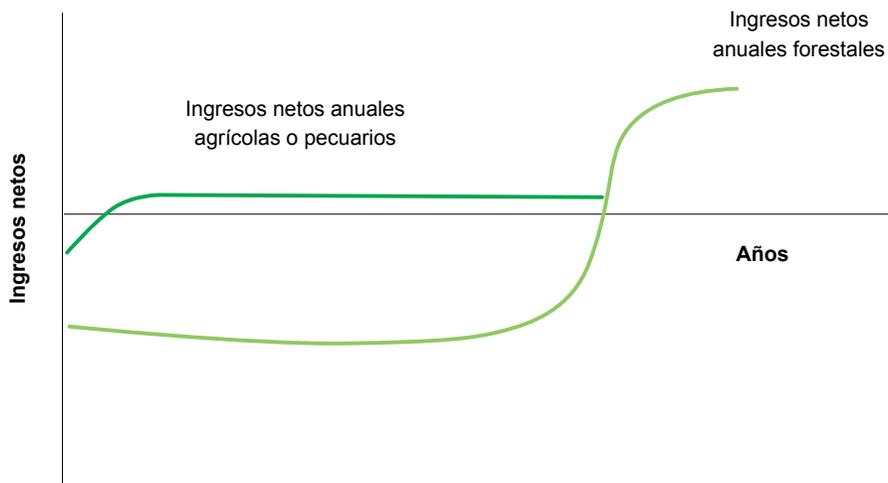


Figura 5.1. Ingresos netos de cultivos agrícolas vs. ingresos netos forestales en el tiempo

- **Entradas/salidas múltiples:** el manejo con fines múltiples implica acciones compartidas complementarias, rendimientos menores, etc.
- **Diferentes plazos de planificación según tipo de bien o servicio y tiempo:** se tienen diferentes esquemas de manejo (anuales, perennes, árboles).

#### Entonces, ¿para qué se hace un análisis financiero/económico?

En un primer momento (primera aproximación), la información del análisis financiero nos permite tomar decisiones rápidas y parciales acerca de la viabilidad de la alternativa estudiada, a partir de los costos operativos más tangibles. En un segundo momento, se puede elaborar un análisis más exhaustivo que permita identificar el nivel de rentabilidad en el tiempo, incluyendo las inversiones necesarias y la *amortización*<sup>1</sup> del financiamiento requerido. Los análisis financieros/económicos deben permitir el ajuste de los parámetros inicialmente planteados y que sirvieron de base para elaborar esos análisis. En este sentido, el flujo de información desde y hacia los resultados financieros/económicos debe ser casi simultáneo. Las metodologías financieras/económicas permiten evaluar la rentabilidad en diferentes contextos (Cuadro 5.1).

Los análisis financieros/económicos deben permitir el ajuste de los parámetros inicialmente planteados y que sirvieron de base para elaborar esos análisis.

**El análisis financiero tiene como objetivo definir la rentabilidad de la unidad seleccionada** (rubro, componente o sistema) desde el punto de vista de los inversionistas (productor, empresa, institución, etc.). Se analizan los ingresos, los costos y la rentabilidad de las unidades individuales

<sup>1</sup> Se entiende por 'amortización' el pago progresivo de un saldo. Este factor permite calcular el valor al que crecerá un monto constante depositado al final de cada año, al término de un período, a una tasa de interés determinada (Gittinger 1982).

$$C * i / ((1 + i)^n - 1)$$

donde C = Capital, i = tasa de interés, n = número de años.

Cuadro 5.1. Propósitos de los análisis financieros y económicos

Tipo de análisis	Propósito
Situación actual	Analizar si la actividad actual es rentable
Proyecciones	Evaluar si un proyecto/idea nuevo sería rentable o no en comparación con la actividad actual
Costo / efectividad	Permite comparar costos entre varias opciones para escoger la opción más eficiente
Con y sin mejoramientos	Evaluar si vale la pena invertir en un tratamiento/mejoramiento técnico
Períodos diferentes	Comparar diferentes actividades con rotaciones/períodos de cosechas diferentes para evaluar su rentabilidad relativa
Impacto agregado	Agregar resultados del nivel micro a nivel macro para ver el efecto a nivel regional o nacional

considerando los factores de producción (tierra, capital, trabajo) y la producción a precios de *mercado*<sup>2</sup>, aún si los productos no se intercambian en el mercado (Imbach 1987, Gregersen y Contreras 1979). En el caso de sistemas agroforestales de pequeños productores, para la toma de decisiones es imprescindible tomar en cuenta los costos e ingresos **NO** en efectivo.

#### Preguntas importantes en un análisis financiero:

- ¿El producto, componente, o sistema es rentable para el productor/inversionista (ingresos mayores que los costos)?
- ¿Cómo se distribuyen los costos y beneficios<sup>3</sup> entre el tiempo y entre los diferentes actores involucrados en el proceso de producción/comercialización (productor, grupo/asociación, inversionista, intermediario, empresario, estado, etc.)?
- ¿La actividad propuesta es viable dentro de las normas del mercado (crédito, existencia de un mercado para la comercialización)?

#### Factores importantes en un análisis financiero:

- Todos los costos e ingresos son valorados a precios de mercado, incluyendo la mano de obra familiar<sup>4</sup>, la tierra y el uso del capital.
- El análisis se hace desde el punto de vista de un agente específico (p.e. agricultor, grupo cooperativo o empresa).
- Se incluyen los pagos de transferencia (p.e. impuestos, subsidios, préstamos y servicios de la deuda).
- El análisis económico tiene como objetivo evaluar la eficiencia con la cual la unidad seleccionada hace uso de los factores de producción (tierra, capital, trabajo), comparado con otros usos que se les podría dar a esos factores en el mismo lugar y bajo las mismas condiciones (Imbach 1987). Al igual

<sup>2</sup> El precio de mercado es el valor de cambio de un bien o servicio en el mercado. El precio del producto incluye los costos de todos los insumos y los impuestos (Brown 1981, Imbach 1987).

<sup>3</sup> Un beneficio es cada cosa que aumenta los ingresos en efectivo o no en efectivo (Brown 1981).

<sup>4</sup> Mano de obra familiar es el trabajo hecho por miembros de la familia; por lo general no es pagado en efectivo. El valor del trabajo varía entre hombres, mujeres y niños, e incluye los factores de multiplicación por edad y género. Para determinar el valor total de la mano de obra familiar se multiplican las horas de trabajo por actividad por el precio de mercado (Imbach 1987, Brown 1981).

que en el caso del análisis financiero, este análisis se realiza a nivel de rubro, de componente y de sistema de finca. A diferencia del análisis financiero, se incorporan las distorsiones del mercado (elementos que no se consideran en los mercados locales/ventas directas). Por ejemplo, el análisis económico toma en cuenta distorsiones del mercado como el efecto del desempleo en el valor de la mano de obra, la tierra y el capital para reflejar los costos completos del proyecto (Imbach 1987, Gregersen y Contreras 1979).

### 5.3 Elaboración de un análisis financiero/económico

En la Fig. 5.2 se presentan los nueve pasos que se deben completar para la realización de los análisis financieros y/o económicos.

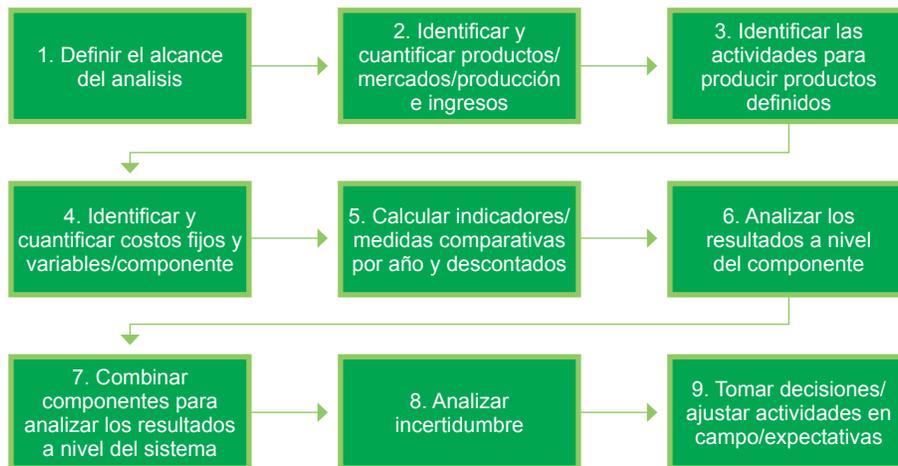


Figura 5.2. Nueve pasos para elaborar un análisis financiero/económico

#### Paso 1. Definir el alcance y los parámetros del análisis

**¿Desde qué punto de vista se va a elaborar el análisis?** Si se quiere alcanzar resultados realistas, hay que tener muy en claro para quién se hace el análisis. Antes de empezar con el análisis, hay que considerar varias perspectivas. Por ejemplo:

- **Productor:** campesino de subsistencia, pequeño productor con venta al mercado nacional, mediano productor con actividades dentro y fuera de la finca, inversionista.
- **Asociación/cooperativa:** grupo de pequeños productores que producen en forma asociada.
- **Empresa:** producción en la finca, procesamiento de los productos; comercialización.
- **Instituciones públicas:** a nivel municipal, nacional, regional.

**¿A qué nivel se va a analizar?** Una vez que se haya definido la perspectiva, hay que demarcar la cancha del análisis para aclarar objetivos y definir cómo se van a utilizar los resultados (Fig. 5.3). El análisis puede hacerse a nivel micro –un solo rubro, por ejemplo-, o de una actividad parcial, o considerar todos los componentes para hacer un análisis a nivel de sistema, a lo largo de la cadena de valor, para una región, o llegar hasta el nivel macro a nivel nacional. Veamos a continuación algunos ejemplos de niveles de análisis.

- **Rubro:** maíz, frijol, una especie arbórea en particular.
- **Componente:** agrícola, bosque, planta de procesamiento.
- **Subsistema agroforestal:** taungya, cacao con árboles leñosos, café con árboles maderables en línea, sistemas silvopastoriles.
- **Sistema de producción familiar de la finca:** conjunto de los rubros/componentes/subsistemas.
- **Empresa:** la cadena desde la producción hasta la transformación y procesamiento y comercialización de los productos.
- **Nivel regional:** conjunto de los sistemas agroforestales en el contexto regional.
- **Nivel nacional:** agrupación de los sistemas a nivel nacional.

Con la definición del alcance y los parámetros del análisis se busca demarcar la cancha; esto es, aclarar objetivos y definir cómo se van a utilizar los resultados.

**¿Qué tipo de análisis se va a hacer?** Dependiendo de la disponibilidad de información y del propósito del análisis, se define el tipo de análisis que se va a elaborar:

- **Análisis a priori:** en economía, este se conoce como “análisis ex-ante”. Este permite tomar decisiones acerca de la viabilidad financiera/económica basada en pautas técnicas y organizativas establecidas antes de iniciar. Se basa en datos de información secundaria y/o de experiencias en otras áreas y/o países con condiciones similares.

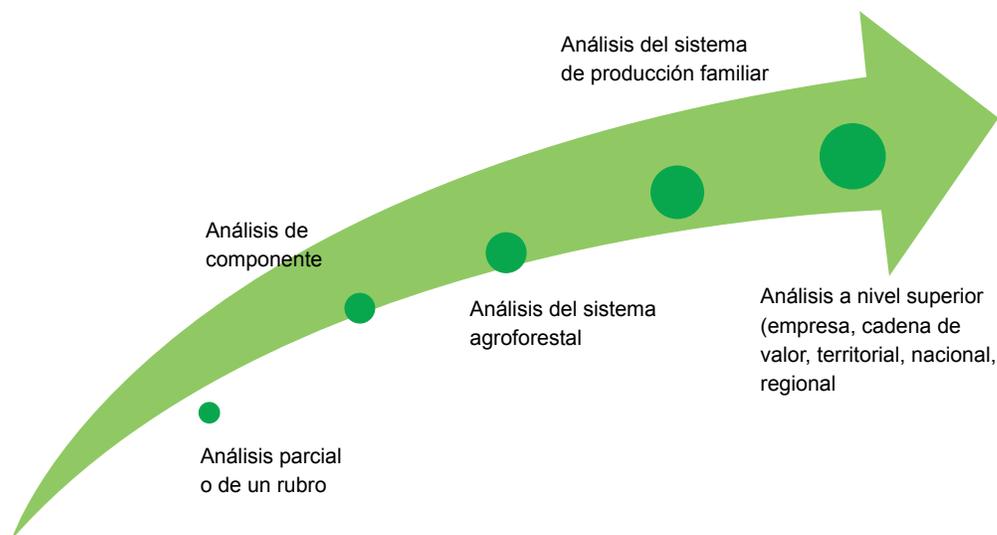


Figura 5.3. Niveles de análisis financieros/económicos

- **Análisis actual:** también conocido como “análisis de referencia”. Se trata de la evaluación de la unidad en su estado actual, la cual servirá para comparar los resultados esperados u obtenidos como consecuencia de la implementación de las alternativas técnicas y productivas. A diferencia del análisis a priori, este se basa en datos reales. Permite comprobar o modificar las pautas técnicas, organizativas o económico-financieras definidas en el análisis a priori.
- **Análisis de seguimiento:** más conocido en economía como “análisis ex-post”. Se realiza desde el inicio hasta el final de la implementación de la alternativa mejorada. Es un instrumento de validación que permitirá medir los resultados de la implementación de la alternativa más exitosa. Sobre la base de esta última, se podrá formular una propuesta de extensión a una mayor escala.

¿**Cómo se define el período de análisis?** el objetivo del análisis y las características productivas del cultivo o del servicio o producto son los que definen el período que cubrirá ese análisis. Uno puede definir el plazo a partir de la vida útil del proyecto, la vida útil y rotación del cultivo agrícola o forestal evaluado y la disponibilidad de información existente (datos secundarios); o bien, a partir del tiempo y los recursos disponibles para recopilar información primaria. El período del análisis puede ser de unos meses, años o décadas.

¿**Cómo se describe el objetivo del análisis?** Una vez que se han definido los elementos del análisis, es importante plasmar los objetivos en forma explícita para que quienes después evalúen los datos o información, tengan claro el propósito y el contexto. Por ejemplo:

- Rentabilidad de un componente en un año o ciclo de producción (p.e. la producción de maíz en un año).
- Rentabilidad de un sistema agroforestal (producción maíz más caoba en 20 años).
- Evaluación de la rentabilidad de una técnica o sistema nuevo, o comparación entre componentes (p.e. un análisis con y sin práctica mejorada; la determinación del riesgo financiero de invertir en un cultivo nuevo o una práctica nueva en el plazo dado).
- Evaluación de la factibilidad de una inversión en equipo según el nivel de producción esperado.

## **Paso 2. Identificar y cuantificar productos, mercados, producción e ingresos**

**Definición de todas las posibles fuentes de ingresos y sus mercados actuales y potenciales:** desde un inicio es importante identificar los productos del sistema agroforestal que se van a utilizar o vender, así como los mercados de destino (uso en la finca, mercado local, mercado internacional) y el punto de venta (puesto en la finca, en la carretera, en el mercado local, en el mercado internacional). También se deben estimar todas las fuentes de ingresos posibles para los diferentes tipos de productos y servicios

generados por el sistema agroforestal, el período del cultivo, sus valores y precios, la cantidad de producción y el momento de venta (mes, año).

- **Productos:** madera en tabla, postes, carbón, leña; maíz, limones, carne, leche, etc.
- **Servicios:** pagos por servicios ambientales (p.e. la fijación de carbono).
- **Incentivos:** programas estatales de incentivos para fomentar SAF y árboles para la producción.

Es muy importante ser conservadores al estimar el rendimiento final de los productos para no crear grandes expectativas sobre la rentabilidad de una actividad.

**Definición de la producción:** para estimar el volumen total de la producción del SAF, se calcula la superficie total dedicada al sistema y se multiplica por el rendimiento promedio por unidad de área definida de los diferentes productos durante el período del cultivo o rotación (Brown 1981). Es importante recordar que la producción total del componente forestal o agrícola normalmente no es igual al rendimiento final o la producción comercial que se vende o se utiliza en la finca (particularmente en el caso del componente forestal). Hay que tomar en cuenta las pérdidas por plagas, enfermedades y calidad exigida por el mercado, e incorporarlas al cálculo de la producción para la venta y/o uso en la finca. En el caso de los árboles, no todo el árbol se comercializa (la copa, las ramas, las raíces y el fuste entero no siempre son vendibles). A veces solo parte del fuste se puede vender como madera de primera calidad; la parte que tiene nudos o una deformidad califica como madera de segunda o como leña. Los precios de mercado son variables para madera de aserrío de primera calidad o segunda calidad, para tablas, postes y leña. Considerando las variaciones en los productos según la calidad y características de la materia prima, hay que anticipar estas diferencias en precios y rendimientos en los análisis desde el inicio. Es muy importante ser **conservadores** al estimar el rendimiento final de los productos para no crear grandes expectativas sobre la rentabilidad de una actividad.

La producción total  $\neq$  producción comercial

**Definición de los precios:** los precios de los productos agrícolas y forestales se diferencian según condiciones como las que a continuación se detallan:

- **El punto de venta:** el precio puesto en la finca es menor que el puesto en el mercado local o mercado nacional.
- **El nivel de procesamiento:** cada vez que se procesa la materia prima, se agrega valor al producto.
- **La calidad del producto:** se paga mejor la calidad superior que la regular o la mala.
- **Acceso a mercados nicho:** hay mercados especiales que ofrecen precios mayores. El acceso a ellos depende de contactos y capital social.
- **La capacidad de negociación:** algunos factores que influyen en la capacidad para negociar precios incluyen el conocimiento sobre los factores de la oferta y la demanda, precios del mercado, cantidad y calidad del producto disponible para vender (en relación con el tamaño y requerimientos del mercado).

**Definición de los ingresos brutos:** para calcular el ingreso bruto (también llamado ‘ingreso total’), se calcula la cantidad de producción (utilizando los cálculos de rendimiento del Capítulo 4) para la venta o uso, multiplicado por el precio de venta. El término ‘ingreso bruto’ quiere decir que no se ha sacado ningún costo todavía. En el caso de un producto o servicio vendido en el mercado, el ingreso bruto es en efectivo; en el caso de uso de un producto o servicio en la finca, el ingreso bruto se calcula a partir del precio de mercado, pero se considera como un ingreso bruto no en efectivo.

$$\text{Ingresos brutos} = \text{cantidad de producción} * \text{precio de venta/unidad}$$

Al calcular la producción de madera para la venta es importante reflejar el volumen real de la madera vendida o, si el dato real no está disponible, por lo menos estimarlo en forma conservadora para evitar la sobre-estimación de ingresos en el análisis. En el Cuadro 5.2 se ofrece un ejemplo de las diferencias en el volumen disponible según el lugar y momento de cálculo del bosque hasta vender el producto en el mercado. Típicamente, se logra aprovechar entre el 25 y 45% del volumen total inicial del árbol en pie cuando se trabaja con motosierra.

Una vez que se haya calculado el rendimiento, hay que distinguir entre los diferentes tipos de calidad de producto y calcular el volumen de cada producto disponible. El precio cambia según las dimensiones y la calidad de la madera (además de la especie). Los productos de dimensiones

**Cuadro 5.2.** Cálculo del rendimiento de un árbol para estimar la producción para la venta

Variables	Árbol en pie (total)	Árbol en pie (comercial)	Troza	Después del aserrado con motosierra	Después del canteado y cepillado
Porcentaje en relación al volumen inicial	100%	60%	55,7%	40%	30%
Volumen (m <sup>3</sup> )	12,88	7,73	7,17	5,15	3,86
Fórmula usada	Tradicional/básica $V = \frac{\pi}{4} \times dap^2 \times Ht$ V= volumen, dap = diámetro a 1,3 metros H <sub>t</sub> = Altura total	Tradicional/básica no considera un factor de forma $V = \frac{\pi}{4} \times dap^2 \times Hc$ V=volumen dap=diámetro a 1,3 metros H <sub>c</sub> = Altura fuste comercial	Smalian $V = \frac{\pi}{8} \times (D^2 + d^2) \times L$ V=volumen dap=diámetro a 1,3 metros D <sup>2</sup> =Diámetro mayor d <sup>2</sup> =Diámetro menor L=largo	FRM*	FRM*
Producto	Árbol total	Fuste comercial	Troza	Tablón o bloque	Tablones cepillados

\*FRM (factor de recuperación de la madera) para determinar el rendimiento de los árboles tumbados:

$$\text{FRM} = (\text{Vol de madera aserrada en m}^3) / (\text{Vol en troza en m}^3) \times 100$$

mayores, con duramen u otras características deseables tienen mejor precio que las dimensiones menores, los productos con albura, nudos, etc. El ingreso bruto debe reflejar la diferenciación de los precios para los productos finales.

**Distinción entre los ingresos en efectivo y no en efectivo:** Los ingresos en efectivo son aquellos que vienen de la venta de productos en el mercado, o que se reciben de créditos o subsidios en efectivo. Los ingresos no en efectivo son aquellos que la familia produce y utiliza en la finca (postes, alimentos, etc.). A pesar de no ser en efectivo, es importante tomar en cuenta su valor por los beneficios retribuidos directamente a la finca y/o familia, ya que reflejan costos evitados (lo que el productor no ha tenido que comprar en el mercado por haberlo producido en su finca). Los ingresos no en efectivo son tan importantes para el análisis como los obtenidos en efectivo y deben ser contemplados en forma explícita.

### **Paso 3. Identificar las actividades para producir los productos/servicios definidos**

**Definición de las actividades para cada componente:** para no dejar por fuera costos relevantes, es importante definir todas las actividades para cada cultivo y/o componente del sistema desde el inicio hasta el final. Por ejemplo:

- **Establecimiento:** alquiler o compra de la tierra, preparación del sitio, siembra de las plantas.
- **Mantenimiento:** incluye limpieza, control de plagas y enfermedades, podas, etc.
- **Aprovechamiento:** desde su planificación hasta las acciones de cosecha y procesamiento de la materia prima, si fuera del caso.
- **Comercialización:** incluye los contactos con el comprador, negociación de precios, costos de transporte al lugar de venta, etc.

Dentro de estas actividades generales se pueden desglosar subactividades y para cada una de ellas, definir cuáles son los tipos de insumos, materiales, mano de obra e inversiones que se requieren para tener éxito con el sistema agroforestal (Cuadro 5.3). Todos los costos deben ser tomados en cuenta para cada actividad (su categorización es parte del paso 4). De nuevo, hay que listar **TODOS** los costos en efectivo y no en efectivo para asegurar un análisis completo.

### **Paso 4. Identificar y cuantificar costos fijos y variables de cada actividad/componente**

Una vez que se ha identificado las actividades y sus respectivos *costos*<sup>5</sup>, hay que definir los tipos de costos y luego cuantificarlos. La forma en que se calcula y se toma en cuenta el valor de esos costos depende del tipo y plazo de análisis que se está llevando a cabo (p.e. análisis actual, de seguimiento, de proyecciones).

Para asegurarnos de que el análisis financiero u económico nos sirva como herramienta de trabajo, hay que incluir todos los costos e ingresos en efectivo y no en efectivo.

<sup>5</sup> Cada cosa que disminuye el ingreso en efectivo y no en efectivo es un costo (Brown 1981).

**Cuadro 5.3.** Ejemplo de algunas actividades a considerar en el rubro forestal “venta de madera en rollo puesta en la finca” con rotación de 20 años

Actividad	Sub-actividad	Tipos de costos (materiales, insumos, servicios, mano de obra)	Costos fijos vs. variables
Establecimiento del sistema	Alquiler de la tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pago mensual por alquiler de la tierra/ha</li> <li>• Contratación de un abogado para elaborar el contrato de alquiler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Preparación de sitio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Machetes</li> <li>• Palas</li> <li>• Mano de obra para preparar el terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Acarreo de plantas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compra de plantas</li> <li>• Uso de pick up/carreta para transportar plantas (combustible, depreciación del vehículo, comida del caballo, etc.)</li> <li>• Mano de obra para transportar las plantas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable</li> <li>• Costo variable (combustible)</li> <li>• Costo fijo (depreciación)</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Sembrar árboles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Machetes</li> <li>• Ahoyador</li> <li>• Mano de obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
Mantenimiento	Chapeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Machete</li> <li>• Mano de obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Control de plagas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insecticidas</li> <li>• Bomba</li> <li>• Mano de obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable</li> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Podas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Machete</li> <li>• Serrucho</li> <li>• Mano de obra calificada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo fijo</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
Aprovechamiento	Planificación del aprovechamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratación del ingeniero forestal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Corte de árboles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratación de motosierrista (u horas de uso de motosierra, cantidad de combustible, aceite, afiladores, etc.)</li> <li>• Mano de obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable (si contratado/tarea)</li> <li>• Costo fijo (motosierra propia)</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Arrastre de fustes al patio de acopio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bueyes/tractor para arrastrar fustes (combustible, depreciación, aceite, comida)</li> <li>• Mano de obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo fijo</li> </ul>
	Apilar troncos en camión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mano de obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable</li> </ul>
Comercialización	Buscar comprador de la madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traslado a la ciudad para buscar comprador</li> <li>• Costo del anuncio en el periódico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable</li> <li>• Costo variable</li> </ul>
	Establecer contrato para la venta de la madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratar abogado para escribir contrato para la venta de la madera</li> <li>• Traslado a reuniones con el comprador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo variable</li> <li>• Costo variable</li> </ul>

**Costos fijos:** los costos que no están ligados a la producción se consideran como ‘costos fijos’. Son aquellos que un productor realiza, aun cuando la finca no produzca nada; entre ellos están el valor de la tierra, inversiones en vehículos, maquinaria y herramientas, depreciación, impuestos, etc. Estos costos no influyen directamente en el rendimiento de la producción (p.e. cajas utilizadas en la producción de miel, o la compra de un tractor). Cuando se calcula el costo fijo en un plazo más corto que la vida útil de la inversión, se considera un costo indirecto.

Para cuantificar los costos fijos es necesario definir el valor, la cantidad, unidad y la vida útil (meses o años de uso del equipo) de la inversión. Según Gittinger (1982) e Imbach (1987), si hubiera que calcular el valor de un costo fijo en un año, se puede tomar el valor de la depreciación lineal

$$\left( \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor de rescate}}{\text{número de años de vida útil}} \right)$$

**Costos variables:** son aquellos ligados directamente con la producción. Estos son los costos en que incurre el productor como consecuencia de la actividad productiva y que aumentan o disminuyen según la producción (fertilizante, semillas, combustible, mano de obra por jornal o por tarea, etc.). Los costos variables representan el valor de los insumos que se utilizan en el momento de uso. Para cuantificar los costos variables, hay que definir el valor, la unidad y la cantidad requerida para producir el cultivo en el área esperada.

Aún si el productor no paga un costo en efectivo, ese costo implica una inversión en tiempo o en especie que debe tomarse en cuenta en el análisis.

Es importante distinguir entre los costos fijos vs. los costos variables, porque el cálculo de los indicadores depende de la separación de los conceptos. Además, hay que diferenciar entre los costos en efectivo y no en efectivo (costos no en efectivo son aquellos que no se pagan pero que se reflejan en el uso de tiempo/esfuerzo). Aún si el productor no paga un costo en efectivo, ese costo implica una inversión en tiempo o en especie que debe tomarse en cuenta en el análisis (ver ejemplos en el Cuadro 5.4).

**Paso 5. Calcular indicadores/medidas comparativas por año y descontados**

**Construcción del flujo de costos e ingresos en el tiempo:** una vez que se han definido los costos e ingresos de cada rubro o componente, es necesario plasmar la información en la hoja electrónica para elaborar un flujo en el tiempo (de enero a diciembre para el análisis de un año o anualmente para un período de tantos años). Por ejemplo, del año 0 o 1 hasta el año 20 para un período de rotación de 20 años en un cafetal con especies maderables (Cuadro 5.5).

**Cuadro 5.4.** Ejemplos de ingresos y costos en efectivo y no en efectivo

Ingresos	Costos variables	Costos fijos
<b>Ingresos en efectivo:</b> Productos agrícolas y/o forestales vendidos en el mercado	<b>Costos en efectivo/actividad: Establecimiento:</b> preparación del sitio, mano de obra contratada, alquiler de equipo, semillas, siembra, riego <b>Mantenimiento:</b> fertilización, control de plagas, raleo <b>Aprovechamiento:</b> corte <b>Mercadeo:</b> empaque, traslado	<b>Costos en efectivo:</b> Equipos de inversión (motosierras, hachas, tractores, vehículos) Impuestos Costos de alquiler o compra de la tierra
<b>Ingresos no en efectivo:</b> Consumo familiar (comida, madera para la construcción, leña), producción de maíz almacenada entre años, cambios de inventario de animales (vacas, cabras, árboles en pie, etc.)	<b>Costos no en efectivo:</b> Costo de oportunidad de la mano de obra familiar, valor del uso del capital	<b>Costos no efectivo:</b> Depreciación de equipos Costo de oportunidad de la tierra

**Costo no en efectivo**

Es aquel costo que no implica un movimiento monetario real; entre ellos, la depreciación de edificios y equipos, remuneración del trabajo empresarial, remuneración del trabajo familiar y capital invertido (Imbach 1987, Brown 1981).

**Costo en efectivo**

Son las erogaciones por las que existe un movimiento monetario real; en la mayoría de los casos son asimilables a costos variables; p.e. el costo de materias primas, mano de obra y alquiler de equipos (Imbach 1987, Brown 1981).

**Costo de oportunidad**

Representa el beneficio perdido cuando un recurso es escaso y se utiliza en un uso dado, en vez de un uso alternativo. El costo es igual al valor de una salida –o sea, el incremento adicional generado por una unidad adicional de un insumo. En la práctica, se utiliza el valor de la mejor opción; por ejemplo, cuando no hay un precio fijo para el trabajo forestal (no calificado o calificado), se utiliza el valor del jornal agrícola correspondiente (no calificado o calificado). Este costo se utiliza en los análisis económicos no financieros (Gittinger 1982, Imbach 1987).

- **Costo de oportunidad de la tierra:** es el equivalente al arrendamiento pagado en la zona para actividades agrícolas y ganaderas; para ello se deben tomar promedios de diferentes precios en la zona.
- **Costo de oportunidad de la mano de obra:** en un análisis económico se debe buscar el costo de oportunidad de la mano de obra dado por la tasa de desempleo en el área. Si no existieran fuentes de empleo, el costo de oportunidad es cero, pero ese es un caso muy hipotético; en general el costo de oportunidad es mayor que cero. Si existen posibilidades de empleo durante todo el año, el costo de oportunidad corresponde al salario vigente.
- **Costo de oportunidad del capital:** un uso alternativo de utilización del capital en la producción podría ser el depósito bancario, tomando la tasa como la rentabilidad del capital invertido durante determinado tiempo. Esta tasa puede ser comparada con la tasa de rentabilidad del capital producto de la actividad.

**Depreciación**

Estima la pérdida de valor producida durante el período de análisis en los bienes permanentes de la finca (construcciones, instalaciones, maquinaria, vehículos, equipo, etc.) como consecuencia de su uso y/o envejecimiento. Existen diversos métodos de cálculo, pero el más utilizado es reducir el valor del bien una vez que su vida útil se ha agotado; su precio como chatarra se considera valor residual. Desde la perspectiva de los análisis financieros en sistemas de subsistencia, no se incluye la depreciación en el análisis de más de un año. Desde la perspectiva de los pequeños productores es más útil incluir el costo de reposición del equipo.

Cálculo de la depreciación lineal:  $D = (V_n - V_r)/n$  donde:  $D$  = valor anual de depreciación;  $V_n$  = valor nuevo del bien;  $V_r$  = valor residual del bien;  $n$  = vida útil del bien, en años (Gittinger 1982).

**Desglose de los ingresos y costos por componente dentro de cada descripción:**

en el caso de nuestro ejemplo de SAF con café, hay que elaborar el flujo para el componente de café y de maderables por aparte y luego se suman a nivel del sistema.

En el momento de organizar la estructura de la hoja electrónica para ingresar los datos, se debe dejar un espacio para desglosar, en forma explícita, los factores básicos y supuestos que se están utilizando en el análisis (tasa de cambio, área del estudio, valor de la mano de obra en la zona, tasa de interés pasiva/activa, etc.).

**Cálculo de los indicadores y medidas comparativas por componente y por sistema:** para la toma de decisiones, diferentes tipos de indicadores nos permiten evaluar aspectos del componente por sistema. En el caso de los indicadores anuales, se puede evaluar la distribución de los costos y beneficios en el tiempo, analizar la disponibilidad de efectivo en el tiempo y analizar costos operativos vs. costos fijos. Los indicadores en el tiempo nos permiten evaluar el efecto del tiempo en los costos y los ingresos; este es un factor imprescindible en el tema agroforestal, porque el impacto del tiempo en la rentabilidad del sistema es verdaderamente importante.

**Cuadro 5.5.** Estructura del flujo de ingresos y costos

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6-20
Ingreso bruto (IB)	$\Sigma = \text{IBef} + \text{IBnef}$					
IB en efectivo (IBef)	$\Sigma$ ingresos en efectivo					
IB no en efectivo (IBnef)	$\Sigma$ ingresos no en efectivo					
Costos variables (CV)	$\Sigma = \text{CVef} + \text{CVnef}$					
CV en efectivo (CVef)	$\Sigma$ costos variables en efectivo					
CV no en efectivo (CVnef)	$\Sigma$ costos variables no en efectivo					
Costos fijos (CF)	$\Sigma \text{CFef} + \text{CFnef}$					
CF en efectivo (Cfef)	$\Sigma$ costos fijos en efectivo					
CF no en efectivo (Cfnef)	$\Sigma$ costos fijos no en efectivo					
Costos totales	$\Sigma \text{CF} + \text{CV}$					
Indicadores anuales (MB, FN, BF, IN)	\$ MB FN BF IN (cálculos más adelante)					
Indicadores/unidad (MB/jornal, MB/m <sup>3</sup> , MB/ha, FN/jornal, FN/m <sup>3</sup> , FN/ha, IN/m <sup>3</sup> , IN/ha, BF/m <sup>3</sup> , BF/jornal, BF/ha)	\$ indicador jornal /m <sup>3</sup> / ha					
Indicadores en el tiempo (VAN/TIR/ Relación B-C)	VAN (\$) TIR (%) Relación B/C ( $\geq 1$ )					

\*ef = efectivo; nef = no en efectivo; MB = margen bruto; FN = flujo neto; BF = beneficio familiar; IN = ingreso neto

**Cálculo de los indicadores anuales:** estos indicadores se calculan sacando la diferencia entre los beneficios y los costos en un mes o año determinado. Hay cuatro tipos de indicadores anuales, cada uno con su propio propósito e importancia: el margen bruto, el flujo neto, el ingreso neto y el beneficio familiar. En el Cuadro 5.6 se describe cada uno de ellos, cómo calcularlo, su propósito y su importancia.

Además, con el fin de *establecer comparaciones con otras alternativas*, es necesario calcular los mismos indicadores por la cantidad de jornales empleados o el área utilizada. En el caso del indicador anual/jornal, se

En un análisis financiero/económico se deben anotar, explícitamente, los factores básicos y los supuestos utilizados (tasa de cambio, área del estudio, valor de la mano de obra en la zona, tasa de interés pasiva/activa, etc.).

**Cuadro 5.6.** Cálculo de los indicadores anuales

Indicador	Cálculo	Propósito	Importancia
Margen bruto (MB)	MB = ingresos brutos – costos variables en efectivo	Evaluar si la actividad cubre los costos variables básicos. El MB es la diferencia entre la producción total y los costos variables en efectivo.	Indicador relevante para los sistemas de producción de subsistencia. El cálculo no incluye costos fijos de inversiones, maquinaria, ni costos no en efectivo como la mano de obra.
Flujo neto (FN)	FN = ingresos brutos en efectivo – (costos variables en efectivo + costos fijos en efectivo)	Mide la disponibilidad de dinero en efectivo, en el tiempo, para el componente o sistema evaluado, o la liquidez del sistema agroforestal.	No incluye el valor de la mano de obra familiar que no se paga u otros costos e ingresos no en efectivo.
Beneficio familiar (BF)	BF = flujo neto + consumo familiar + producción almacenada + cambio de inventario	Mide la retribución económica global por el trabajo y la administración de la finca.	Apoyo del SAF a la economía familiar.
Ingreso neto (IN)	IN = flujo neto + <i>cambio de inventario</i> - (valor de mano de obra familiar + valor de uso de la tierra + valor de uso del capital)	Cuantifica el beneficio real del sistema una vez que se han pagado todos los factores de producción (en efectivo y no en efectivo).	Refleja la sostenibilidad financiera global del SAF.

**Cambio de inventario**

Mide el aumento o disminución del valor del capital operativo y del capital fijo de la finca en un período determinado. Comprende aspectos como compra o venta de ganado, reparaciones y mejoras en las construcciones e instalaciones, área de la finca, maquinaria, herramientas, volúmenes de los productos almacenados de la finca (granos, forraje seco o ensilado), nacimiento y engorde de los animales del hato, muertes (bovinos, cerdos, aves, etc.). Los cambios de inventario pueden tener valores positivos o negativos, si es que aumentan o disminuyen. Este valor debe considerarse en los cálculos con el signo que corresponda: positivo para aumentos de valor y negativo para reducciones del mismo. El inventario de animales debe clasificarse por categorías (novillos, vacas, terneros y animales de trabajo).

$$Inv = S((V_{ti}-V_{ti-1})+(V_{mi}-V_{mi-1})+(V_{cfi}-V_{cfi-1})+(V_{ai}-V_{ai-1})+(V_{pai}-V_{pai-1}))j$$

donde, Inv= valor total del cambio de inventario en el período; V<sub>t</sub>= valor de la tierra; V<sub>m</sub>= valor de las mejoras; V<sub>cf</sub>= valor del capital fijo, excluyendo los animales; V<sub>a</sub>= valor de los animales; V<sub>pa</sub>= valor de los productos almacenados; i= subíndice que identifica el valor al fin del período; i-1= subíndice que identifica el valor al principio del período; n= número de subsistemas; j= número de períodos (Imbach 1987).

puede comparar la retribución de la mano de obra (MB/jornal, FN/jornal, BF/jornal o IN/año) con el salario por día, por mes, o por año, o bien la retribución a la tierra con los indicadores anual/ha (MB/ha, FN/ha, IN/ha, BF/ha) para comparar con la retribución de otras alternativas en la zona (el costo de oportunidad de la tierra en la zona).

**Cálculo de los indicadores en el tiempo (medidas comparativas):** a lo largo del tiempo, los indicadores permiten resumir gran cantidad de información en un solo valor, y jerarquizar y comparar entre diferentes opciones para definir cuál es la mejor en términos financieros. Los cálculos toman en cuenta el efecto del tiempo para definir el impacto del componente hoy (proceso de descuento). El factor tiempo es CLAVE en los análisis de los SAF, considerando el número de años que se requieren para aprovechar los árboles.

En el ejemplo siguiente se puede apreciar el efecto del tiempo en el valor del dinero (Cuadro 5.7).

La tasa de interés es un pago por la utilización de dinero. Se utiliza la tasa de descuento para determinar el valor presente de un valor futuro. La tasa pasiva representa el porcentaje pagado al ahorrador, o el costo de oportunidad de capital, en tanto que la tasa activa representa el porcentaje pagado al prestatario; el valor cambia dependiendo del plazo del préstamo (Gittinger 1982). A partir de los datos del Cuadro 5.7, podemos estimar el valor actualizado neto utilizando una tasa de interés de 10%:

$$\text{Caso 1: } US\$500/(1+0,10)^5 + US\$500/(1+0,10)^6 + US\$500/(1+0,10)^7 = US\$849$$

$$\text{Caso 2: } US\$1500/(1+0,10)^{10} = US\$578$$

$$\text{Caso 3: } US\$500/(1+0,10)^2 + US\$500/(1+0,10)^5 + US\$500/(1+0,10)^{10} = US\$916$$

Se puede apreciar que el valor actual neto es mayor (US\$916) en el caso 3, donde se generan ingresos en los años 2, 5 y 10 (Navarro 2010). La razón es porque el dinero generado en el segundo año mantiene su valor relativo a los ingresos en años posteriores. En el caso 2, que genera ingresos únicamente en el año 10, se da la mayor pérdida de valor. Los SAF tienen la ventaja de ofrecer beneficios económicos a corto plazo mediante las actividades agropecuarias, mientras se espera el aprovechamiento de los maderables a mediano o largo plazo. Si hay que esperar muchos años para realizar el aprovechamiento, el efecto del tiempo tiene mayor impacto sobre el valor de los ingresos hoy.

**Cuadro 5.7.** Flujos de ingresos (en US\$) a lo largo de diez años

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caso 1					500	500	500			
Caso 2										1500
Caso3		500			500					500

Para calcular el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio/costo (B/C), y el valor equivalente anual (VEA) hay que utilizar la tasa de interés pasiva promedio para la tasa de descuento<sup>6</sup> (Cuadro 5.8); de nuevo, es importante destacarlo como un supuesto en la hoja electrónica.

Considerando que el dinero tiene mayor valor hoy que en el futuro, es importante considerar el tema de la inflación en los análisis de SAF. La inflación es un aumento en el precio general de la economía cuando la cantidad relativa de dinero en circulación aumenta la cantidad de los bienes y servicios. Para nivelar el efecto de inflación, es costumbre trabajar en precios constantes en vez de precios corrientes (Gittinger 1982, Gregersen 1975). Los precios/costos que no toman en cuenta el valor de la inflación son **nominales o corrientes**, pero si se toma en cuenta la inflación son precios/costos **reales o constantes**. Ya hemos hablado de la importancia del factor tiempo en el componente forestal; por ello, en los análisis es imprescindible ser consistentes: incluir el efecto de la inflación en todos los costos y todos los ingresos o no incluirlo en ninguno. Para mayor información de cómo incorporar la inflación en proyectos forestales ver Gregersen (1975) o Klemperer (1996).

Regla de inflación: mantenga las cosas iguales

Precios y costos nominales → Tasa de interés nominal  
Precios y costos reales → Tasa de interés real

Cuadro 5.8. Cálculo y análisis de los indicadores en el tiempo

Indicador	Cálculo (en Excel)	Regla de decisión	Propósito
Valor actualizado neto (VAN)	= VAN(tasa de interés, flujo de los ingresos netos)	Si es > 0, actividad genera ganancia. Si es < 0, mejor invertir en otra actividad.	Indica el valor hoy de un flujo de ingresos en el tiempo. Se usa para evaluar inversiones capitales potenciales
Tasa interno de retorno (TIR)	= TIR(flujos de los ingresos netos, estimado de una tasa de interés)	Si TIR > tasa de interés pasiva en el banco, la actividad tiene futuro.	Determina la tasa de interés generada por el capital invertido. Se compara con un uso alternativo del capital; por ejemplo con la tasa pasiva de interés del banco local.
Relación beneficio costo (B/C)	=VAN(tasa de interés, flujo de ingresos brutos)/VAN(tasa de interés, flujo de los costos totales*)	Si B/C > 1 los beneficios de la actividad a lo largo del tiempo son mayores que los costos. Si B/C < 1 los costos de la actividad a lo largo del tiempo son mayores que los beneficios.	Determina una relación entre los costos y los beneficios a lo largo del tiempo.
Valor equivalente anual (VEA)	=pmt (tasa de interés, # años, VAN de los ingresos netos)	Si VEA > 0, se acepta la actividad (se puede comparar VEA entre proyectos).	Permite comparar proyectos con períodos diferentes (árboles vs. cultivo).

\*Costo total= costos variables + costos fijos (CT = CV + CF)  
Fuente: Gittinger (1982), Tobar (1999), Gregersen y Contreras (1979)

<sup>6</sup> El proceso de determinar el valor actual de un valor futuro es lo que se conoce como descuento. Para determinar el valor del dinero en el tiempo:  $VA = 1/(1 + i)^n$  donde VA= valor actual; i= tasa de interés; n= número de años (Gittinger 1982).

**Paso 6. Analizar los resultados a nivel de componente**

Una vez que se tengan los datos organizados por componente y los indicadores por componente, hay que analizarlos para entender los resultados. Algunos temas del análisis se encuentran en el Cuadro 5.9 y contribuyen a entender la rentabilidad/riesgo de la actividad agroforestal a nivel de componente y el contexto del componente. Cada componente debe ser rentable por sí mismo si va a ser financieramente sostenible. Estos mismos parámetros se pueden utilizar para analizar el sistema agroforestal (Paso 7).

**Paso 7. Combinar componentes para analizar los resultados a nivel de sistema**

En el análisis a nivel más micro (a nivel de componente agrícola o forestal), la suma de los componentes nos permite evaluar la rentabilidad del componente agroforestal (Cuadro 5.9).

**Paso 8. Analizar incertidumbre a nivel de componente y de sistema**

Cuando se hace el análisis financiero o económico de un SAF es muy importante analizar la incertidumbre o riesgo considerando los años requeridos para aprovechar sus productos y servicios. Para tomar en cuenta la incertidumbre es necesario:

**Cuadro 5.9.** Temas para el análisis a nivel del componente y sistema para la toma de decisiones

Mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de mano de obra (calificada, no calificada, distribución entre miembros de la familia/comunidad)</li> <li>• Aceptabilidad del tipo de esfuerzo requerido</li> <li>• Retribución de la mano de obra (comparar el MB/jornal al costo de oportunidad de la mano de obra en la zona)</li> <li>• Cantidad de mano de obra requerida vs. disponible</li> <li>• Distribución del tipo de mano de obra requerida (mujeres, niños, familias, entre comunidades)</li> </ul>
Precios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación en el tiempo (según ciclos en el año y entre años)</li> <li>• Variación según el mercado de destino</li> <li>• Variación según tipo de organización de producción</li> </ul>
Inversiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de inversión comparado con los ingresos actuales</li> <li>• Grado de aceptación de la inversión por parte a los beneficiarios</li> <li>• Capacidad de autofinanciamiento (actual y futuro)</li> <li>• Período de recuperación de la inversión (número de años para recuperar el dinero invertido en una actividad)</li> <li>• Disponibilidad de financiamiento externo (acceso a crédito, términos de crédito)</li> </ul>
Costos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporción de costos variables vs. fijos e inversión en relación al total</li> <li>• Distribución de costos en el tiempo</li> </ul>
Ingresos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de la disponibilidad de efectivo a lo largo del período del análisis (rotación)</li> <li>• ¿Cuál es la frecuencia de ingresos negativos (3 de 10 años; 7 de 10 años)?</li> <li>• ¿Cuál es la duración de los ingresos negativos (3 años seguidos; 5 años seguidos)? – compararlos con los ingresos familiares para definir capacidad de aguantar pérdidas en el corto plazo</li> <li>• ¿Cuál es la magnitud del ingreso negativo en comparación con los ingresos futuros?</li> <li>• Importancia del apoyo del SAF a la economía familiar (en el tiempo/%)</li> <li>• Capacidad de reponer equipo/inversiones</li> <li>• Porcentaje de ingreso neto esperado vs. ingreso actual de la familia</li> <li>• Comparación del ingreso neto previsto con la canasta básica</li> <li>• Distribución en el tiempo de los ingresos</li> <li>• Distribución de los ingresos netos entre beneficiarios</li> </ul>

1. Identificar fuentes de incertidumbre

- Factores naturales (¿qué pasa, por ejemplo, si se pierde la producción bruta de uno o todos los componentes del SAF por un huracán, plaga, o incendio?).
- Factores de tecnología y productividad (selección de especies, prácticas de manejo).
- Factores humanos y socioculturales (disponibilidad de mano de obra, leyes y normas existentes).

2. Establecer rangos de valores razonables

- Determinar los valores menores y mayores para cada parámetro (costos, precios, rendimientos, tasas de interés, etc.). Se pueden hacer cambios entre 10-50% en diferentes aspectos para ver el punto de equilibrio del VAN (cuando es igual a 0).
- Cambiar una variable a la vez (costos, precios, rendimientos, tasa de interés, etc.) para medir el efecto del cambio de los parámetros en los resultados.

3. Elaborar varios escenarios según los valores establecidos para los parámetros sensibles

- Recalcular VAN para determinar cuándo cambia de positivo a negativo.
- Analizar el punto de equilibrio para determinar los puntos débiles del SAF. El punto de equilibrio (cuando VAN = 0) permite definir el nivel mínimo de producción necesario para cubrir los costos; es el punto cuando los costos y los ingresos son iguales.

Si se tiene más información disponible sobre la incertidumbre, se puede asignar una probabilidad para ponderar los resultados. Cuando se reportan los resultados hay que explicar la metodología que se usó para establecer las probabilidades. Para más información metodológica sobre análisis de sensibilidad en proyectos forestales y agrícolas ver Gittinger (1982), Gregersen y Contreras (1979), Elevitch y Wilkinson (2000).

**Paso 9. Tomar decisiones y ajustar actividades en campo de acuerdo con las expectativas**

Después del análisis de los datos es hora de utilizar los insumos para la toma de decisiones. Si los costos son prohibitivos, ¿cómo se pueden bajar? A corto plazo, siempre es más factible ajustar los costos variables que los costos fijos. Sin embargo, si se está proyectando un análisis a 20 años plazo se pueden ajustar los costos fijos también.

Si los ingresos son bajos, ¿cómo se puede aumentar el rendimiento o mejorar los precios recibidos? La respuesta a estas preguntas debe buscarse junto con los interesados, pero siempre hay que mantener un ojo en la parte técnica, para asegurar la factibilidad de las opciones evaluadas.

El análisis de los resultados y de la incertidumbre permite determinar la rentabilidad y sostenibilidad de cada componente dentro del sistema productivo.

El seguimiento directo mejora la confiabilidad de la información, pues muchas veces cuando uno está elaborando un análisis de rotación larga, el productor no recuerda con precisión los costos y rendimientos.

#### 5.4 Información necesaria para hacer un análisis financiero o económico

Actualmente no existe mucha información o bases de datos sistemáticas sobre costos y precios de actividades agroforestales. En estas condiciones, muchas veces sería necesario recopilar información primaria directamente de los productores y vendedores de servicios o productos. No obstante, el seguimiento directo mejora la confiabilidad de la información, pues muchas veces cuando uno está elaborando un análisis de rotación larga, el productor no recuerda con precisión los costos y rendimientos. Existen tres metodologías para recopilar datos de campo: rendimientos por faena, tiempos y rendimientos, y recuperación de costos. El lector interesado podrá encontrar más información sobre las ventajas y desventajas de estas metodologías desde el punto de vista forestal en Reiche et ál. (1991) y Gómez y Reiche (1996). En los Cuadros 5.10 al 5.12 ofrecemos el detalle de los tipos de información requerida para llevar a cabo el análisis financiero. La información sobre tasas de interés, inflación y otros datos macroeconómicos por lo general se encuentran disponibles, para diferentes períodos de tiempo, en el banco central de cada país.

**Cuadro 5.10.** Ejemplo de formulario para elaborar un calendario agrícola anual por actividad o componente  
Descripción del componente (jornales/mes): **Agrícola**

Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Establecimiento		6										
Mantenimiento			1	1	1	1	1	1	1			
Aprovechamiento										3		
Comercialización										1		

**Cuadro 5.11.** Ejemplo de formulario para recopilar datos necesarios por componente para el análisis financiero  
Descripción del componente: **Árboles de laurel dispersos en un sistema agroforestal de café**

Actividades	Tipo de insumo	Cantidad	Unidad/frecuencia	Precio unitario (US\$)	Vida útil (años)
Establecimiento	Compra de la tierra	1	ha	5000	N/A
	Pala	1	c/u	3	2
	Mano de obra	6	Jornales/año 1	10/jornal	N/A
Siembra	Mano de obra familiar	6	Jornales/año 1		N/A
Mantenimiento	Mano de obra familiar	2	Jornales/mes entre años 1-5	10/jornal	N/A
		1	Jornales/mes entre años 5-16	10/jornal	N/A
	Herbicidas	1	Litro/mes	10 /litro	N/A
Aprovechamiento	Mano de obra contratada	5000	Pie tablar	0,50/pt	N/A
Comercialización	Mano de obra familiar	3	Jornales	10/jornal	N/A

**Cuadro 5.12.** Ejemplo de formulario para la recopilación de información para calcular los ingresos por componente para el análisis financiero  
Descripción por componente: **Maderable**

Tipos de productos	Unidad	Calidad	Precio unitario (US\$)	Momento de venta	Punto de venta
Postes	c/u	N/A	\$/poste	Año 3, Año 5, Año 10	Mercado local
Tablas	pt	Primera	\$/pt	Año 16	Puesto en finca

## 5.5 Bibliografía

- Brown, ML. 1981. Presupuestos de fincas: del análisis del ingreso de la finca al análisis de proyectos agrícolas. Washington, DC, USA, Banco Mundial. 142 p.
- Current, D; Lutz, E; Scherr, S. 1995. Costs, benefits, and farmer adoption of agroforestry: Project experience in Central America and the Caribbean. Washington, DC, USA, CATIE/IFPRI/World Bank. 212 p.
- Elevitch, CR; Wilkinson, KM. 2000. Economics of farm forestry: financial evaluation for landowners. Holualoa, Hawaii, USA, Permanent Agriculture Resources. Agroforestry Guides for Pacific Islands no. 7. Disponible en <http://www.agroforestry.net>.
- Gittinger, JP. 1982. Economic analysis of agricultural projects. Baltimore, USA, Johns Hopkins University Press - World Bank. 528 p.
- Godsey, LD. 2010. Economic budgeting for agroforestry practices. Agroforestry in action. Missouri, USA, University of Missouri Center for Agroforestry. 12 p.
- Gómez, M; Reiche, C. 1996. Costos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 49 p.
- Gregersen, HM. 1975. Effect of inflation on evaluation of forestry investments. Journal of Forestry 73(9): 570-572.
- Gregersen, HM; Contreras, AH. 1979. Economic analysis of forestry projects. Rome, Italy, FAO. 208 p. (Forestry Paper No. 17).
- Imbach, A. 1987. Análisis económico-financiero de fincas pequeñas con sistemas mixtos de producción. Metodología y estudio de caso en fincas de Jocoro, El Salvador. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 78 p.
- Klemperer, WD. 1996. Forest resource economics and finance. New York, NY, USA McGraw-Hill. 551 p.
- Navarro, G. 2010. Curso de Economía Forestal (apuntes de clase). Turrialba, Costa Rica, CATIE. Programa de Maestría.
- Ramírez, OA; Somarriba, E; Ludewigs, T; Ferreira, P. 2001. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. Agroforestry Systems 51:141-154.
- Reiche, C; Current, D; Gómez, M; McKenzie, T. 1991. Costos del cultivo de árboles de usos múltiples en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 70 p.
- Tobar, J. 1999. Análisis económico y financiero a nivel de finca. San Andrés, El Salvador, Proyecto Agricultura Sostenible en Zonas de Laderas. 18 p.

## 6. Producción de madera en sistemas silvopastoriles

Muhammad Ibrahim, Piedad Zapata

En muchos ecosistemas de pastoreo y ramoneo, los herbívoros grandes son atraídos por los árboles, particularmente cuando están dispersos en un paisaje relativamente abierto. Los árboles atraen a los animales por varias razones: para protegerse del sol, de la lluvia o del viento; para consumir forraje y frutos de especies leñosas (Somarriba 1988, Harvey y Haber 1999); porque el forraje de las herbáceas que crecen debajo de la copa arbórea es de mejor calidad o, simplemente, porque los árboles proveen una estructura visible en el paisaje abierto (McNaughton 1983). Sin embargo, en Centroamérica cada día cobra mayor relevancia la función de los potreros como proveedores de productos maderables que representen ingresos para el ganadero y que, a su vez, disminuyan la presión sobre los bosques por leña o madera para uso en la finca (Nilsen et ál. 2009).

Con el presente capítulo se pretende informar de la importancia de las especies maderables dentro de diferentes arreglos silvopastoriles como un medio que permita a los ganaderos obtener ingresos adicionales a mediano y largo plazo. Los sistemas silvopastoriles constituyen una opción productiva que genera beneficios tangibles (madera, frutos, forraje) y, a la vez, servicios ambientales prioritarios (conservación de cuencas hidrográficas, protección de suelos, fijación y almacenamiento de carbono, conservación de la biodiversidad, reducción del estrés calórico en el ganado). Esos bienes y servicios hacen de los sistemas silvopastoriles una estrategia eficaz para la mitigación y adaptación de la ganadería al cambio climático.

### 6.1 Presencia de maderables en potreros

#### 6.1.1 Árboles dispersos

En la región Centroamericana, los árboles dispersos presentes en potreros pueden originarse a partir de la regeneración natural o por plantación. En el

primer caso, la presencia de los árboles depende de la disponibilidad de fuentes de semillas dentro o cerca de los potreros, donde la regeneración es controlada por factores ambientales (agua, luz, nutrientes), tipo y movilidad de agente dispersor. Una de las ventajas de este sistema, frente a la plantación de los árboles, es que no existen costos por el establecimiento de las plantas, lo que significa un ahorro para el productor. Algunas de las principales dificultades para el establecimiento de árboles dentro de potreros son el uso de prácticas no selectivas para el manejo de las pasturas (aplicación de herbicidas, chapias, quemas) y el pisoteo o ramoneo del ganado que pueden afectar la regeneración y el establecimiento del árbol. Los árboles dispersos en potreros pueden encontrarse en el paisaje de manera aislada o agrupada. Un estudio realizado en Cañas, Costa Rica determinó que el 54% de los árboles se encuentra en forma individual y el 46% restante forman pequeños grupos (Esquivel et ál. 2003). Otro estudio similar realizado en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica habla de un 35% de árboles aislados y un 65% en pequeños grupos que conectan sus copas (Villanueva et ál. 2007).

#### Árboles aislados

Generalmente los árboles maderables en potreros se encuentran a distancias irregulares y muchas veces de manera aislada (no conectan sus copas) (Fig. 6.1). El espaciamiento grande entre árboles fomenta un crecimiento rápido del diámetro (Faurby y Barahona 1998).

#### Pequeños grupos diseminados

Se pueden tener pequeños grupos de árboles diseminados en los pastizales, ya sea plantados o mediante manejo de la regeneración natural (Fig. 6.2). Según Faurby y Barahona (1998), cada 3 o 4 años se debe hacer un tratamiento de selección, cuando los árboles ya tienen formados sus troncos y es posible ver cuáles son los más convenientes. La técnica más apropiada es el raleo por lo

Los bajos costos monetarios son una de las ventajas del establecimiento de árboles en potrero a partir de regeneración natural, lo cual significa un ahorro para el productor.

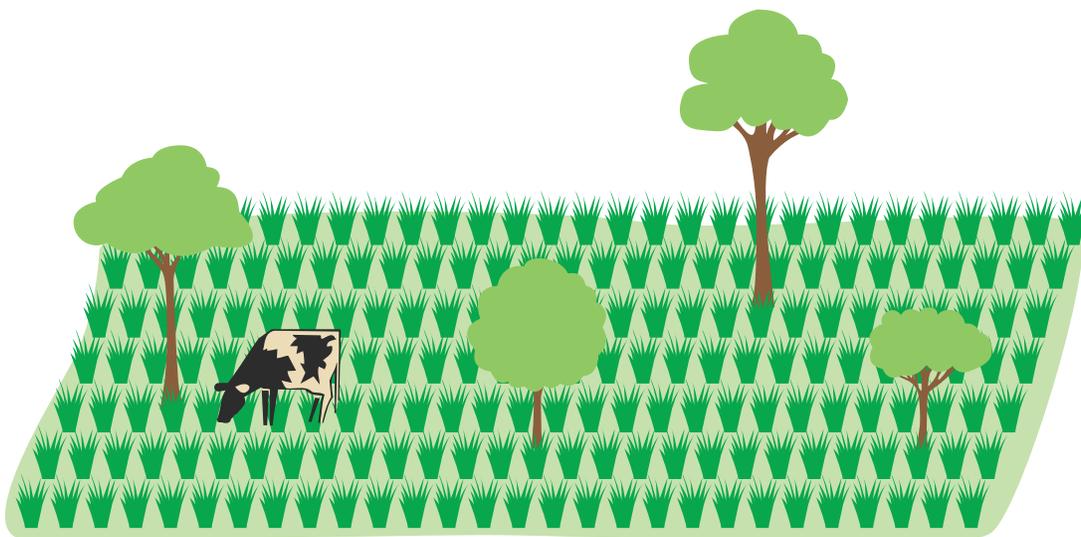
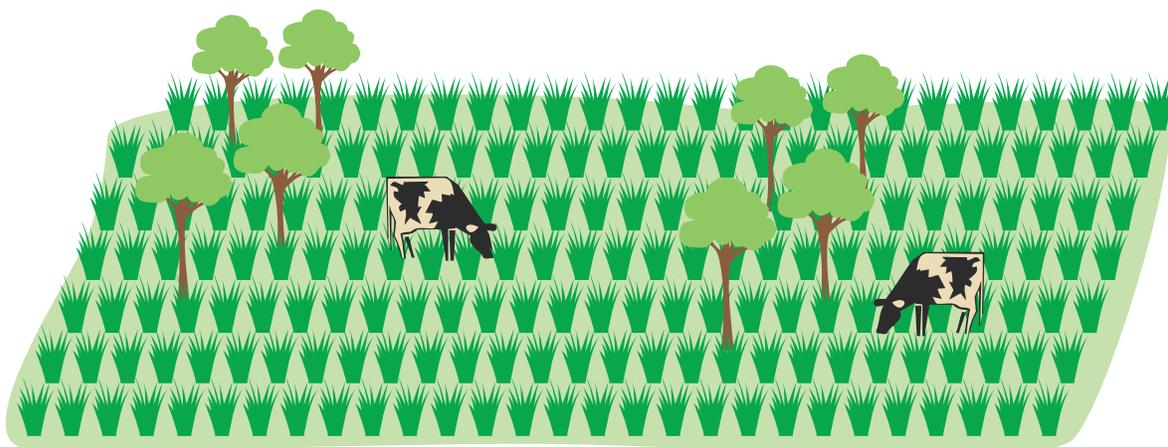


Figura 6.1. Árboles aislados en potreros



**Figura 6.2.** Árboles agrupados en potreros

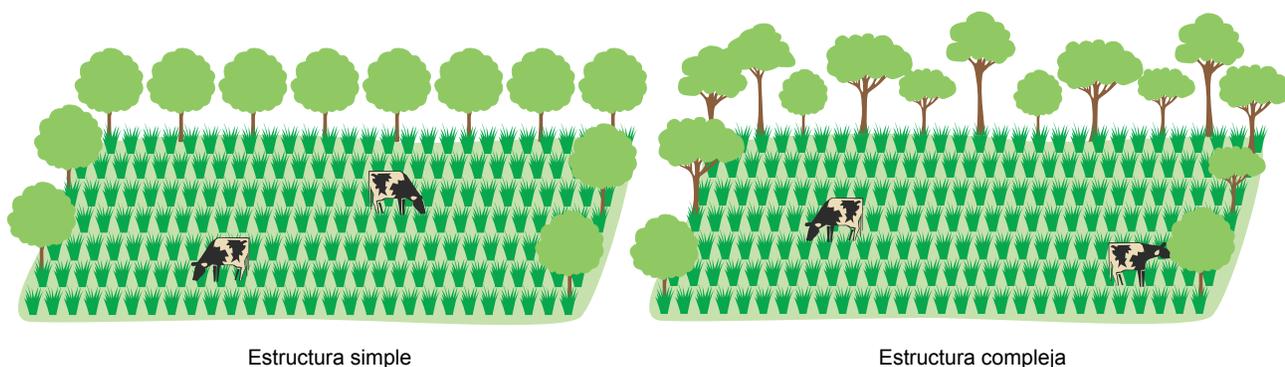
Los principales aspectos técnicos que deben tenerse en cuenta para garantizar el buen desarrollo y la calidad de la madera de los árboles en plantaciones en línea son la distancia de siembra, los raleos y las podas.

bajo, que consiste en eliminar los árboles que tienen menos potencial y los que molestan a los árboles más promisorios. Se recomienda seleccionar y marcar con pintura los árboles plus –aquellos que se van a mimar por medio de la eliminación sucesiva de sus vecinos (Faurby y Barahona 1998).

### 6.1.2 Plantaciones lineales

Una de las principales razones por las que los productores dudan de incluir árboles dentro de los potreros es porque se presume que estos reducen la producción de herbáceas debido a la competencia por luz, agua y nutrientes, o porque dañan los pastizales (Andrade 2007, Martínez 2003, Cajas y Sinclair 2001, Archer y Smeins 1991). Ante esto, las plantaciones lineales, como cercas vivas, cortinas rompevientos y árboles en linderos, se convierten en una alternativa eficiente para la incorporación de maderables a los sistemas ganaderos, ya que permiten reducir la competencia árbol-pastura y el efecto negativo que la presencia del ganado y las prácticas de manejo de la pastura pudieran causar en el establecimiento de los árboles. La plantación de árboles maderables en línea es una forma de producir madera en áreas no utilizadas o marginales y, a la vez, de alentar la participación de los pequeños agricultores en proyectos de reforestación cuando la disponibilidad de tierra es restringida (Cordero y Boshier 2003).

Para garantizar el buen desarrollo de los árboles y la calidad de la madera, se deben tener en cuenta aspectos técnicos como distancias de siembra, raleos, podas. Los diferentes tipos de plantaciones lineales pueden tener una estructura simple (una sola especie) o compleja (dos o más especies) (Fig. 6.3). Las plantaciones en línea con estructura compleja pueden diseñarse a partir de la combinación de especies que ofrezcan bienes y servicios diferentes (forraje, madera, hábitat para la fauna), con el fin de maximizar la eficiencia de los sistemas productivos. Sin embargo, es de esperar que el diseño y manejo de arreglos con más de dos especies tenga un mayor grado de complejidad que los arreglos sencillos.



Estructura simple

Estructura compleja

Figura 6.3. Estructura de plantaciones en línea

## 6.2 Diversidad de especies y potencial maderable en potreros

En sistemas silvopastoriles (SSP) de Centroamérica y el Caribe se ha encontrado una gran abundancia de árboles en potreros (entre 14 y 184 árboles/ha) y diversidad de especies (entre 34 y 180 especies) (Cuadro 6.1). En Esparza y Cañas, Costa Rica y en Muy Muy, Nicaragua, el principal uso potencial de la diversidad de árboles en potreros es la producción de madera y, con menor frecuencia, la producción de forraje y productos para consumo humano. En Esparza, Villanueva et ál. (2007) encontraron que del total de especies registradas, 61,8% tienen potencial maderable, en tanto que Scheelje (2009) registró un total de 62 especies de árboles en la misma zona, de los cuales, el 68% tienen potencial maderable. En Muy Muy, el 35% del total de especies tienen potencial maderable (Cuadro 6.2).

Varios estudios en Centroamérica coinciden en cinco especies principales de interés maderable, por ser las más abundantes en potreros: *Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman*, *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* (Cuadro 6.3). *C. alliodora* y *T. rosea* son especies resistentes al fuego y con semillas dispersadas por el viento. Estas especies resisten moderadamente la sequía y tienen madera moderadamente pesada. *E. cyclocarpum* y *S. saman* son árboles de copa grande y semillas dispersadas por el ganado. *C. odorata* es la especie más débil pues no resiste la inundación, tiene un sistema radicular superficial y sufre el ataque de un barrenador (*Hysipyla grandella*), que provoca deformaciones en el fuste y fuertes retrasos en el crecimiento.

Cuadro 6.1. Diversidad y abundancia de árboles dispersos en sistemas silvopastoriles de Centroamérica

Localización	Árboles/ha	Total especies	Fuente
Copán, Honduras	74	72	Chavarría (2010)
Distrito de Cayo, Belice	25,9	63	Rosa (2010)
Esparza, Costa Rica	26	62	Scheelje (2009)
	40,8	68	Villanueva et ál. (2007)
Matiguás, Nicaragua	184	180	Sánchez et ál. (2005)
Muy Muy, Nicaragua	38,5	85	Esquivel (2005)

**Cuadro 6.2.** Principales usos potenciales de especies arbóreas registradas en sistemas silvopastoriles de Centroamérica

Parámetro	Esparza, Costa Rica				Muy Muy, Nicaragua	
	No. especies	% del total de especies (n=68)	No. especies	% del total de especies (n=62)	No. especies	% del total de especies (n=85)
Madera	42	61,8	42	68	30	35
Leña	38	55,9	20	32	ND	ND
Consumo humano	10	14,7	19	31	11	13
Servicio	ND	ND	11	18	34	40
Fuente	Villanueva et. al (2007)		Scheelje (2009)		Esquivel (2005)	

ND: No disponible

**Cuadro 6.3.** Características silviculturales de cinco especies maderables abundantes en sistemas silvopastoriles de Centroamérica

Característica	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Samanea saman</i>	<i>Cordia alliodora</i>	<i>Tabebuia rosea</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Tolerancia a la sombra	Tolera sombra ligera	Convive con la sombra lateral	Tolera sombra lateral leve	Tolera sombra	Requiere luz solar adecuada desde la etapa de brinzal
Tipo de sombra que genera	Densa en época lluviosa	Densa todo el año	Rala todo el año	Densa en época lluviosa	Moderada todo el año
Tamaño de copa	Pequeña	Grande	Pequeña	Pequeña	Grande
Resistencia al fuego	La semilla no es resistente al fuego	Los árboles maduros tienen una corteza gruesa	Las semillas parecen resistentes al fuego; las plantas no	La semilla es resistente al fuego	Resistente en estado adulto
Resistencia a la inundación	No resiste	Resiste y puede vivir en terrenos anegados	No muy resistente	Resiste	No muy resistente
Resistencia a la sequía	Resiste la falta de agua, aunque no se adapta a sitios extremadamente áridos	No es muy resistente	Resistencia moderada	Resistencia moderada	Resistente
Sistema radicular	Ampliamente extendido en las capas superiores del suelo	Raíces profundas que no compiten con otras plantas	Raíces de cierta profundidad, aunque también desarrolla raíces laterales superficiales	Profundo	Los árboles adultos producen grandes raíces superficiales en un espacio de 2 ó 3 m; las plántulas desarrollan una raíz pivotante, pero se desconoce si persiste en los árboles adultos
Principal agente dispersor	Viento	Ganado	Viento	Viento	Ganado
Propagación	La germinación con semilla fresca es del 70%	Las semillas son grandes (4400-7900 semillas/kg) con una cubierta dura que requiere pretratamiento	Se usan plantas producidas en viveros, en bolsas (aprox. 3-4 meses, 30-50cm de alto) o como pseudoestacas (aprox. 6-8 meses, 1-2,5cm de diámetro cortado para dejar 5 cm de tallo y 20-25 cm raíz principal)	La semilla germina entre 14-21 días sin pretratamiento. Para cercas vivas, puede ser propagada por estacones que arraigan rápidamente	Un árbol adulto puede producir 2000 vainas, cada una con 10-16 semillas. Las vainas son duras y no se abren solas

Retos silviculturales	El ataque de <i>Hysipyla grandella</i> , que provoca una deformación del fuste y fuertes retrasos en el crecimiento. La poda precoz de los brotes adventicios ayuda a mejorar la forma.	Bifurcación y ramificaciones tempranas	No aguanta mucha sombra pero puede aprovechar una leve competencia para desarrollar fustes altos y rectos	Es necesario controlar la competencia de malezas: chapias 2 a 3 veces en el primer año	El desyerbado meticuloso de las plantaciones durante los primeros años es esencial
Propiedades tecnológicas de la madera	Madera moderadamente pesada (peso específico básico promedio de 0,43); velocidad de secado moderada	Moderadamente pesada (peso específico básico promedio de 0,45); moderadamente fácil de secar; durabilidad natural alta	Moderadamente pesada a pesada, (peso específico básico de 0,47 a 0,57); velocidad de secado moderada; fácil de preservar	Moderadamente pesada (peso específico básico promedio de 0,48); moderadamente fácil de secar; durabilidad natural moderada	Madera liviana (peso específico básico promedio de 0,35); velocidad de secado moderada; resistente a la pudrición

Fuente: Adaptado de Faurby y Barahona (1998), Cordero y Boshier (2003), Carpio (1992)

### 6.3 Abundancia y regeneración natural de especies maderables en potreros

En la diversidad arbórea registrada en potreros se han identificado varias especies maderables de interés comercial. Por ejemplo, en Muy Muy, *C. alliodora*, *E. cyclocarpum* y *T. rosea* son abundantes en estado adulto, juvenil y plántula (Fig. 6.4); estas especies son pioneras típicas de áreas perturbadas y toleran las condiciones de micrositio de las pasturas, así como la presión del ganado y de los finqueros (Esquivel 2005). Los medios de dispersión de estas especies son el ganado, los animales silvestres (principalmente aves) y el viento.

En la subcuenca del río Copán, Honduras, entre las diez especies arbóreas con mayor frecuencia relativa, dominancia relativa e índice de valor de importancia encontradas por Chavarría (2010) figuran dos especies de valor maderable: *Pinus oocarpa* y *C. alliodora* (Cuadro 6.4). En el Distrito de El Cayo, Belice, figuran cuatro con alto valor comercial maderable: *C. odorata*, *E. cyclocarpum*, *Astronium graveolens* y *Pouteria reticulata* entre las diez especies arbóreas más abundantes (Rosa 2010); sin embargo, la frecuencia relativa de *C. odorata* disminuye considerablemente en la categoría de brinzales. En Esparza, Scheelje (2009) encontró cuatro especies de alto valor maderable entre las más abundantes: *C. alliodora*, *C. odorata*, *E. cyclocarpum* y *Bombacopsis quinata* (Cuadro 6.4); esta última especie no se encuentra en la categoría de brinzales. Por el contrario, otras especies de interés maderable como *T. rosea* y *E. cyclocarpum* aumentaron significativamente sus poblaciones en la categoría de brinzales, lo que incrementa sus posibilidades de permanencia en los sistemas ganaderos. La especie con mayor potencial maderable en Esparza es *T. rosea* debido a su mayor abundancia en los potreros (Scheelje 2009, Villanueva et ál. 2007). En Cañas, Costa Rica entre las especies maderables más abundantes y frecuentes en los potreros están *T. rosea* y *C. alliodora* (Esquivel et ál. 2003), en tanto que en la cuenca del río La Vieja, Colombia, *C. alliodora* figura como la especie más abundante de la regeneración natural (Camargo et ál. 2008).

La ausencia de plantas en los primeros estadios de regeneración compromete la presencia de la especie a futuro en los sistemas silvopastoriles.

La ausencia de plantas en los primeros estadios de regeneración compromete la presencia de la especie a futuro en los sistemas silvopastoriles. Por ejemplo, *C. odorata*, *S. saman* y *Pachira quinata* son abundantes como árboles adultos pero no como juveniles ni como plántulas en Muy Muy (Esquivel 2005). En la cuenca del río Copán en Honduras, varias especies maderables con valor comercial (*Swietenia macrophylla*, *Casia grandis*, *Pseudosamanea guachepele*, *Diphysa americana*, *Spatodea campanulata*, *C. odorata* y *T. rosea*) pueden ser consideradas como escasas o en peligro, ya que aparecen en forma marginal dentro de las fincas (Chavarría 2010). En Esparza, entre las especies que podrían desaparecer a mediano plazo están *Dalbergia retusa*, *S. macrophylla*, *S. saman* y *B. quinata* (Scheelje 2009, Villanueva et ál. 2007, Alcázar 2007). *S. macrophylla* es una especie resistente a periodos largos de sequía y su éxito reproductivo en áreas abiertas está dado por su mecanismo de dispersión por viento; sin embargo, es muy susceptible a la predación en estadios juveniles; por su alto valor maderable, las poblaciones adultas también corren peligro de sobrexplotación (Alcázar 2007).

#### 6.4 Factores que afectan la regeneración natural de árboles en potreros

Aparte de los requerimientos propios de cada especie arbórea y de las preferencias del productor, hay tres tipos de factores que influyen en la forma en que los árboles se regeneran de manera natural en los potreros (Esquivel 2005):

- **Factores bióticos:** movilidad de agentes dispersores, intensidad de predación de semillas, herbivoría y competencia con la vegetación pre-existente
- **Factores abióticos:** características del suelo, condiciones ambientales y microclimáticas del sitio, disponibilidad de nutrientes
- **Factores de manejo:** tipo e intensidad de uso del suelo, tiempo de explotación, prácticas agronómicas



**Figura 6.4.** Regeneración natural de árboles de roble (*Tabebuia rosea*) en potreros de Muy Muy, Nicaragua  
Fotos: Piedad Zapata.

**Cuadro 6.4.** Especies más comunes en sistemas silvopastoriles de Centroamérica

	Especie	DR	FR	IVI	FR brinzales
Subcuenca del río Copán Honduras (Chavarría 2010)	<i>Pinus oocarpa</i>	44,8	9,3	125,9	10,4
	<i>Quercus oleoides</i>	12,4	9,3	28,2	10,9
	<i>Byrsonima crassifolia</i>	11,1	10,3	24,0	13,5
	<i>Quercus spp.</i>	9,0	5,8	23,3	6,8
	<i>Clethra macrophylla</i>	3,8	5,5	10,6	5,7
	<i>Psidium guajaba</i>	0,9	3,9	4,9	14,6
	<i>Inga spp.</i>	1,0	3,2	4,7	2,1
	<i>Cordia alliodora</i>	1,9	1,6	4,2	1,6
El Cayo, Belice (Rosa 2010)	<i>Cedrela odorata</i>	52,1	36,3	100,6	9,1
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	8,5	2,6	13,5	4,3
	<i>Piscidia piscipula</i>	3,3	5,2	13,4	7,2
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	3,1	5,3	12,6	5,8
	<i>Brosimum alicastrum</i>	3,7	2,4	9,4	0,5
	<i>Sapindus saponaria</i>	1,2	3,2	8,9	4,3
	<i>Bursera simaruba</i>	2,1	2,8	8,6	1,0
	<i>Astronium graveolens</i>	1,6	1,6	7,2	1,5
	<i>Zanthoxylum belicense</i>	1,0	2,4	7,2	1,9
	<i>Pouteria reticulata</i>	1,3	3,0	7,1	1,6
Esparza, Costa Rica (Scheelje 2009)	<i>Tabebuia rosea</i>	17,0	14,0	53,3	23,0
	<i>Cordia alliodora</i>	11,0	9,0	39,8	8,0
	<i>Myrospermum frutescens</i>	8,0	9,0	22,9	8,0
	<i>Cedrela odorata</i>	9,0	9,0	26,0	7,0
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	11,0	8,0	26,1	1,0
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	13,0	8,0	26,9	22,0
	<i>Albizia guachepele</i>	5,0	7,0	17,7	14,0
	<i>Bombacopsis quinata</i>	7,0	3,0	14,0	0
<i>Andira inermis</i>	1,0	3,0	5,5	5,0	
<i>Samanea saman</i>	2,0	3,0	6,7	4,0	

DR: Dominancia relativa FR: frecuencia relativa IVI: índice de valor de importancia

Para los productores de Cañas, Costa Rica, la condición del árbol (forma y salud), así como la especie arbórea y sus usos potenciales son los factores claves que inciden en la decisión de retener árboles en los potreros (Villanueva et ál. 2003). Los problemas de regeneración de ciertas especies en los potreros pueden asociarse con condiciones de sitio no aptas para su desarrollo, prácticas de manejo agresivas (chapias, herbicidas, quemadas) que maltratan o eliminan la regeneración natural de los árboles, alta densidad de animales que causan daños a los árboles y/o retrasan su crecimiento por el ramoneo, número reducido de fuentes de semillas y/o sobreexplotación de las poblaciones por su alto valor comercial (Chavarría 2010, Rosa 2010, Scheelje 2009, Villanueva et ál. 2007). En el Distrito de El Cayo, Belice, según entrevistas realizadas a productores, el 75% realizan más de una chapia por año y el 50% aplican herbicidas en alguna parcela de sus potreros; tales actividades se ejecutan sin ningún cuidado por la regeneración de especies arbóreas con potencial maderable (Rosa 2010). En Esparza y Guápiles, Costa Rica, se encontró que hay un efecto negativo en la regeneración de *C. alliodora* debido al control intensivo

Para los productores de Cañas, Costa Rica, la condición del árbol (forma y salud), así como la especie arbórea y sus usos potenciales son los factores claves que inciden en la decisión de retener árboles en los potreros.

de malezas: el 67% de los productores evaluados hacen chapias y aplican herbicidas 1,4 veces por año, en promedio (Camargo 1999). En Muy Muy, especies como *Ceiba aescutifolia*, *Ceiba pentandra*, *Godmania aesculifolia*, *Luehea candida* y *Crescentia alata*, que poseen frutos secos con semillas dispersadas por el viento o con producción de semillas durante todo el año, son poco abundantes como plántulas, lo que podría reflejar la baja disponibilidad de propágulos, las limitaciones para la germinación de semillas, o la germinación en microsítios muy específicos que podrían limitar su establecimiento en áreas de potrero (Esquivel 2005).

Algunas especies de árboles pueden ser más vulnerables a estos factores en las diferentes etapas de su desarrollo. Por ejemplo, en el estado de plántula, es posible que las especies sean más sensibles al daño mecánico por la acción del ganado (pisoteo, ramoneo); en consecuencia, en esta etapa se debieran tomar medidas de manejo, como el aislamiento de las plantas y el control de la densidad del ganado. En Esparza y Guápiles se encontró que *C. alliodora* es más susceptible a daños físicos como el tallo cortado en el estado de brinjal (43%), en tanto que los fustales fueron los menos afectados (13%) (Camargo 1999). La vulnerabilidad al déficit hídrico es también mayor en la fase de germinación y de plántulas. La susceptibilidad de las especies al ataque de plagas y/o enfermedades es otro factor que puede afectar la regeneración de árboles en potreros.

La forma más sencilla de asegurar la regeneración natural de especies maderables en potreros es realizar cambios en las prácticas de manejo (Esquivel 2005). Por ejemplo, mejorar la ejecución de chapias para evitar la eliminación de especies valiosas, controlar la presión de pastoreo mediante rotaciones más prolongadas, brindar protección a los individuos establecidos en potreros para evitar el ramoneo, mantener fuentes de propágulos dentro de los potreros, trasplantar plántulas a microsítios seguros. Con la adopción de tales prácticas se podría aumentar la diversidad y abundancia de especies de interés, ya sea para el establecimiento de SSP o para la conservación de una mayor diversidad en los paisajes agropecuarios.

La forma más sencilla de asegurar la regeneración natural de especies maderables en potreros es realizar cambios en las prácticas de manejo.

## 6.5 Valor comercial de especies maderables encontradas en sistemas silvopastoriles

La inclusión de especies maderables en los potreros debe tener como objetivo el incremento de la rentabilidad de los sistemas ganaderos; para ello es necesario seleccionar especies de valor comercial alto o medio y que presenten un crecimiento de moderado a rápido que garantice el retorno de la inversión en el menor tiempo posible. El valor de la madera varía entre países y está sujeto a la oferta y demanda. En Honduras, las especies *S. macrophylla* y *C. odorata* son las de mayor demanda y, en consecuencia, tienen los precios de mercado más altos tanto a nivel local como nacional; en el nivel medio se encuentran *P. oocarpa*, *C. alliodora*, *D. retusa*, *Lonchocarpus macrophyllus*, *Dialium guianensis* y *Zanthoxylum acuminatum* (Chavarría 2010). En Belice, las especies de más alto valor comercial son *C. odorata*, *P. piscipula* y *A. graveolens* (Cuadro 6.5).

**Cuadro 6.5.** Precio de la madera aserrada de especies maderables encontradas en sistemas silvopastoriles (año 2009)

Región	Especie	Precio del m <sup>3</sup> (USD)	Tipo de crecimiento
Honduras (Chavarría 2010)	<i>Pinus oocarpa</i>	132,3	Rápido
	<i>Cedrela odorata</i>	238,1	Rápido
	<i>Cordia alliodora</i>	142,9	Rápido
	<i>Magnolia yoroconte</i>	185,2	Lento
	<i>Dalbergia retusa</i>	142,9	Lento
El Cayo, Belice (Rosa 2010)	<i>Aspidosperma cruentum</i>	180,4	Mediano
	<i>Astronium graveolens</i>	440	Mediano
	<i>Bursera simaruba</i>	143	Mediano
	<i>Cedrela odorata</i>	440	Rápido
	<i>Ceiba pentandra</i>	180,4	Mediano
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	180,4	Mediano
	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	180,4	Rápido
	<i>Melia azedarach</i>	180,4	Rápido
	<i>Peltogyne purpurea</i>	180,4	Mediano
	<i>Piscidia piscipula</i>	440	Rápido
<i>Pouteria amigdalina</i>	180,4	Rápido	

## 6.6 Crecimiento y rendimiento de especies maderables en sistemas silvopastoriles

El crecimiento de un árbol –y, en consecuencia, el volumen de madera que puede aportar un SSP– tiene que ver con la densidad arbórea y con el tipo de especies que se utilicen. Al igual que el valor comercial y el tipo de crecimiento (rápido, lento o moderado), el volumen de madera que pueden aportar las especies es una característica que debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar las especies maderables a incluir en un sistema ganadero. En este sentido, en Muy Muy, la mayor área basal la registraron las especies *Albizia saman* (15,09 m<sup>2</sup>) y *E. cyclocarpum* (13,8 m<sup>2</sup>), muy por encima de *T. rosea* (6,35 m<sup>2</sup>), *C. alliodora* (3,1 m<sup>2</sup>), *C. odorata* (5,3 m<sup>2</sup>) (Esquivel 2005). En sistemas de árboles dispersos en potreros se han registrado volúmenes de madera de hasta 19,2 m<sup>3</sup>/ha (Cuadro 6.6).

El tipo de SSP influye en el crecimiento diamétrico y en la altura. Por ejemplo, un estudio sobre linderos de *Cedrela odorata* en Santa Bárbara, Honduras reporta un incremento medio anual de 1,09 m de altura y 3,77 cm de diámetro (Viera y Pineda 2004). En pastizales del trópico seco de Costa Rica, un estudio de Andrade (2007) con tres especies nativas establecidas en hileras dobles, a 8 m entre hileras y 2 m entre árboles, determinó que el mayor crecimiento a los 51 meses lo alcanzó *Diphysa robinoides* (5,7 cm dap y 3,4 m de altura) (Cuadro 6.7). Borzone et ál. (2007) evaluó el rendimiento de una cortina de *Eucalyptus camaldulensis* de cinco filas de ancho plantadas en potrero a 3 x 3 m en forma alterna y con un largo de 600 m. Los rendimientos promedio observados en diferentes sectores a lo largo de la cortina fueron 10,8 - 19,3 y 3,8 m<sup>3</sup>/ha/año.

Al igual que el valor comercial y el tipo de crecimiento (rápido, lento o moderado), el volumen de madera que pueden aportar las especies es una característica que debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar las especies maderables a incluir en un sistema ganadero.

Cuadro 6.6. Volumen de madera (m<sup>3</sup>/ha) registrado en fincas ganaderas de Centroamérica

Región	Sistema	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	Fuente
Subcuenca del río Copán, Honduras	Árboles dispersos especies latifoliadas (74 árboles/ha)	13	Chavarría (2010)
	Cercas vivas de eucalipto (196 árboles/km)	100,2	
Esparza, Costa Rica	Árboles dispersos en alta densidad (25 árboles/ha)	19,2	Scheelje (2009)
El Cayo, Belice	Árboles dispersos en potreros	13	Rosa (2010)
La Fortuna, Costa Rica	Lechería especializada (laurel, 10,34 árboles/ha)	3,88	Souza (2002)*
	Doble propósito (laurel, 16,08 árboles/ha)	4,49	
	Lechería especializada (cedro, 1,44 árboles/ha)	0,18	
	Doble propósito (cedro, 0,62 árboles/ha)	1,19	

\*dap comercial (>35 cm) y no comercial (<35 cm)

Cuadro 6.7. Crecimiento de tres especies arbóreas nativas en pasturas del trópico seco de Costa Rica (evaluación a los 51 meses de edad)

Especie arbórea/ Pastura	<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Promedio	
dap (cm)	<i>Pithecellobium saman</i>	2,7 (0,4)*	3,7 (0,4)	3,3 (0,3)
	<i>Dalbergia retusa</i>	4,6 (0,3)	3,7 (0,3)	4,1 (0,2)
	<i>Diphysa robinioides</i>	5,8 (0,3)	5,6 (0,3)	5,7 (0,2)
altura total (m)	<i>Pithecellobium saman</i>	2,2 (0,2)	2,7 (0,2)	2,5 (0,1)
	<i>Dalbergia retusa</i>	3,4 (0,2)	2,5 (0,2)	3,0 (0,1)
	<i>Diphysa robinioides</i>	3,4 (0,2)	3,5 (0,2)	3,4 (0,1)

\*El valor entre paréntesis representa el error estándar.

Fuente: (Andrade 2007)

En la selección de especies maderables en pastizales se debe tener muy en cuenta su efecto en los pastos asociados: la competencia por luz, agua y nutrientes debe ser mínima.

## 6.7 Manejo y silvicultura de especies maderables en sistemas silvopastoriles

### 6.7.1 Selección de especies maderables

A la hora de seleccionar las especies maderables más apropiadas para un SSP, el primer paso es asegurar que haya experiencias exitosas con la/las especies de interés, ya sean nativas o exóticas, en la misma zona o en zonas comparables (Cordero y Boshier 2003). Otros aspectos a tomar en cuenta desde el inicio son el valor comercial de la especie (de moderado a alto), el tipo de crecimiento (rápido) y la capacidad de autopoda en condiciones de campo abierto. Los árboles en sistemas agroforestales tienden a tener peor forma de fuste que los árboles en plantaciones en bloque pues, al no haber competencia lateral por la luz debido a los amplios espaciamientos utilizados, aumenta la ramificación y la persistencia de las ramas. Esto implica mayores costos de aprovechamiento, más desperdicios de aserrío y menor calidad de la madera debido a los nudos grandes. En algunas especies maderables –entre ellas, *Cordia alliodora* y *Acrocarpus fraxinifolius*–, las ramas inferiores se secan y caen rápidamente, aun en campo abierto; esto se conoce como autopoda.

Otra característica que se debe tomar en cuenta en la selección de especies maderables es su efecto en los pastos asociados: la competencia por luz, agua y nutrientes debe ser mínima. Las especies más apropiadas son aquellas de copa pequeña y abierta, como *Cordia alliodora* o *Tabebuia rosea*, y con un sistema radicular profundo que no compita con las pasturas y que evite el volcamiento del árbol (Cordero y Boshier 2003).

### 6.7.2 Manejo de árboles en potreros

Para el establecimiento de árboles en potreros se debe contar con buen material genético: hay que asegurarse de que las semillas o estacas que se siembran provengan de árboles sanos y con buen potencial. El manejo de los árboles maderables en potreros debe garantizar que el tronco se mantenga recto, sin curvas ni torceduras, sin ramas ni huellas de ramas cortadas, sin heridas ni infecciones por hongos y, sobre todo, sin clavos ni grapas; el fuste debe tener una buena altura hasta el defecto más bajo (rama, herida...) (Faurby y Barahona 1998). Para lograrlo, deben introducirse prácticas de manejo silvicultural como control de malezas, poda de ramas y bifurcaciones, raleos y cortes selectivos. Las podas de árboles en potreros son más frecuentes e intensivas que en plantaciones en bloque, pero nunca deben exceder el 30% de la copa (Faurby y Barahona 1998, Cordero y Boshier 2003). Para una buena poda, el corte de la rama debe hacerse contra el tronco, dejando únicamente el rodete de cicatrización; nunca se debe dejar un tocón. Con la poda se mejora la calidad de la madera (libre de nudos); con el raleo se mejora la cantidad de madera (rollos gruesos) (Esquivel et ál. 2010).

La necesidad de aplicar un raleo se detecta cuando los árboles comienzan a entrelazarse unos con otros. Puede ser que un árbol empiece a extender su copa sobre el vecino, el cual va quedando poco a poco dominado. En otros casos, aunque no aparecen individuos claramente dominantes, se aprecia un estancamiento general en el rodal o en un grupo de árboles que prácticamente dejan de crecer en diámetro. Además de la densidad y la ubicación, en el raleo se toma en cuenta la forma y sanidad de los árboles; hay que eliminar los individuos enfermos, torcidos o bifurcados (Faurby y Barahona 1998, Cordero y Boshier 2003).

### 6.7.3 Espaciamiento de árboles maderables en potreros

El espaciamiento inicial de los árboles depende fundamentalmente de los objetivos de la plantación, del hábito de crecimiento de la especie, la calidad del sitio y el manejo. En linderos, los espaciamientos iniciales para maderables deben ser de 3-5 m, mientras que como sombra deben ser mayores a 8 m (Cordero y Boshier 2003). En sitios pobres es conveniente que los árboles se planten con espaciamientos más altos; en sitios con buenas condiciones edáficas se puede dar un espaciamiento menor que favorece la forma del fuste y la producción total de volumen (Faurby y Barahona 1998).

### 6.7.4 Protección a los árboles plantados

Durante las primeras etapas de establecimiento se deben tomar medidas para aislar y proteger los árboles maderables en potreros de los daños mecánicos

Con la poda se mejora la calidad de la madera (libre de nudos); con el raleo se mejora la cantidad de madera (rollos gruesos).

El espaciamiento inicial de los árboles depende fundamentalmente de los objetivos de la plantación, del hábito de crecimiento de la especie, la calidad del sitio y el manejo.

generados por el ganado o por acción del hombre (chapias). Un método práctico y de bajo costo, empleado por algunos ganaderos es el proteger los árboles mediante empaques de nylon (Fig. 6.5a). Otro método es el de árbol protegido por 3 o 4 auxiliares; este consiste en sembrar estacas de árboles forrajeros alrededor del árbol maderable para protegerlo contra el pisoteo del ganado, ofrecer forraje al ganado y competencia y sombra lateral al árbol que está en el centro (Fig. 6.5b). Con el tiempo, se van cortando los árboles auxiliares y se deja solamente el árbol principal (Faurby y Barahona 1998). Además, se debe evitar el sobrepastoreo, ya que puede intensificar los daños a los árboles.



**Figura 6.5a.** Árboles en cercas vivas protegidos mediante empaques de nylon  
Foto: Piedad Zapata.



**Figura 6.5b.** Modelo de árbol protegido por 3 o 4 auxiliares  
Foto: Piedad Zapata.

## 6.8 Servicios ambientales de árboles en potreros

### 6.8.1 Reducción del estrés calórico en bovinos

Los árboles en los potreros ayudan a mantener un clima fresco y evitan que los animales sufran de estrés calórico que disminuye su productividad (Joya et ál. 2004, Sharrow 2000), al aumentar la tasa respiratoria de los animales. La capacidad de las diferentes especies de árboles de brindar “buena sombra” para el ganado se relaciona con la densidad y área de copa y con el comportamiento fenológico de su follaje (si son especies caducifolias o perennifolias) (Fig. 6.6). Souza (2002) encontró que la tasa respiratoria del ganado es menor en potreros con sombra de árboles que en pasturas en monocultivo; asimismo, la productividad de leche en la época seca fue mayor en sistemas con sombra que en pasturas en monocultivo (Cuadro 6.8).

### Análisis financiero

En la subcuenca del río Copán en Honduras y en el distrito de El Cayo en Belice se evaluó la contribución del aprovechamiento de madera a la rentabilidad de fincas ganaderas pequeñas (menores de 40 ha) y medianas (40-100 ha). Se evaluaron cuatro fincas en cada categoría por país. El aprovechamiento de madera significó un incremento en la rentabilidad de las fincas ganaderas pequeñas y medianas que va de US\$73 a US\$196 (Cuadro 6.A).

En El Cayo se dieron los mayores incrementos económicos por metro cúbico de madera aprovechada debido a que el mayor volumen de madera proviene de *Cedrela odorata*, una especie de alto valor en la zona (440 US\$/m<sup>3</sup>) (Rosa 2010). En Honduras, el volumen comercial aprovechable corresponde principalmente a las especies *Pinus oocarpa* y *Quercus* sp., especies consideradas de valor comercial medio (Chavarría 2010). Para que el aporte financiero del componente maderable en las fincas evaluadas sea significativo, se debe dar un valor agregado al producto extraído antes de sacarlo al mercado. Como mínimo, el producto debe ser vendido como madera aserrada puesta en la industria (VAN 13%); en comparación, la venta de madera en rollo puesta en la industria tuvo un VAN del 3%; la venta de madera en rollo en patio de acopio (bacadilla), 5% y la venta de madera en pie, 2% (Chavarría 2010).

En Esparza, Costa Rica, Chagoya (2004) evaluó el efecto del aprovechamiento maderable en una hectárea de *Hyparrhenia rufa* con regeneración natural de *Cordia alliodora* bajo tres calidades de sitio; el número de árboles al final del turno de 25 años fue de 50 árboles/ha. Se encontró un incremento relativamente bajo en la rentabilidad de la madera bajo calidades de sitio regular y buena, aunque los volúmenes de madera obtenidos sí fueron significativos (Cuadro 6.A).

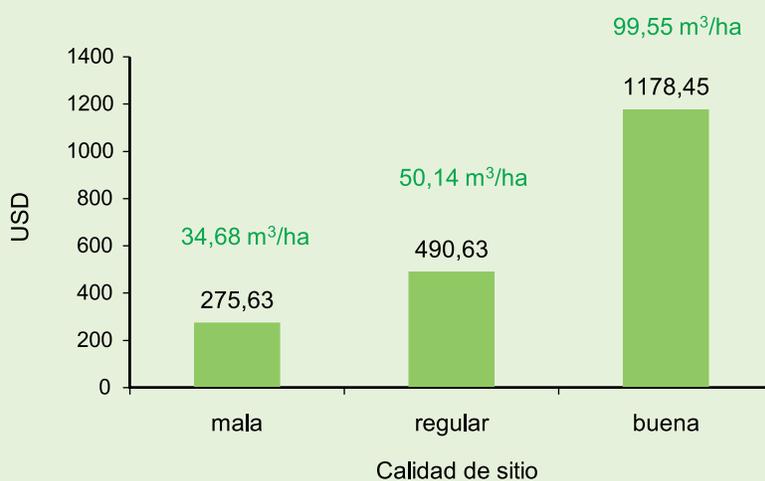
**Cuadro 6.A.** Valor actual neto del aprovechamiento de árboles dispersos en fincas ganaderas de Centroamérica

País	Tipo de sistema	Sin proyecto (VAN/ha)	Con proyecto (VAN/ha)	Incremento económico con proyecto (USD)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)	Incremento (USD/m <sup>3</sup> )	Fuente
Honduras	finca pequeña	1864,8	2061,2	196,4	44,5	4,4	Chavarría (2010)
	finca mediana	2241,2	2409,4	168,2	82,9	2,0	
Belice	finca pequeña	570,9	710,6	139,6	1,2	119,4	Rosa (2010)
	finca mediana	838,3	911,2	73,0	1,1	66,3	
Costa Rica	calidad de sitio mala	534,7	352,5	-182,2	24,6	-	Chagoya(2004)
	calidad de sitio regular	534,7	584,0	49,3	41,2	1,2	
	calidad de sitio bueno	534,7	910,4	375,7	64,6	5,8	

El aprovechamiento maderable en cercas vivas es también una alternativa importante para la generación de ingresos en las fincas ganaderas. En la subcuenca del río Copán, se encontraron fincas con cercas vivas de eucalipto, las cuales presentaron valores promedio de 196 árboles/km, dap de 28 cm y alturas de 18,9 m, para un volumen comercial de 100,2 m<sup>3</sup>/km (Chavarría 2010).

En El Cayo, mediante simulación se determinó el valor de linderos de *C. odorata* a lo largo de 2,5 km en una finca pequeña y otra mediana, representativas de las fincas con más bajos volúmenes maderables. Se registró un incremento porcentual en el VAN del 29% para la finca pequeña y del 10% para la finca mediana. Esto demuestra que si se enriquecen los SSP con linderos maderables se podría mejorar sustancialmente la rentabilidad financiera y hacer más atractiva la incorporación de árboles de especies maderables a dichos sistemas (Rosa 2010).

En Esparza, la inversión en la incorporación de árboles maderables en cercas vivas resultó rentable para escenarios que simularon diferentes calidades de sitio. El rendimiento de madera varió según la calidad del sitio entre 34 y 99 m<sup>3</sup>/ha/ciclo de 25 años, asumiendo un perímetro de 400 m de longitud en una hectárea (Fig. 6.A). Los resultados indican que la calidad del sitio es muy importante para la productividad y rentabilidad de la actividad maderera (Chagoya 2004).



**Figura 6.A.** Valor actual neto (US\$) de árboles maderables en cercas vivas (400 m) en Esparza, Costa Rica  
Fuente: Chagoya (2004)

**Cuadro 6.8.** Parámetros fisiológicos y productivos de vacas jersey bajo diferentes condiciones de sombra en La Fortuna, Costa Rica

Parámetro	Época seca		Época lluviosa	
	Sombra(n=8)	No sombra(n=8)	Sombra(n=8)	No sombra(n=8)
Temperatura rectal (°C)	38,57 a	38,59 a	38,72 a	39,02 b
Respiraciones/minuto	64,72 a	80,65 b	70,39 a	88,9 b
Producción leche (kg/día)	12,75 a	11,06 b	8,96 a	9,18 a

Fuente: Souza (2002)



**Figura 6.6.** Animales descansando bajo árbol de carao (*Cassia grandis*) en Matiguás, Nicaragua  
Foto: Piedad Zapata.

### 6.8.2 Reciclaje de nutrientes

Con la liberación de biomasa, los árboles contribuyen al reciclaje de nutrientes en el suelo (Swallow y Van Noordwijk 2009, Joya et ál. 2004, Seth 2004). Asimismo, los árboles pueden reducir la pérdida de nutrientes del sistema por medio de la captura de nutrientes en el subsuelo (Schroth et ál. 2003). Por eso, la asociación de especies arbóreas de raíces profundas con gramíneas que carecen de tejidos leñosos y raíces pivotantes es una relación de complementariedad que contribuye a un uso más eficiente de los recursos del sistema (Oliva et ál. 2001). Los árboles leguminosos pueden tener un efecto neto beneficioso por la fijación y transferencia de nitrógeno en la hojarasca (Schroth et ál. 2003, Pezo et ál. 1999). Especies de interés maderable como *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, registradas como abundantes en potreros de América Central, son también especies leguminosas que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico.

### 6.8.3 Beneficios hidrológicos

Los SSP pueden ayudar a conservar los recursos hídricos, ya que mejoran la infiltración del agua en las cuencas hidrográficas se interceptan y reducen la erosión. Las copas sirven como un escudo contra las fuertes lluvias y mitigan el impacto de las gotas de lluvia, lo cual depende de la altura del árbol, tipo de hoja e intensidad de la lluvia (Ibrahim et ál. 2001). En sistemas ganaderos de Costa Rica y Nicaragua, Ríos et ál. (2007) encontraron que en pasturas mejoradas con árboles la infiltración fue mayor (0,23 cm/h en Costa Rica y 0,81 cm/h en Nicaragua) que en pasturas naturales sobrepastoreadas (0,07 cm/h en Costa Rica y 0,03 cm/h en Nicaragua). Sin embargo, algunas especies de árboles pueden afectar la disponibilidad de agua en el suelo debido a la cantidad de agua que absorben por las raíces y la distribución espacial del agua en el árbol (tamaño y forma del tronco y de la copa) (Barbier et ál. 2008). En este sentido,

el uso de especies arbóreas con sistemas de raíces que exploran zonas más extensas, tanto lateral como verticalmente, que estén fuera del alcance de los cultivos, podría aumentar la productividad total del sistema, sin que decrezca el rendimiento de los cultivos (Van Noordwijk y De Willigen 1991).

#### 6.8.4 Fijación y almacenamiento de carbono

Los árboles en potreros contribuyen a la fijación y almacenamiento de carbono en los sistemas ganaderos. Los árboles en potreros almacenan más carbono que la pastura (Cuadro 6.9), por la mayor longevidad de los árboles. En SSP se han registrado tasas de fijación de hasta 2,2 t/ha/año (Cuadro 6.10).

**Cuadro 6.9.** Almacenamiento de carbono en diversos sistemas silvopastoriles

Localización	Zona de vida	Uso de la tierra	Biomasa aérea		Carbono orgánico del suelo (t/ha)	Total sistema evaluado (t/ha)	Observaciones	Referencia
			Pastura (t/ha)	Árbol (t/ha)				
Esparza, Costa Rica	Bosque subhúmedo tropical	Pastura degradada	no estimado	4,83	21,66	21,66	Baja densidad: <30 árboles/ha; alta densidad: >30 árboles/ha; carbono orgánico (1 m profundidad).	Ibrahim et ál. (2007)
		Pastura mejorada, baja densidad arbórea	no estimado	1,63	117,53	117,53		
		Pastura natural, alta densidad arbórea	no estimado	7,09	121,7	121,7		
Matiguás, Nicaragua	Bosque húmedo tropical	Pastura degradada	no estimado	9,44	63,06	63,06		
		Pastura natural, baja densidad arbórea	no estimado	11,9	91,02	91,02		
Cañas, Costa Rica	Bosque seco tropical	Sistema silvopastoril ( <i>Diphysa americana/ Hyparrhenia rufa</i> )	2,3	4,3	96,5	103,1	Carbono orgánico (1 m profundidad); pastura (solo arriba del suelo).	Rojas (2005)
		Sistema silvopastoril ( <i>Diphysa americana/ Brachiaria brizantha</i> )	3,3	4	121,2	128,5		
Matiguás, Nicaragua	Bosque semidecduo	Pasto nativo con árboles	0,96	8,18	155,2	164,96	Pasto nativo: 100 árboles/ha; pasto mejorado: 110 árboles/ha; dap >10 cm; carbono orgánico: 80 cm de profundidad.	Ruiz (2002)
		Pasto mejorado con árboles	2,51	12,54	155,1	170,15		
		Pasto nativo monocultivo	1,37	0	150	151,37		
		Pasto mejorado monocultivo	1,66	0	157,7	159,36		
Yaracuy, Venezuela	Bosque seco tropical	Bosque primario	no aplica	145	79,24	224,24	Árboles 8 años de edad; carbono orgánico del suelo (1 m profundidad)	Messa (2009)
		Pastura en callejones de <i>Leucaena leucocephala</i>	1,88	0,72	58,22	60,82		
		Pastura con árboles dispersos	1,29	18,14	77,53	96,96		

**Cuadro 6.10.** Fijación de carbono en diversos sistemas silvopastoriles de Latinoamérica

Sistema	Tasa de fijación (t/ha/año)	Referencia
SSP con <i>Acacia mangium</i>	1,75	Andrade (1999)
SSP con <i>Eucalyptus deglupta</i>	1,8	
<i>Brachiaria brizantha</i> con <i>Eucalyptus deglupta</i> 370 árboles/ha	1,8	Ávila (2000)
<i>Brachiaria brizantha</i> con <i>Acacia mangium</i>	2,2	
<i>Cynodonn lemfuensis</i> con <i>Gliricidia sepium</i>	0,124	Arias et ál. (2001)
Pastura en callejones de <i>Leucaena leucocephala</i> 1861 árboles/ha	0,14	Messa (2009)
Pastura con árboles 120 árboles/ha	2,79	

**6.8.5 Conservación de la biodiversidad**

Los árboles en potreros contribuyen a incrementar la biodiversidad en los paisajes ganaderos, ya que son fuente de alimento y hábitat para muchas especies de la flora y fauna. Además, la cobertura arbórea en potreros incrementa la conectividad en paisajes ganaderos, lo que favorece la movilidad de ciertas especies. Estudios realizados muestran que las pasturas con árboles presentan mayor número de especies de aves que las pasturas en monocultivo; a medida que se incrementa la cobertura arbórea, aumenta también la presencia de aves en dichos paisajes (Cuadro 6.11). En potreros con alta densidad de árboles se encontró mayor riqueza de mariposas (14 especies) que en pasturas mejoradas con baja densidad de árboles (10 especies) (Tobar et ál. 2007).

**Cuadro 6.11.** Riqueza de aves registrada en paisajes ganaderos con árboles en Centroamérica

País	Hábitat	No. de especies	Fuente
Costa Rica	Pasturas con árboles	20	Sabido (2001)
	Pasturas sin árboles	8	
	Cercas vivas	42	Cárdenas (2002)
	Potreros con alta cobertura arbórea	45	
	Potreros con baja cobertura arbórea	28	
Guatemala	Cercas vivas	89	Cerezo et ál. (2009)
Subcuenca del río Copán, Honduras	Potreros con alta cobertura arbórea	9	Decker (2009)
	Potreros con baja cobertura arbórea	9	
Río Frío, Costa Rica	Cercas vivas de madero negro	99	Santiváñez (2005)
	Cercas vivas de poró	94	

Los árboles en sistemas silvopastoriles incrementan la presencia de especies asociadas de la flora y la fauna, así como la conectividad entre paisajes.

## 6.9 Bibliografía

- Alcázar Caicedo, C. 2007. Patrones de regeneración natural establecida de especies leñosas y su relación con aspectos estructurales, funcionales y de manejo en un agropaisaje mesoamericano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 196 p.
- Andrade Castañeda, HJ. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE-UWB. 70 p.
- Andrade Castañeda, HJ. 2007. Growth and inter-specific interactions in young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica. PhD. Thesis. Turrialba, Costa Rica, CATIE-UWB. 224 p.
- Archer, S; Smeins, FE. 1991. Ecosystem level processes. In Heitschmidt, R; Stuth, JW. (Eds.). Grazing management an ecological perspective. Hong-Kong, Timber Press. 109 p.
- Arias Sánchez, K; Ruiz-Silvera, C; Milla, M; Messa, HF; Escobar, A. 2001. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela (en línea). Livestock Research for Rural Development 5(13). Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd13/5/ruiz135.htm>
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Barbier, S; Gosselin, F; Balandier, P. 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved: A critical review for temperate and boreal forests. Forest Ecology and Management 254(1):1-15.
- Borzzone, HA; Bardi, JF; Laddaga, JE. 2007. Crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* cultivado como cortina en un establecimiento agropecuario del Partido de Azul (Pcia. de Bs. As.). Revista de Ciencias Forestales No. 14:65-73. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Cajas, YS; Sinclair, F. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean region of Colombia. Agroforestry Systems 53:215-225.
- Camargo García, JC. 1999. Dinámica poblacional en la fase temprana de establecimiento de laurel (*Cordia alliodora*), dentro de cuatro pasturas diferentes en el trópico húmedo y sub-húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 127 p.
- Camargo, JC; Cardona Trujillo, H; Gaviria Vásquez, J. 2008. Regeneración natural de árboles maderables en pasturas como estrategia para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en la zona cafetera de Colombia. In Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J. (Eds.) Ganadería del futuro investigación para el desarrollo. Cali, Colombia, Fundación CIPAV. 489 p.
- Cárdenas Carmona, G. 2002. Cobertura arbórea y diversidad de aves en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 123 p.
- Carpio Malavassi, MI. 1992. Maderas de Costa Rica: 150 especies forestales. San José, Costa Rica, Editorial UCR. 338 p.
- Cerezo, A; Robbins, C; Dowell, B. 2009. Uso de hábitats modificados por aves dependientes de bosque tropical en la región caribeña de Guatemala. Biología Tropical 57(1-2):401-419.
- Chagoya Fuentes, JL. 2004. Análisis de inversión en la incorporación de árboles maderables en fincas ganaderas en el trópico sub-húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 93 p.
- Chavarría, A. 2010. Incidencia de la legislación forestal en el recurso maderable de fincas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles de Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 195 p.
- Cordero, J. Boshier, DH. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, Reino Unido, OFI/CATIE. 1079 p.
- Decker, M. 2009. Diversidad funcional de epífitas en sistemas silvopastoriles como fuente de hábitat para aves en la subcuena del Río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 103 p.

- Esquivel, H; Ibrahim, M; Harvey, C; Villanueva, C; Benjamín, T; Sinclair, F. 2003. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):24-29.
- Esquivel, J; Lacorte, S; Goldfarb, C; Fassola, H; Colcombet, L; Pachas, N. 2010. Sistemas silvopastoriles con especies maderables en la República Argentina. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaría Sostenible [Panamá, 28-30 sept. 2010].
- Esquivel, MJ. 2005. Regeneración natural de árboles y arbustos en potreros activos en Muy Muy, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 142 p.
- Faurby, O; Barahona, T. 1998. Silvicultura de especies maderables nativas del trópico seco de Nicaragua. Managua, Nicaragua, Instituto Nitlapán. 134 p.
- Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44:37-68.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- Ibrahim, M; Schlonvoigt, A; Camargo, JC; Souza, M. 2001. Multi-strata silvopastoral systems for increasing productivity and conservation of natural resources in Central America. Proceedings, International Grassland Congress [Sao Paulo, Brasil, 11-21 feb. 2001]. p. 645-649.
- Joya, M; López, M; Gómez, R; Harvey, C. 2004. Conocimiento local sobre el uso y manejo de los árboles en las fincas ganaderas del Municipio de Belén, Rivas. *Revista Encuentro* No. 68. Universidad Centroamericana de Nicaragua. Consultado 18 dic. 2008. Disponible en <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/nicargua/uca/encuen/encuen68/art3.rtf>
- Martínez Rayo, JL. 2003. Conocimiento local de productores ganaderos sobre cobertura arbórea en la parte baja de la cuenca del río BulBul en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 158 p.
- McNaughton, SJ. 1983. Serengeti grassland ecology: The role of composite environmental factors and contingency in community organization. *Ecological Monographs* 53:291-320.
- Messa Arboleda, HF. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 226 p.
- Nilsen R; Skarpe, C; Moe, S. 2009. La conducta del ganado con respecto a la distancia a los árboles en Muy Muy, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 47:61-67.
- Oliva, G; Noy-Meir, I; Cibils, A. 2001. Fundamentos de ecología de pastizales. *In* Ganadería sustentable en la Patagonia Austral. Consultado 15 jul. 2009. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/Santacruz/info/documentos/reccnat/Libro%20TME/TME%203.pdf>
- Pezo, D; Ibrahim, M; Beer, J; Camero, A. 1999. Oportunidades para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en América central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 46 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 311).
- Ríos, N; Cárdenas, A; Andrade, H; Ibrahim, M; Jiménez, F; Sancho, F; Ramírez, E; Reyes, B; Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66-71.
- Rojas Molina, J. 2005. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 71 p.
- Rosa Cruz, A. 2010. Desafíos de la legislación forestal para el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de El Cayo, Belice. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 123 p.
- Ruiz G, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 106 p.
- Sabido, EW. 2001. Aves, escarabajos estercoleros y árboles en un paisaje fragmentado de Cañas, Guanacaste: relaciones entre cobertura arbórea y biodiversidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 105 p.

- Sánchez, D; Harvey, C; Grijalva, A; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua (en línea). Consultado 8 nov. 2008. Disponible en <http://www.ots.ac.cr/tropiweb/attachments/volumes/vol53-3-4/09-SANCHEZ-Div.indd.pdf>
- Santivañez Galarza, JL. 2005. Efecto de la estructura, composición y conectividad de las cercas vivas en la comunidad de aves en Río Frío, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 127 p.
- Scheelje, M. 2009. Incidencia de la legislación sobre el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 127 p.
- Schroth, G; Lehmann, J; Barrios, E. 2003. Soil nutrient availability and acidity. In Schroth, G; Sinclair, F. (Eds.). Trees, crops and soil fertility: Concepts and research methods. Oxford, United Kingdom, CABI. p. 93.
- Seth, MK. 2004. Trees and their economic importance. The Botanical Review 69(4): 321-337.
- Sharrow, S. 2000. Trees in pastures: do cattle benefit from shade? (en línea) Oregon State University. Consultado 18 ago. 2009. Disponible en <http://www.aftaweb.org/entserv1.php?page=25>
- Somarriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava* L) trees in Costa-Rica. Agroforestry Systems 6:153-162.
- Souza de Abreu, MH. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. PhD. Thesis. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Swallow, B; Van Noordwijk, M. 2009. Agriculture and climate change: an agenda for negotiation in Copenhagen for food, agriculture, and the environment direct and indirect mitigation through tree and soil management. Washington DC, US, IFPRI. 2 p. Disponible en <http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/BR09049.PDF>
- Tobar López, D; Ibrahim, M; Casasola, F. 2007. Diversidad de mariposas en un paisaje agropecuario del Pacífico Central de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 45:58-65.
- Van Noordwijk, M; De Willigen, P. 1991. Root function in agricultural systems. In: McMichael, BL; Persson, H. (Eds.). Plants roots and their environment. Oxford, United Kingdom, Elsevier Science. p. 381-395.
- Viera, C; Pineda, A. 2004. Productividad de lindero maderable de *Cedrela odorata*. Agronomía Mesoamericana (Costa Rica) 15:85-92.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Sinclair, F; Muñoz, D. 2003. Decisiones claves que influyen en la cobertura arbórea de fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica. Agroforestería en las Américas 10 (39-40):69-77.
- Villanueva, C; Tobar, D; Ibrahim, M; Casasola, F; Barrantes, J; Arguedas, R. 2007. Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 45:12-20.

## 7. Producción de madera en sistemas agroforestales con cacao

Eduardo Somarriba, Luis Orozco y Arlene López

Los pequeños productores de cacao (*Theobroma cacao*) de todo el mundo plantan, seleccionan de la regeneración natural o retienen del bosque original varias especies de plantas útiles para dar sombra al cacao. Para ello emplean variados diseños agroforestales que responden a sus intereses, condiciones agroecológicas y socioeconómicas particulares (Rice y Greenberg 2000, Somarriba y Harvey 2003, Bentley et ál. 2004, Somarriba et ál. 2004). La mayoría de esas plantas son árboles, pero también hay diferentes especies de bambú, palmas, arbustos y hierbas gigantes (como bananos y plátanos) que valorizan la propiedad y proveen de bienes y servicios de utilidad para la venta, el consumo de la familia o de uso en la finca (Shepherd et ál. 1977, Ramadasan et ál. 1978, Oladokun y Egbe 1990, Ekenade y Egbe 1990, Herzog 1994, Amoha et ál. 1995, Asare 2004). Entre esos bienes y servicios están la madera, leña, aceites, frutas, medicina, fibras, servicios culturales y religiosos, entre otros.

El cacao ha participado en el mercado mundial de materias primas por más de 100 años. Durante ese tiempo, los precios han sufrido severas oscilaciones cíclicas de frecuencia y duración variables que han causado grandes pérdidas económicas a familias y gobiernos (Ruf y Schroth 2004). En las épocas de crisis de cultivos principales como el café o el cacao, se recomienda la diversificación productiva para tener ingresos alternativos cuando caen los precios (Godoy y Bennett 1989). Como parte de ese proceso de diversificación, la incorporación de árboles maderables es una opción viable.

La capacidad de producción maderable de especies como *Cordia megalantha*, *C. alliodora*, *Terminalia superba*, *Tabebuia rosea* y *Swietenia macrophylla* en varios tipos de cacaotales ha sido estudiada profusamente en Costa Rica, Honduras y Brasil (Somarriba y Beer 1987, Somarriba y Beer 1999, Calvo y Meléndez 1999, Melo 1999, Méndez 1999, Neto et ál. 1999, Matos et ál. 2000, Ramírez et ál. 2001, Somarriba et ál. 2001, Sánchez et ál. 2002, Suárez y Somarriba 2002). Uno de los sistemas más comúnmente empleado es la plantación de unas pocas

En las épocas de crisis de cultivos principales como el café o el cacao, se recomienda la diversificación productiva para tener ingresos alternativos cuando caen los precios. Como parte de ese proceso de diversificación, la incorporación de árboles maderables es una opción viable.

especies maderables de alto valor, como *Swietenia* spp. o *Cedrela odorata*, que brindan sombra al cacao y madera para uso doméstico o la venta local (Chalmers 1971, Isaac et ál. 2007, Lim 1978, Melo 1999, Méndez 1999, Orozco et ál. 2008, Sánchez et ál. 2002). Otros ejemplos comunes de árboles maderables en doseles de sombra para cacao incluyen *Cedrela odorata* (Amo y Ramos 1993), *Triplaris cummingiana* (Mussack y Laarman 1989, Bentley et ál. 2004), *Schyzolobium parahyba*, *Centrolobium ochroxylum* y *Amburana cearensis* (Orozco y Somarriba 2005) y *Terminalia ivorensis* (Lim 1978). La diversificación de las plantaciones de cacao por medio de la plantación, conservación y manejo de maderables aumenta la estabilidad del ingreso de la finca y baja el riesgo financiero (Ramírez et ál. 2001); además, provee servicios ambientales locales (polinización, calidad y biota de suelos y conservación de agua) y globales (fijación de carbono atmosférico y conservación de biodiversidad (Rice y Greenberg 2000, Beer et ál. 2003, Montagnini y Nair 2004).

Es posible, entonces, identificar dos modelos básicos para la producción maderable en SAF-cacao:

1. Rodales coetáneos: los árboles maderables se plantan junto con el cacao; al momento de la renovación del cacaotal se aprovecha toda la madera.
2. Rodales discetáneos: se reclutan y aprovechan periódicamente árboles de regeneración natural; estos rodales poseen generalmente distinta estructura de edad o tamaño.

## 7.1 Producción de madera en cacaotales

### 7.1.1 Especies maderables plantadas

Investigaciones en las zonas cacaoteras de Talamanca (Costa Rica) y Bocas del Toro (Panamá) evaluaron durante diez años el comportamiento agronómico y financiero del cacao bajo diferentes especies leguminosas y maderables (Beer et ál. 1998). Se encontró que todos los árboles maderables crecieron rápidamente hasta alcanzar 30-34 cm dap, 17-25 m de altura y 97-173 m<sup>3</sup>/ha de volumen a los diez años de edad (Cuadro 7.1). *Terminalia ivorensis* acumuló el mayor volumen de madera a pesar de su alta tasa de mortalidad (Fig. 7.1). El diámetro de esta especie creció a razón de 5-8 cm/año (años 2-3) y la altura se incrementó en 2-4 m/año (años 5-9) y luego 1,5-2,5 m/año (años 6-10).

Se concluye que: 1) el manejo diferencial de las especies de sombra (frecuencia e intensidad de podas y raleos) brinda al cacao y a los maderables buenas condiciones para crecer y producir; 2) el uso de maderables como sombra del cacao es preferible sobre las leguminosas de servicio; 3) se puede plantar *C. alliodora* en suelos fértiles y con buen drenaje y *T. rosea* en sitios con drenaje pobre; 4) a pesar de acumular más madera, no se recomienda el uso de *T. ivorensis* ni en Talamanca ni en Bocas del Toro debido a su alta tasa de mortalidad.

**Cuadro 7.1.** Crecimiento y rendimiento de especies maderables como sombra de cacao en Ojo de Agua, Changuinola, Panamá

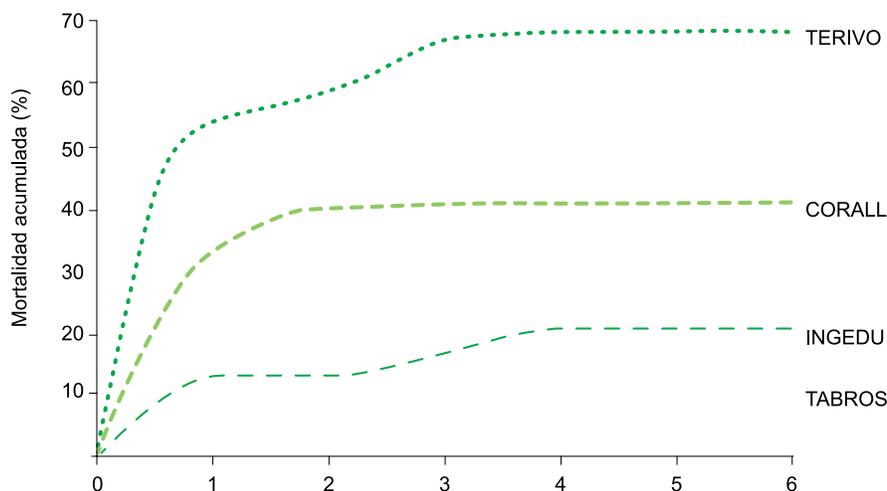
Año	<i>Cordia alliodora</i>			<i>Tabebuia rosea</i>			<i>Terminalia ivorensis</i>		
	dap (cm)	h (m)	Vol (m <sup>3</sup> /ha)	dap (cm)	h (m)	Vol (m <sup>3</sup> /ha)	dap (cm)	h (m)	Vol (m <sup>3</sup> /ha)
1990	3	2	0	4	4	0	5	2	1
1991	11	6	6	10	6	5	11	7	7
1992	16	10	25	14	8	13	17	10	26
1993	20	14	49	17	10	24	21	14	54
1994	22	17	80	21	12	42	24,5	18	88
1995	23,5/25*	19	81/77*	22/23*	12	43/36*	24,7/27*	20	101/89*
1996	27	21	96	25	14	54	30	20	107
1997	29	22	110	27	15	64	31	22	142
1998	29	23	121	29	16	75	33	24	155
1999	30	24	128	31	17	97	34	25	172

\*Después del raleo. La densidad inicial fue de 278 árboles/ha para todas las especies; las poblaciones residuales después del raleo fueron: *T. rosea* 170±12, *C. alliodora* 179±6. *T. ivorensis* 177±8.

Fuente: Somarriba y Beer (2011)

En Honduras se evaluó el crecimiento de varias especies maderables bajo sistemas agroforestales con cacao como alternativa a la sombra tradicional (Sánchez et ál. 2002). Los maderables fueron plantados simultáneamente con la siembra del cacao (por semilla) y con especies de rápido crecimiento como sombra temporal. Después de 11 y 14 años de establecidos con cacao, *Cordia megalantha* y *Terminalia superba* fueron las especies que alcanzaron los mejores incrementos en diámetro (3,4 cm y 5,4 cm, respectivamente) y un incremento en volumen superior a los 10 m<sup>3</sup>/ha (Cuadro 7.2). El 87% de las especies evaluadas presentaron un IMA en diámetro superior a los 2 cm (2-5,3 cm).

La incorporación de árboles en los cacaotales genera múltiples beneficios económicos y ecológicos.



**Figura 7.1.** Mortalidad acumulada de especies maderables como sombra de cacao en Ojo de Agua, Changuinola, Panamá

*Cordia alliodora* (CORALL), *Tabebuia rosea* (TABROS), *Terminalia ivorensis* (TERIVO), *Inga edulis* (INGEDU). Árboles plantados en 1989. Fuente: Somarriba y Beer (2011).

Cuadro 7.2. Características dasométricas de 16 especies maderables asociadas con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras

Especie	Densidad (árboles/ha)	Edad	IMA diámetro (cm)	IMA altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA volumen (m <sup>3</sup> /ha)
<i>Calophyllum brasiliense</i>	123	11	2,3	1,4	34,2	3,1
<i>Cojoba arborea</i>	111	12	2,7	1,2	22,0	1,8
<i>Cordia bicolor</i>	138	11	3,3	1,5	56,0	5,1
<i>Cordia megalantha</i>	185	14	3,4	1,5	150,0	10,7
<i>Dalbergia glomerata</i>	92	13	2,1	1,3	28,8	2,2
<i>Guarea grandifolia</i>	123	12	2,2	1,3	24,8	2,1
<i>Hurtea cubensis</i>	123	12	3,1	1,4	46,4	4,0
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	83	11	2,7	1,6	36,0	3,3
<i>Ilex tectonica</i>	123	11	2,3	1,2	35,7	3,2
<i>Magnolia yoroconte</i>	104	12	1,1	0,8	3,8	0,3
<i>Plathymiscium dimorphandrum</i>	123	12	1,6	1,0	16,7	1,4
<i>Swietenia macrophylla</i>	Nd	14	2,0	1,2	34,7	2,5
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	111	13	3,7	1,5	44,8	3,4
<i>Terminalia amazonia</i>	83	11	2,8	1,3	37,0	3,4
<i>Terminalia superba</i>	74	11	5,3	2,2	112,0	10,2
<i>Vitex gaumeri</i>	Nd	13	2,7	1,2	72,0	5,5

Fuente: Sánchez et ál. (2002).

La regeneración natural de especies maderables en cacaotales ha demostrado ser una buena fuente de madera, tanto para uso del propietario como para la venta.

### 7.1.2 Árboles maderables de regeneración natural

En Alto Beni, Bolivia se inventarió la población de árboles maderables (dap  $\geq 10$  cm) en los campos agrícolas (no se incluyeron áreas de bosques ni tacaotales) de 100 fincas cacaoteras orgánicas de dos tipos de agrupaciones: 50 fincas de cooperativas y 50 fincas de asociaciones. Se registraron 2211 árboles maderables pertenecientes a 33 familias, 50 géneros y 54 especies en un área agrícola muestreada de 614 ha. La mayoría de los árboles maderables de las fincas eran jóvenes (entre 5 y 9 años de edad); un 45% de todos los árboles midieron entre 10-20 cm de dap. Con un diámetro mínimo de corta de 40 cm, apenas el 15% de los árboles eran aprovechables comercialmente (Orozco y Somarriba 2005). Las especies más abundantes fueron *Swietenia macrophylla*, *Schyzolobium parahyba*, *Centrolobium ochroxylum*, *Amburana cearensis* y *Cedrela odorata*. La densidad y riqueza de maderables por finca fue de 3,5 árboles/ha y 5 especies/ha, respectivamente. Se encontraron hasta 4,7 m<sup>3</sup>/ha de madera de árboles valiosos (Cuadro 7.3).

Con el fin de evaluar la producción e incrementos de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica, Suárez (2001) y Calero (2008) inventariaron todos los árboles de *C. alliodora* y *C. odorata* (dap  $\geq 5$ cm) en 64 parcelas permanentes y en dos condiciones fisiográficas (loma y valle). En cinco años se aprovecharon 72 árboles de *C. alliodora* con dap  $\geq 40$  cm, los cuales generaron un volumen de 38,9 m<sup>3</sup>. Los SAF de cacao en valle presentaron las mayores existencias de madera de *C. alliodora* y *C. odorata*. Además, *C. alliodora* creció más rápido en

**Cuadro 7.3.** Población de árboles maderables en campos agrícolas de fincas cacaoteras del Alto Beni, Bolivia

Variables	Tipo de productor	
	Asociación	Cooperativa
Área agrícola inventariada (ha)	298	316
Total de individuos	861	1350
Área agrícola finca (ha)	6,3 ± 2,26	5,96 ± 1,47ns
Densidad (árboles/ha)	4,37 ± 1,77ns	5,84 ± 2,17ns
Riqueza (# especies/ha)	3,15 ± 1,15	4,72 ± 1,75ns
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	0,22 ± 0,12	0,27 ± 0,15ns
Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)	2,08 ± 0,55	2,84 ± 0,45ns
Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	3,7 ± 1,25	4,72±1,75 ns
Área basal total (m <sup>2</sup> )	60,5	87,4
Volumen comercial total (m <sup>3</sup> )	616,4	896,0
Volumen total (m <sup>3</sup> )	1101,76	1486

Fuente: Orozco y Somarriba (2005). ns: no significativo

valle que en loma, y alcanzó el diámetro mínimo de corta (dap ≥45 cm) a una edad de 19,4 años, con una diferencia de 9,6 años en relación a *C. alliodora* en loma. En el Cuadro 7.4 se resumen las variables dasométricas para *C. alliodora* y *C. odorata* en condiciones de ladera y valle.

La calidad de los fustes de *C. alliodora* en los cacaotales se puede calificar como buena, ya que predominan los fustes rectos; el porcentaje de fustes con características aserrables (rectos y poco sinuosos) fue del 82% en cacaotales (Orozco y

**Cuadro 7.4.** Existencias de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* en sistemas agroforestales con cacao en Talamanca, Costa Rica

Variable	Valle	Ladera
	<i>Cordia alliodora</i>	
Densidad (árboles/ha dap ≥4 cm)	55,7a ± 7,0	49,1a ± 6,7
Densidad (árboles/ha dap ≥45 cm)	10,83a ± 2,0	6,83a ± 1,6
Área basal ≥4 cm (m <sup>2</sup> /ha)	5,59a ± 0,8	3,87a ± 0,4
Área basal ≥45 cm (m <sup>2</sup> /ha)	2,67a ± 0,5	1,63a ± 0,4
Vt ≥4 cm (m <sup>3</sup> /ha)	66,76a ± 10,1	44,1a ± 6,6
Vc ≥45 cm (m <sup>3</sup> /ha)	38,52a ± 7,6	23,56a ± 6,5
<i>Cedrela odorata</i>		
Densidad (árboles/ha dap ≥4 cm)	3,03a ± 1,4	3,39a ± 1,9
Densidad (árboles/ha dap ≥45 cm)	0,82a ± 0,3	0,47a ± 0,2
Área basal ≥4 cm (m <sup>2</sup> /ha)	0,38a ± 0,1	0,29a ± 0,1
Área basal ≥45 cm (m <sup>2</sup> /ha)	0,30a ± 0,1	0,14a ± 0,1
Vc ≥45 cm (m <sup>3</sup> /ha)	2,07a ± 0,9	0,96a ± 0,5

Vc= volumen comercial Vt = volumen total ±= desviación estándar. Letras iguales no difieren estadísticamente ( $p > 0,05$ ).

Fuente: Calero (2008).

Somarriba 2005). Los valles producen madera de *C. alliodora* de mejor calidad que las laderas (85 y 78%, respectivamente). En *C. odorata*, la calidad aserrable (fustes rectos y poco sinuosos) es inferior con respecto al laurel (57%). En general, para las dos especies, en los valles se obtuvo madera de mejor calidad que en las laderas (63 y 49%, respectivamente).

### Ingresos y especies asociadas

El asocio de cacao con maderables constituye una opción económica muy atractiva para los productores de cacao, ya que los ingresos pueden incrementarse hasta diez veces, en comparación con el cacao bajo sombra tradicional. En el Cuadro 7.A se detalla la producción e ingresos obtenidos bajo distintas combinaciones de cacao con maderables (*Cordia megalantha* y *Cedrela odorata*), un frutal (rambután - *Nephelium lappaceum*) y leguminosas (*Inga* spp. y *Gliricidia sepium*).

**Cuadro 7.A.** Margen bruto obtenido a los 21 años de edad a partir de combinaciones agroforestales de cacao con árboles en La Másica, Atlántida, Honduras

Parámetros	Cacao-C. megalantha	Cacao-C. odorata	Cacao-N. lappaceum	Cacao-leguminosas
Producción cacao (kg/ha)	10.145	13.159	12.671	12.454
Ingresos cacao (US\$/ha)	9.787	12.841	12.387	12.308
Producción rambután (miles frutas/ha)			1.455	
Ingresos rambután (US\$/ha)			19.775	
Producción maderables (m³/ha)	123	75,9		
Ingresos maderables (US\$/ha)	55.238	51.142		
Total ingresos (US\$/ha)*	65.026	63.983	32.102	12.308
Total costos (US\$/ha)*	10.367	9.338	7.338	6.508
Margen bruto (US\$/ha)	54.658	54.644	24.824	5.800

\*Precios del 2007. Precio kg de cacao seco = US\$1,74.  
Fuente: Sánchez y Dubón (2008).

De acuerdo con Mussak y Laarman (1989), los árboles de sombra en los cacaotales de la costa oeste del Ecuador proveen de madera para el consumo de la finca y para la venta a los aserraderos locales (Cuadro 7.B). La mayor parte del volumen de madera cosechado se comercializa a través de compradores de maderas (> 60% fincas). Entre los años 1982-1987, *Cordia alliodora*, *Triplaris cummingiana*, *Cedrela odorata* y *Schizolobium parahyba* fueron las especies más comercializadas, y aportaron el 67% del volumen de madera vendido por las fincas cacaoteras (4000 m³; en promedio 6,6 m³/finca/año). En las áreas agrícolas se contabilizó un volumen total de madera en pie de 5-10 mil m³.

En promedio, los productores de la costa oeste del Ecuador aprovechan 0,92 m³/ha/año, lo que equivale a una extracción de 216 m³ en cinco años en 47 ha. Las tasas de extracción de maderables en los SAF de cacao y banano reportadas por Mussack y Laarman (1989) fueron de 1,16 m³/ha/año y 0,67 m³/ha/año, respectivamente; tales valores son superiores a los reportados por Suárez (2001): 0,89 m³/ha/año para el SAF cacao y 0,11 m³/ha/año para SAF banano.

La mayor parte de la madera salió de las fincas medianas (11-50 ha). El 57% de los finqueros aprovechó madera y el ingreso anual directo por venta fue del 15%. La tasa de aprovechamiento en los cacaotales fue de 1,5 m<sup>3</sup>/ha. Los maderables asociados al cacao ocurren a razón de 21 árboles/ha ( $\pm 5$  árboles/ha). Más de la mitad (55%) de los árboles provienen de regeneración natural y reciben poco manejo silvicultural. El control de malezas y las podas del cacao son las únicas actividades agronómicas que favorecen el crecimiento y rendimiento volumétrico de los maderables. El daño potencial a las plantas de cacao debido al aprovechamiento de los maderables es una preocupación entre los finqueros.

**Cuadro 7.B.** Aprovechamiento de maderables en cacaotales de la costa oeste del Ecuador e ingresos netos obtenidos

Variables/Subregión	Ventanas	La Troncal	Babahoyo	Total
<b>Fincas que vendieron madera por periodo (%)</b>				
En 1987	10	30	38	26
Entre 1982-1986	39	19	12	23
Antes de 1982	19	3	2	8
Nunca	32	48	48	43
Distribución (%) de los árboles vendidos	64	13	23	100
<b>Ingreso neto por finca durante 1987 (US\$)</b>				
Promedio (US\$)	257	95	255	210
Máximo (US\$)	1760	600	1810	1810
<b>Principales compradores de la madera (%)</b>				
Comerciantes madereros	89	63	67	75
Aserraderos locales	11	27	33	25

Fuente: Mussack y Laarman (1989).

En las fincas cacaoteras del Alto Beni, Bolivia, menos de la mitad de los productores venden madera de sus fincas (0,5-1 m<sup>3</sup>/finca/año). En esta zona, la madera se procesa con motosierra en la finca y se vende en cuarterones de dimensiones variables a los aserraderos locales. Las especies mejor pagadas son *Swietenia macrophylla* (US\$250/m<sup>3</sup>), *Myroxylon balsamum* (US\$100/m<sup>3</sup>), *Centrolobium ochroxylum* y *Amburana cearensis* (ambos US\$80/m<sup>3</sup>). Otras especies maderables valiosas, como *Hymenaea courbaril*, *Virola flexuosa*, *Juglans boliviana* y *Terminalia oblonga*, se aprovechan a escala doméstica, aunque su demanda en el mercado de la madera está creciendo (Orozco y Somarriba 2005).

## 7.2 Manejo y aprovechamiento de especies maderables en cacaotales

### 7.2.1 Prácticas silviculturales

En general, los productores dan poco manejo silvicultural a los árboles maderables asociados a los cacaotales. Las actividades se concentran principalmente en: 1) recolección de semillas para producir y plantar maderables en las áreas agrícolas o linderos; 2) chapias o deshierbas y 3) desrames y podas. Por ejemplo,

en las fincas del Alto Beni, Bolivia, el 40% de los productores recolecta semilla para la producción de plantas en viveros y el 100% de los productores realizan chapías periódicas en la plantación (Orozco y Somarriba 2005). A pesar de la ausencia de prácticas silviculturales, el 48% de los árboles presentes en los cacaotales presentan fustes rectos (Cuadro 7.5). El 52% restante evidencia problemas de forma y ramificación baja (desde los 2,5 m) por falta de podas oportunas, lo que produce trozas de poca longitud y reduce la calidad de la madera.

El daño potencial a las plantas de cacao u otros cultivos perennes es una de las preocupaciones principales de la mayoría de los finqueros; de hecho, esta es la objeción más frecuente a las iniciativas que promueven el uso de árboles maderables en asocio con otros cultivos.

En Talamanca, Costa Rica, Suárez (2001) y Suárez y Somarriba (2002) encontraron que los productores realizan principalmente las siguientes prácticas silviculturales: 1) conservación de árboles semilleros dentro de las parcelas de cacao; 2) eliminación de lianas que crecen en el fuste; 3) chapías frecuentes (1-6 veces/año) para controlar la densidad de árboles y raleos. Los árboles jóvenes (con un dap  $\leq 5$  cm) son raleados en el momento de la chapia con el objetivo de dejar solo individuos bien formados, sanos y que sobresalgan del resto. Los árboles menores (12 cm dap) son raleados para el manejo de la sombra o cuando se necesita madera de poco porte. El raleo de árboles mayores es poco común, aunque estén enfermos o mal formados; únicamente se cortan cuando van a ser empleados en construcción (Calero 2008).

### 7.2.2 Aprovechamiento

El daño potencial a las plantas de cacao u otros cultivos perennes es una de las preocupaciones principales de la mayoría de los finqueros; de hecho, esta es la objeción más frecuente a las iniciativas que promueven el uso de árboles maderables en asocio con otros cultivos (Mussack y Laarman 1989). En las plantaciones de café, el aprovechamiento de árboles de *C. alliodora* causa poco daño al cultivo y el ingreso adicional por la venta de madera compensa fácilmente el daño experimentado (Somarriba 1992). Sin embargo, este puede no ser el caso de las plantaciones de cacao, ya que el árbol de cacao tiene una estructura leñosa más permanente que el café y se recupera más lentamente del daño físico (Beer et ál. 1998).

Ryan et ál. (2009) demostraron que la madera es un producto valioso en los cacaotales y que el daño causado por su explotación no debe desestimular la

**Cuadro 7.5.** Número de árboles maderables por clase diamétrica y calidad de fuste en las fincas cacaoteras del Alto Beni, Bolivia

Forma del fuste	Clase diamétrica (cm)					Total
	10-<19,9	20-<29,9	30-<39,9	40-<49,9	$\geq 50$	
Fuste recto	505	412	164	146	110	1337
Curvatura leve	397	264	87	48	43	892
Curvatura fuerte	19	14	2	0	0	35
Total	921	690	253	194	153	2211

Fuente: Orozco y Somarriba (2005).

plantación y el manejo de maderables en los cacaotales. El estudio consistió en evaluar el daño causado por el aprovechamiento de 49 árboles de laurel cosechados en los cacaotales entre el pico de cosecha de cacao y el inicio de la estación lluviosa en sitios con pendientes entre 0 y 30%. Se identificó el nivel de daño en campo a través de las siguientes mediciones: 1) conteo del número de plantas de cacao dañadas y no dañadas bajo cada árbol derribado; 2) determinación de la parte del árbol causante de los daños (tronco o copa); 3) estimación y cuantificación visual del daño a las plantas de cacao (Cuadro 7.6).

Durante el aprovechamiento se contabilizaron 532 plantas de cacao bajo los 49 árboles derribados, de las cuales, el 37% sufrió daños (Ryan et ál. 2009). Los árboles cosechados tenían un dap de 62 cm y 36 m de altura, y rindieron un volumen total de fuste de 4,4 m<sup>3</sup> y un volumen comercial de 2,8 m<sup>3</sup> (rendimiento del 64%). Cada árbol derribado dañó, en promedio, cuatro plantas de cacao circundantes. Los troncos de los árboles dañaron al 55% de las plantas y las copas al 45% restante. Sin embargo, la severidad del daño fue mayor en las plantas afectadas por la copa del árbol. El replante y la poda total fueron necesarios en el 40% de las plantas afectadas por el tronco y en el 45% de las plantas dañadas por la copa del árbol (Cuadro 7.7). Los resultados del estudio muestran que la intensidad del daño biológico causado a las plantas de cacao es limitada y los ingresos por la venta de madera (US\$334/árbol), fácilmente compensan las reducciones en la cosecha del cacao, así como los costos de reparación.

Algunas recomendaciones prácticas para reducir el daño sobre el cacao:

- El aprovechamiento de los maderables se debe concentrar durante periodos de bajos precios y/o baja producción de cacao.
- Se deben plantar o seleccionar de la regeneración natural, los árboles entre las filas de cacao para reducir el daño futuro provocado por el aprovechamiento de los maderables.
- Los árboles de especies caducifolias deben cortarse cuando han perdido el follaje y la copa es más liviana.
- El laurel y cualquier otro maderable se deben podar antes de la corta.

**Cuadro 7.6.** Descripción de tipos de daño sufrido por plantas de cacao con el aprovechamiento de maderables en Talamanca, Costa Rica

Nivel de daño	Descripción del daño	Pérdida de copa (%)	Acción correctiva
1	Planta desprendida (desenraizada)	100	Replante
2	Tronco principal cortado o todas las ramas primarias dañadas	100	Regeneración por tocones, recepa
3	Ramas primarias dañadas	75-100	Poda muy fuerte
4	Ramas primarias dañadas	50-75	Poda fuerte
5	Ramas secundarias dañadas	25-50	Poda moderada
6	Ramas secundarias dañadas	0-25	Poda ligera

Fuente: Ryan et ál. (2009).

**Cuadro 6.7.** Daño sufrido por plantas de cacao con el aprovechamiento de árboles de *Cordia alliodora* en Talamanca, Costa Rica

Parte involucrada	Viables	Nivel de daño a las plantas de cacao						Total
		1	2	3	4	5	6	
Tronco del árbol	Plantas/árbol	0,1 (0,4)	0,8 (0,9)	0,7 (0,9)	0,3 (0,5)	0,1 (0,2)	0,3 (0,5)	2,2
	%	5	36	29	12	3	16	
	Plantas total	5	39	32	13	3	17	109
Copa del árbol	Plantas/árbol	0,0 (0,2)	0,8 (1,4)	0,4 (0,7)	0,3 (0,5)	0 (0,2)	0,3 (0,6)	1,8
	%	2	43	20	15	2	18	
	Plantas total	2	38	18	13	2	16	89
Árbol completo	Plantas/árbol	0,1 (0,5)	1,6 (1,6)	1,0 (1,0)	0,5 (0,8)	0,1 (0,3)	0,7 (0,7)	4,0
	%	4	38	25	13	3	17	
	Plantas total	7	77	50	26	5	33	198

Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

Fuente: Ryan et ál. (2009).

- Para reducir el peso y tamaño de la copa, hay que desramar el árbol antes de voltear; esto reduce considerablemente el daño.
- Los maderables se deben cortar antes de la poda fuerte del cacao; así se facilita la “reparación” de las plantas dañadas.
- El daño a las plantaciones de cacao se puede reducir si los encargados de las labores de aprovechamiento forestal reciben capacitación sobre tala dirigida.
- En terrenos inclinados, conviene voltear los árboles hacia arriba de la pendiente para que estos caigan con menos fuerza sobre el cacao; así el daño es menor.

### 7.3 Conclusiones

1. La producción de madera en cacaotales es una alternativa biológica y financieramente viable que debe promocionarse masivamente en el cultivo de cacao.
2. Los árboles maderables en los sistemas agroforestales con cacao, ya sean plantados o de regeneración natural, pueden manejarse técnicamente y lograr buena producción de cacao, producir madera y proveer otros servicios ambientales.

### 7.4 Bibliografía

- Amo, RS; Ramos, PJ. 1993. Use and management of secondary vegetation in a humid-tropical area. *Agroforestry Systems* 21:27-42.
- Amoha, FM; Nuertey, BN; Baidoo-addo, K; Oppong, FK; Osei-Bonsu, K; Asamoah, TEO. 1995. Underplanting oil palm with cocoa in Ghana. *Agroforestry Systems* 30:289-299.
- Asare, R. 2004. Cocoa agroforests in West Africa: a look at activities on preferred trees in the farming systems. Horsholm, Denmark, Danish Centre for Forest Landscape and Planning. 77 p.

- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37/38):80-87.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bentley, JW; Boa, E; Stonehouse, J. 2004. Neighbour trees: shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Human Ecology* 32(2):241-270.
- Calero Borge, WA. 2008. Producción e incrementos de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 75 p.
- Calvo, G; Meléndez, L. 1999. Pseudoestacas de laurel para el enriquecimiento de cacaotales. *Agroforestería en las Américas* 6(22):25-27.
- Chalmers, WS. 1971. Dual purpose shade trees for cocoa. *In Proceedings, 3th International Cocoa Research Conference [COPAL, Lagos, Nigeria]*. p. 359-361.
- Ekenade, O; Egbe, NE. 1990. An analytical assessment of agroforestry practices resulting from interplanting cacao and kola on soil properties in South-Western Nigeria. *Agriculture Ecosystems and Environment* 30(3-4):337-346.
- Godoy, R; Bennett, C. 1989. Diversification among coffee smallholders in the highlands of South Sumatra, Indonesia. *Human Ecology* 16:397-420.
- Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Cote d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27:259-267.
- Isaac, ME; Timmer, VR; Quashie-Sam, SJ. 2007. Shade tree effects in an 8-year cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 78:155-165.
- Lim, DHK. 1978. New developments in shade for hybrid cocoa in Sabah. *In Proceedings, International conference on cocoa and coconuts [Kuala Lumpur, Malaysia, 1978]*. Kuala Lumpur, Malaysia, The Incorporated Society of Planters. p. 122-142.
- Matos, EN; Beer, J; Somarriba, E; Gómez, M; Current, D. 2000. Validación, adopción inicial y difusión de tecnología agroforestal en cacaotales con indígenas Ngöbe, Panamá. *Agroforestería en las Américas* 7(26):7-9.
- Melo, ACG. 1999. Brasil: agroforestería en la comisión ejecutiva de planeación de la actividad cacaotera (CEPLAC). 1. Enriquecimiento de cacaotales con caoba. *Agroforestería en las Américas* 6(22):31.
- Méndez, FAT. 1999. Brasil: agroforestería en la comisión ejecutiva de planeación de la actividad cacaotera (CEPLAC). 2. Evaluación financiera de sistemas agroforestales con cacao en Brasil. *Agroforestería en las Américas* 6(22):31-32.
- Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Mussack, M; Laarman, JG. 1989. Farmer's production of timber trees in cacao-coffee region of coastal Ecuador. *Agroforestry Systems* 9:155-170.
- Neto, PJ; Melo, ACG; Dos Santos, MM. 1999. Agroforestería en la comisión ejecutiva de planeación de la actividad cacaotera (CEPLAC). 3. Cacao bajo sombra de caoba en Pará, Brasil. *Agroforestería en las Américas* 6(22):32.
- Oladokun, MAO; Egbe, NE. 1990. Yields of cacao/kola intercrop in Nigeria. *Agroforestry Systems* 10(2):153-160.
- Orozco, L; López, A; Somarriba, E. 2008. Enriquecimiento de fincas cacaoteras con frutales y maderables en Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas* 46 21-25.
- Orozco, L; Somarriba, E. 2005. Árboles maderables en los campos agrícolas de las fincas de cacao orgánico del Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas* (43-44):46-53.
- Ramadasan, K; Abdullah, I; Teoh, KC. 1978. Intercropping of coconuts with cocoa in Malaysia. *The Planter* 54(627):329-342.
- Ramírez, O; Somarriba, E; Ludewigs, T; Ferreira, P. 2001. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. *Agroforestry Systems* 51:141-154.
- Rice, RA; Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO* 29(3):167-173.

- Ruf, F; Schroth, G. 2004. Chocolate forest and monocultures: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. *In* Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington DC, USA, Island Press. p. 107-134.
- Ryan, D; Bright, G; Somarriba, E. 2009. Damage and yield change in cocoa crops due to the harvesting of timber shade trees in Talamanca, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 77:97-106.
- Sanchez, J; Dubón, A. 2008. Estudio de especies forestales latifoliadas bajo la modalidad agroforestal multiestratos con cacao. CAC 02-01. *In* Informe Técnico 2007 Programa de Cacao y Agroforestería. La Lima, Cortés, Honduras. p: 8-28.
- Sánchez, JAM; Dubón, A; Krigsvold, D. 2002. Uso de rambután (*Nephelium lappaceum*) con cedro (*Cedrela odorata*) y laurel negro (*Cordia megalantha*) como sombra permanente en el cultivo del cacao. *Proceedings, Interamerican Society of Tropical Horticulture* 46: 57-60.
- Shepherd, R; Gilbert, JR; Cowling, PG. 1977. Aspects of cocoa cultivation under coconut on two estates in peninsular Malaysia. *The Planter* 53:99-117.
- Somarriba, E. 1992. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry Systems* 18:69-82.
- Somarriba, E; Beer, J. 1987. Dimensions, volumes, and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology & Management* 18:113-126.
- Somarriba, E; Beer, J. 1999. Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6 (22):7-11.
- Somarriba, E; Beer, J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry Systems* 81:109-121.
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):12-17.
- Somarriba, E; Harvey, C; Samper, M; Anthony, F; González, J; Staver, C; Rice, R. 2004. Biodiversity in neotropical *Coffea arabica* plantations. *In* Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscape*. Washington DC, USA, Island Press. p. 198-226.
- Somarriba, E; Valdivieso, R; Vásquez, W; Galloway, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51:111-118.
- Suárez, A. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Suárez, A; Somarriba, E. 2002. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36):50-54.

## 8. Producción de madera en sistemas agroforestales con café

Jhenny Salgado

### 8.1 Introducción

Durante los últimos años, el desarrollo de la agroforestería ha incidido en la transformación de la caficultura tradicional a una caficultura más amigable con el medio ambiente. En un principio se establecieron especies de asocio que generaban servicios ambientales, mejoraban las condiciones para la producción de café y mantenían los suelos en mejor estado. Actualmente se propone la diversificación de la sombra tradicional con especies maderables de rápido crecimiento y valor comercial que, además, ofrecen múltiples servicios.

Por muchas razones se privilegia la asociación de plantaciones de café con al menos un tipo de árbol -ya sea maderable para aserrío, usos artesanales o especies destinadas a la producción de energía (leña)-. Una de ellas es mantener estable la producción de café a través de los años. Muschler (1997) hace referencia a varios estudios que han demostrado que en cultivos a pleno sol, la producción de café es mayor en un principio pero, con el paso del tiempo, el sistema de manejo se vuelve muy intensivo pues la densidad de plantas es alta, así como el uso de pesticidas y herbicidas. La vida útil de la planta de café se reduce a 12-15 años pues el manejo intensivo, el uso de agroquímicos y las bajas o nulas coberturas de sombra hacen que la planta se agote (Somarriba et ál. 2004).

Los sistemas bajo sombra, por el contrario, llegan a tener una producción anual de café más estable y por más largo tiempo, ya que los principales beneficios ambientales de la sombra se generan a largo plazo. Por ejemplo, en zonas de altas temperaturas, el uso de sombra en el cafetal ayuda a la regulación del microclima (estrés hídrico), mejora la retención de humedad y el aporte de materia orgánica al suelo y previene la erosión. Tales beneficios son más evidentes en las zonas cafetaleras tradicionales, donde el cultivo se asienta en terrenos con algún grado de pendiente o sobre suelos inestables. En condiciones de sombra, los cafetales pueden renovarse hasta 20 años después de haber sido establecidos (Somarriba et ál. 2004).

Los sistemas bajo sombra llegan a tener una producción anual de café más estable y por más largo tiempo, ya que los principales beneficios ambientales de la sombra se generan a largo plazo.

Los árboles en combinación con café no sólo generan servicios ambientales -y por ende mejoras en la productividad- sino que además brindan ventajas al productor; entre ellas, el aprovechamiento de productos maderables y no maderables como frutos, forraje, semillas, etc. Esto le permite al productor diversificar sus ingresos a mediano y largo plazo con el aporte económico de los productos maderables (FHIA 2004, Augstburger et ál. 2000) y reducir el riesgo económico que generan las fluctuaciones de los precios del café.

## 8.2 La producción de madera en asocio con café

La elección de las especies maderables responde más a criterios como facilidad de manejo e interacción con el café que al valor económico potencial de la madera (Tavarez et ál. 1999). Aunque son numerosas las especies arbóreas que pueden ser usadas en sistemas agroforestales con café, existen criterios que ayudan a su selección; entre ellos, adaptabilidad a la zona, rápido crecimiento, densidad adecuada de sombra, poco crecimiento lateral, hojas pequeñas para evitar el daño por goteo, baja competencia por agua y nutrientes, resistencia al viento, pérdida estacional de hojas (caducifolio), baja susceptibilidad a plagas y, muy importante, que no provoque enfermedades al café (Yépez 2002, Augstburger et ál. 2000, Muschler 1999). Según los objetivos de producción del agricultor y las posibilidades de mercado en la zona, también es factible combinar en los cafetales, especies leñosas perennes con frutales y arbustos.

La escogencia de árboles maderables como sombra en cafetales depende de criterios ambientales y de las preferencias del propietario.

En cafetales de Centroamérica se han encontrado muchas combinaciones de café con árboles de sombra en diferentes condiciones agroecológicas y bajo diferentes prácticas de manejo. Aunque es complejo definir un único diseño a partir de todos los casos exitosos, es conocido que los cafetales tradicionales siguen una estructura vertical diversificada (Fig. 8.1), con uno a cuatro estratos de sombra y una variedad de especies en el dosel de sombra (Cuadro 8.1).

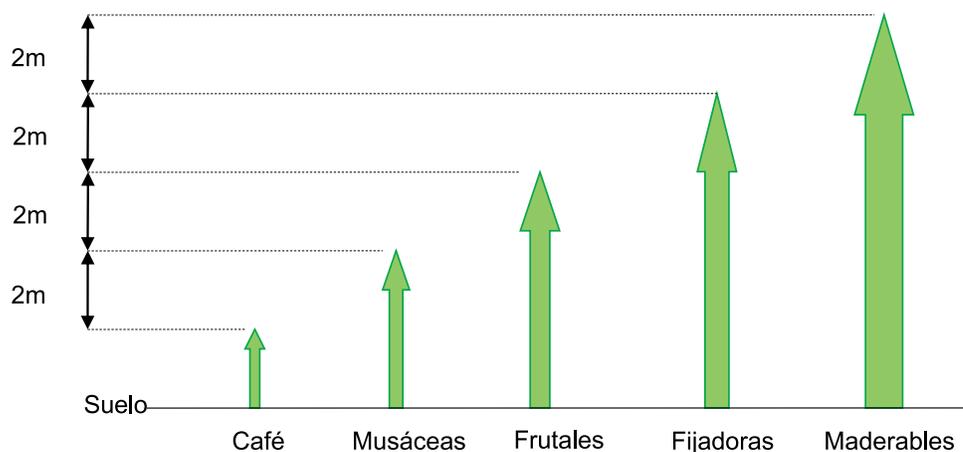


Figura 8.1. Componentes frecuentes en el SAF-café en Centroamérica

**Cuadro 8.1.** Beneficios que ofrecen los componentes frecuentes del SAF-café en Centroamérica

Musáceas	Frutales	Fijadoras	Maderables
Ingresos a corto plazo	Ingresos a mediano plazo	Producción de leña	Ingresos a largo plazo
Mantenimiento y fertilización del suelo	Fertilización del suelo, "bomba de nutrientes"	Fertilización y mantenimiento del suelo	Fertilización y mantenimiento del suelo

Las especies de sombra fijadoras de nitrógeno que mejores resultados han dado en asocio con café en Centroamérica son *Inga edulis*, *I. densiflora*, *Erythrina poeppigiana*, *E. edulis*, *Albizia* spp. y *Alnus* spp. Estas especies ayudan al mejoramiento del suelo y dan buena sombra por la arquitectura del árbol (Augstburger et ál. 2000). Entre las especies maderables más frecuentes en los cafetales están *Cedrela odorata* y *Cordia alliodora* (Beer et ál. 1998). En Costa Rica, *C. alliodora* y *Grevillea robusta* son óptimas para la producción de madera, en tanto que *Erythrina costarricensis*, *E. poeppigiana*, *Casuarina* spp. e *Inga* spp. se utilizan para la producción de leña (Morales et ál. 2002). En fincas de la zona de Pérez Zeledón, se encontraron otras especies maderables como *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y *T. amazonia* que son consideradas como buenas especies para el café por las facilidades que proveen al momento del manejo del cultivo (Tavarez et ál. 1999). Diversos estudios han investigado la diversidad arbórea en cafetales de México, Guatemala y Costa Rica (Cuadro 8.2).

### 8.2.1 Riqueza de especies maderables en SAF-café

La introducción y mantenimiento de árboles maderables en el sistema agroforestal café se debe ver como un mejoramiento de la diversidad de especies con fines ecológicos y económicos. Existen dos formas de introducir árboles maderables en los cafetales:

#### Siembra directa de maderables

Los árboles pueden ser sembrados en bloque (Fig. 8.2) o en línea (Fig. 8.3). En el caso del bloque, o árboles plantados dentro del sistema agroforestal, la siembra se puede realizar dos o tres años antes, o simultáneamente con el café. Si se escoge la segunda opción, se recomienda incluir sombra temporal durante los primeros años para garantizar la cobertura sobre el cultivo de café (Gelfes 1994, Muschler 1999). En Honduras, por lo general se utilizan musáceas como sombra temporal en cafetales ya que, además de la protección al cultivo, brindan productos alimenticios para el uso en el hogar y para la venta. Otras especies usadas como sombra temporal son el gandul (*Cajanus cajan*), la higuerrilla (*Ricinus communis*) y *Crotalaria* spp., que protegen las plantas de café del viento y de los rayos solares excesivos que pueden afectar su crecimiento. Como sombra permanente de cafetales, en Honduras se emplean varias especies del género *Inga* (Ordóñez y Sosa 2006).

Además de la protección al cultivo de la irradiación solar y los vientos, los árboles de sombra en cafetales ofrecen múltiples servicios y beneficios, como productos alimenticios, protección de los suelos, mejoramiento del paisaje, hábitat para la fauna y flora.

Cuadro 8.2. Especies maderables utilizadas en zonas cafetaleras de México, Guatemala y Costa Rica

Especie	Uso / comentarios	Región cafetalera
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Alibertia edulis</i>	Madera	Chiapas, México
<i>Aspidosperma megalocarpum</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Bombacopsis quinata</i>	Adaptado a zonas secas, espinoso	Nicoya y Perez Zeledón, Costa Rica
<i>Brosimum alicastrum</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Bursera simarouba</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Copa muy densa	Atlántico, Costa Rica
<i>Cedrela odorata</i>	Madera de alta calidad	Costa Rica y Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Cordia alliodora</i>	Madera para muebles, leña	Chiapas, México Atlántico y Pacífico, Costa Rica, Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Grevillea robusta</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Ocotea</i> spp.	Madera, frutos para aves	Atlántico, Costa Rica
<i>Nectandra glabrenscens</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Roseodendron donnellsmithii</i> (hoy día conocida como <i>Tabebuia donnellsmithii</i> )	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Saurauia villosa</i>	Madera, leña	Chiapas, México
<i>Simarouba glauca</i>	Madera fácil de trabajar, frutos	Atlántico, Costa Rica
<i>Swietenia humilis</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Tabebuia rosea</i>	Madera, leña, bifurcaciones reducen valor del tronco	Pacífico, Costa Rica y costa del Pacífico, Guatemala
<i>Terminalia oblonga</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Virola koschnyi</i>	Madera, frutos	Atlántico, Costa Rica
<i>Zanthoxylum procerum</i>	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala

Modificado de Muschler et ál. (2006) y Martínez (2005).

Además de la diversificación de la producción, los árboles maderables en línea se pueden instalar en zonas subaprovechadas o sin manejo productivo.

En 244 fincas de café diversificadas con plantaciones de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en las cinco regiones cafetaleras de Honduras, se midieron las características dasométricas y se realizaron regresiones del crecimiento de árboles individuales (Jiménez 2012). Se encontraron plantaciones de cedro de 2 a 32 años de edad con dap de 0,11-94,54 cm y alturas totales de 1,8-27,43 m. Las plantaciones de caoba encontradas oscilaron entre 2 y 25 años de edad con dap de 0,81-34,12 cm y alturas totales de 1,15-13 m. El modelo de crecimiento con mejor ajuste fue el Chapman y Richards ( $Y = a * (1 - e^{-bt})^c$ ), pues explicó el 68% de la variabilidad para cedro y el 57% para caoba. Bajo las condiciones del estudio de Jiménez (2012), el mejor escenario de manejo del SAF café-cedro permitiría obtener entre 28-32 m<sup>3</sup>/ha de madera aserrada, un potencial de fijación de carbono de 22 mg/ha a los 21 años de edad y una densidad máxima alcanzable de 65 árboles/ha con un 47% de cobertura de sombra. El SAF café-caoba permitiría obtener 22-29 m<sup>3</sup>/ha de madera aserrada, 11 mg/ha de carbono fijado con un máximo de 100 árboles/ha y un 48% de cobertura de sombra.

Además de la diversificación de la producción, los árboles maderables en línea se pueden instalar en zonas subaprovechadas o sin manejo productivo. En el valle de Sixaola, Costa Rica, se establecieron linderos de



*Chloroleucon eurycyclumen* Turrialba, Costa Rica



*Simarouba glauca* en Masatepe, Nicaragua



*Tabebuia rosea* en Masatepe, Nicaragua



*Cordia alliodora* en Turrialba, Costa Rica

**Figura 8.2.** Árboles maderables en sistemas agroforestales con café en Costa Rica y Nicaragua  
Fotos: Jhenny Salgado.



*Eucalyptus grandis* en lindero con café,  
El Cuá, Nicaragua.



*Cordia alliodora* y otras especies maderables  
en lindero con café, El Cuá, Nicaragua.

**Figura 8.3.** Árboles maderables en linderos de cafetales en Nicaragua  
Fotos: Jhenny Salgado.

La incorporación de maderables en el cafetal constituye un seguro financiero para el productor cuando los precios del café sufren caídas.

*Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis*. La especie que mejor se adaptó en todos los sitios evaluados –y, en consecuencia, tuvo el mayor rendimiento– fue *E. deglupta*, seguida de *T. ivorensis*. Si bien *C. alliodora* presentó crecimientos satisfactorios, fue la especie que generó menos sombra al cultivo asociado (Luján et ál. 1996).

En Honduras, el IHCAFE promueve el establecimiento de especies como cedro, caoba y laurel en linderos con el fin de evaluar la adaptabilidad de estas especies en diferentes zonas cafetaleras del país. Viera y Pineda (2004) reportan linderos maderables de *Cedrela odorata* con más de 20 años de edad en plantaciones de café en Costa Rica. Los autores recomiendan el uso de este tipo de asociaciones ya que los precios de la madera son más estables que los del café. Cuando se producen caídas en los precios del café, los árboles constituyen un seguro financiero para el productor. Rojas et ál. (2004) recomendaron especies maderables de utilidad probada en linderos en cafetales, diferenciada para zonas altas y bajas (Cuadro 8.3).

### Manejo de la regeneración natural

Este método tiene la ventaja de que los costos de establecimiento de los árboles maderables son muy bajos o nulos, pues solo se deben realizar actividades de manejo como raleos y deshierba selectiva de las especies nativas de la zona. En Costa Rica, las especies nativas maderables encontradas con más frecuencia en cafetales son *Aspidosperma megalocarpon*, *Lafoensia puniceifolia* y *Ocotea tonduzzi*, establecidas mediante regeneración natural (Tavarez et ál. 1999). En Honduras, entre las especies maderables de regeneración natural encontradas en cafetales están el pino (*Pinus oocarpa*), cedro (*Cedrela odorata*),

**Cuadro 8.3.** Especies recomendadas para linderos en cafetales en el Valle Central de Costa Rica

Nombre común	Nombre científico	Zona de producción
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	Alta
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Alta
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	Alta
Gravilea	<i>Grevillea robusta</i>	Alta
Jaúl	<i>Alnus acuminata</i>	Alta
Nogal	<i>Juglans neotropica</i>	Alta
Pino	<i>Pinus oocarpa</i>	Alta
Amarillón	<i>Terminalia amazonia</i>	Baja
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	Baja
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>	Baja
Eucalipto	<i>Eucalyptus deglupta</i>	Baja
Gallinazo	<i>Schizolobium parahyba</i>	Baja
Mangium	<i>Acacia mangium</i>	Baja
Pino	<i>Pinus caribaea</i>	Baja
Roble de sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	Baja
Ron ron	<i>Astronium graveolens</i>	Baja

Fuente: Rojas et ál. (2004)

caoba (*Swietenia macrophylla*), santamaría (*Calophyllum brasiliense*), sanjuán (*Vochysia guatemalensis*), laurel negro (*Cordia gerascanthus*) y laurel blanco (*C. alliodora*), muchas de ellas de alto valor comercial (Ordóñez y Sosa 2006). Estos mismos autores comentan que, por lo general, en los cafetales tradicionales con variedades de porte alto y bajo manejo no existen arreglos especiales bien definidos sino que las especies se dan en forma natural.

En el Estado de Chiapas, México, Yépez et ál. (2003) encontraron doseles de sombra de regeneración natural con 180 a 250 árboles/ha, conformados por especies como chelel (*Inga* spp.), bojón (*Cordia* spp.), pimienta (*Pimenta dioica*), ramón (*Brosimum* sp.) y guachipilín (*Diphysa robinoides*), así como frutales como aguacate (*Persea americana*) y pomarroso (*Syzygium jambos*).

### 8.2.2 Densidad de siembra de especies maderables en cafetales

La densidad de plantación de los árboles en cultivos de café debe considerar la arquitectura de la especie arbórea y su competencia por recursos, ya que al aumentar la densidad arbórea se puede afectar la producción del café. Por ejemplo, en un ensayo con *Cordia alliodora* en Costa Rica, cuando se aumentó la densidad de 100 a 260 árboles/ha, se redujo la productividad del cafetal de 50 a 37 fanegas/ha/año; esto evidencia el efecto negativo directo que el aumento de la densidad de árboles de sombra tiene sobre la producción del café (Beer et ál. 1998). Para evitar efectos negativos en la interacción con el café, como sombra temporal se recomienda plantar una hilera de sombra cada dos hileras de café o cada 4 m (Geilfus 1994) y como sombra permanente se recomienda un distanciamiento mínimo de 6x6 m (Cuadro 8.4).

En Costa Rica se usan densidades que varían de 50 a 128 árboles/ha (Beer et ál. 1998). En Honduras, Ordóñez y Sosa (2006) indican que en los últimos años se están plantando especies maderables dentro de cafetales a distancias muy

El manejo de la regeneración natural de especies nativas maderables encontradas en cafetales tiene la ventaja de que los costos de establecimiento son muy bajos o nulos, pues solo se deben realizar actividades de manejo como raleos y deshierba selectiva.



Especies maderables de regeneración natural en cafetales de El Cuá, Nicaragua



Plantación de *Swietenia* spp. en cafetales de El Cuá, Nicaragua

**Figura 8.4.** Árboles maderables como sombra de café en Nicaragua  
Fotos: Jhenny Salgado.

Cuadro 8.4. Distancias de establecimiento de árboles en sistemas agroforestales con café

Árboles de servicio	Distancia (m)	Árboles maderables	Distancia (m)	Frutales	Distancia (m)
Poró ( <i>Erythrina poeppigiana</i> )	12x12, 12x25 en libre crecimiento; 6x4, 6x6 en sombra regulada	Laurel ( <i>Cordia alliodora</i> )	5x5 (raleo futuro); 8x8, 10x10, 8x12.	Naranja, limón, mandarina ( <i>Citrus spp.</i> )	5x6, 6x6, 8x8, 10x10 (sombra regulada)
Guaba ( <i>Inga spp.</i> )	10x10, 10x12, 12x12	Cedro ( <i>Cedrela odorata</i> )	6x6 (raleo futuro); 10x10, 12x12, 10x25	Aguacate ( <i>Persea americana</i> )	6x6, 6x8, 8x8, 8x10 (sombra regulada)
Madero negro ( <i>Gliricida sepium</i> )	10x10, 6x12 en libre crecimiento; 6x6, 6x8 en sombra regulada	Roble coral o amarillón ( <i>Terminalia amazonia</i> )	5x5, 6x6 (raleo futuro), 8x8	Banano, plátano ( <i>Musa sp.</i> )	6x6, 6x8, 8x8, 8x10
				Guayaba ( <i>Psidium guajava</i> )	6x6, 8x8, 10x10

Fuente: Pineda (s.f.)

El manejo de los árboles de sombra en un cafetal busca, como primer objetivo, alcanzar la mayor productividad del cultivo. No obstante, con un cierto manejo silvicultural se pueden obtener productos maderables de calidad y con buen mercado.

cortas (4x4, 5x5 ó 6x6 m) para incorporar materia orgánica en el momento de las podas anuales de formación y/o aprovechamiento de postes como producto de los raleos. La meta es lograr un espaciamiento definitivo de 8x8, 10x10 ó 12x12 m y, con raleos sistemáticos del 50%, finalizar con plantaciones de entre 70 y 156 árboles/ha.

En el caso de los árboles maderables en linderos se recomienda seleccionar las distancias de siembra según el objetivo de producción: para leña  $\leq 2,5$  y para madera  $\geq 3$  m, aplicando raleos. En zonas secas, se recomienda sembrar a inicio de la época de lluvias y en zonas lluviosas evitar la época más seca (Pineda s.f.). Este mismo autor ofrece algunas recomendaciones para definir las distancias adecuadas para la sombra:

- En las primeras etapas, las plantas de café necesitan una sombra de 50% para su buen desarrollo. Se recomienda sembrar dos veces más árboles por línea para obtener sombra rápidamente; posteriormente, en el primer raleo, se elimina la mitad de los árboles.
- A medida que la planta se va desarrollando, la sombra debe regularse entre un 30 y 40%.
- En la etapa de producción, debe manejarse un 25% de sombra en condiciones de altura, y 30 a 40% en condiciones de baja altura y pocas lluvias.

### 8.3 Manejo de árboles en SAF con café

En una plantación de café, el efecto de la sombra sobre el cultivo es un factor clave para favorecer la productividad del café (Galloway y Beer 1997); por ello, el manejo de los árboles busca, fundamentalmente, alcanzar la mayor productividad del cultivo (Geilfus 1994). El manejo adecuado de la sombra tiene como objetivos:

- Evitar un exceso de sombra porque perjudica la producción de café.
- Evitar un exceso de sol porque afecta la longevidad del cafeto.
- Crear condiciones de luz, temperatura y humedad favorables para el café.

- Programar las podas de regulación para favorecer la floración del cafeto y la formación de granos sanos.
- Crear condiciones que no favorezcan la aparición de plagas y enfermedades (Cuadro 8.5).

En Centroamérica, la producción de madera de calidad proveniente de la sombra en cafetales no ha sido considerada como un objetivo importante (Muschler 1999). En consecuencia, los árboles maderables no reciben un manejo silvicultural particular; por lo general, los árboles están deformados, bifurcados, con nudos y otros defectos que disminuyen la calidad de la madera y su valor económico. Raramente se aplican técnicas silviculturales que mejoren la forma de los árboles desde temprana edad para, al final, obtener productos maderables de buena calidad y mercado. Las técnicas más practicadas en los cafetales de Centroamérica son la poda de ramas bajas (descumbre), poda de formación y raleos de los árboles.

En Turrialba, Costa Rica, Somarriba (1999) detalló los beneficios que se obtienen con el descumbre de los árboles asociados con café: el fuste de los árboles tiende a ser más cilíndrico (derecho, sin nudos) lo que redundaría en mayores rendimientos por troza; los turnos de corta se reducen al acelerarse el engrosamiento del fuste; se reduce el peligro de daño a las plantas de café al momento del aprovechamiento. Para la ejecución del descumbre, Somarriba (1999) recomienda:

- Aplicar la primera poda de ramas bajas cuando los árboles son jóvenes (dap < 20 cm).
- La altura de descumbre se determina según la altura comercial de la especie; generalmente el corte se aplica 1 m por encima de esa altura para evitar malformaciones en la madera.

**Cuadro 8.5.** Condiciones ambientales óptimas para la producción de café en sistemas agroforestales

Factor	Rango	Observaciones
Temperatura media	17-23(°C)	< Causa quemaduras en los brotes nuevos y mayor presencia de derrite (hongo <i>Phoma costaricensis</i> ).
		> Causa deshidratación, formación de florestrella, mayor incidencia de enfermedades fungosas, reducción de fotosíntesis, reducción de la producción en un 10% por cada grado de incremento.
Precipitación pluvial	1000-3000 mm/año	< Limita el crecimiento, provoca defoliación y baja producción.
		> Aumenta la incidencia de enfermedades fungosas como ojo gallo ( <i>Mycena citricolor</i> ), koleroga ( <i>Ceratobasidium noxium</i> ) y roya ( <i>Hemileia vastatrix</i> ).
Altitud	500-1500 msnm	< Baja la calidad del producto y se incrementan los costos de producción.
		> Disminuye el desarrollo vegetativo, crecimiento lento y poca producción; aumenta la incidencia de enfermedades fungosas como derrite ( <i>P. costaricensis</i> ) y xylella ( <i>Xylella fastidiosa</i> ).
Humedad relativa	65-85%	< Aumenta la transpiración y se reduce la respiración; hay resequedad, paloteo o debilidad del cafeto.
		> Aumenta la incidencia de enfermedades fungosas.
Vientos	20-30 km/hora	> Aumentan los daños mecánicos y fisiológicos, caída de hojas, flores y frutos, deshidratación de yemas florales, hojas y frutos tiernos (quemaduras).

Fuente: Pineda (s.f.).

- El tratamiento se aplica cada 2 a 3 años, según el crecimiento del árbol, con el objetivo de retirar las ramas bajas que forman la copa.
- El tratamiento se aplica en el periodo de inactividad del cafetal, justo después de la cosecha principal.
- Si las especies maderables se defolian naturalmente (*C. alliodora*, *C. odorata* y *T. rosea*), se puede descumbrar después de la defoliación para evitar mayor estrés fisiológico al árbol y no interferir en el proceso de recuperación.

### **8.3.1 Recomendaciones para el manejo de especies maderables en asocio con café**

#### **En la etapa inicial**

- Las plantas se deben establecer en el campo definitivo cuando tienen por lo menos 30 cm de altura.
- El hoyo de plantación debe tener el doble del tamaño de la bolsa.
- Las malezas alrededor del árbol recién plantado se eliminan en forma manual para permitir un crecimiento adecuado.
- Mediante podas de formación se eliminan todos los brotes que nacen en la base del tallo (hijos o chupones) con el fin de que el fuste principal crezca y se desarrolle.

#### **En la etapa intermedia (1 a 10 años)**

- Mediante podas de manejo de sombra o descumbrado se eliminan todas las ramas del estrato inferior de la copa para que no afecten la calidad de madera en el tronco principal.
- Hay que controlar la posible infestación por plagas como cochinilla, escama, piojo blanco, pulgones (afidios) y grillo indiano.
- Hay que controlar la aparición de enfermedades como fumagina, roya, pudrición de raíces, mal de talluelo.
- Se debe mantener un control de malezas aceptable tanto en el cafetal como en el área agroforestal; permitir una adecuada entrada de luz para controlar plagas y enfermedades.
- Los árboles más sanos, rectos y fuertes se seleccionan como árboles semilleros para recolectar la mejor semilla.
- En la época pico de producción de semillas, recolectar y preparar nuevas plántulas en vivero.

#### **En la etapa final (de 10 a 20 años)**

- Por medio de raleos y podas de manejo se asegura la cantidad de sombra adecuada para el cultivo. Se deben eliminar los árboles mal formados y/o ramas gruesas; algunas especies maderables emiten chupones o hijos que también deben eliminarse.
- Se debe mantener un estricto control de plagas.
- El aprovechamiento de la madera se realiza al alcanzar los árboles el tamaño deseable.

### 8.3.2 Producción de madera en SAF-café

Aparte de los beneficios ambientales que genera la asociación entre especies vegetales, los SAF también ofrecen un valor agregado por la producción de madera, leña u otros productos no maderables. Dicho valor agregado bien pudiera compensar una eventual reducción en la producción de café, como consecuencia de la sombra excesiva y/o la reducción en el número de plantas de café por hectárea. Asimismo, como ya se mencionó, ante una eventual caída del precio del café, el componente arbóreo podría servir como un seguro financiero para el productor.

#### Crecimiento y rendimiento de especies maderables en SAF-café

Múltiples estudios han buscado cuantificar el potencial de algunas especies maderables en asocio con café. Según Somarriba y Beer (1987), la producción de madera de 100 árboles de *Cordia alliodora*, en áreas de baja altitud y con precipitación alta durante el año, varía entre 4 y 6 m<sup>3</sup>/ha/año. Otro estudio con *Eucalyptus saligna* y *E. deglupta* en Grecia, Costa Rica, encontró incrementos medios anuales (IMA) en diámetro de 4,8 cm y 2,94 cm, en altura de 3,59 m y 2,37 m, en área basal de 8,07 m<sup>2</sup>/ha/año y 1,81 m<sup>2</sup>/ha/año, y en volumen de 12,78 m<sup>3</sup>/ha/año y 2,46 m<sup>3</sup>/ha/año para ambas especies (Viera 1998).

En la zona de la Bocacosta Pacífica de Guatemala, se evaluó un SAF de café con cedro (*C. odorata*). La tasa de crecimiento de *C. odorata* presentó valores de hasta 3 m<sup>3</sup>/ha/año, pero los productores aprovechan los árboles de dap >40 cm, con los que obtienen tasas anuales de extracción de entre 0,3-1,1 m<sup>3</sup>/ha/año. En las fincas grandes semi-intensivas, por el contrario, la tasa de extracción fue más alta que la tasa de crecimiento (13 y 10 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente) (Martínez 2005).

En el valle de Sixaola, Costa Rica, se evaluaron linderos de laurel (*Cordia alliodora*), eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) y roble marfil (*Terminalia ivorensis*). Los mejores rendimientos se obtuvieron con eucalipto, seguido por roble marfil (Cuadro 8.6). En Honduras, FHIA (2004) reportó volúmenes de aprovechamiento de madera de 200 m<sup>3</sup>/km para linderos de *Cedrela odorata*, con una densidad de 59 árboles/km.

La leña es otro de los productos importantes que se obtienen de un SAF-café. Según estimaciones del Departamento de Investigación del IHCAFE, en Honduras, la poda de 1 ha de sombra de guama (*Inga* spp.) en cafetal produce entre 30 y 70 cargas de leña, lo que representa del 20 al 50% del consumo anual de una familia rural (FHIA 2004).

**Cuadro 8.6.** Rendimiento de especies maderables en linderos a los seis años de edad en Talamanca, Costa Rica

Especie	H (m)	IMAH (m)	dap (cm)	IMAdap (cm)	Vol (m <sup>3</sup> /km)
Laurel	16,7	2,8	24,8	4,1	75
Eucalipto	26,7	4,5	28,8	4,8	160
Roble marfil	22,0	3,7	28,2	4,7	131

Fuente: Luján et ál. (1996).

El daño potencial que las plantas de café pudieran sufrir con el aprovechamiento de los árboles maderables es una de las preocupaciones principales de la mayoría de los finqueros; de hecho, esta es la objeción más frecuente a las iniciativas que promueven el uso de árboles maderables en asocio con otros cultivos.

### Aprovechamiento de especies forestales en SAF

Una de las preocupaciones al asociar especies maderables con café es el aprovechamiento de los árboles, pues en ocasiones las plantas de café sufren serios daños con la corta de los árboles de sombra. Muschler (1999) ofrece una serie de recomendaciones de cómo realizar el aprovechamiento para minimizar los daños al cafetal. El primer paso se da con el establecimiento inicial de los maderables: se recomienda la siembra de las especies maderables a un lado de las hileras de los cafetos; además...

- de ser posible, se debe podar parte o toda la copa del árbol antes de la corta.
- el aprovechamiento de los árboles debe ser antes de la poda del café (para reparar cualquier daño con la poda), o en épocas de bajos precios o baja producción del café.
- la corta de los árboles debe dirigirse entre las calles del café para reducir los daños cuando el tronco cae.

Una evaluación del aprovechamiento de árboles de laurel en cafetal demostró que el 38% de los cafetos fueron dañados y el 16% necesitaron replante. El porcentaje restante solo fue afectado levemente por la caída de las copas de los árboles. También se encontró que las ganancias por el valor de la madera superan las pérdidas causadas por el daño al cafetal, dado que los costos de los daños de los cafetos fueron mucho más bajos que el valor de la madera (Somarriba 1992).

### Análisis financiero

En el año 2000 se estableció un esfuerzo cooperativo entre el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), la Unión Nicaragüense de Cafetaleros (UNICAFE), la Universidad Nacional Agraria (UNA), el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). Por medio de ensayos de campo se busca identificar las interacciones ecológicas entre especies, evaluar la sostenibilidad de los sistemas agroforestales y establecer la base del desarrollo de una caficultura sostenible (Haggar 2001). Uno de los ensayos fue establecido en Turrialba, Costa Rica, en el cual se estudian las interacciones entre el café y varias especies forestales como sombra (*Terminalia amazonia*, *Chloroleucon eurycyclum*, *Abarema idiopoda* y *Erythrina poeppigiana*). En este ensayo se evaluó la rentabilidad de los sistemas, incluyendo el aprovechamiento maderable.

En el periodo analizado (2003-2008), el SAF café-*E. poeppigiana* produjo el mayor volumen anual de café (Cuadro 8.A). Para el ingreso total del sistema, la venta de café es el factor determinante; la producción de madera solo aporta del 1-7% del total. Cabe mencionar, sin embargo, que en los SAF de este estudio solo se han hecho raleos y podas de formación, que únicamente producen leña y madera para postes, los cuales tienen bajo valor en el mercado (Salgado 2010). *T. amazonia* muestra incrementos medios anuales en dap de 2,7 cm y de 1,6 m en altura, en tanto que *C. eurycyclum*, de 1,9 a 2,2 cm en dap y de 1,5 a 1,8 m en altura.

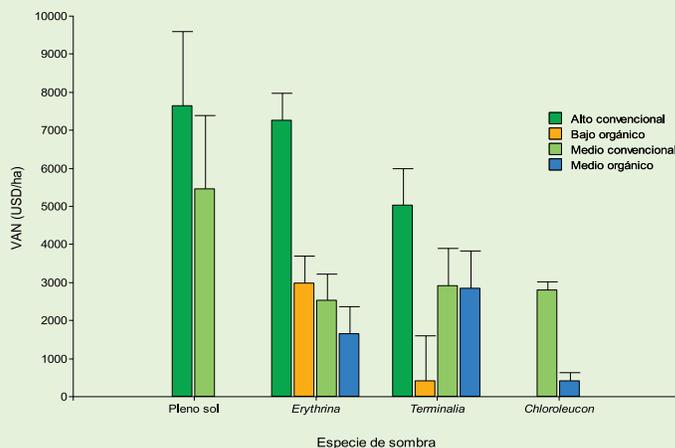
Para la construcción del indicador financiero se analizaron los costos e ingresos sin considerar los dos primeros años de establecimiento y mantenimiento del sistema agroforestal (Cuadro 8.A). En la Fig. 8.A se compara la rentabilidad de los sistemas evaluados durante el periodo analizado.

**Cuadro 8.A.** Producción de café y madera en sistemas agroforestales en Turrialba, Costa Rica

Especie	Producción café (fan/ha/año)	Volumen (m³/ha)	VAN (US\$/ha)
<i>Erythrina poeppigiana</i>	31,1 - 52,7	-	1653,3 - 7262,8
<i>Terminalia amazonia</i>	19,8 - 40,3	21,7 - 33,4	2842 - 5011
<i>Chloroleucon eurycyclum</i>	29,4 - 32,4	36,2 - 36,4	496 - 2796

Fuente: Salgado (2010).

Dzib (2003) informa de otros estudios realizados en tres zonas de Costa Rica (Cuadro 8.B). En San Isidro y Turrialba, el componente maderable representó un aporte del 54 y 83% de los ingresos totales, respectivamente, en tanto que en la zona de Grecia la venta de madera representó solamente el 6% de los ingresos totales. Los ingresos por café en las mismas zonas del estudio mostraron mayores ingresos en Grecia - Naranjo (Cuadro 8.B).



**Figura 8.A.** Rentabilidad de SAF-café con diferentes niveles de insumos en Turrialba, Costa Rica  
Fuente: Salgado (2010).

**Cuadro 8.B.** Ingresos por venta de café acumulado y de madera aprovechada en sistemas agroforestales de tres zonas de Costa Rica

Región	Especie	Densidad (árboles/ha)	Edad (años)	Volumen (m³/ha)	Ingresos madera (US\$)	Producción café (fan/ha)	Ingresos café (US\$)
Turrialba	<i>Cordia alliodora</i>	184	13	123	6410	16	7736
Grecia -Naranjo	<i>Eucalyptus deglupta</i>	78	8	43	1008	40	16474
San Isidro	<i>Terminalia amazonia</i>	373	8	69	3223	21	5982

Adaptado de: Dzib (2003).

Análisis financieros a SAF y plantaciones puras de café en la Reserva de La Amistad, Costa Rica, demostraron que el SAF genera retornos significativamente mayores que el café en monocultivo, lo cual reduce el riesgo que implican las fluctuaciones en el precio del café (Mehta y Leuschner 1997). El sistema café-eucalipto generó un VAN de US\$1484/ha, muy cercano al sistema café-poró (US\$1487/ha); en comparación, el café en monocultivo tuvo un VAN de US\$1270/ha. Cabe mencionar que el sistema con eucalipto utilizó alrededor de 270 árboles/ha y los rendimientos de café fueron ligeramente más bajos que con poró (*Erythrina* spp.), pero los retornos por la venta de leña justificaron los costos adicionales de siembra.

En años recientes, la investigación en agroforestería se ha centrado en la evaluación y cuantificación de los servicios ambientales que proporcionan los SAF; entre ellos, el reciclaje de nutrientes y fijación de nitrógeno, la captura de carbono, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados.

#### 8.4 Servicios ambientales de árboles en SAF-café

Uno de los beneficios ecológicos que proporcionan los SAF de café bajo sombra es que sirven como **hábitat para las aves** (migratorias y nativas). Este servicio genera importantes efectos en la conservación de la biodiversidad y resulta una buena estrategia de conservación (Somarriba et ál. 2004). La presencia de aves también beneficia al SAF propiamente dicho, pues las aves en el dosel de sombra sirven como control biológico de insectos, con lo que se hace menos necesario el uso de plaguicidas (Florián 2005).

En cuanto al **reciclaje de nutrientes**, Osorio (2004) reporta tasas de mineralización y liberación de nitrógeno en hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* e *Inga edulis* y en hojarasca de especies maderables y no maderables como *C. alliodora*, *E. deglupta*, *I. densiflora*, *T. amazonia*, *T. ivorensis* y *Coffea arabica*. En hojas verdes encontró que las tasas de mineralización de N promedio por semana en *Erythrina* spp. e *Inga* spp. fueron de 21,6 y 19,4 mg/kg de suelo, respectivamente. En el caso de la hojarasca, se encontraron mayores valores con las especies *I. edulis* e *I. densiflora* (6,7 y 3,9 mg N/kg de suelo), en comparación con las especies maderables y el café. Las especies maderables *T. ivorensis*, *C. alliodora* y *E. deglupta* presentaron una rápida tasa de mineralización del N al inicio del periodo de incubación, pero tiende a disminuir con la inmovilización del N. Lo anterior concuerda con Ávila et ál. (2004) quienes reportaron que la presencia de *E. deglupta* (de siete años de edad) como árbol de sombra en plantaciones de café no afectó la tasa de mineralización y nitrificación del N del suelo. De la misma forma, encontraron que la concentración de nitratos en la solución del suelo tendió a ser menor en café con *E. deglupta*, lo que indica que los árboles reducen la disponibilidad de N para el café, pero también reducen la contaminación de aguas freáticas por lixiviación.

En relación con la **captura de carbono**, se ha determinado que la mayor acumulación de carbono en cafetales se da en el suelo como resultado de la incorporación de biomasa proveniente de la cobertura arbórea permanente (café y árboles de sombra) a lo largo de varias décadas.

#### 8.5 Bibliografía

- Augstburger, F; Berger, J; Censkowsky, U; Heid, P; Milz, J; Streit, C. 2000. Agricultura orgánica en el trópico y subtropico; guías de 18 cultivos: Café (en línea). Asociación Naturland. Disponible en <http://www.naturland.de/fileadmin/MDb/documents/Publication/Espanol/cafe.pdf>
- Ávila, H; Harmand, J; Dambrine, E; Jiménez, F; Beer, J; Oliver, R. 2004. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica. Agroforestería en Las Américas 41-42:83-91.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 38:139-164.
- Dzib Castillo, B. 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, Costa Rica, CATIE. 124 p.

- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2004. Guía práctica: Producción de café con sombra de maderables. Disponible en [http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao\\_pdfs/gpcafeconsombramaderables.pdf](http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/gpcafeconsombramaderables.pdf)
- Florian Rivero, E. 2005. Avifauna en sistemas agroforestales cafetaleros: relaciones entre el contexto paisajístico, la complejidad estructural y comunidades de aves dentro del Corredor Biológico Turrialba - Jiménez, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 146 p.
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ. 168 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 285).
- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 678 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 9)
- Hagggar, J. 2001. Café: calidad, ecología y diversificación (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. Disponible en [http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/cafe\\_esp.pdf](http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/cafe_esp.pdf)
- Jiménez, G. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96 p.
- Luján, R; Beer, J; Kapp, G. 1996. Manejo y crecimiento de linderos de tres especies maderables en el valle de Sixaola, Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 55p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 241).
- Martínez A, MH. 2005. Contribución económica del componente forestal en diferentes tipos de fincas cafetaleras en la Boca, Costa Pacífica de Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.
- Mehta, N; Leuschner, W. 1997. Financial and economic analyses of agroforestry systems and a commercial timber plantation in the La Amistad Biosphere Reserve, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 37:175-185.
- Morales, J; Carneiro, C; Serrano, O. 2002. Estado de la información forestal en Costa Rica. Santiago, Chile, FAO-Comisión Europea. 232 p. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/ad400s/ad400s00.pdf>
- Muschler, R. 1997. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusión. *In* Memorias del XVIII Simposio Latinoamericano de Caficultura (18ª, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. San José, Costa Rica. p. 471-476.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE/GTZ. 139 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Muschler, R; Yépez, C; Rodríguez, A; Peters, W; Pohlan, J. 2006. Manejo y valoración de la biodiversidad de flora y fauna en cafetales. *In* Pohlan, J; Soto, L; Barrera, J. (Eds.). El cafetal del futuro: realidades y visiones. p. 333-359. Disponible en: [http://www.equatorinitiative.org/images/stories/2002winners/Cafe\\_LaSelva/muschler\\_333.pdf](http://www.equatorinitiative.org/images/stories/2002winners/Cafe_LaSelva/muschler_333.pdf)
- Ordóñez, MA; Sosa, MH. 2006. Uso y manejo de sombra en cafetales (en línea). Disponible en [http://www.google.co.cr/url?sa=t&rct=j&q=uso%20y%20manejo%20de%20sombra%20en%20cafetales%20sosa&source=web&cd=1&ved=0CFMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ihcafe.hn%2Findex.php%3Foption%3Dcom\\_phocadownload%26view%3Dcategory%26download%3D33%3Atec-guia-uso-manejo-sombra%26id%3D1%3Aarea-tecnica%26Itemid%3D143%26start%3D20&ei=PM21T-H1E1b89QTxhv2UAw&usg=AFQjCNEjMcH5rUUruOb6IsG-Zk5SHuvcZg&cad=rja](http://www.google.co.cr/url?sa=t&rct=j&q=uso%20y%20manejo%20de%20sombra%20en%20cafetales%20sosa&source=web&cd=1&ved=0CFMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ihcafe.hn%2Findex.php%3Foption%3Dcom_phocadownload%26view%3Dcategory%26download%3D33%3Atec-guia-uso-manejo-sombra%26id%3D1%3Aarea-tecnica%26Itemid%3D143%26start%3D20&ei=PM21T-H1E1b89QTxhv2UAw&usg=AFQjCNEjMcH5rUUruOb6IsG-Zk5SHuvcZg&cad=rja)
- Osorio Moreno, V. 2004. Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 75 p.
- Pineda, J. sf. Guía práctica de manejo de café en asociación con maderables. Tegucigalpa, Honduras, Instituto Hondureño del Café.
- Rojas, F; Canessa, R; Ramírez, J. 2004. Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, ICAFE- ITCR. 151 p.
- Salgado Vásquez, J. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 125 p.

- Somarriba, E. 1992. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry Systems* 18:69-82.
- Somarriba, E. 1999. Descumbre de maderables para regular sombra en cacao y café. *Agroforestería en las Américas* 22:23-24.
- Somarriba, E; Beer, J. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *For. Ecol. Mgt.* 18:113-126.
- Somarriba, E; Harvey, C; Samper, M; Anthony, F; Gonzales, J; Staver, C; Rice, R. 2004. Biodiversity conservation in neotropical coffee (*Coffea arabica*) plantations *In* Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington, DC, US, Island Press. p. 198-220.
- Tavarez, 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* 23:17-20.
- Viera, C. 1998. Evaluación del uso de incentivos forestales en el establecimiento y manejo de árboles maderables en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en Grecia, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 107 p.
- Viera, C; Pineda, A. 2004. Productividad de lindero maderable de *Cedrela odorata*. *Agronomía Mesoamericana* 15:85-92. Disponible en [http://www.mag.go.cr/rev\\_mesov15n01\\_085.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_mesov15n01_085.pdf)
- Yépez, C. 2002. ¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios locales de selección? *Agroforestería en las Américas* 35-36:95-98.
- Yépez, C; Muschler, R; Benjamín, T; Maúlen, M. 2003. Selección de especies para sombra en cafetales diversificados de Chiapas, México. *Agroforestería en las Américas* 35-36:55-61.

## 9. Sistemas taungya

Andrea Schlönvoigt

Las plantaciones forestales convencionales se establecen y manejan con costos considerables durante los primeros años después de su establecimiento. Sin embargo, los ingresos por la venta de la madera obtenidos de los primeros raleos frecuentemente no compensan esos gastos. Esas plantaciones forestales se ven como una inversión a futuro y, por lo oneroso del establecimiento y manejo inicial, no son atractivas para los finqueros de pequeña a mediana escala.

En el territorio actualmente conocido como Myanmar (antigua Birmania), se desarrolló una modalidad de establecimiento de plantaciones forestales que permite generar ingresos bastante rápidamente y abaratar costos de establecimiento de las plantaciones por medio de alianzas con productores de subsistencia. Esto es lo que se conoce como sistema taungya.

Con base en las experiencias originales y estudios realizados en América Latina, el asocio temporal de plantaciones forestales con cultivos anuales se presta para la implementación de plantaciones forestales para la producción de madera de aserrío, pulpa, postes, leña o plantaciones mixtas para protección. A continuación analizaremos el concepto de 'sistemas taungya', sus varias modalidades y su utilización actual en América Latina. A partir de algunos ejemplos de sistemas taungya en América Central, se evalúan las ventajas y desventajas del sistema y se discuten los factores técnicos y socioeconómicos que inciden en la adopción de este sistema agroforestal clásico.

### 9.1 Orígenes del sistema taungya

#### 9.1.1 ¿De dónde viene?

Originalmente, el término taungya (taung = montaña, ya = cultivo) se utilizó para el sistema de tumba y quema realizado por los pobladores de las montañas en Myanmar (Lamprecht 1990). En 1855, el botánico alemán, Dr. Dietrich Brandis, fue asignado por el servicio colonial británico para organizar la implementación y el manejo de las plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en

Birmania. Cuando llegó, se enfrentó con el problema de que la tumba y quema perjudicaba demasiado las reservas forestales. Con base en su experiencia con el sistema alemán llamado *Waldfeldbau* (Wald = bosque, Feldbau = cultivos) y con la colaboración de los técnicos nacionales, desarrolló el sistema taungya como un sistema de transformación de un bosque a una plantación forestal y lo introdujo en la provincia de Pegu, a partir de 1856.

El sistema taungya original funcionó de la siguiente manera: los pequeños productores de arroz (*Oryza sativa*) que no tenían terrenos propios, recibían del Departamento Forestal el derecho de talar un lote de bosque natural para sembrar el arroz bajo el método tradicional de tala y quema. Al momento de sembrar el arroz tenían la obligación de sembrar árboles de teca a una distancia de 1,8 m. El Departamento Forestal permitía la siembra de arroz por dos años consecutivos en el lote. Después, el productor recibía otro lote para iniciar otra plantación de teca. Por el establecimiento exitoso de un lote de teca, el productor recibía un premio financiero. Además, podía generar ingresos adicionales como obrero forestal, limpiando, raleando y cosechando las plantaciones establecidas (Brandis 1884).

Los mayores beneficios del sistema taungya tradicional los disfrutó, casi exclusivamente, el Departamento Forestal que logró la transformación de bosques en plantaciones forestales por intermedio de la agricultura migratoria y su sistema de tala y quema.

Ese sistema funcionó mientras hubo demanda por terrenos agrícolas. Si el terreno no estaba limitado para vivir de la agricultura migratoria, los productores no estaban dispuestos a trabajar para el Departamento Forestal. Por esa razón, parte de los bosques del país se declararon como reserva forestal permanente para impedir el acceso a los agricultores. Así, los productores tuvieron que aceptar los contratos con el Departamento Forestal. La implementación del sistema taungya tradicional requería terrenos de buena calidad para obtener altos rendimientos forestales y agrícolas. La buena calidad del suelo se convirtió en un arma de doble filo cuando, después de los dos años, los agricultores se negaban a abandonar el terreno si los rendimientos agrícolas todavía eran buenos.

Los mayores beneficios del sistema taungya tradicional los disfrutó, casi exclusivamente, el Departamento Forestal que logró la transformación de bosques en plantaciones forestales por intermedio de la agricultura migratoria y su sistema de tala y quema (Lamprecht 1990). Los costos para el establecimiento de plantaciones forestales bajaron notablemente, lo que tuvo un impacto en la sostenibilidad económica del sistema. La ganancia para los agricultores migratorios fueron algunos ingresos adicionales por labores extras y el acceso a servicios sociales y comunales. Se puede decir que el sistema fue sostenible en términos sociales, pero con limitaciones. Debido a las rotaciones de 80 años, el sistema fue sostenible en cuanto a la acumulación de nutrientes en el suelo. Además, la selección de sitios por el Departamento Forestal impidió el manejo de suelos no aptos para el sistema de tala y quema.

No obstante, el sistema tradicional tuvo la desventaja de que las plantaciones generadas fueron monocultivos, con las consecuencias ecológicas que eso implica. Otras desventajas recayeron sobre los agricultores. La cosecha agrícola por área cultivada y mano de obra invertida fue inferior en comparación con la siembra

de arroz sin árboles, debido a la competencia con la teca. Los premios financieros no siempre compensaron las desventajas. El sistema tradicional se aprovechó del bajo estándar de vida de la población y la gran oferta de mano de obra para implementar las plantaciones de teca con bajos insumos. El productor perdió su libertad, que era lo único que tenía. Por estas razones, el sistema taungya tradicional también fue visto como una secuela del colonialismo (Lamprecht 1990).

### 9.1.2 Diseminación del sistema taungya en el mundo

El sistema taungya se llevó primero de Myanmar a otras colonias inglesas y europeas en Asia. Desde Asia, el servicio colonial británico lo introdujo en África. Unos pocos países que anteriormente fueron colonias francesas adoptaron también el sistema. Con la difusión a otros países, el sistema taungya también recibió otros nombres y algunas modificaciones (King 1968). Recién en 1900, el sistema llegó a Chile, Bolivia, Colombia y Perú (Evans 2009).

El concepto básico del sistema taungya -la siembra de cultivos anuales en plantaciones forestales durante la fase de establecimiento de los árboles- se viene estudiando en América Central desde la década de 1960. El CATIE ha sido la institución que más atención ha prestado al sistema en la región. Autores como Aguirre (1963), Aguirre (1977), Fernández (1978), Magne (1979), Detlefsen (1984), Schloenvoigt (1993), Lucas et ál. (1995), Platen (1996) han evaluado su potencial y han adaptado el concepto a las condiciones de la región. Durante los últimos años, se ha evidenciado un interés creciente por parte de organizaciones nacionales e internacionales en el sistema taungya como herramienta de reforestación para la recuperación de áreas deforestadas.

## 9.2 El sistema taungya: un sistema agrosilvicultural

El sistema taungya originalmente se desarrolló para la transformación de bosques naturales en plantaciones forestales, aprovechando la mano de obra barata de los agricultores migratorios (1 a 2 millones de hectáreas en el Sureste de Asia y un millón en África; Lamprecht 1990). Cuando se cosecha la madera y se plantan nuevamente árboles asociados con cultivos anuales (uno a tres años), se entra a un sistema agrosilvicultural secuencial que combina temporalmente la producción de madera con la producción de cultivos anuales en un mismo terreno. El componente "agro" está representado por el cultivo anual y el componente "silvi", por los árboles. Las labores culturales las realiza el agricultor.

Hoy en día, taungya se refiere a los sistemas agroforestales que asocian plantaciones forestales con cultivos anuales. La discusión sobre qué se considera como sistema taungya ha sido abordada por varios autores. Combe y Budowski (1978) mencionan tres elementos:

1. El producto principal es la madera.
2. La combinación de agricultura y forestería es temporal.
3. La distribución espacial es regular (por lo general, en hileras).

Con la difusión a otros países, el sistema taungya también recibió otros nombres y algunas modificaciones.

Los cultivos agrícolas permitidos en un sistema taungya son otro criterio de caracterización. Tradicionalmente, se cultivaban granos básicos en las plantaciones forestales y no se permitían raíces ni tubérculos para evitar daños al sistema radicular de los árboles. En la actualidad, siguen dominando los granos básicos, pero también se están incluyendo otros cultivos anuales como raíces, tubérculos y hortalizas. No obstante, algunos autores consideran que la combinación temporal de árboles con cultivos perennes o con cultivos forrajeros no son un sistema taungya, sino un sistema agrosilvicultural permanente (Beer et ál. 1994).

Considerando la creciente escasez de madera en muchos países de América Latina y del Caribe, el sistema taungya ofrece una oportunidad interesante para la producción de madera junto con cultivos agrícolas en terrenos aptos para este sistema.

La mayoría de los autores están de acuerdo con la clasificación de Combe y Budowski (1978); sin embargo, en cuanto a los aspectos socioeconómicos todavía no hay claridad absoluta. Hofstadt (1978, cit. por Hout 1983) acepta el término taungya solamente cuando el agricultor trabaja sin sueldo pero recibe todos los ingresos obtenidos por el consumo o la venta de los cultivos. Beer et ál. (1994) distinguen entre taungya estatal y taungya privado. El **taungya estatal** es cuando el Estado controla el manejo del sistema en terrenos extensos, con la participación de la población rural, mientras que **taungya privado** se realiza en terrenos propios del productor donde se supone que él es el dueño, tanto de los árboles, como de los cultivos. Olawoye (1975), por su parte, no diferencia entre estos dos conceptos. En la sección siguiente se presentan conceptos más específicos para el sistema taungya privado, ya que este es el más relevante para reforestaciones en pequeña y mediana escala en América Latina y el Caribe.

### 9.3 Consideraciones previas al establecimiento y manejo de un sistema taungya

Cuando se decide establecer una plantación forestal bajo el sistema taungya hay que considerar varios factores que pueden incidir en el grado de éxito de la plantación. Entre esos están la importancia e implicaciones que tiene el objetivo de la plantación, las características del sitio, la selección de la especie forestal y la especie agrícola sobre la planificación, el establecimiento, el manejo y el aprovechamiento de la plantación agroforestal.

En Asia y África, los departamentos forestales emplean el sistema taungya estatal con un doble objetivo: establecer plantaciones forestales estatales de las que se obtiene madera de aserrío con bajos insumos y estabilizar la agricultura migratoria.

#### 9.3.1 El objetivo de la reforestación con el sistema taungya

En términos generales, se reconocen varios objetivos de la aplicación del sistema taungya. A continuación se describen los más importantes.

##### Producción forestal en plantaciones estatales

En Asia y África, los departamentos forestales emplean el sistema taungya estatal con un doble objetivo: establecer plantaciones forestales estatales de las que se obtiene madera de aserrío con bajos insumos y estabilizar la agricultura migratoria (p.e. los pueblos forestales en Tailandia). La implementación del taungya estatal depende principalmente de familias rurales que no tienen acceso libre a terrenos de producción y que están dispuestas a trabajar bajo las condiciones ofrecidas por el departamento forestal.

Según FAO (1984), el estándar de vida del productor que practica el sistema taungya puede ser más elevado, en comparación con el productor migratorio, pero más bajo en comparación con el productor intensivo y permanente. Los esquemas para el desarrollo del sistema no buscan, en primera instancia, satisfacer las necesidades sociales y económicas de la población rural, aunque para un desarrollo sostenible hay que considerar estos factores (FAO 1990). El sistema taungya conocido como '*forest village system*' (pueblos forestales) presta mayor atención a estos factores. Este sistema pretende estabilizar la población en asentamientos, aumentar las fuentes de ingresos adicionales y asegurar servicios sociales como escuelas, hospitales y centros de comunicación.

### Producción forestal en terrenos privados

En América Central domina el sistema taungya privado y se emplea, más que todo, para reforestar terrenos en fincas de propiedad privada con el objetivo de producir madera para aserrío, leña, árboles de sombra, etc. El principal atractivo del sistema consiste en la reducción de los costos iniciales de plantación (Aguirre 1963, Platen 1996). Se pueden distinguir tres tipos de taungya privado, caracterizados por los recursos del dueño de la finca o quien decide sobre el manejo de la plantación y la distribución de derechos y obligaciones de los participantes:

**Tipo 1:** En las fincas con terrenos reforestables de gran o mediana extensión por lo general se emplea el sistema tradicional. Los trabajadores agrícolas o familias vecinas cultivan ciertas especies agrícolas entre las hileras de árboles para el consumo propio o para la venta. De esta manera, el dueño no tiene que invertir en insumos para el manejo de la plantación, y los peones de la finca o vecinos con poco terreno tienen campo para producir alimentos o generar ingresos adicionales.

**Tipo 2:** En otras fincas grandes o medianas, el mismo agricultor y/o sus familiares, a veces con el apoyo de mano de obra externa, manejan la plantación y cosecha de los productos. En estas fincas emplean jornaleros para realizar los trabajos de campo, como la preparación del terreno, siembra de árboles y cultivos, manejo de la plantación y cosecha. En este caso, los productos agrícolas y forestales pertenecen al dueño de la finca.

**Tipo 3:** En fincas pequeñas, donde se establece una pequeña plantación que permita obtener leña o dar sombra a un cultivo perenne, todo el trabajo y todos los beneficios son del agricultor.

### Optimización de la producción forestal y agrícola

Cuando el objetivo es alcanzar una producción agrícola lo más alta posible, pero sin perjudicar la calidad de la madera, la reducción de la densidad de la especie forestal puede tener un efecto positivo en la rentabilidad de la plantación forestal (Vanselov 1950). Esto se debe al menor uso de insumos para la siembra y manejo de los árboles (menos plantas, raleos, podas, etc.); sin embargo, la selección de árboles meta tiene que ser más cuidadosa, ya que hay menos árboles disponibles para ralear y los defectos en ellos pueden ser mayores.

El manejo forestal con densidades inferiores es factible si se siembran los árboles con distancias amplias entre hileras y alta densidad en hileras.

El manejo forestal con densidades inferiores es factible si se siembran los árboles con distancias amplias entre hileras (6 m) y alta densidad en hileras (1 m). Esto reduce los defectos en los árboles porque crecen de manera similar a plantaciones de alta densidad (Hout 1983). Los ingresos que se obtengan con los productos de los raleos son menores en comparación con plantaciones de alta densidad, pero a la vez, se reducen los insumos necesarios para los raleos y aumentan los ingresos por la producción agrícola. Esta modificación beneficia la producción agrícola, sin que se perjudique el componente forestal (Hout 1983).

En el oeste de Bengala, la evaluación de sistemas taungya con teca en diferentes densidades demostró que la producción agrícola aumentó con menos árboles por hectárea, en tanto que los árboles alcanzaron diámetros mayores, sin efectos negativos por ramificación (un aspecto importante para la calidad de la madera producida) (Lahiri 1989). Schloenvoigt (1993) obtuvo resultados similares con *Cordia alliodora* en asocio con maíz (*Zea mays*) en el valle del río Sixaola, Costa Rica.

Si el objetivo de la producción forestal es leña, se pueden plantar los árboles a densidades altas, junto con uno o dos cultivos asociados durante el primer año de establecimiento de la especie forestal. Después de la cosecha de la leña, se vuelven a sembrar los cultivos mientras que se reponen o rebrotan los árboles. Los ciclos de corta duración permiten la rotación entre bloques, aún en terrenos de tamaño pequeño.

### 9.3.2 La preparación del sitio

Las condiciones del sitio las determinan factores como el clima, la geología, la fertilidad y textura del suelo, la vegetación, el manejo y uso anterior del suelo (p.e. pasto degradado, rastrojo, plantación agrícola). Según las condiciones del sitio, se decide sobre el objetivo principal de la plantación y la preparación oportuna. Si los suelos no tienen aptitud para cultivos agrícolas, se debe optar por una plantación forestal o regeneración natural con manejo selectivo para enfocarse en los productos forestales.

Aunque las quemadas suelen ser muy atractivas por su aparente bajo costo para limpiar un terreno, hoy en día se reconoce que los costos indirectos son muy altos, ya que los gases de efecto invernadero provocados por las quemadas aceleran el cambio climático global.

La preparación del terreno para la siembra de un sistema taungya depende de los recursos del dueño y de las condiciones del sitio. Entre las tareas de preparación del terreno están la tala, la aplicación de herbicidas y el manejo mecánico o manual del suelo. Aunque las quemadas suelen ser muy atractivas por su aparente bajo costo para limpiar un terreno, hoy en día se reconoce que los costos indirectos son muy altos, ya que los gases de efecto invernadero provocados por las quemadas aceleran el cambio climático global. Los suelos compactados con poca pendiente -p.e. pasturas degradadas- se pueden arar para romper el horizonte compactado y facilitar el enraizamiento de las plantas.

La baja fertilidad de muchos suelos tropicales se puede mejorar con fertilizantes minerales, orgánicos o coberturas vivas. En el sistema taungya, los árboles aprovechan los fertilizantes que se aplican a los cultivos, lo que resulta en

mayores tasas de crecimiento que en plantaciones puras (Lucas et ál. 1995). Además, el manejo del suelo aplicado al momento de convertir un terreno en una plantación forestal y el período de rotación de las especies madereras son factores que afectan la fertilidad del terreno a largo plazo.

### 9.3.3 Selección y siembra de la especie forestal

Una vez identificado el terreno por reforestar, los factores más importantes a considerar en la selección de las especies forestales y agrícolas por sembrar son, además del objetivo de producción de la plantación, la fertilidad, el drenaje, la profundidad del suelo y el clima. En general, las especies maderables aptas para plantaciones forestales son aquellas con alta tolerancia a las condiciones de pleno sol, con un crecimiento inicial rápido, fuste recto con poca ramificación, copa estrecha y capacidad de autopoda.

En plantaciones maderables puras, los árboles se plantan a densidades altas (1x1 m hasta 3x3 m, o más) -según el objetivo de producción (leña, postes, pulpa, madera aserrada, protección) y los requerimientos de la especie- para favorecer la formación del fuste y la autopoda y para garantizar el número mínimo de árboles de futura cosecha que cumplan con las características deseables. Como se indicó anteriormente, en el sistema taungya se pueden considerar distancias de siembra más amplias para favorecer el cultivo agrícola. Los productos de raleos se pueden utilizar como leña, postes y madera para aserrío. Entre las especies preferidas están *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Eucalyptus deglupta*, *E. robusta*, *Gmelina arborea*, *Terminalia ivorensis*, *Tectona grandis*, *Pinus radiata*, *Araucaria angustifolia*, *Cupressus macrocarpa* y *Cupressus sempervirens*.

En sitios con pendientes fuertes se prefieren especies forestales que desarrollen raíces profundas y/o intercalar coberturas o barreras vivas o muertas para controlar la erosión del suelo. Se recomienda, además, ninguna labranza o labranza mínima del suelo. En sitios donde predominan los vientos fuertes también hay que dar preferencia a especies resistentes con un sistema radicular profundo, madera de alta densidad y copas pequeñas y abiertas.

La especie más utilizada en el sistema taungya, sobre todo en Asia, ha sido la teca pues ofrece madera de alta calidad. Según Hout (1983), la especie es muy tolerante con respecto al clima y de fácil regeneración (siembra directa, pseudoestaca o bolsa). Hasta el año 5, la especie presenta un incremento medio anual de 5 a 10 m<sup>3</sup>/ha/año. Sin embargo, su uso en el sistema taungya tiene limitaciones fuertes debido a sus raíces muy superficiales que pueden limitar la asociación con tubérculos. De hecho, en muchos países el taungya estatal no permite el cultivo de tubérculos asociados con teca porque el sistema radicular de esta especie puede abrir el camino a patógenos secundarios; además, tales raíces superficiales generan competencia con las raíces de las especies agrícolas. Otro problema del asocio con teca es su alta demanda por luz, que inhibe la combinación con cultivos altos o con copas densas como las musáceas. No obstante, en un taungya privado en la finca La Tite en San Carlos, Costa Rica, se

Los factores más importantes a considerar en la selección de las especies forestales y agrícolas por sembrar son, además del objetivo de producción de la plantación, la fertilidad, el drenaje, la profundidad del suelo y el clima.

asociaron *T. grandis* con *Manihot esculenta* (yuca) y *Zingiber officinale* (jengibre), sin que se detectaran efectos negativos en los cultivos después del primer año<sup>1</sup>.

La capacidad de adaptación de las especies forestales a la asociación con cultivos agrícolas es variable. En Panamá se realizó un estudio con diversas especies forestales en asociación con diferentes especies de gramíneas, sobre todo maíz y arroz. Después de un año *Gmelina arborea* y *Acacia mangium* mostraron una tasa de supervivencia entre 99 y 100% (Facultad de Ciencias Agropecuarias 1995). *Swietenia macrophylla* tuvo una supervivencia del 100% en asocio con cultivos de la familia *Cucurbitaceae* como primer cultivo y 83% en asocio con arroz. En una finca en Chiriquí, Panamá, según observaciones del agricultor, *S. macrophylla* asociada con *Cajanus cajan* (aprox. 10.000 plantas/ha), no había sido atacada por *Hypsipyla* después de año y medio, mientras que en plantación pura los daños ya eran evidentes. En la zona norte de Costa Rica se observaron ataques menores de *Hypsipyla* en plantaciones mixtas de *Cedrela odorata* con *Cordia alliodora* (ACEEFN 1992). El control de esta plaga sigue siendo el mayor problema en la producción de madera de calidad en plantaciones de meliáceas.

El manejo del sistema taungya es tan importante como la selección de las especies mejor adaptadas a las condiciones de sitio. En Malasia, un estudio sobre el sistema taungya con diferentes especies maderables evidenció que las especies tenían una variabilidad muy alta entre sitios en cuanto a supervivencia y crecimiento en altura (Mohd et ál. 1972). La topografía, el clima, el manejo del suelo, el cuidado del agricultor, el período de siembra y el material vegetal fueron las causas principales de este efecto.

El establecimiento de plantaciones de árboles con espaciamientos amplios aumenta la producción agrícola, pero puede tener efectos negativos sobre la producción de madera.

El establecimiento de plantaciones de árboles con espaciamientos amplios aumenta la producción agrícola, pero puede tener efectos negativos sobre la producción de madera (mala forma del fuste, ramificación y pobre calidad de la madera). La siembra en espacios amplios con una distribución homogénea sobre el terreno afecta más la calidad de la madera y la forma del fuste que la siembra en espacios amplios con una distribución acumulada; es decir, un mayor espacio entre hileras y altas densidades dentro de las hileras (Hout 1983). Este diseño tiene la ventaja de ofrecer más terreno para sembrar cultivos y mantener una cifra mayor de árboles, lo cual permite una mejor selección de los árboles de futura cosecha.

La distancia entre árbol y cultivo afecta el crecimiento y desarrollo de la especie forestal. Según Schloenvoigt (1993), en suelos medianamente fértiles, una especie forestal como *Eucalyptus deglupta*, que compite por luz con los cultivos agrícolas asociados (p.e. maíz), puede sembrarse a espaciamientos amplios entre árboles (3x6 m hasta 6x6 m) y distancias muy reducidas entre cultivo y árbol (de 40 a 50 cm). En suelos aluviales y durante el primer ciclo del maíz, este arreglo no tuvo efectos negativos sobre el crecimiento del árbol ni en el

<sup>1</sup> A. Rodríguez. 1998. Comunicación personal.

rendimiento del cultivo, en comparación con el monocultivo. Recién cuando los árboles sobrepasaron al maíz empezaron a afectar el desarrollo y rendimiento del cultivo (Schloenvoigt 1993). Se recomienda controlar esta competencia con podas de las ramas bajas y aumentar la distancia entre árboles y cultivos. Por otro lado, una especie de crecimiento menos rápido, como *Cordia alliodora*, requiere distancias mayores entre los árboles y el maíz (100 cm) para evitar que se afecte negativamente el crecimiento del árbol (Schloenvoigt 1993).

Algunas especies forestales provocan efectos alelopáticos sobre los cultivos, lo que puede resultar en una acumulación de productos tóxicos en el suelo. Estos tóxicos provienen de las raíces de las especies forestales o son extraídos de las hojas por las lluvias o por descomposición. El efecto en el cultivo es un crecimiento reducido o la muerte. En caso de efectos alelopáticos conocidos, hay que considerarlo en la selección de las especies agrícolas y/o forestales.

### 9.3.4 Selección de la especie agrícola

En el sistema taungya estatal y el taungya privado Tipo 1 (ver definición en pag. 165), la selección de las especies agrícolas está limitada a lo que permite el contrato entre el dueño del terreno y el agricultor. Las especies forestales que se siembran en plantaciones tienen una alta demanda por luz y son de rápido crecimiento. Por eso, se requieren especies agrícolas que ejerzan poca competencia, tanto en el espacio subterráneo como en el aéreo y mejor si pueden tolerar un poco de sombra (p.e. frijol, maní, soya, maíz, arroz). El crecimiento de raíces y tubérculos puede perjudicar el enraizamiento de los árboles, mientras que la cosecha de los productos agrícolas puede dañar las raíces de los árboles y provocar infecciones por patógenos que podrían hasta matar al árbol. En pendientes fuertes, el manejo intensivo del suelo para la cosecha de raíces y tubérculos puede favorecer la erosión. Por eso, en taungya estatal está prohibido sembrar estos cultivos o hay que mantener distancias muy grandes entre los árboles y los cultivos (>100 cm).

En el sistema taungya privado Tipo 2 ó 3, la selección de los cultivos que el agricultor quiere asociar con los árboles puede favorecer la producción agrícola sobre la producción forestal para obtener ingresos adicionales de los cultivos durante más tiempo. Si el interés principal es la producción rápida de madera, se debe seguir la misma estrategia que el taungya estatal o taungya privado Tipo 1.

Hasta la fecha, en el sistema taungya en general predominan los cultivos de granos básicos, más que todo por su fácil manejo, pero se podría pensar también en intercalar otros cultivos con demandas más altas de manejo, como el tomate (*Lycopersicon esculentum*) o el chile (*Capsicum annuum*) durante el primer año, pues son cultivos altamente demandantes de luz. En el segundo año, se podría usar el frijol, que es tolerante a poca sombra. Estos cultivos necesitan un manejo intensivo, pero normalmente obtienen buenos precios en los mercados.

En América Central los productores utilizan estos cultivos para intercalarlos con café durante la fase de establecimiento o regeneración. En suelos aptos

Pese a que en sus inicios el sistema taungya promovía plantaciones forestales tipo monocultivo, hoy se reconocen las ventajas de las plantaciones forestales mixtas. Especies de la familia de las meliáceas se benefician de otras especies forestales o cultivos de alto crecimiento que las protegen del ataque del barrenador *Hypsipyla*; asimismo, las especies leguminosas ayudan a mejorar las condiciones de suelos degradados para especies más exigentes.

En el sistema taungya predominan los cultivos de granos básicos, pero se podría pensar también en intercalar otros cultivos con demandas más altas de manejo.

para estos cultivos, los mismos pueden tener un potencial para generar ingresos adicionales en plantaciones forestales. En Costa Rica se obtuvieron buenos resultados con jengibre y yuca (Lucas et ál. 1995, Platen 1996, Rodríguez com. pers.). La yuca ofrece una ventaja adicional: las raíces maduras se pueden dejar en el suelo hasta que los precios del mercado sean buenos; es decir, no hay que cosechar a punto como en el caso del jengibre. En Indonesia, son frecuentes las plantaciones de *Pinus merkusii* en asocio con repollo (*Brassica oleracea* var. capitata), cebolla (*Allium cepa*), papa (*Solanum tuberosum*) y otras hortalizas. No obstante, bajo el sistema taungya estatal, los agricultores generalmente realizan podas muy fuertes a los árboles a favor de estos cultivos, lo que produce tallos deformados y crecimientos reducidos de los árboles (Jordan et ál. 1992).

El objetivo de la producción, los recursos del reforestador, las condiciones del sitio, el clima, los requerimientos de las especies forestales y agrícolas son factores importantes que influyen en el establecimiento, manejo y aprovechamiento de un sistema taungya.

## 9.4 Establecimiento de una plantación taungya

El lector interesado podrá encontrar información detallada sobre el establecimiento de plantaciones forestales bajo el sistema taungya en "Plantation Forestry in the Tropics" (Evans 1992). Si se quiere profundizar en principios económicos del sistema taungya se recomiendan los "Módulos para la capacitación en aspectos económicos sobre árboles de uso múltiple" (CATIE 1995).

A continuación detallamos los pasos necesarios para establecer exitosamente un sistema taungya privado:

### Fase I: Planificación

1. Estudio de las condiciones del sitio (suelo, clima, drenaje, acceso, vegetación, causas de deforestación, disponibilidad de mano de obra, etc.).
2. Estudio del mercado de la madera (demanda futura, desarrollo de los precios, plan nacional del sector forestal, incentivos, etc.) y de los cultivos (especies para autoconsumo o comercialización, demanda del mercado).
3. Selección de especies adaptadas a las condiciones del sitio con características deseables para el mercado futuro, compatibilidad de especies, disponibilidad de semilla, etc.
4. Revisión de los recursos financieros y humanos disponibles en la finca.
5. Evaluación preliminar de los insumos y ganancias potenciales.
6. Establecimiento de contrato o convenio entre diferentes actores.

### Fase II: Establecimiento

1. Establecimiento del vivero forestal con suficiente anticipación (si no se consiguiera material para la propagación en vivero comercial). Se recomienda la publicación "Manual práctico sobre viveros forestales" (Rojas 1993) a los interesados en el tema.
2. Preparación del terreno al inicio de la estación seca (manual, química, maquinaria).
3. Marcación de las distancias para la siembra de los árboles (el espaciamiento depende del objetivo del productor y del reglamento del plan forestal para incentivos).

4. Preparación de los hoyos con pala y/o macana al final de la estación seca, si la siembra no es mecanizada.
5. Siembra de los árboles y cultivos al inicio de la estación lluviosa.
6. Espaciamiento de los cultivos y distancia entre árbol-cultivo, dependiendo de las características de ambas especies (tolerancia a competencia por luz, agua y nutrientes), de la fertilidad del suelo y del objetivo del productor (p.e. extender la fase agrícola o cerrar rápidamente las copas de la especie forestal).
7. Fertilización inicial recomendada según fertilidad del suelo, requerimientos de las especies y recursos del productor. Se pueden intercalar coberturas vivas de leguminosas o barreras vivas de leguminosas en pendientes (p.e. *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*) para mejorar las condiciones del suelo.

### Fase III: Manejo

1. Manejo de los cultivos según los requerimientos de la zona de producción y los recursos del productor (control de malezas, fertilización, fitoprotección).
2. Manejo de los árboles según necesidades: mantener rodajas alrededor de los árboles durante el primer año (diámetro: 1 m), podas de formación, deshija y podas de ramas bajas según necesidad, selección de árboles futuros y raleos a partir del segundo año. Galloway (1993) recomienda dos o tres raleos para llegar a la densidad final deseada (200 a 250 árboles/ha, para plantaciones establecidas a 3x3 m). Se recomienda la publicación “Manejo de plantaciones forestales” (Galloway 1993).
3. Toma anual de datos sobre crecimiento de los árboles (altura total, altura del fuste comercial, diámetro a la altura del pecho). Ver Capítulo 3; se recomienda también la publicación “Mensura Forestal” de Prodam et ál. (1997) y “Conceptos básicos de dasometría” (Ugalde 1981).

### Fase IV: Cosecha

1. Los cultivos agrícolas se pueden sembrar y cosechar según las condiciones del sitio, el espacio entre los árboles y el desarrollo de la competencia de los árboles entre uno y tres años. Después de la cosecha de los cultivos agrícolas se puede enriquecer la plantación forestal con coberturas vivas o dejar que rebrote la vegetación natural.
2. Antes de la cosecha de la madera se deben obtener los permisos de ley.
3. La cosecha de la madera se puede iniciar cuando se alcanza el tamaño requerido para el objetivo de producción: leña (no hay un diámetro mínimo; rotación de 5 a 10 años), pulpa (10 a 40 cm dap; rotación de 5 a 15 años), madera aserrada (>30 cm dap; rotación >20 años). En la producción de madera aserrada, los productos de raleos se pueden comercializar como leña o postes.

## 9.5 El sistema taungya en América Central

En América Central se conoce el sistema taungya desde 1920 (Combe y Gewald 1979, cit. por Budowski 1987). La adopción del sistema a mayor escala todavía es escasa pero con resultados promisorios (p.e. Finca La Tite, San Carlos, Costa

La noción básica del sistema taungya es la siembra de cultivos anuales entre hileras de árboles en plantaciones forestales es una alternativa recomendable siempre cuando haya mano de obra abundante, acceso limitado a terrenos agrícolas y mercados para recibir los productos agrícolas.

El asocio de las especies forestales con cultivos anuales rindió mejores resultados económicos que las plantaciones puras.

Rica). La información disponible en la literatura se refiere, más que todo, a resultados de estudios de investigación enfocados en la selección de especies, competencia entre especies y cómo reducirla o manejarla.

### 9.5.1 Casos de Costa Rica

#### Estudios en la finca experimental del CATIE, Turrialba

La finca experimental del CATIE se ubica en la zona de vida bosque muy húmedo pre-montano, con 22°C, precipitación de 2670 mm/año y suelos de origen volcánico. Entre los años de 1962 a 1979, se realizó una serie de estudios sobre el sistema taungya con las especies forestales *Cordia alliodora*, *Tectona grandis*, *Swietenia humilis* y *Cupressus lusitanica* (Aguirre 1963), *Eucalyptus deglupta* (Aguirre 1977), *Gmelina arborea* (Fernández 1978) y *Terminalia ivorensis* (Magne 1979). Los árboles se asociaron con rotaciones de maíz y frijol; además, en el estudio de Aguirre (1963) se sembró *Coriandrum sativum*, *Cucumis sativum*, *Cucurbita maxima*, *Manihot esculenta* y *Sechium edulis*.

El resultado más destacable de esos estudios fue la comprobación de que el asocio de las especies forestales con cultivos anuales rindió mejores resultados económicos que las plantaciones puras. Por ejemplo, el asocio de *E. deglupta* con maíz redujo los costos de la plantación entre 55 y 66%. Los cultivos, en general, no tuvieron efectos negativos sobre el crecimiento de los árboles durante los primeros 12 meses. La aplicación de fertilizantes favoreció el crecimiento de *E. deglupta*, pero no fue económicamente atractivo (Aguirre 1977). En el caso de *G. arborea*, por su crecimiento rápido, fue necesario podar las cuatro ramas más bajas a los seis meses para reducir la competencia por luz que perjudicaba al cultivo de maíz (Fernández 1978). La producción de frijol y maíz durante los primeros diez meses cubrió los gastos de establecimiento y mantenimiento de la plantación. Los resultados halagüeños de los estudios en Turrialba motivaron a continuar con evaluaciones del sistema taungya en fincas privadas durante la década de 1980.

#### Estudios en fincas demostrativas de productores en Talamanca

- Asocio entre *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Zea mays*, *Manihot esculenta*

En 1987, en el marco del Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ, se diseñó un ensayo del sistema taungya en el valle del río Sixaola, Talamanca (temperatura media anual 24-27°C, precipitación media 1900-2400 mm/año, suelos aluviales). El objetivo era evaluar el efecto de la competencia entre dos especies forestales: laurel (*Cordia alliodora*) y eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) y dos especies agrícolas: maíz (*Zea mays*) y yuca (*Manihot esculenta*) en el crecimiento y rendimiento de los componentes del sistema hasta el año dos, cuando terminó la asociación con los cultivos (Schloenvoigt 1993, Schloenvoigt y Beer 2001). Se trabajó con diferentes distancias entre árboles y cultivos aplicando un diseño experimental sistemático derivado del “fan-design” propuesto por NeIDER (1962). La parcela experimental corresponde a un trozo de pastel, en la cual la

distancia entre dos hileras adyacentes aumenta gradualmente y, en consecuencia, aumenta el espacio disponible para sembrar cultivos o la distancia entre árboles y cultivos; este fue el caso del experimento evaluado. En el diseño aplicado no se cambiaron las distancias entre los árboles de la misma hilera.

El manejo principal del sistema incluyó el control químico de malezas antes de sembrar los árboles y cultivos a mano, rodajea de los árboles cada mes durante el primer año y control manual de las malezas en las parcelas forestales puras. Las plagas y enfermedades se controlaron por medios químicos para evitar que influyeran en los efectos de la competencia. No se aplicaron fertilizantes. No se podaron los árboles durante los primeros dos años para estudiar el efecto de los cultivos sobre la formación de la copa.

*C. alliodora* no pudo competir en altura con el maíz hasta el final del segundo ciclo del cultivo, aunque sí tuvo una respuesta positiva (altura y dap) al aumento de las distancias entre árbol y cultivo. *E. deglupta*, por su parte, superó al maíz después del primer ciclo del cultivo, aún a una distancia entre árbol y cultivo de 40 cm. Este efecto estuvo relacionado con el crecimiento diferente de las dos especies forestales. *C. alliodora* crece periódicamente (Hallé et ál. 1978); es decir, el tallo principal termina su crecimiento apical mientras que el árbol produce la nueva horqueta de ramas. En competencia con cultivos de alto crecimiento, esta especie pierde al competir por luz cuando está formando la horqueta. *E. deglupta* es una especie de crecimiento continuo, una característica muy favorable en un sistema que, como el taungya, implica una fuerte competencia por luz.

El diámetro basal de las dos especies forestales se incrementó significativamente con el aumento del espacio por árbol, pero *C. alliodora* fue la especie más afectada. Los rendimientos de maíz dependen del grado de competencia con los árboles y del número de plantas por hectárea. Así, los rendimientos bajaron más rápidamente en la asociación con *E. deglupta* que con *C. alliodora*.

La asociación de ambas especies forestales con yuca no resultó satisfactoria, posiblemente porque la variedad de yuca elegida tuvo un crecimiento muy agresivo y la densidad de cultivo resultó muy alta para esta variedad. El crecimiento de *C. alliodora* fue suprimido casi completamente hasta la cosecha de la yuca. *E. deglupta* pudo desarrollarse solamente a una distancia de 120 cm entre árbol y cultivo. A menores distancias, el desarrollo de la especie forestal se redujo, resultando en portes muy débiles. Con base en los resultados, se recomienda la siembra de maíz a una distancia de 1,00-1,20 m de *C. alliodora* y de 0,40-0,60 m de *E. deglupta*. No se recomienda la asociación con yuca para ninguna de las dos especies, aunque es posible que otras variedades de yuca con un crecimiento menos agresivo sean elegibles para este sistema agroforestal.

El sistema taungya puede favorecer el crecimiento y desarrollo del componente forestal, aún con densidades más bajas que en plantaciones puras.

- Asocio entre *Cordia alliodora*, *Acacia mangium*, *Zea mays*, *Zingiber officinale*, *Eugenia stipitata*

En 1988, el Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ diseñó e implementó otro experimento con el sistema taungya en una finca en el valle del río Sixaola, Talamanca (temperatura media anual 24-27°C, precipitación media 1900-2400 mm/año, suelos aluviales). Se plantó laurel (*Cordia alliodora*) y mangium (*Acacia mangium*) a 3x6 m, asociados con maíz y en plantación pura a 3x3 m (Lucas et ál. 1995). El objetivo de la plantación fue el establecimiento de un sistema agrosilvicultural permanente; es decir, por medio del sistema taungya, establecer la sombra permanente para el frutal arbustivo arazá (*Eugenia stipitata*), un cultivo perenne que tolera o requiere sombra. Durante la fase taungya, que duró un poco más de dos años, se sembraron tres rotaciones seguidas de maíz. Después se cultivó jengibre (*Zingiber officinale*) por casi un año y se terminó la fase taungya con la introducción del arazá. El sistema recibió fertilizantes en el segundo año para el cultivo de jengibre (174 kg de N, 65 kg de P, 138 kg de K/ha] y a partir del año 2,5 para el cultivo de arazá (205 kg de N, 66 kg de P y 81 kg de K/ha).

En comparación con la plantación pura, al año 1,5 la asociación con maíz redujo tanto la altura como el crecimiento diametral de mangium. Posiblemente, esto fue un efecto de la alta intensidad de resiembra de la especie forestal en todo el ensayo (73% entre el mes 4 y 8) debido a enfermedades o ataque de ratones. Los árboles resembrados mostraron una mayor susceptibilidad a la competencia generada por el cultivo. El crecimiento inicial de laurel no fue afectado por la asociación con maíz. Los datos del año 5 mostraron mayor supervivencia, crecimiento diamétrico y de altura de los árboles de ambas especies (sobre todo *C. alliodora*) en las parcelas agrosilviculturales que en la plantación pura. El crecimiento en área basal y en volumen de *C. alliodora*, en asociación con cultivos superó a *A. mangium* en los dos sistemas (puro y asociado) y a *C. alliodora* en plantación pura. Lucas et ál. (1995) relacionaron este efecto con la mayor densidad de los árboles en plantación pura, a pesar de que se realizaron raleos. La fertilización a los cultivos también pudo haber influido en el mejor crecimiento de los árboles en taungya. Las raíces de *C. alliodora* se encuentran principalmente en el suelo superficial (0-10 cm de profundidad), razón por la cual fácilmente puede competir con los cultivos por los nutrientes del fertilizante (Schloenvoigt y Schloenvoigt 2001).

El maíz obtuvo los mayores rendimientos como monocultivo y en asociación con mangium. Probablemente eso fue causado por el menor grado de competencia dado que la especie forestal presentó problemas durante la etapa de establecimiento. Posiblemente, hubo también una interacción con los residuos de mangium, ya que se trata de una leguminosa con altos contenidos de N. Sin embargo, en la tercera cosecha la productividad del maíz disminuyó fuertemente, debido a la interacción entre la disminución de la fertilidad del suelo y el aumento de la sombra de los árboles que alcanzaron una altura de 4 a 6 m a la edad de 1,5 años.

El jengibre produjo menos de la mitad de la producción que se obtuvo en monocultivo (8 a 9 t/ha < 23,5 t/ha). En asocio, el número de plantas de jengibre

fue solo el 50% del número en parcelas en monocultivo, lo cual explica la diferencia en rendimientos por hectárea.

La comparación económica del sistema agrosilvicultural con la plantación pura se permite solamente para la fase taungya ya que, hasta ahí, el objetivo principal de los dos sistemas era la producción de madera. Con la introducción del cultivo frutal, el manejo del sistema agrosilvicultural también tiene que tomar en cuenta las necesidades del cultivo. El sistema mixto, al final no es una reforestación con énfasis en el componente forestal, sino un sistema agroforestal en el cual domina el componente agrícola.

A nivel de reforestación en fincas, la reforestación pura es atractiva para los agricultores que tienen una relación tierra/mano de obra alta (Platen 1996). Por eso, dependiendo del objetivo de producción, puede ser interesante transformar una plantación forestal a un sistema agroforestal con mayor énfasis en el cultivo. En general, los productores de la zona disponen de tierra pero no tienen la suficiente mano de obra, o no la pueden pagar para manejar todo el terreno intensivamente y, por otro lado, no dependen de inmediato de los ingresos de la plantación. Entonces, el empleo de un sistema que no requiere altas inversiones por hectárea pudiera ser una mejor opción que la plantación forestal pura. Aunque todos los índices económicos del caso evaluado no han sido muy elevados, una producción de este tipo se considera muy sólida por su bajo riesgo.

Una opción interesante para agricultores con limitaciones de mano de obra y capital, pero con suficiente tierra, es la siembra de árboles en forma rotativa. Cada uno o dos años se inicia una nueva parcela de reforestación donde se siembran cultivos anuales con árboles. Cuando termina la rotación de la especie maderable en la primera parcela se empieza el nuevo ciclo. De esta manera, disminuyen los costos por año y los beneficios se distribuyen por varios años. Gradualmente, estas siembras pueden resultar en una forestería tradicional. Sin embargo, los lotes por sembrar en cada período no pueden ser demasiado pequeños, para evitar que los costos fijos aumenten el costo total por árbol cosechado.

El sistema agrosilvicultural permanente es más recomendable para agricultores con poca tierra, pero con alta disponibilidad de mano de obra y, en caso de cultivos muy exigentes, capital para los primeros años (Platen 1996). A mediano plazo, la producción devuelve esta inversión y proporciona altos beneficios por hectárea, dado que hay un mercado estable para el producto obtenido. No obstante, por los problemas de un mercadeo no organizado, el riesgo para un cultivo como el arazá es grande pues sólo el mercado internacional podría absorber las cantidades del producto que resultarían de su productividad alta (posiblemente más de 20 t de pulpa fresca/ha/año) (Platen 1996).

A pesar de que en este ensayo el sistema taungya no mostró una rentabilidad elevada de la tierra, la ventaja del sistema es que retorna parte del capital invertido en la reforestación mucho antes de la cosecha de los árboles. Como los beneficios del componente agrícola son apreciables, la mano de obra en

El sistema taungya es una opción atractiva para pequeños y medianos productores que buscan alternativas de reforestación, ya que les permite producir leña, postes y servicios ecosistémicos y, a la vez, la siembra de cultivos anuales para satisfacer la demanda familiar o local.

Cuando el diseño de la siembra mixta equilibra las necesidades tanto de los árboles como de los cultivos, el sistema taungya logra a reducir los costos de establecimiento de la plantación forestal hasta ser rentable, sin depender de mecanismos de incentivos financieros para la reforestación.

los primeros años puede ser la misma fuerza laboral que se emplearía en otra actividad comercial.

### 9.5.2 Casos de Guatemala

En Guatemala, la demanda por terrenos agrícolas y productos forestales está creciendo aceleradamente, en especial en las zonas altas, debido al sobreuso de los suelos o el uso no apto para la agricultura, lo que tiene un impacto ambiental negativo. Por ejemplo, en la cuenca alta del río Achiguate (1800-2200 msnm, 15-17°C, 2000 mm de lluvia/año, suelos de origen volcánico), el país pierde anualmente un 4% de sus bosques naturales. Durante el período de 1987 a 1992 se realizó un estudio en esta región, con el objetivo de desarrollar alternativas de uso de la tierra para fincas pequeñas. La meta era que los agricultores pudieran producir leña y alimentos en un mismo terreno y con rendimientos satisfactorios (Leiva 1993).

Las parcelas de investigación se implementaron en fincas privadas donde se estudiaron las especies forestales *Casuarina equisetifolia*, *Alnus acuminata* y *Eucalyptus globulus* y una rotación de maíz con frijol en plantación pura y en un sistema taungya privado. Las especies forestales se plantaron a 3x2 m y los cultivos agrícolas a 1x1 m (4 semillas de cada especie por golpe). Los cultivos fueron sembrados según la costumbre de los agricultores, durante los tres primeros años después del establecimiento de la plantación. Primero se sembró el maíz; cuando el cultivo estuvo maduro, las plantas de maíz se doblaron y se cortaron las hojas para favorecer el proceso de secado de las mazorcas en el campo. Después se sembró frijol al pie de las plantas de maíz para que sirvieran como soporte.

El control de malezas se realizó dos veces al año; además, se aplicaron fertilizantes (úrea 46% N; N-P-K 20-20-0). Los cultivos fueron sembrados durante los primeros tres años y se obtuvo una cosecha por cultivo al año. Las plantaciones puras recibieron dos controles de malezas pero no se fertilizaron. *A. acuminata* y *E. globulus*, tanto en plantación pura como en taungya, fueron podadas durante los primeros tres años a una altura de 40 a 50% de la altura total, para favorecer el crecimiento de los cultivos y cosechar leña.

El asocio de las especies forestales con los cultivos no tuvo ningún efecto sobre el crecimiento de las variables altura, diámetro a la altura del pecho y diámetro de la copa. *E. globulus* creció más en altura que todas las especies, mientras que *A. acuminata* obtuvo los mayores diámetros del tallo (dap) y de la copa. *C. equisetifolia* tuvo un crecimiento reducido en comparación con las otras dos especies, posiblemente por su menor adaptación al sitio de investigación.

El sistema taungya afectó el crecimiento de las raíces, ya que el manejo del suelo para los cultivos provocó la corta frecuente de las raíces de los árboles. En comparación con la plantación pura, la extensión horizontal de los árboles fue reducida, aunque la extensión vertical de *E. deglupta* aumentó. Schaller et ál. (2003) detectaron que esta especie asociada con *Coffea arabica* y bajo las condiciones climáticas del bosque lluvioso es capaz de ocupar espacios del suelo

de manera oportunista; o sea que aprovecha los nichos donde se acumulan los nutrientes provenientes de fertilizantes o de hojarasca y así evita la competencia directa con el cultivo.

Las especies forestales tuvieron un efecto adverso sobre los rendimientos de los cultivos a partir del segundo año; la reducción fue mayor bajo *E. globulus* seguida por *A. acuminata*. Posiblemente la competencia inter-específica entre raíces, la competencia por agua y/o un efecto alelopático por parte del eucalipto causó este efecto. *E. globulus* redujo la humedad del suelo a 25%, mientras que *C. equisetifolia* la redujo a 78% y *A. acuminata* a 85%.

El análisis financiero de las inversiones forestales y agroforestales se realizó considerando los costos de producción y los ingresos a lo largo de cinco años. En los costos de producción se incluyeron las labores y los insumos para semilla, árboles, etc. Los ingresos directos se obtuvieron por la venta de las cosechas de maíz y frijol realizadas del primer al cuarto año y la venta de leña en el quinto año. Financieramente, los sistemas agroforestales y el sistema agrícola resultaron mejor que las plantaciones forestales puras. Si se considera además el valor del servicio ambiental de los sistemas agroforestales, estos representan la mejor opción para el uso del suelo en la cuenca alta del río Achiguate. Las plantaciones forestales puras de *A. acuminata* y *C. equisetifolia* no resultaron rentables.

El impacto social del proyecto también fue positivo (Leiva 1993). Las parcelas se utilizaron para días de campo y visitas de técnicos de organizaciones nacionales e internacionales. Al tercer año, mediante actividades de seguimiento, algunos productores empezaron a experimentar la técnica en sus propias fincas. Se aprovechó la experiencia de un agricultor quien estableció parcelas en laderas, para llevar a grupos de productores a estos sitios. Al quinto año, 45 agricultores ya aplicaban el sistema taungya en sus fincas. Los mismos productores empezaron a sembrar otra especie (*Grevillea robusta*) y a experimentar con otras distancias entre árboles.

### 9.5.3 Otros ejemplos de América Latina

En la zona cafetalera colombiana (entre 1500 y 3000 msnm, 18-25°C) existen experiencias con el sistema taungya en donde se ha plantado *Cordia alliodora* en asocio con cultivos anuales y semipermanentes (*Oryza sativa*, *Zea mays*, *Manihot esculenta*, *musáceas*, etc.). El CONIF (1996) informó de experiencias en Bojayá, zona selvática del Departamento del Chocó, con *C. alliodora* (278 árboles/ha) y *musáceas*. En Cauca se sembró el sistema taungya con *Pinus patula* asociado con frijol o maíz (Escobar 1990, citado por Escobar 1993).

## 9.6 Taungya y cambio climático

La reforestación con especies maderables es reconocida como una herramienta de fijación de carbono. El sistema taungya puede jugar un rol relevante para que los pequeños y medianos productores en América Latina y el Caribe

aumenten el número de árboles en sus fincas y adopten sistemas agroforestales temporales o permanentes que permitan la siembra de sus cultivos agrícolas en combinación con especies maderables de alta calidad.

Soto Pinto et ál. (2010) compararon la acumulación de carbono en sistemas agroforestales y no agroforestales en fincas de pequeños productores en Chiapas, México. Se encontró que el sistema taungya con maíz y diferentes especies maderables tiene capacidades significativas para fijar carbono en la biomasa viva y en el suelo del sistema. Además, reduce las emisiones de gases con efecto invernadero porque evita las quemadas de los terrenos cultivados con sistemas agroforestales.

En áreas marginales, el reto de los pequeños productores consiste en producir alimentos y productos forestales maderables y no maderables de manera diversificada y sin aumentar la presión sobre las áreas boscosas. El pago por servicios ecosistémicos podría facilitar la adopción de sistemas agroforestales como el sistema taungya (Wise y Cacho 2005, citado por Soto Pinto 2010).

En Ghana, el sistema taungya estatal fue modificado y ahora se considera una estrategia con potencial de adaptación al cambio climático. Este proceso se logró gracias al Proyecto Bosque Tropical y Adaptación al Cambio Climático, una iniciativa conjunta de CIFOR y CATIE que se desarrolló entre 2005 y 2009 en dos países de Asia (Indonesia y Filipinas), tres países de África (Burkina Faso, Ghana y Mali) y tres países de Centroamérica (Costa Rica, Honduras y Nicaragua). El objetivo de este proyecto era ampliar el conocimiento y entendimiento sobre la adaptación de los bosques tropicales y de las sociedades que utilizan bienes y servicios provenientes de los ecosistemas forestales e integrar estas experiencias en las agendas nacionales de desarrollo (Kalame 2009).

## 9.7 Bibliografía

- ACEEFN (Asociación Costarricense para el Estudio de Especies Forestales Nativas de Costa Rica). 1992. Encuentro Regional sobre especies forestales nativas de la zona norte y atlántica de Costa Rica; Memoria. [Puerto Viejo de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, 24-25 set. 1992]. Cartago, Costa Rica, ITCR. 86 p.
- Aguirre, CA. 1963. Estudio silvicultural y económico del sistema taungya en condiciones de Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 101 p.
- Aguirre, CC. 1977. Comportamiento inicial de *Eucalyptus deglupta* asociado con maíz (sistema “taungya”), en dos espaciamientos con y sin fertilización. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 130 p.
- Beer, J; Kapp, G; Lucas, C. 1994. Alternativas de reforestación: taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. plantaciones puras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 25 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 230).
- Brandis, D. 1884. Über Brandwirtschaft in den Bergen Ostindiens, namentlich in Burma. Allg. Forst – u. Jagd – Zeitung 60:377-386.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1995. Módulos de capacitación en aspectos económicos sobre árboles de uso múltiple. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 24 p. (Serie Técnica. Manual Técnico No. 15).

- Combe, J; Budowski, G. 1978. Classification of agroforestry techniques. *In* de las Salas, G. (Ed.). Proc. Symp. Agroforestry systems in Latin America. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 17-47.
- Detlefsen, G. 1984. Crecimiento inicial de cuatro especies forestales para producción de leña en sistema taungya en el Parcelamiento La Máquina, Suchitepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos, Guatemala. 90 p.
- Escobar, ML. 1993. Sistemas agroforestales. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura. 48 p.
- Evans, J. (Ed.). 2009. Planted forests: Uses, impacts and sustainability. Rome, Italy, FAO. 213 p.
- Evans, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. Oxford, United Kingdom, Clarendon Press. 2 ed. 403 p.
- Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1995. Memorias segundo seminario taller. Investigación y extensión forestal y agroforestal participativa. Los Santos, Panamá. 75 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1984. Land evaluation for forestry. Rome, Italy, FAO. (Paper no. 48).
- FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación). 1990. La agricultura migratoria: conocimientos técnicos locales y manejo de los recursos naturales en el trópico húmedo. Roma, Italia, FAO. p. 11-29. (Desarrollo Forestal Comunitario Nota no. 8).
- Fernández, VS. 1978. Comportamiento inicial de *Gmelina arborea* asociado con maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos espaciamientos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 125 p.
- Galloway, G. 1993. Manejo de plantaciones forestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 58 p. (Serie Técnica. Manual Técnico No. 7).
- Hallé, F; Oldeman, RAA; Tomlinson, PB. 1978. Tropical trees and forest: An architectural analysis. Berlin, Germany, Springer. 441 p.
- Hofstadt, O. 1978. Preliminary evaluation of the taungya system for combined wood and food production in North-Eastern Tanzania. University of Dareslaam, Tanzania, Div. of Forestry.
- Hout, P. Van. 1983. Effects of wider initial spacing of teak on income and income distribution in the taungya system on Java. Wageningen, The Netherlands, Agricultural University of Wageningen/ Department of Forest Management. 51 p.
- Jordan, CF; Gajasewi, J; Watanabe, H. (Eds.). 1992. Taungya: forest plantations with agriculture in Southeast Asia. Wallingford, England, CAB International. 153 p.
- Kalame, FB. 2009. The modified taungya system in Ghana's transitional zone. *In* Forests and climate change: adaptation and mitigation. p. 101-106. (ETFRN News no. 50).
- King, KFS. 1968. Agrisilviculture: the taungya system. Nigeria, University of Ibadan. 109 p.
- Lahiri, AK. 1989. Taungya based agroforestry trials in West Bengal. *The Indian Forester* 115(3):127-132.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Rossdorf, Alemania, GTZ. 155 p.
- Leiva, JM. 1993. Evaluación de tres especies forestales en plantación pura y sistemas taungya en la parte alta de la cuenca del río Achiguate, Guatemala: resultados de 5 años de investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Fundación Internacional para la Ciencia, Estocolmo, Suecia. 61 p.
- Lucas, C; Beer, J; Kapp, G. 1995. Reforestación con maderables: sistemas agrosilviculturales vs. plantaciones puras en Talamanca, Costa Rica, resultados agrícolas y forestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65 p. (Serie Técnica. Informe Técnico, No. 243).
- Magne, OJ. 1979. Comportamiento de *Terminalia ivorensis* en su fase de establecimiento asociado con maíz, caupí y frijol, utilizando pseudoestaca y plantón en el trasplante. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 99 p.
- Mohd, E; Mansor, R; Ong Kah Bor, E. 1972. Taungya in Negri Sembilan. *The Malayan Forester* 35(4):348-353.
- Olawoye, OO. 1975. The agrisilvicultural system in Nigeria. *Commonwealth Forestry Review* 54:229-236.

- Platen, H. von. 1996. Alternativas de reforestación: taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. plantaciones puras; la economía. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 55 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 250).
- Prodam, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, Costa Rica, IICA-BMZ/GTZ. 561 p.
- Rojas, F. 1993. Viveros forestales: manual práctico sobre viveros forestales. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 181 p.
- Schaller, M, Schroth, G, Beer, J, Jiménez, F. 2003. Species and site characteristics that permit the association of fast growing trees and crops: The case of *Eucalyptus deglupta* as coffee shade in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 175:205-215.
- Schloenvoigt, A. 1993. Studies on competition between trees and annual field crops in the humid tropical lowland of Costa Rica. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Heft 83.* 140 p.
- Schloenvoigt, A; Beer, J. 2001. Initial growth of pioneer timber species in a taungya system in the humid lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51:97-108.
- Schlönvoigt, A; Schlönvoigt, M. 2001. Initial shoot and root growth patterns of *Cordia alliodora* in agroforestry systems with perennial crops in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Journal of Sustainable Agriculture* 20(1):41-56.
- Soto-Pinto, L; Anzueto, M; Mendoza, J; Jiménez Ferrer, G; Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78:39-51.
- Ugalde, L. 1981. Conceptos básicos de dasimetría. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 22 p.
- Vanselov, K. 1950. Influence of spacing on the development of even aged spruce plantations. *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 69: 497-527.
- Wise, R; Cacho, O. 2005. A bioeconomic analysis of carbon sequestration in farm forestry: A simulation study of *Gliricidia sepium*. *Agroforestry Systems* 64:237-250.

## 10. Pastoreo bajo árboles maderables

Danilo Pezo, Muhammad Ibrahim, Mauricio Scheelje<sup>1</sup>

Desde hace ya varios años, en diferentes países alrededor del mundo se vienen utilizando sistemas silvopastoriles que combinan la producción simultánea de madera y forraje. Dichos sistemas buscan alcanzar mayores beneficios económicos y ambientales, como el control de la erosión, el aumento de la diversidad de especies vegetales y animales y la disminución de la salinidad del suelo (Anderson y Moore 1987). En estos sistemas, la producción animal está influenciada directamente por el balance que debe haber entre las especies leñosas y el forraje (Mac Daniel et ál. 1993, Gallo 1998); si se maneja en forma adecuada, este sistema es técnica y financieramente factible. El diseño del manejo depende directamente de los objetivos del productor y sus preferencias, ya que inciden en las interacciones entre el componente leñoso y herbáceo (Somarriba 1997). Si el productor privilegia el componente ganadero, esto se traduce en daños a la plantación por ramoneo, descortezado, quebramiento y volcamiento. Si por el contrario, el productor privilegia el componente forestal, la productividad de las herbáceas es afectada por el desarrollo del dosel arbóreo, lo que se traduce en una disminución de la productividad y reducción de la carga animal (Somarriba 1997).

Si el productor privilegia el componente ganadero, esto se traduce en daños a la plantación por ramoneo, descortezado, quebramiento y volcamiento. Si el productor privilegia el componente forestal, la productividad de las herbáceas es afectada por el desarrollo del dosel arbóreo.

### 10.1 Combinaciones tradicionales de pastos y árboles

En los sistemas de plantaciones forestales manejadas bajo pastoreo, el producto derivado del componente leñoso es generalmente la fuente principal de ingresos, mientras que la producción animal es un ingreso complementario (Fig. 10.1). La principal contribución del componente ganadero tiene que ver con el control de malezas y sólo en una segunda instancia se logran ingresos adicionales. Sin embargo, Torres (1987) sostiene que la actividad forestal puede muy bien complementarse con la actividad ganadera mediante la introducción de árboles en pequeños bosquetes contiguos a las áreas de pastos.

<sup>1</sup> A partir de Pezo e Ibrahim (1999)

Los sistemas silvopastoriles (SSP) basados en la introducción de forrajeras herbáceas y animales en plantaciones de especies maderables (p.e. *Pinus* spp., *Juglans* spp.) son sistemas de uso de la tierra bastante difundidos en varios países de la zona templada (Reynolds 1995, Pinto et ál. 1997), pero no tanto en los países de América Tropical. En varios países tropicales del Asia y Oceanía es común el pastoreo en plantaciones de cocoteros (*Cocos nucifera*), hule (*Hevea brasiliensis*) y palma aceitera (*Glacis guineensis*) (Chen 1993, Reynolds 1995). En América Tropical, en cambio, es más frecuente el pastoreo en plantaciones de mangos, cítricos, achiote (*Bixa orellana*), pejívalle (*Bactris gassipaes*) y marañón (*Anacardium occidentale*); sin embargo, no se trata de una práctica común (Lascano y Pezo 1994).

### 10.1.1 La ganadería como complemento de la actividad forestal

En los sistemas de plantaciones manejados bajo pastoreo, el producto derivado de las especies leñosas es generalmente la fuente principal del ingreso o, al menos, el objetivo primario del sistema. Sin embargo, hasta llegar al momento del aprovechamiento de las maderables, los animales funcionan como reguladores de la competencia ejercida por la maleza o por los cultivos de cobertura, lo que significa una fuente de ingresos adicionales. Por ello, cualquier efecto negativo de los animales sobre la producción de los maderables, o incluso sobre su manejo, hará incompatible la presencia del ganado en el sistema de plantación (Stür y Shelton 1991).

Según Pezo e Ibrahim (1999), como complemento de la actividad forestal, la ganadería ofrece las siguientes ventajas:

- Aumento de los ingresos y diversificación de la empresa, lo que redundará en un mejor control del riesgo.
- Aprovechamiento más uniforme de la mano de obra a lo largo del año, en especial con ganado lechero.

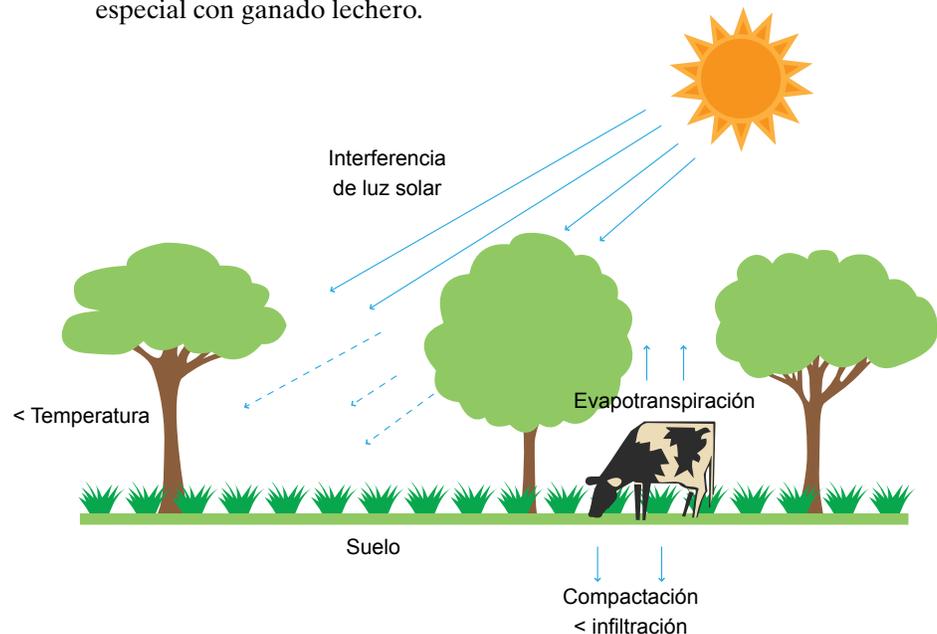


Figura 10.1. Interacciones entre los componentes del sistema silvopastoril

- Mejor uso de los recursos escasos; cualquier manejo aplicado al componente herbáceo (p.e. fertilización, control de malezas) beneficia indirectamente a las leñosas.
- Mayor estabilización del suelo.
- Más altos rendimientos en las plantaciones, como consecuencia de un mejor control de las malezas, de un reciclaje de nutrientes más eficiente y un incremento del nivel de nitrógeno en el suelo.

Por otro lado, Reynolds (1995) y Cook et al. (1984) identifican **algunas desventajas** del sistema de pastoreo en plantaciones:

- No cualquier especie forrajera puede ser incorporada al sistema, pues algunas son sensibles a la competencia por luz, agua o nutrientes bajo la copa de los árboles.
- Los forrajes pueden ser agentes o vectores de enfermedades y plagas que atacan al componente leñoso.
- La presencia de animales puede provocar daños a los árboles por pisoteo, defoliación, raspado de corteza, etc.
- La competencia ejercida por las pasturas y el consumo por los animales pueden afectar la sostenibilidad del componente leñoso.
- La presencia de alguno de los componentes pudiera interferir en la ejecución de prácticas de manejo para favorecer al otro.
- La caída de ramas o árboles puede destruir las cercas, lo que significa un costo adicional por reparación.
- El control de malezas por medios químicos puede verse limitado, pues los herbicidas pueden afectar también a las forrajeras.

### 10.1.2 La actividad forestal como complemento de la ganadería

La introducción de árboles en pequeños bosquetes contiguos a áreas de pastoreo son una forma de inversión a largo plazo (Torres 1987) que permite producir la madera requerida en la finca o para la venta; además, esos bosquetes funcionan como áreas de protección y sombra para los animales en pastoreo. Esta opción tiene la ventaja de que se pueden proteger los árboles en sus estadios juveniles, mediante la exclusión de los animales por medio de una cerca que limita el bosque. Obviamente, con esta estrategia no se obtienen varios de los beneficios atribuidos a los sistemas en que leñosas, pasturas y animales comparten el mismo espacio, pero tampoco los problemas de manejo inherentes a un SSP.

Una adecuada distribución de los bosquetes en las áreas de pastoreo puede ser incluso un mecanismo para conseguir una utilización más uniforme de las pasturas (Daly 1984). En sistemas extensivos, las fuentes de agua son puntos de atracción de los animales en pastoreo, por lo que tiende a haber sobrepastoreo y mayores efectos del pisoteo en las áreas cercanas. Un segundo foco de atracción son los puntos donde se proveen las sales minerales y los suplementos, así como las áreas de sombra. Por ello, para conseguir un uso más uniforme de las pasturas se recomienda establecer los bosquetes estratégicamente distribuidos en las áreas de pastoreo, pero lejos de los otros puntos de atracción, en especial de las fuentes de agua.

Para conseguir un uso más uniforme de las pasturas se recomienda establecer los bosquetes estratégicamente distribuidos en las áreas de pastoreo, pero lejos de los otros puntos de atracción, en especial de las fuentes de agua.

En un arreglo que combine pastoreo con producción de madera es factible armonizar ambos componentes si se establecen rotaciones en los ciclos de plantación, raleo y corte para diferentes lotes dentro de la finca.

### **Pastoreo en bosques**

Lamprecht (1990) sostiene que el pastoreo en bosques es más frecuente en las zonas secas que en las húmedas, debido a que el déficit hídrico impide las actividades agrícolas pero permite la tenencia de bovinos, ovinos y caprinos. En la Cuña Boscosa Santafesina, Argentina, la producción forestal y ganadera se desarrolla sobre las mismas superficies. Durante los meses secos, cuando la disponibilidad de forraje o de pasto natural es muy baja, el pastoreo se realiza dentro del bosque lo que ocasiona serios daños a la regeneración natural de las especies arbóreas y pone en peligro la sostenibilidad de la producción animal (Adamoli et ál. 1990).

### **Sombreamiento del estrato herbáceo**

Una de las desventajas que frecuentemente se asocian a la combinación de leñosas perennes con pasturas es que la copa de los árboles interfieren el paso de la radiación solar hacia el estrato herbáceo, lo cual redundaría en un menor potencial de crecimiento de las pasturas (Wilson y Ludlow 1991). Sin embargo, la naturaleza y magnitud de la interferencia es dinámica, tanto a lo largo del día como en función de la edad de la plantación (Reynolds 1995).

En los SSP que involucran plantaciones de maderables o frutales con pasturas, la cantidad y la calidad de la luz que pasa a través de la copa de los árboles y llega al estrato herbáceo tienden a cambiar con la maduración de las leñosas. Con las densidades de plantación normalmente utilizadas, al cabo de 5 a 8 años, la cantidad de luz que llega hasta el suelo se reduce hasta por debajo del 30% (Chen 1993), pero además disminuye significativamente la proporción de luz fotosintéticamente activa en relación con la infrarroja (Wilson y Ludlow 1991), lo que incide en cambios morfológicos en las pasturas. Quizás una excepción al patrón anteriormente descrito son las plantaciones de cocoteros, donde la transmisión de luz se reduce hasta el 40-50% al cabo de ocho años de edad, pero luego tiende a incrementarse con el crecimiento en altura de los cocoteros y la disminución en la densidad de sus frondas (Chen 1993).

Cualquier modificación al sistema tradicional de manejo de la plantación será aceptable en la medida en que no afecte negativamente al componente arbóreo y, en consecuencia, los ingresos netos probables del sistema total.

La disminución en la cantidad y calidad de luz que llega al estrato herbáceo no sólo resulta en una reducción en la tasa de crecimiento y el potencial de producción de fitomasa del estrato herbáceo, sino en cambios importantes en la composición botánica del sotobosque. Estos cambios se manifiestan en una dominancia de gramíneas poco productivas, algunos helechos y otras especies poco palatables para el ganado. En consecuencia, la capacidad de carga de las pasturas se reduce fuertemente (Somarriba y Lega 1991) hasta menos de 1/5 de la observada en las etapas iniciales de la plantación (Shelton 1993). Sin embargo, aún con estas variaciones, es factible conseguir una estabilidad en la producción animal y forestal si se establecen rotaciones en cuanto a los ciclos de plantación, raleo y corte para diferentes lotes dentro de la finca.

El uso de germoplasma forrajero con tolerancia a la sombra media o sombra alta<sup>2</sup> puede ayudar a contrarrestar, al menos temporalmente, el efecto perjudicial de la baja incidencia de luz observada en la mayoría de los sistemas de plantación. Sin embargo, cuando la transmisión de luz es menor del 25%, ni las forrajeras identificadas como altamente tolerantes a la sombra pueden adaptarse a las nuevas condiciones y desaparecen (Wong 1991). Otra opción para regular la magnitud de la interferencia de luz en los SSP es el manejo de la población de leñosas, ya sea mediante siembras a menor densidad (Anderson et ál. 1988, Knowles 1991), o por medio de raleos selectivos (Anderson et ál. 1988). También puede ayudar la modificación del arreglo espacial de las leñosas (Sharro 1991, Tajuddin et ál. 1991), o la utilización de especies y genotipos de especies cuya morfología de copa permita una mejor transmisión de la luz (Shelton 1993).

Cualquier modificación al sistema tradicional de manejo de la plantación será aceptable en la medida en que no afecte negativamente al componente arbóreo y, en consecuencia, los ingresos netos probables del sistema total. En un estudio con *Pinus radiata*, la disminución en la densidad de árboles favoreció la producción de forraje y la productividad animal del sistema, pero provocó una mayor ramificación de los árboles, lo que afectó el valor comercial de la madera (Shelton 1993).

### 10.1.3 Factores que modifican el efecto de la sombra

En plantaciones de cualquier leñosa perenne, la transmisión de luz hacia el estrato herbáceo tiende a declinar con el tiempo. Sin embargo, hay diferencias en el patrón de respuesta a la edad que son atribuibles a la **morfología de las leñosas**. Wilson y Ludlow (1991) encontraron que la sombra se incrementa aceleradamente en los primeros años de la plantación, con efectos más marcados en hule (*Hevea brasiliensis*) y palma aceitera (*Elaeis guineensis*) que en cocotero (*Cocos nucifera*) y *Eucalyptus desloma*. Además, con las tres primeras especies mencionadas, la transmisión de luz mejora en las plantaciones más maduras. Un comportamiento similar al señalado para *E. deglupta* ha sido observado en plantaciones de *Pinus radiata* (Anderson et ál. 1988) y de *Pinus caribaea* (Somarriva y Lega 1991). En estas, la disminución en la incidencia de luz a medida que se incrementó la **edad de la plantación**, no sólo afectó el crecimiento de las especies deseables, sino que promovió el desarrollo de especies poco palatables; en consecuencia, se redujo la capacidad de carga y la productividad animal en el sistema.

La **densidad de plantación** es otro factor que afecta el crecimiento del estrato herbáceo en un sistema silvopastoril. En términos generales, la producción de biomasa en el estrato herbáceo disminuye a medida que se incrementa la densidad de árboles, pero la tasa de disminución declina con la densidad (Whiteman 1980). Este efecto no sólo es atribuible a la sombra que arroja el follaje de la leñosa sobre las pasturas, sino también a la competencia por espacio entre las

El grado de sombra que dan los árboles y arbustos varía con la morfología de la planta (características de copa y altura), la edad, la densidad y distribución espacial de los árboles con respecto al estrato herbáceo, la fertilidad del suelo y la inclinación de los rayos solares. Esta última condición varía con la hora del día y, en cierto grado, con la época del año.

<sup>2</sup> Forrajeras tolerantes a sombra media: *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *Panicum maximum*, *Centrosema pubescens*, *Pueraria phaseoloides*, *Arachis pintoi*.

porciones basales de la leñosa y el pasto, así como al eventual daño físico por la caída de ramas (Reynolds 1995).

En SSP, las **prácticas de manejo** comúnmente aplicadas para reducir la interferencia de luz (podas y raleos) son realmente multipropósito. Así, por ejemplo, en áreas con vegetación natural constituida por leñosas perennes y pasturas, la poda de ramas de especies palatables o la eliminación de especies indeseables para regular la competencia entre leñosas o para facilitar la movilización de los animales significa, de hecho, un mayor acceso a la luz por parte del estrato herbáceo (Kirmse et ál. 1987). Asimismo, los raleos practicados en los sistemas de plantación no sólo favorecen el desarrollo de árboles seleccionados, sino que además disminuyen la cantidad de sombra en el estrato herbáceo (Knowles 1991).

El **arreglo de plantación** es otro factor que puede modificarse para regular la disponibilidad de luz. Con la siembra de maderables en hileras dobles o en franjas de 3 a 5 hileras, pero con mayor espaciamiento entre franjas, es posible mantener la misma densidad de árboles. Estudios efectuados en Malasia con palma aceitera y en Australia con *Pinus radiata* han demostrado que al permitir un mayor paso de luz al estrato herbáceo, se favorece el crecimiento de la biomasa herbácea y la productividad animal (Reynolds 1995). Sin embargo, estos resultados no deben extrapolarse a otros sistemas silvopastoriles, ya que el análisis de la conveniencia o no de esas modificaciones no debe basarse sólo en los componentes pastura y animal, sino en el comportamiento del sistema como un todo.

La **orientación de las hileras de árboles** en una plantación es también un factor de manejo que contribuye a regular el acceso de la vegetación herbácea a la luz. Árboles sembrados en hileras paralelas al movimiento del sol (Este - Oeste) facilitarán la penetración de los rayos solares al estrato herbáceo en las horas en que, por el ángulo de incidencia, su transmisión es interferida por una barrera arbórea (antes de las 10 am y después de las 2 pm). Esto va a resultar en una mayor incidencia total diaria de luz al estrato herbáceo y, consecuentemente, en una mayor producción de fitomasa, especialmente cuando el espaciamiento entre las hileras de árboles es reducido.

#### **Economía de agua**

En sistemas de plantación con un estrato de vegetación herbácea, bajo la copa de los árboles se presentan menores temperaturas del aire y del suelo y una mayor humedad relativa del aire (Wilson y Ludlow 1991). Además, bajo la sombra de los árboles se incrementa la disponibilidad de humedad en el suelo como consecuencia de una reducción en la pérdida de agua del sistema, tanto por transpiración de las pasturas, como por evaporación del agua del suelo (Wong y Wilson 1980). Cuando las plantaciones están sujetas al pastoreo, la circulación de animales provoca algún grado de compactación del suelo, comparado con las plantaciones no pastoreadas; la magnitud de estos impactos se incrementa al aumentar la carga animal. A manera de ilustración, en plantaciones de hule

(*Hevea brasiliensis*) pastoreadas por ovinos, la densidad aparente del suelo se incrementó en apenas 1%, pero la tasa de infiltración se redujo casi a la mitad y la resistencia a la penetración se incrementó en un 20 a 30% (Majid et ál. 1989).

Las modificaciones en la economía de agua del sistema provocadas por el pastoreo son más importantes en aquellos ecosistemas que presentan sequía estacional y cuando se trabaja con especies de pastos o leñosas sensibles al estrés por déficit hídrico. Desde el punto de vista de las pasturas, la mayor disponibilidad de humedad en presencia de los árboles permite prolongar el período de crecimiento, de manera que se tiene pasto verde cuando en las áreas abiertas sin sombra ya hay claras manifestaciones del estrés por sequía (Stür y Shelton 1991). Sin embargo, algunas especies de leñosas, como *Eucalyptus tereticornis*, pueden ser fuertemente competitivas por el agua (Malik y Sharma 1990), lo cual puede redundar en menores rendimientos de los cultivos acompañantes.

### Nutrición mineral

En los sistemas de plantación con un estrato herbáceo como cobertura, las leñosas, las pasturas y las malezas pueden competir o complementarse por su nutrición mineral (Reynolds 1995). La competencia por nutrientes cobra importancia cuando los sistemas radiculares de dos o más componentes comparten el mismo sector del perfil del suelo, o bien cuando los suelos presentan limitaciones de fertilidad, o las especies consumen grandes cantidades de nutrientes y las densidades de plantación son altas (Waidyanatha et ál. 1984, Dissanayake y Waidyanatha 1987, Stür y Shelton 1991, Shelton 1993).

En la mayoría de sistemas de plantación son más evidentes los efectos de complementariedad que los de competencia entre los árboles, la vegetación herbácea y los animales en pastoreo, con respecto a la nutrición mineral (Shelton 1993). Por lo general, el árbol aporta nutrientes a las especies acompañantes del estrato herbáceo por medio de la fijación/transferencia de nitrógeno y por el reciclaje de materia orgánica senescente o podada.

Algunas especies leguminosas son capaces de establecer relaciones simbióticas con rizobios para la fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo, lo que aporta nutrientes a las pasturas (Dan 1994). Si las leñosas poseen sistemas radiculares más profundos que los de la vegetación herbácea, pueden ejercer un efecto de bombeo de nutrientes (Nair 1993) pues a través de la mineralización de sus hojas y ramas senescentes hacen disponibles para las pasturas los nutrientes que se encontraban inicialmente en sectores profundos del perfil del suelo no alcanzables por su sistema radicular. En muchos casos, la magnitud del reciclaje de nutrientes es tal que recompensa el efecto negativo ejercido por la sombra (Dacarret y Blydentsein 1968, Bronstein 1984, Wilson et ál. 1990, East y Felker 1993, Bustamante 1991).

Por otro lado, las pasturas también pueden aportar nutrientes a la leñosa y, por ende, contribuir al mejoramiento de su productividad (Broughton 1977). Quizás el ejemplo más relevante sea el uso de leguminosas forrajeras como

cultivos de cobertura en sistemas de plantación. En este caso, la vegetación herbácea aporta nitrógeno atmosférico al sistema y mejora la eficiencia del reciclaje de nutrientes al enriquecer el suelo con materia orgánica de mejor calidad (Stür y Shelton 1991, Reynolds 1995), así como a través de su acción en el mejoramiento de las características físicas del suelo (Chen 1993).

## 10.2 Crecimiento de pasturas bajo dosel arbóreo

Por lo general, las leñosas tienen su copa por encima de las especies forrajeras de manera que cuando crecen en un mismo terreno, las primeras interfieren el paso de la radiación solar al estrato herbáceo. Esta interferencia hace que la producción del forraje se vea reducida por la sombra de los árboles; además, la competencia por agua, luz y nutrientes entre las especies herbáceas del sotobosque y los árboles del dosel hace que los productores prefieran eliminar los árboles en los pastizales para obtener un incremento en la producción de forraje (Sun et ál. 1997). Sin embargo, a pesar de que la tasa de crecimiento de las pasturas es menor cuando crecen bajo la copa de los árboles que a pleno sol, no todas las forrajeras responden de igual manera a la disminución de la energía lumínica (Pezo e Ibrahim 1999). De hecho, se ha comprobado que los contenidos de proteína cruda aumentan y los carbohidratos solubles disminuyen a medida que aumenta la interferencia al paso de la luz solar (Zelada 1996).

Se ha comprobado que los contenidos de proteína cruda aumentan y los carbohidratos solubles disminuyen a medida que aumenta la interferencia al paso de la luz solar.

Gallo et ál. (1999) realizaron un estudio en Turrialba, Costa Rica, donde evaluaron cinco formas funcionales para explicar la productividad de *Panicum maximum* en función de cinco variables de densidad en rodales de *Pinus caribaea* (Cuadro 10.1). Se encontró que la productividad de la pastura disminuyó a medida que aumentó la densidad de los rodales; los modelos de regresión exponencial negativa y lineal fueron los que mejor explicaron tal resultado. De igual manera, se comprobó que la ganancia en peso vivo del ganado disminuyó linealmente a medida que aumentó la producción de madera (Cuadro 10.2).

**Cuadro 10.1.** Crecimiento promedio de *Panicum maximum* e indicadores de densidad promedio de *Pinus caribaea* evaluados entre 1986 y 1990

Intervalo	No. parcelas	<i>P. maximum</i> (kg MS/ha/día)	Indicadores de densidad de <i>P. caribaea</i>				
			G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	CCF (%)	RS (%)	BF (kg/ha)
1	6	18,5	12	257,67	39	29,67	5679,83
2	6	13,83	15,5	318,33	47,17	26	8698,67
3	6	7,83	17,67	354,67	52,17	23,67	11232,17
4	4	5,75	17,75	355	51,5	22,75	11955,25

MS: materia seca G: área basal IDR: índice de densidad de rodal CCF: factor de cubrimiento de copas RS: índice de espaciamento relativo BF: biomasa foliar

Fuente: Gallo et ál. (1999).

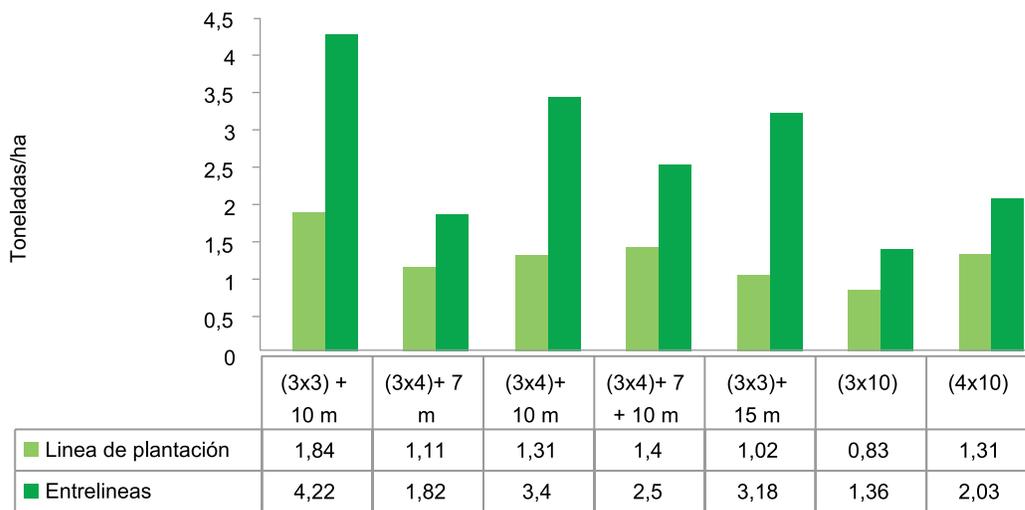
En el noroeste de Minas Gerais, Brasil, se evaluó una plantación de un híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis* y *E. urophylla*, intercalado con arroz durante el primer año, con soja en el segundo y con *Brachiaria brizantha* en los años consecutivos, con diferentes espaciamientos (Fig. 10.2). Se encontró que la radiación solar en el sotobosque varía en función del espaciamiento utilizado: 3x2 y 3x3 ofrecen un sombreado general a los 27 meses, el cual interfiere con el desarrollo de la pastura (Kruschewsky et ál. 2006). Martins et ál. (2006), en ese mismo experimento, encontraron que la producción de biomasa de *B. brizantha* fue siempre mayor en las entrelíneas que dentro de las líneas (Fig. 10.2).

Andrade et ál. (2001) realizaron un estudio con *Eucalyptus urophylla* plantado a 10x4 m, en asocio con *Panicum maximum* cv. Tanzania-1 en Minas Gerais, Brasil. El estudio buscaba verificar la hipótesis de que otros factores, además de la baja disponibilidad la luz, afectan el crecimiento normal de la pastura. Después de cuatro años, se encontró que, aparte de la sombra de los árboles, la baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo constituyó la limitación principal para el crecimiento del *P. maximum* cv. Tanzania-1.

**Cuadro 10.2.** Estimación preliminar de producción de madera y ganancia de peso vivo de ganado vacuno en pasturas de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*

Parcela	Intervalo	Volumen de <i>P. caribaea</i> (m³/ha)	Ganancia en peso vivo (kg/ha/año)
1	1	92	340
	2	143	180
	3	178	80
2	1	99	460
	2	144	300
	3	179	160
	4	207	80
3	1	112	300
	2	161	180
	3	188	100
4	1	59	345
	2	75	360
	3	102	260
	4	116	200
5	1	79	340
	2	128	400
	3	170	200
	4	188	120
6	1	55	440
	2	85	240
	3	120	140
	4	143	60

Fuente: Gallo et ál. (1999).



**Figura 10.2.** Producción de materia seca de *B. brizantha* en línea y entre líneas en diferentes arreglos espaciales de siembra de eucalipto

Fuentes: Kruschewsky et ál. (2006), Martins et ál. (2006).

### 10.2.1 Efectos del pastoreo en las plantaciones arbóreas

El pastoreo en los sistemas de plantación cumple con varios propósitos; entre ellos, el control de la competencia que la vegetación herbácea pueda ejercer sobre las leñosas es uno de los más importantes (Stür y Shelton 1991, Carlson et ál. 1994). Además, en diferentes SSP se valoran la reducción de un material potencialmente inflamable en incendios accidentales (Couto et ál. 1994) y la disminución de los costos asociados con el control de malezas (Chee y Faiz 1991, Tajuddin et ál. 1991, Couto et ál. 1994). En el caso de plantaciones de frutales cuyos productos deben ser colectados del suelo, la cosecha del follaje por parte de los animales en pastoreo facilita la ubicación de los frutos caídos (Reynolds 1995). Desde el punto de vista económico, la presencia de los animales contribuye a generar un ingreso adicional, incluso cuando la leñosa no produce para el mercado, y a diversificar el sistema (Clason 1995) mediante la venta de productos animales.

En los sistemas silvopastoriles, la compactación del suelo debido al tránsito de los animales influye en la disminución de la cantidad de macroporos en el suelo; en consecuencia, por un lado se reduce la capacidad de infiltración del agua y el crecimiento radicular y, por el otro, aumenta la actividad de los microorganismos denitrificadores y se reduce la disponibilidad de N, lo que tiene un efecto adverso en el crecimiento de los árboles (Omar y Laércio 1999). En diversos estudios se ha demostrado, sin embargo, que este efecto no es totalmente cierto. Couto et ál. (1994), en ensayos con *Eucalyptus citridora*, llegaron a la conclusión de que los efectos de la compactación en el suelo varían con el tipo de suelo y tipo de animales y, además, con la forma de manejo que se aplica. En

Los efectos de la compactación en el suelo varían con el tipo de suelo y tipo de animales y, además, con la forma de manejo.

el Cuadro 10.3 se resumen diversos estudios que demuestran que los efectos en el suelo, árboles o pasturas depende directamente del manejo que se dé al sistema, del asocio de leñosas y gramíneas, de la intensidad de pastoreo, época de pastoreo, carga animal y tipo (bovinos u ovinos).

La edad de la plantación en la que se inicia el pastoreo depende directamente de las preferencias del productor, quien toma las decisiones en función de sus objetivos e intereses. En un estudio realizado en Turrialba, Costa Rica, el pastoreo bajo *P. caribaea* se inició cuando los árboles tenían entre 2,5 y 3,5 años de edad, sin que se dieran daños significativos a las plantaciones por ramoneo y volcamiento (Somarriba et ál. 1985). La época de más intenso pastoreo fue entre los 3 y 6 años pues a mayores edades aumentó la abundancia de maleza. La carga anual recibida por cada lote evaluado varió con la densidad de árboles: a menor densidad mayor carga animal. No hubo un equilibrio entre la edad del rodal pastoreado y el número de animales en pastoreo. Bajo las condiciones de manejo de los hatos y el estado de las masas forestales evaluadas, el momento ideal para la integración silvopastoril se dio cuando la plantación con un distanciamiento de 2,5 x 2,5 m tenía cinco años de edad.

La edad de inicio y tiempo de pastoreo dentro de una plantación forestal depende, en primera instancia, de las preferencias del productor y, además, de la densidad de plantación y de las condiciones de crecimiento de los árboles y pasturas asociadas.

**Cuadro 10.3.** Efectos del pastoreo sobre el suelo y crecimiento de leñosas

Autor	Especie arbórea	Distanciamiento/ edad	Especie forrajera	Animales	Tiempo pastoreo	Efectos
Schreiner (1988)	<i>Eucalyptus grandis</i>	3 x 2 m	<i>Brachiaria decumbens</i>	sin datos	1 año	No hubo efectos
Omar y Laércio (1999)	<i>Quercus rubra</i> , <i>Populus spp.</i> , <i>Picea abies</i> , <i>P. strobus</i>	sin datos	sin datos	sin datos	Pocos periodos <6 meses	Infiltración del agua, efecto sobre crecimiento de árboles.
Sun et ál. (1997)	<i>Eucalyptus pellita</i> , <i>E. urophylla</i>	2,5 x 3,5 m	<i>Brachiaria decumbens</i>	sin datos	12 meses	No hubo efectos sobre el pasto. Hubo ventaja sobre control de malezas.
Almeida (1991)	<i>Eucalyptus citridora</i>	Cinco meses de edad, 2 m de altura	<i>Panicum maximum</i>	Cinco tratamientos con terneros y ovejas de edad variada, en los que varió la carga animal.	sin datos	Compactación en capa superficial. La presencia de animales no influyó en el porcentaje de árboles dañados, ni en su altura y diámetro. Reducción de costos de establecimiento y manejo.

**Cuadro 10.4.** Crecimiento de tres especies arbóreas en asocio con pasto guinea

Especie	Espaciamento (m)	5 años		7 años		9 años	
		Alt (m)	dap (cm)	Alt (m)	dap (cm)	Alt (m)	dap (cm)
<i>Khaya nyasica</i>	3,0 x 3,0	3,4	2,9	6,2	6,4	8,9	11,8
<i>K senegalensis</i>	2,7 x 2,7	3,7	2,6	6,3	7	8,1	12
<i>Swietenia macrophylla</i>	2,6 x 2,6	3,3	2,5	5,7	6,8	7,1	9,7

Fuente: Calzadilla, et ál. (1992).

Calzadilla et ál. (1992) evaluaron una plantación conformada por *Khaya nyasica*, *K. senegalensis* y *Swietenia macrophylla* asociadas con pasto guinea (*Panicum maximun*). Durante los primeros cuatro años se tuvo una carga animal de 11 animales/ha con una ganancia de peso vivo de 66 g/animal/día; al quinto año se redujo a 7 animales/ha que tuvieron una ganancia de 57,5 g/animal/día, y al año 10 se procedió a retirar todos los animales. A los diez años, la plantación tenía un dap >10 cm y altura >8 m, y los animales habían descortezado el 67% de los árboles. En el Cuadro 10.4 se ofrecen los datos dasométricos de las tres especies forestales.

#### **Efecto del pastoreo en el crecimiento de las especies arbóreas**

Lacorte et ál. (2003), en un ensayo realizado en Misiones, Argentina, cuantificaron el efecto del pastoreo vacuno en el crecimiento de *Grevillea robusta* y en la dinámica del pastizal. El diseño experimental empleado fue de parcelas pareadas: un área de la plantación fue dividida en dos mediante alambrado; una de las zonas se clausuró (sin pastoreo) y la otra fue sometida a pastoreo en forma continua entre 1999 y 2001, según la disponibilidad forrajera. El rodal de *G. robusta* había sido instalado en 1994, previa subsolación de la línea de plantación y una pasada de rastra. Las mediciones forestales se hicieron en julio 1999 y septiembre 2001. El pasto (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú) se sembró en noviembre 1996 con rastra y cajón sembrador; las labores se hicieron en forma perpendicular a las líneas de plantación, tanto en el área de clausura como la de pastoreo. La siembra fracasó por una escasa y lenta implantación; posteriormente se observaron plantas aisladas dentro de la regeneración del pastizal.

Cuando se inició el pastoreo, la disponibilidad forrajera en ambas áreas (superficie de 12,5 ha) se evaluó por medio de la técnica del 'botanal'. Una vez iniciado el pastoreo con animales de las razas Braford y Brangus, estos fueron pesados mensualmente por la mañana y sin desbaste previo. Hubo dos períodos en que no se pastoreó: uno de tres meses en el 2001, cuando se le dio un descanso al pastizal para su recuperación y otro de 15 días en el ciclo 2000/2001 por falta de agua para los animales. La zona clausurada sufrió un severo pastoreo accidental de dos días en mayo 2000.

En el Cuadro 10.5 se muestran los valores alcanzados por las principales variables medidas a *G. robusta* en el ensayo en cuestión. Para las variables dap y altura, se compararon las medias de los tratamientos (sin/con pastoreo) mediante el test t de Student, el cual demostró que, hasta ese momento, el pastoreo no afectaba negativamente el crecimiento de *G. robusta*. Asimismo, la producción forrajera del pastizal posibilitó el desarrollo de la actividad ganadera. Con una carga animal estimada en función de una oferta forrajera de 2500 kgMS/cab, se obtuvieron resultados satisfactorios. Las heladas no afectaron la calidad del pasto, lo que reduciría o evitaría la suplementación invernal. Es evidente, entonces, que el pastoreo bajo la plantación de *G. robusta* es viable y, de momento, no significa competencia para ninguna de las especies.

**Cuadro 10.5.** Valores promedio del crecimiento de *Grevillea robusta* en SSP, a los 5 y 7 años de edad

Sin pastoreo				Con pastoreo			
G (m <sup>2</sup> /ha) (2001)	G (m <sup>2</sup> /ha) (1999)	inc G (m <sup>2</sup> /ha /año)	inc G (% anual)	G (m <sup>2</sup> /ha) (2001)	G (m <sup>2</sup> /ha) (1999)	inc G (m <sup>2</sup> /ha /año)	inc G (% anual)
8,81	3,20	2,80	88	6,87	2,25	2,31	108
dap (cm) (2001)	dap (cm) (1999)	inc dap (cm/año)	inc dap (% anual)	dap (cm) (2001)	dap (cm) (1999)	inc dap (cm/año)	inc dap (% anual)
13,8	8,3	2,7	33	13,0	7,1	2,9	41
H (m) (2001)	H (m) (1999)	inc H (m/año)	inc H (% anual)	H (m) (2001)	H (m) (1999)	inc H (m/año)	inc H (% anual)
8,5	6,7	0,9	13,6	8,3	6,2	1,0	16
N (n°arb/ha) (2001)	N (n°arb/ha) (1999)	Mortalidad (n°arb/ha)	tasa anual (%)	N (n°arb/ha) (2001)	N (n°arb/ha) (1999)	Mortalidad (n°arb/ha)	tasa anual (%)
547	547	0	0,00	479	488	11	1
BCV (m) (2001)	BCV (m) (1999)	LCV/parc (m/ha) (2001)	LCV/parc (m/ha) (1999)	BCV (m) (2001)	BCV (m) (1999)	LCV/parc (m/ha) (2001)	LCV/parc (m/ha) (1999)
2,4	1,6	3339	2796	3,5	1,5	2260	2286

G: área basal H: altura N: número de árboles BCV: base de copa verde LCV: longitud de copa verde  
Fuente: Lacorte et ál. (2003)

### Prevención de daños causados por los animales a los árboles

Los bovinos y ovinos tienden a consumir el follaje de las leñosas cuando hay una pobre disponibilidad de forraje palatable en el estrato herbáceo (Sharrow et ál. 1992). En general, se recomienda que los animales ingresen a las plantaciones una vez que los árboles hayan alcanzado una altura tal que las ramas y hojas estén por encima del nivel de ramoneo (Whiteman 1980), lo cual, con muchas especies tropicales, puede significar que transcurran por lo menos dos años después de haber sido establecidas (Chen 1993). También se sugiere el pastoreo con ovinos en las primeras etapas de uso de la plantación (Lane 1981) y con bovinos unos dos años después (Anderson et ál. 1988).

El seguimiento de las recomendaciones mencionadas no es garantía absoluta de protección a los árboles, pues algunos animales alcanzan las ramas bajas, o provocan otros daños como el descortezado. Si los árboles no están bien desarrollados, la presión ejercida por los animales al rascarse puede quebrarlos o volcarlos. Couto et ál. (1994) no detectaron diferencias en la supervivencia de árboles en plantaciones de *Eucalyptus citridora* cuando el control del estrato herbáceo fue manual o con animales en pastoreo (bovinos, ovinos o combinación de ambos). Igualmente, Sharrow et ál. (1992) detectaron apenas una mortalidad del 0,9% de los árboles de *Pseudotsuga menziesii* cuando las plantaciones fueron pastoreadas tempranamente por ovinos.

### 10.2.2 Efectos del pastoreo en bosques

Simón et ál. (sf) en la Cuña Boscosa Santafesina del Chaco Argentino estudiaron los cambios en la cobertura herbácea y el daño en tres especies maderables (*Schinopsis balansae*, *Prosopis nigra* y *Geoffroea decorticans*) causados por el pastoreo con diferentes niveles de disponibilidad de forraje. El estudio se realizó en una parcela de 12 ha, dividida en seis unidades experimentales de 2 ha

cada una. Se evaluaron dos tratamientos (pasto cortado como testigo y pasto acumulado) con tres repeticiones. Cada unidad experimental se pastoreó con una carga instantánea de 3.125 UA/ha<sup>3</sup>. Se evaluó el daño ocasionado a los árboles a los 10, 20 y 30 días de pastoreo; para ello se valoró el nivel de daños (severo, medio, bajo o no dañado), dependiendo de la longitud de tallo perdido por ramoneo. La disponibilidad de forraje se midió por medio de la técnica del botanal (Haydock y Shaw 1975).

A medida que disminuyó la disponibilidad de forraje, aumentó el daño sobre *P. nigra* y *G. decorticans*. En el caso de *S. balansae* no se encontró correlación entre la disponibilidad de forraje y daño sufrido, ya que se trata de una especie preferida por los animales por sus hojas de mayor tamaño y densidad que *P. nigra* y *G. decorticans* (Poppi y Norton 1995). La presencia de mecanismos físicos de defensa de las especies arbóreas, como espinas y ramas más duras, influyeron en la protección de *G. decorticans* y *P. nigra*. El estudio concluye en que es posible preservar sin daño el 50% de los individuos de la regeneración, después de 30 días de pastoreo con tres vacas/ha si se inicia el pastoreo con una disponibilidad de 5 tMS/ha de fitomasa total.

En otro estudio realizado en Argentina, se buscó determinar la intensidad de raleo más adecuada en bosques de ñire (*Nothofagus antarctica*), una especie leñosa caducifolia, para mantener una buena producción de forraje (Manacorda y Bonvissuto 1999). Se instaló un ensayo para determinar la producción del sotobosque bajo diferentes grados de cobertura arbórea, en el que se evaluó la producción de leñosas (árboles jóvenes y arbustos), pastos (gramíneas) y hierbas latifoliadas. Se seleccionaron tres lugares sometidos al pastoreo, cercanos unos a otros; en cada uno se instalaron tres parcelas de 10 x 10 m, correspondientes a los tratamientos de bosque ralo (300 a 500 vástagos de ñire/ha), bosque semidenso (700 a 1100 vástagos/ha) y bosque denso (1400 a 2400 vástagos/ha). Luego de dos años consecutivos de evaluación, la producción de biomasa aérea en el bosque ralo osciló entre 1300 y 3800 kgMS/ha, en el semidenso entre 1300 y 2500 kgMS/ha y en el denso entre 700 y 2400 kgMS/ha. Con un consumo de 1,4 kgMS/oveja/día, se podría estimar una carga de 5 ovinos/ha durante seis meses (de mediados de octubre a mediados de abril) en el bosque ralo.

Dentro del bosque, las especies arbóreas que han desarrollado mecanismos físicos de defensa, como espinas, ramas duras u hojas coriáceas, soportan mejor el pastoreo.

### 10.3. Relaciones dosel / sotobosque

Diversos estudios han demostrado que los árboles pueden afectar el crecimiento de las plantas herbáceas debido a la competencia por luz, agua, nutrientes y posibles efectos químicos antagónicos. Para explicar la relación entre los árboles y el sotobosque se han desarrollado diversas expresiones matemáticas; Grosenbaugh (1965), por ejemplo, formuló una ecuación con cinco parámetros:

$$Y = H + A(1 - e^{-B(X - G)}) M + 1$$

<sup>3</sup> 1UA = 400 kg de peso vivo.

donde Y es la variable dependiente y X la variable independiente; H y A son las asíntotas superior e inferior, respectivamente; B da la curvatura; M es el punto de inflexión y G ajusta el valor de X:  $X-G = 0$  cuando  $Y = H$ .

Sin embargo, existen ecuaciones de regresión para determinar la relación dosel: pastura con diversos indicadores de densidad en rodales más simples. Gallo (1998) encontró que el modelo lineal ( $Y = a + b X$ ) y el exponencial negativo ( $y = a e^{-bx}$ ) fueron los que mejor explicaron la productividad de *P. maximum* ante incrementos de la densidad en rodales de *P. caribaea*; este resultado es consistente con lo reportado por Mc Daniel et ál. (1993). Los modelos lineales negativos son biológicamente más fáciles de interpretar que los lineales, ya que estos últimos subestiman la productividad de la pradera en los extremos de densidad y la sobreestiman en densidades intermedias. El modelo exponencial negativo resultó ser el más indicado para el estudio de Gallo (1998) debido a que este modelo es linealizable ( $\log y = a + bx$ ), lo que permite estimar un coeficiente de determinación mediante cuadrados; además, es más sencillo y la variable dependiente e independiente se miden en escalas naturales fáciles de interpretar.

## 10.4 Bibliografía

- Adamoli, J; Sennhauser, E; Acero, JM; Rescia, A. 1990. Stress and disturbance: vegetation dynamics in the dry Chaco region of Argentina. *Journal of Biogeography* 17(4-5):491-500.
- Almeida, JCC. 1991. Comportamento do *Eucalyptus citriodora*, em áreas pastejadas por bovinos e ovinos no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. *Agroforestry Systems* 21(1):1-10.
- Anderson, GW; Moore, RW. 1987. Productivity in the first seven years of a *Pinus radiata* annual pasture agroforest in Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 27:231-238.
- Anderson, GW; Moore, RW; Jenkins, PJ. 1988. The integration of pasture, livestock and widely-spaced pine in South West Western Australia. *Agroforestry Systems* 6:195-211.
- Andrade, CMS; García, R; Couto, L; Pereira, OG. 2001. Factores limitantes ao crescimento do capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto na Região dos Cerrados de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30(4):1178-1185.
- Bronstein, GE. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora* asociada con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 110 p.
- Broughton, WY. 1977. Effect of various covers on soil fertility under *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. and on growth of the tree. *Agro-Ecosystems* 3:170-174.
- Bustamante, J. 1991. Evaluación del comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.
- Calzadilla, E; Torres, J; Ferrer, A. 1992. Los sistemas agroforestales en la República de Cuba. *Rev. Forestal Baracoa* 22(1):59-71.
- Carlson, DH; Sharrow, SH; Emmingham, WH; Lavender, DP. 1994. Plant-soil-water relations in forestry and silvopastoral systems in Oregon. *Agroforestry Systems* 25:1-12.
- Chee, YK; Faiz, A. 1991. Sheep grazing reduces chemical weed control in rubber. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). *Forages for plantation crops*. Camberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceedings no. 32. p. 120-123.

- Chen, CP. 1993. Pastures as the secondary component in tree-pasture systems. *In* Proceedings 17th International Grassland Congress [Feb. 8-23, 1993. Palmerston North (New Zealand), Rockhampton (Australia)]. New Zealand Grassland Association; Tropical Grasslands Society of Australia. p. 3027-2043.
- Clason, TR. 1995. Economic implications of silvipastures on southern pine plantations. *Agroforestry Systems* 29:227-238.
- Cook, BG; Garthe, RL; Grimes, RF. 1984. Tropical pastures in eucalypt forest near Gympie. *Queensland Agricultural Journal* 110:45-46.
- Couto, L; Roath, RL, Betters, DR, García, R; Almeida, JCC. 1994. Cattle and sheep in eucalypt plantations: a silvopastoral alternative in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 28:173-185.
- Dacarret, M; Blydenstein, J. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos en los pastos que crecen bajo ellos. *Turrialba* 18:405-408.
- Daly, JJ. 1984. Cattle needs shade trees. *Queensland Agricultural Journal* 110:21-24.
- Dissanayake, SN; Waidyanatha, UP de S. 1987. The performance of some tropical forage grasses interplanted with young Hevea trees and their effect on growth of the trees. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 64:119- 121.
- East, RM; Felker, P. 1993. Forage production and quality of 4 perennial grasses grown under and outside canopies of mature *Prosopis glandulosa* (mesquite). *Agroforestry Systems* 22:91-110.
- Gallo, L; Somarriba, E; Ibrahim, M; Galloway, G. 1999. Productividad de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*. *Agroforestería en las Américas* 6(23):57-59.
- Gallo, LA. 1998. Crecimiento de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*: relaciones dosel-pradera. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 82 p.
- Grosenbaugh, LR. 1965. Generalization and reparameterization of some sigmoid and other nonlinear functions. *Biometrics* 21:708-714.
- Haydock, KP; Shaw, NH. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 15:169-171.
- Kirmse, RD; Provenza, FD; Malechek, JC. 1987. Clear-cutting Brazilian caatinga: assessment of a traditional grazing management practice. *Agroforestry Systems* 5:429-441.
- Knowles, RL. 1991. New Zealand experience with silvopastoral systems: a review. *Journal of Forest Ecology and Management* 45:251-267.
- Kruschewsky, GC; De Oliveira, TK; Macedo, RLG; Venturin, N; Higashikawa, EM; Magalhaes, WM. 2006. Estudo da densidade de fluxo de fónonem sistema agrossilvipastoril com eucalipto. *In* VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais [2006, Campos dos Goytacazes]. RJ. Anais Campos dos Goytacazes.
- Lacorte, SM; Fassola, HE; Domecq, C; San José, M; Hennig, A; Correa, EM; Ferrere, P; Moscovich, F. 2003. Efecto del pastoreo en el crecimiento de *Grevillea robusta* A. Cunn. y la dinámica del pastizal en Misiones, Argentina. *II Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32 (2):79-96.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Traducido del alemán por A. Cacillo. Eschborn, Alemania, GTZ. 365 p.
- Lane, IR. 1981. The use of cultivated pastures for intensive animal production in developing countries. *In* Smith, AJ; Gunn, RG. (Eds.). *Intensive animal production in developing countries*. British Society of Animal Production. Occasional Publication no. 4.
- Lascano, CE; Pezo, D. 1994. Agroforestry systems in the humid forest margins of Tropical America from a livestock perspective. *In* Copeland, JW; Djajanegara, A; Sabrani, M. (Eds.). *Agroforestry and animal husbandry for human welfare*. Proceedings, International Symposium [Bali, Indonesia. July 11-16, 1994]. ACIAR proc. no. 55. p. 17-24.
- Majid, NM; Awang, K; Jusoff, K. 1989. Impacts of sheep grazing on soil properties and growth of rubber (*Hevea brasiliensis*). *In* Reifsnnyder, WS; Darnhofer, TO. (Eds.). *Meteorology and agroforestry*. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 471-482.
- Malik, RS; Sharma, SK. 1990. Moisture extraction and crop yield as a function of distance from a row of *Eucalyptus tereticornis*. *Agroforestry Systems* 12:187-195.

- Mc Daniel, KC; Torrell, LA; Bain, JW. 1993. Overstory-understory relationships for broom snakeweed-blue grama grassland. *Journal of Range Management* 46:506-511
- Nair, PKR. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, The Netherlands. Kluwer Academic.
- Omar, D; Laércio, C. 1999. Una visión general de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles con eucalipto en Brasil. In Sánchez, M; Rosales, M. (Eds.). Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias Conferencia Electrónica [abril - setiembre 1998]. Roma, Italia, FAO. p. 421-438. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal no. 143). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/014/x1213s/x1213s00.pdf>.
- Pezo, D; Ibrahim, M. (Eds.) 1999. Sistemas silvopastoriles; módulo de enseñanza agroforestal no. 2. 2 ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 276 p. (Materiales de Enseñanza no. 44).
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Pastoreo en plantaciones de maderables o frutales. In Pezo, D; Ibrahim, M. (Eds.) Sistemas silvopastoriles; módulo de enseñanza agroforestal no. 2. 2 ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 195-224. (Materiales de Enseñanza no. 44).
- Pinto, M; Virgel S; Rodrigez, M; Bega, G. 1997. Suitability of different pasture species growing under pine. In Agroforestry for sustainable land-use. International Workshop [Montpellier, France. 23-29 June 1997]. 84 p.
- Poppi, DP; Norton, BW. 1995. Intake of tropical legumes. In Mello, JP; Devendra, C. (Eds.) Tropical legumes in animal nutrition. CAB International. p. 191-230.
- Reynolds, SG. 1995. Pasture-cattle-coconut systems. Bangkok, Thailand, FAO Regional Office for Asia and the Pacific (en línea). Consultado el 8 abril, 2012. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/af298e/af298e00.htm>.
- Schreiner, HG. 1988. Viabilidade de um sistema silvipastoril em solos de areiaquartzosa no Estado de Sao Paulo. *Boletim de Pesquisa Florestal (Brasil)* 17:33-38.
- Sharrow, SH. 1991. Tree planting pattern effects on forage production in a Douglas-fir agroforestry. *Agroforestry Systems* 16:167-175.
- Sharrow, SH; Carlson, DH; Emmingham, WH; La Vender, DP. 1992. Direct impact of sheep upon Douglas-fir trees in two agrosilvopastoral systems. *Agroforestry systems* 19:223-232.
- Shelton, HM. 1993. Chairpersons summary paper, Session 56: Silvopastoral systems. In Proceedings 17th International Grassland Congress [Feb. 8-23, 1993. Palmerston North (New Zealand), Rockhampton (Australia)]. New Zealand Grassland Association; Tropical Grasslands Society of Australia. p. 2072-2074.
- Simón, M; Ibrahim, M; Finegan, B; Pezo, D. sf. Efectos del pastoreo bovino sobre la regeneración de tres especies arbóreas comerciales del Chaco Argentino: un método de protección. Sitio Argentino de producción animal. Disponible en [http://www.produccionanimal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvipastoril/02efectos\\_pastoreo\\_sobre\\_regeneracion\\_arborea.htm](http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvipastoril/02efectos_pastoreo_sobre_regeneracion_arborea.htm)
- Somarriba, E. 1997. Pastoreo bajo plantaciones forestales. *Agroforestería en las Américas* 4(15):26-28.
- Somarriba, E; Lega, F. 1991. Cattle grazing under *Pinus caribaea*; 1. Evaluation of farm historical data on stand age and animal stocking rate. *Agroforestry Systems* 13:177-185.
- Somarriba, E; Vega, E; Detlefsen, G; Patiño, H; Twum-Ampofo, K. 1985. Pastoreo bajo plantaciones de *Pinus caribaea* en Pavones, Turrialba, Costa Rica. *El Chasqui* 11:5 - 8.
- Stür, WW; Shelton, HM. 1991. Review of forage resources in plantation crops of Southeast Asia and the Pacific. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops. Canberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceedings no. 32. p. 25-31.
- Sun, D; Dickinson, GR; Robson, KJ. 1997. Growth of *Eucalyptus pellita* and *E. urophylla* and effects on pasture production on the coastal lowlands of tropical northern Australia. *Australian Forestry* 59(2):136-141.
- Tajuddin I, Ng, KF; Chong, DT. 1991. The potential and prospects for improving forages under rubber in Malaysia. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). Forages for plantation crops. Canberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceedings no. 32. p. 130-133.
- Torres, F. 1987. Role of woody perennials in animal agroforestry. In Zulberti, E. (Ed.). Professional education in agroforestry. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 266-316.

- Waidyanatha, UP.de S; Wijesinghe, DS; Strauss, R. 1984. Zero-grazed pasture under immature Hevea rubber: productivity of some grasses and grass-legume mixtures and their competition with Hevea. *Tropical Grasslands* 18:21-26.
- Whiteman, PC. 1980. *Tropical pasture science*. Oxford, United Kingdom, Oxford Univ. Press.
- Wilson, JR; Hill, K; Cameron, DM; Shelton, HM. 1990. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. *Tropical Grasslands* 24:24-28.
- Wilson, JR; Ludlow, MM. 1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). *Forages for plantation crops*. Canberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceedings no. 32. p. 10-24.
- Wong, CC. 1991. Shade tolerance of tropical forages: a review. In Shelton, HM; Stur, WW. (Eds.). *Forages for plantation crops*. Canberra, Australia, ACIAR. ACIAR Proceedings no. 32. p. 64-69.
- Wong, CC; Wilson, JR. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. *Australian Journal of Agricultural Research* 31:269-285.
- Zelada, EE. 1996. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la Zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 88 p.

## 11. Producción de árboles maderables en linderos

John Beer

En el año 2000, el CATIE publicó una serie de módulos de enseñanza agroforestal. Uno de esos módulos correspondió al tema “Plantación de árboles en línea”, escrito por Ernesto Méndez, John Beer, Jorge Faustino y Augusto Otárola. Este capítulo es un extracto de la sección sobre linderos maderables que se desarrolla en el libro (Beer 2000). Nos hemos enfocado en este SAF por ser el que mejor encaja con la producción de madera en SAF lineales en Centroamérica. A continuación se describen las generalidades, ventajas y desventajas de los linderos para la producción de madera; además, se detalla la selección de especies, establecimiento y manejo de los linderos.

### 11.1 Linderos maderables

En un sentido estricto, los linderos pueden definirse como los límites espaciales de una propiedad. Ellos definen el dominio espacial del inmueble y, por tanto, enmarcan los usos posibles que el propietario puede organizar y desarrollar con cierta independencia y de acuerdo con sus posibilidades y preferencias. En el caso de las propiedades dedicadas a actividades forestales, agrícolas o ganaderas, la delimitación de los linderos reviste especial importancia, según se les considere social o productivamente.

Desde el punto de vista social, los linderos definen las relaciones entre el propietario del inmueble y sus vecinos; por eso, los límites deben demarcarse claramente para que las relaciones entre propietarios sean armónicas y acordes con los principios de respeto mutuo y delimitación de actividades. Desde el punto de vista productivo, los linderos y su forma de demarcación pueden influir en las actividades realizadas por los propietarios colindantes y se deben prevenir posibles conflictos de intereses.

En un sentido más amplio, también se consideran como linderos, las divisiones que separan actividades productivas dentro de un mismo predio, como la separación entre pastizales para la producción ganadera y las actividades agrícolas

La producción de árboles maderables en línea puede observarse en varios sistemas agroforestales (SAF), pero principalmente en linderos maderables, cercas vivas, cortinas rompevientos y a lo largo de ríos o quebradas. Este último se conoce como “bosque ribereño” y es el SAF menos recomendable para la producción comercial de madera porque, en general, las legislaciones forestales prohíben cortar árboles a la orilla de ríos y quebradas.

propiamente dichas. Para efectos de este capítulo, entenderemos los linderos en su sentido amplio.

Los linderos se pueden demarcar de diferentes formas para responder plenamente a las actividades que el propietario o finquero realice. Se pueden usar simplemente mojones, carriles desnudos de vegetación, cercos con alambre de púas sostenidos por postes de madera, concreto o arbustos y árboles. Cuando el propósito principal de sembrar árboles y arbustos es el de sostener el alambre se les denomina cercas vivas.

El uso de árboles maderables o frutales en una hilera que coincide con los límites de la propiedad o sus divisiones internas permite lograr utilidades marginales a la actividad productiva principal. Se entiende por árboles maderables aquellos que producen bienes tangibles como madera y/o postes con un valor real en el mercado. Este tipo de demarcación de linderos es al que haremos referencia en esta sección.

Los linderos maderables son siembras de árboles en línea en los límites de parcelas agropecuarias o fincas, plantados con el objetivo principal de producir madera o postes.

Cabe entonces preguntarse si la siembra de árboles maderables en hileras sobre los linderos de una finca constituye un verdadero sistema agroforestal. La respuesta a esta interrogante no puede ser categórica, pues dependerá de la influencia de los árboles sobre las actividades agrícolas o pecuarias de la finca.

Si el lindero se establece en áreas de pastizales dedicados a la producción ganadera, posiblemente no pueda considerarse como un sistema silvopastoril en sentido estricto. Su influencia sobre la pradera dependerá del tamaño de los apartos y distancia entre los linderos. Si el tamaño o la distancia son grandes, la influencia del sistema es limitada; para los animales podría significar únicamente la disponibilidad de más sombra para atenuar el calor y aumentar su confort, con lo que indirectamente podría mejorarse la producción hasta en un 20%. Tampoco sería una verdadera cortina rompeviento. Si por el contrario, el lindero coincide con los límites de plantaciones de cultivos (p.e. cacao o plátano), los árboles del lindero podrían tener una decidida influencia benéfica, como la sombra, y a la vez, generar competencia con el cultivo, por lo que sí sería un verdadero sistema agroforestal.

#### **11.1.1 Ventajas y desventajas de los linderos maderables**

A diferencia de las plantaciones forestales puras, la siembra de árboles maderables o frutales en linderos es una alternativa que debe ser valorada por el productor en términos económicos y de las ventajas o desventajas para el componente de producción principal de la finca. Esta decisión conlleva, necesariamente, la inversión de recursos financieros, de mano de obra, manejo, administración e insumos. Por eso, la decisión de plantar árboles en linderos debe tomarse después de un análisis cuidadoso y exhaustivo.

Para facilitar ese análisis se presentan a continuación las principales ventajas y desventajas de los linderos maderables.

### Ventajas

1. El establecimiento de linderos maderables delimita, de manera clara e inequívoca, la propiedad o finca. Esta delimitación permite reafirmar el dominio sobre el terreno y evitar posibles conflictos legales con los vecinos, o invasiones de precaristas.
2. Los linderos permiten producir madera o frutos comercializables en áreas no utilizadas o marginales, donde la competencia con los cultivos no es seria.
3. El uso de linderos reduce el crecimiento de la vegetación en los bordes e incrementa el beneficio de la inversión hecha para mantener las rondas; con ello se aprovechan mejor las chapas.
4. Los linderos mejoran el valor económico de la propiedad y el valor estético del paisaje.
5. Los raleos y podas producen leña y postes para la construcción de otras cercas en la finca.
6. Las tasas de crecimiento de los árboles en linderos son mejores que las de plantaciones en bloque. Aunque estas últimas pueden producir más madera por unidad de área sembrada, la plantación en linderos reduce el tiempo de cosecha porque cada árbol tiene menos competencia.
7. Este sistema permite a los productores con poca tierra participar en proyectos de reforestación.
8. En comparación con las plantaciones en bloques, la baja densidad de árboles y su distribución lineal entre áreas agropecuarias contribuyen a disminuir la propagación de plagas y enfermedades forestales.
9. La ausencia de competencia lateral permite mayor flexibilidad al propietario en la ejecución de los raleos. En plantaciones en bloque, la productividad puede reducirse seriamente si no se ralea en el momento oportuno.

### Desventajas

1. Los costos de protección por árbol, al menos durante los primeros dos años, suelen ser más elevados que en plantaciones puras. Este aspecto es particularmente crítico en linderos adyacentes a áreas de pastoreo, por el posible daño que causen los animales, ya sea por pisoteo, ingestión del follaje tierno, o tumbado o quiebra del árbol al rascarse. En áreas frente a caminos públicos, el daño y hurto de productos también puede ser crítico.
2. La influencia de los árboles en linderos se extiende a las dos áreas que se pretende delimitar, por lo que eventualmente pudiera haber conflictos de intereses entre vecinos (reclamos por la sombra o por el aprovechamiento de productos maderables comerciales). Antes de establecer el lindero, es recomendable hablar con los dueños de las propiedades que pudieran ser afectadas. Una manera práctica de reducir este problema es plantar los árboles a una cierta distancia del límite de la propiedad. Así se descarta, al menos, un posible reclamo del vecino por los productos maderables, aunque siempre podría haber problemas de competencia. En algunos países, la legislación establece distancias mínimas de 1 a 2,5 m.
3. Si los árboles se plantan en el límite de la propiedad y sirven de soporte para el alambre que divide los predios, esta práctica afectará negativamente la calidad de la madera por los clavos o grapas usados para la fijación del

El establecimiento de un lindero con especies maderables implica la inversión de recursos financieros, de mano de obra, manejo, administración e insumos; por ello, se deben analizar cuidadosamente sus ventajas y desventajas.

alambre. En consecuencia, pudiera perderse entre 1 y 1,5 m de la troza basal, que es la más valiosa. Nuevamente, la recomendación de sembrar los árboles a distancia prudencial del límite de la propiedad evita que se clave el alambre en ellos.

4. Si se plantan especies frutales en el lindero y se utilizan como soporte del alambre de la cerca, hay una tendencia natural a utilizar el alambre para escalar el árbol y cosechar las frutas. Esto no solo incrementará el costo de reparación de cercas por el daño ocasionado, sino el robo de la fruta.
5. Si el lindero se establece en campos de cultivos, inevitablemente habrá competencia entre el árbol y el cultivo. La intensidad de la competencia dependerá, básicamente, del tipo de cultivo y su manejo, el tipo de suelo, la especie forestal y su estado de desarrollo y manejo. Para disminuir la competencia, se pueden aplicar podas y raleos al lindero, de manera que los árboles se orienten de este a oeste, siguiendo la dirección del sol (Galloway 1986). Aunque hay poca información al respecto, puede decirse que el área de influencia de los árboles sobre el cultivo se extiende en el espacio aéreo (área de proyección de la sombra que determina la competencia por luz) y bajo la tierra (extensión de las raíces, que determina la competencia por agua, nutrimentos y posibles relaciones alelopáticas). En el caso de cultivos perennes, como cacao, plátano o café, el cultivo puede actuar negativamente sobre el crecimiento y desarrollo del árbol juvenil, mientras este se mantenga bajo el dosel del cultivo.
6. El valor comercial de los productos maderables de los linderos puede disminuir por la forma más cónica o ramificada de los árboles al existir una menor competencia lateral que en plantaciones en bloque. En otras palabras, la mayor libertad de crecimiento puede incidir negativamente en el valor comercial del fuste de una especie maderable. A la hora de seleccionar la especie que se plantará, debe tomarse en cuenta su forma de crecimiento, así como las condiciones del suelo y condiciones climáticas y geográficas del sitio.
7. Los costos iniciales de mantenimiento de los árboles en linderos son más altos que en plantaciones debido a que, en linderos, el crecimiento de las malezas es mayor que en plantaciones puras en donde el dosel cierra rápidamente. En consecuencia, las rondas de los árboles sembrados en linderos deben ser limpiadas durante más tiempo -al menos hasta que los árboles alcancen un estado de desarrollo que minimice su desventaja competitiva con las malezas-.
8. Los árboles establecidos en linderos de áreas de pastoreo pueden ser afectados por el pisoteo de los animales. El ganado tiende a caminar o concentrarse cerca de los árboles para aprovechar la sombra; esto hace que aumente la compactación del suelo en el área de desarrollo de las raíces del árbol. Los árboles también pueden sufrir daños físicos provocados por los animales al rascarse, y si las hojas del árbol son comestibles, el daño será mayor.

## 11.2 Selección de especies arbóreas y sitios

### 11.2.1 Criterios para la selección de las especies arbóreas maderables

La decisión de plantar árboles en los linderos de la finca necesariamente pasa por escoger las especies más apropiadas para que la inversión produzca ingresos a mediano plazo. A continuación analizaremos algunos criterios para la selección de las especies que aseguren el éxito de la inversión.

**Valor comercial de la especie.-** En la selección de árboles maderables para establecer en linderos deben buscarse especies que produzcan madera de calidad media o alta, con buenas opciones de comercialización y demanda por sus productos.

**Crecimiento apical rápido.-** El retorno a la inversión realizada en cualquier negocio, además de ser satisfactorio, debe concretarse en el menor tiempo posible. Esta es una realidad inherente a la producción agrícola, pecuaria y forestal, por lo que el crecimiento rápido de la especie puede contribuir a aliviar el problema. Entre más rápidamente se obtenga el producto esperado, menores serán los costos de producción. El retorno a la inversión será mayor si, además, la especie permite la extracción de productos secundarios durante su crecimiento (postes obtenidos de los raleos, o leña de las podas y raleos).

**Autopoda en condiciones de campo abierto.-** Los fustes de los árboles en linderos tienden a ser de peor forma que en plantaciones en bloque, dada la ausencia de competencia lateral por la luz. Eso resulta en una mayor ramificación y persistencia de las ramas, lo cual implica mayores costos de aprovechamiento y aserrío y menor calidad de la madera debido a los nudos grandes. Algunas especies maderables, como *Cordia alliodora*, autopodan sus ramas en la parte inferior del fuste, aun en condiciones de campo abierto. Esto quiere decir que las ramas inferiores se secan y caen rápidamente. Esta es una característica muy deseable en árboles en linderos, pues reduce los costos e incrementa el valor del producto.

**Resultados previos alentadores.-** Siempre es conveniente considerar experiencias previas en la zona, realizadas por otros finqueros o proyectos de investigación y/o desarrollo, ya sea en plantaciones puras, en bloques o en linderos. Esas experiencias pueden contribuir a la selección de especies con altas posibilidades de éxito. Entre las características que deben tomarse en cuenta están los tiempos de desarrollo de la especie, el diámetro que el fuste alcanza, las formas de crecimiento, la comercialización de los productos y subproductos, el manejo y las inversiones necesarias. El finquero, y no el personal técnico de los proyectos, es quien debe decidir entre especies exóticas o nativas.

Para garantizar que la inversión produzca ingresos a mediano plazo, debemos seleccionar las especies más apropiadas para las condiciones del sitio en donde vamos a establecer el lindero.

**Disponibilidad de semilla certificada.-** Las probabilidades de éxito de la inversión aumentan si existen fuentes de semillas o arbolitos certificados. Siempre que sea posible, se debe utilizar material genético de alta calidad que produzca plantas fuertes, sanas y, principalmente, con una conformación ideal acorde con los objetivos de producción. El uso de material genético de calidad o procedencia dudosa debe evitarse pues se corre un alto riesgo de malograr la inversión. La selección de plantas sanas y vigorosas en el vivero es igualmente un factor de gran importancia.

**Susceptibilidad a plagas y enfermedades.-** No se debieran utilizar especies susceptibles a plagas y enfermedades en la zona, o bien con problemas ampliamente identificados. Caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro amargo (*Cedrella odorata*), por ejemplo, son muy susceptibles al ataque del barrenador del tallo (*Hypsipyla grandella*).

**Copa abierta y poco densa.-** Para minimizar la competencia por luz con los cultivos aledaños al lindero se recomienda emplear especies con copa abierta y poco densa, como *Cordia alliodora* o *Eucalyptus deglupta*. Este tipo de copas tiene otra ventaja adicional para el aprovechamiento: puesto que la mayoría de los daños son causados por la caída de la copa y no del fuste, una copa rala significa un aprovechamiento menos costoso y con menos daños a los cultivos.

**Poca exigencia en el manejo.-** Las especies agresivas, como los eucaliptos (*Eucalyptus deglupta*), o rústicas, como el roble (*Tabebuia rosea*), tienen gran potencial para sobrevivir y crecer rápidamente con un manejo no muy exigente. Debiera darse prioridad a especies como estas, pues permiten disminuir riesgos y costos de mantenimiento.

### 11.2.2 Criterios para la selección de sitios

El análisis de las ventajas y desventajas que ofrece la siembra de árboles comerciales en linderos nos lleva a la conclusión de que la aptitud de los sitios de la finca para su establecimiento es muy variable. Es por ello que deben tomarse en cuenta algunas consideraciones generales del sitio para asegurar el éxito de la inversión.

**Costos de establecimiento y protección.-** La protección y cuidado de los árboles jóvenes es uno de los rubros de costos más importantes en el manejo de los linderos. Establecer árboles alrededor de una plantación agrícola es más fácil que hacerlo entre dos pastizales que son pastoreados por el ganado (por el daño físico que los animales podrían provocar a los árboles). De ser posible, se deben evitar las áreas de pastoreo a menos que se tenga la posibilidad de invertir en métodos de protección a los árboles hasta que alcancen un nivel de desarrollo (mayor a 5 m de altura) que les permita sobrevivir a la acción del ganado.

**Competencia con cultivos.-** Se deben seleccionar sitios donde la competencia con los cultivos sea mínima. Las consecuencias de la competencia por luz

La selección de las especies más apropiadas pasa por determinar, antes, las condiciones del sitio en donde queremos establecer el lindero.

son menores en la asociación con cultivos adaptados a la sombra, como el cacao o el café, que en cultivos de pleno sol, como el maíz.

**Condiciones de suelo.-** Las especies deben seleccionarse según las condiciones de cada sitio en particular, pues a lo largo de un lindero pueden darse diferencias en los suelos, ya sea por mal drenaje o compactación. Hay especies arbóreas que se adaptan con buen resultado a sitios muy húmedos o con suelos muy compactados, en tanto que otras no. Por ejemplo, el laurel (*Cordia alliodora*) es altamente susceptible a suelos compactados y con mal drenaje.

**Fertilidad del suelo.-** En la región centroamericana, las plantaciones forestales se han establecido, tradicionalmente, en suelos de baja fertilidad no aptos para la agricultura y con turnos de mediano o largo plazo para la obtención de productos. Sin embargo, dadas las limitaciones de flujo de caja, la mayoría de los finqueros prefieren turnos cortos; por eso es recomendable iniciar con linderos en buenos suelos, donde la probabilidad de alcanzar resultados satisfactorios en poco tiempo es mayor. Además, cuando el árbol tiene un crecimiento inicial rápido, la necesidad de chapear se reduce; este es un factor crítico en el éxito de muchos programas de reforestación en fincas privadas. Una vez que se tenga experiencia, se puede intentar en sitios con condiciones más difíciles. Desafortunadamente, la tendencia actual es reforestar primero las peores partes de las fincas, donde los beneficios ecológicos pueden ser altos (mitigación de erosión, protección de ríos), pero las posibilidades de éxito son menores y los costos iniciales más altos.

**Factibilidad del aprovechamiento.-** Antes de plantar, hay que pensar que más adelante habrá que cosechar la madera. El sitio de plantación debe facilitar el aprovechamiento; los lugares cercanos a cuerpos de agua, o dentro de un guindo, abismo o barranco profundo pueden no ser deseables para la siembra comercial de maderables pues generalmente la ley no permite la tala en las márgenes de ríos y riachuelos. En condiciones accidentadas de terreno, los costos de sacar las trozas de madera se elevan significativamente. En áreas como las mencionadas se podría plantar frutales en vez de maderables, ya que el producto de la inversión no implica la remoción del árbol.

**Sombra lateral.-** La influencia de sombra lateral, como la producida por un charral (guamil, guatal) o una plantación abandonada, es en muchos casos beneficiosa para la forma del fuste de un maderable, con lo que se incrementa su valor comercial. Sin embargo, si esta influencia se da por un solo lado, el efecto puede más bien ser negativo, pues el árbol tenderá a crecer inclinado en dirección contraria a la sombra. Si la sombra del charral es excesiva, el árbol crecerá rápidamente y, en consecuencia, tendrá un tallo alto y delgado, susceptible a daños (volcamiento o quiebra) causados por el viento cuando se elimina la sombra lateral. En casos como

este debe considerarse la posibilidad de manejar la sombra del charral, aunque signifique un costo adicional.

**Recursos del finquero.-** Las acciones que se implementen para la siembra de árboles maderables en linderos deben prever los recursos necesarios para el mantenimiento de la plantación. La mayoría de los fracasos en reforestaciones ocurren porque el control de malezas durante los primeros dos años, o no se hace del todo, o se hace cuando conviene al productor y no cuando el árbol lo necesita. Si no se tienen los recursos suficientes para cuidar muchos árboles es preferible sembrar menos, de manera que se garanticen los recursos para su mantenimiento. Una selección adecuada de las especies puede influir en una menor exigencia de mantenimiento. No obstante, al igual que con cualquier cultivo, siempre pueden ocurrir eventos imprevisibles como la aparición de una plaga. El monitoreo regular por parte del productor es esencial para el éxito del lindero.

### 11.3 Establecimiento y manejo de linderos

#### 11.3.1 Consideraciones técnicas de establecimiento

Antes de establecer los árboles en linderos, el productor debe recibir la asistencia técnica adecuada. Esta debe incluir un conocimiento práctico de la forma en que se deben manejar las especies seleccionadas, así como la definición de un cronograma de actividades que permita maximizar los esfuerzos y la inversión. La experiencia de muchos proyectos de reforestación demuestra que, en el momento de la siembra, el finquero está muy comprometido con el esfuerzo; los problemas surgen con el mantenimiento posterior de los árboles. Por lo tanto, es importante reforzar desde un inicio la necesidad de dar a los árboles un manejo sencillo pero adecuado.

A continuación se mencionan algunas consideraciones técnicas relevantes que deben considerarse al establecer árboles maderables en linderos. Estas responden a prácticas silviculturales normales que no deben perderse de vista si se quiere asegurar el éxito de la plantación.

**Preparación del terreno.-** La mayoría de especies maderables aptas para establecer linderos son plantas heliófitas que necesitan un ambiente a plena luz. Por ello es necesario limpiar el terreno y dejarlo libre de malezas, principalmente de gramíneas y bejucos o lianas enredadoras que afectan el desarrollo de los árboles en los primeros años. Si se siembra dentro de un charral, es necesario chapear un área de 3 m a cada lado de la línea de plantación para que penetre suficiente luz (reducción de la sombra lateral excesiva). En siembras en potreros es necesario dar protección temporal a los árboles, o evitar la entrada del ganado hasta que los árboles alcancen una altura de 5 m (dependiendo de la especie).

La asistencia técnica que el productor reciba es vital para garantizar el éxito en el establecimiento y mantenimiento de linderos maderables.

**Marcación y ahoyado.-** Un primer paso es definir el espaciamiento que más conviene y luego marcar el terreno por medio de estacas; esto facilita la distribución de los árboles al plantarlos y su posterior ubicación cuando se hagan las chapas e inspecciones. Los hoyos deben hacerse de 25x25x25 cm, aunque si se utilizan pseudoestacas (árboles podados de 5-10 cm de tallo y 10-20 cm de raíz pivotante) pueden ser más pequeños. En terrenos poco fértiles o compactados, los hoyos pueden ser más grandes para favorecer el desarrollo radicular inicial del árbol. Se debe limpiar (suelo desnudo) un círculo de 1 m de diámetro alrededor de cada posición de siembra.

**Espaciamiento.-** El espaciamiento de la plantación en linderos depende fundamentalmente del objetivo. Si se desea producir leña, el espaciamiento dentro de la línea puede ser menor de 2,5 m; pero si se desea producir madera de aserrío, tendrá que ser mayor de 3 m y complementarse con raleos periódicos. Sin embargo, algunas especies requieren espaciamientos diferentes, según sus características particulares.

**Siembra.-** La siembra de los árboles en sitios con estaciones climáticas definidas debe ser al inicio de la época de lluvias. Es deseable que al final de la estación lluviosa, los árboles hayan desarrollado su sistema radicular, de manera que no sea necesario regarlos durante la época seca. En las zonas donde no se da una estación seca marcada también se debe sembrar en los meses de mayor precipitación para prevenir pérdidas por marchitamiento. Al momento de la siembra, los arbolitos no deben ser demasiado grandes, las raíces principales deben colocarse bien extendidas dentro del hueco y al rellenar el hoyo hay que asegurarse de no dejar bolsas de aire; por ello es necesario compactar o apisonar la tierra. Por lo general es innecesario fertilizar al momento de la siembra; de hecho, muchas especies arbóreas no responden a esa aplicación. En todo caso, debe buscarse la recomendación técnica adecuada para la especie y el sitio.

**Resiembra.-** Si la mortalidad supera el 10%, es deseable resembrar. A diferencia de las plantaciones forestales puras, donde la iluminación lateral puede ser un problema, en los linderos se puede resembrar de manera indefinida.

**Manejo de linderos maderables.-** A continuación se detallan algunas actividades de manejo que son necesarias para lograr un buen desarrollo de los linderos maderables. Además se ofrecen recomendaciones técnicas para cada actividad.

- *Rodajas o rondas:* estas consisten en limpiar completamente un círculo de aproximadamente 1 m de diámetro alrededor del arbolito. La ronda se debe mantener al menos durante el primer año.
- *Protección contra el fuego:* es recomendable hacer rondas cortafuego y eliminar los residuos orgánicos de fácil combustión al inicio de la estación seca.

- *Protección contra animales y humanos*: si bien las cercas ofrecen protección, siempre es conveniente la vigilancia continua para evitar el ramoneo del ganado y los daños que provocan transeúntes que portan machetes u otras herramientas que pudieran dañar los árboles.
- *Chapias*: al evitar que sea ahogado por las malezas, las chapias favorecen el crecimiento inicial del árbol. Por lo general, el crecimiento inicial de los árboles es lento y en sus primeros estadios son muy susceptibles a la competencia. La frecuencia de las chapias depende del clima, la agresividad de las malezas y el sitio donde se ha plantado el lindero. En los linderos en cultivos o potreros manejados, las chapias son menos frecuentes. Por lo general, las deshieras se hacen en forma manual; solamente en casos excepcionales (p.e. gramíneas muy agresivas) se justifica el uso de herbicidas químicos.
- *Deshijas*: algunas de las especies que se reproducen por pseudoestacas -como la teca (*Tectona grandis*) o el laurel (*Cordia alliodora*)- producen múltiples brotes. Cuando los brotes alcanzan una altura de 0,5 a 1 m, se debe seleccionar el mejor según criterios de tamaño, vigor, forma recta y salud, y se eliminan los demás.
- *Podas*: esta práctica cumple un papel importante en el mejoramiento de la calidad de la madera al final del ciclo. Si se las deja en el árbol, las ramas bajas morirán por falta de luz y producirán nudos muertos que podrían ser puntos de ingreso de enfermedades (hongos de la pudrición) y termitas. Los árboles en linderos tienden a ramificar más que en las plantaciones en bloque debido a la menor competencia lateral. No se debe podar más del 30% de la copa en un momento dado. En especies con capacidad de autopoda, como *Cordia alliodora*, esta práctica no es necesaria; en otras especies una poda prematura podría provocar mala forma (p.e. *Tabebuia rosea*). Por lo tanto, se sugiere seguir las recomendaciones de un técnico forestal para la aplicación de podas fuertes.
- *Raleos*: cada especie arbórea necesita un espacio mínimo óptimo para su crecimiento, el cual aumenta con el grado de desarrollo. Cuando el espacio es muy reducido, los árboles tienden a un desarrollo vertical predominante, con copas estrechas y fustes delgados. Esto los descalifica para el aserrío. Al raleo oportunamente la plantación se estimula el crecimiento de las copas de los árboles remanentes y el consecuente engrosamiento de los fustes. El raleo adecua el espacio al crecimiento del árbol y, eventualmente, puede generar algún ingreso marginal con el aprovechamiento de los árboles raleados como postes o leña. Dada la dificultad de convencer a los finqueros de raleo los árboles, es aconsejable iniciar con esta práctica lo más pronto posible (cuando “duele menos”). Además, con ello se reducen los problemas potenciales de daños a cultivos adyacentes, sin la compensación de un producto comercial.

### 11.3.2 Costos de establecimiento y mantenimiento

Von Platen y Trejos (1994) determinaron los costos de establecimiento y mantenimiento de linderos en situaciones favorables y desfavorables en el trópico húmedo de Costa Rica y Panamá. Según los autores, las cercas de alambre de púas son tan caras que no se recomienda el establecimiento de linderos maderables en los sitios donde sea necesaria la protección con nuevas cercas de alambre de púas. Recomiendan, entonces el uso de especies como la teca, la cual no es dañada por el ganado, o el establecimiento de linderos en sitios donde no hay riesgo de daño por el ganado.

#### Linderos maderables en el trópico húmedo

##### Características de las áreas de trabajo

El Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ impulsó una experiencia de siembra de árboles en linderos en el trópico húmedo bajo de Costa Rica (Talamanca) y Panamá (Changuinola). Las áreas de trabajo se ubicaron en sitios con las características siguientes:

- Altitud: 0-300 msnm
- Precipitación media anual: 2500 mm distribuidos de manera uniforme
- Temperatura media anual: 24-27 °C
- Suelos: Inceptisoles, Entisoles y Cambisoles; aluviales con limitante de P y a veces con problemas de drenaje.
- Actividades agropecuarias principales: cacao, plátano, banano, maíz, coco, tubérculos y ganado.

##### Desarrollo y manejo del estudio

Se establecieron y manejaron 14 ensayos (se perdieron dos en el primer año); en cada uno se plantaron tres especies arbóreas maderables, con tres repeticiones por ensayo. Durante seis años se les dio seguimiento y se midieron las variables sobrevivencia, diámetro del fuste a la altura del pecho (dap), altura y diámetro de copa; además, se identificaron plagas y enfermedades que atacaron a los árboles. Las especies utilizadas fueron Eucalipto (*Eucalyptus deglupta*), acacia (*Acacia mangium*), laurel (*Cordia alliodora*), teca (*Tectona grandis*), terminalia (*Terminalia ivorensis*) y roble (*Tabebuia rosea*).

Las actividades de manejo de los linderos fueron:

- Protección contra el ganado
- Mantenimiento de una faja limpia de entre 6 y 10 m (chapias manuales y, en casos excepcionales, con herbicidas) a lo largo del lindero
- Resiembras hasta los seis meses
- Control de zompopos (hormiga), principalmente del género *Atta* spp.
- Raleos hasta de un 50% a partir de los 2,5 años
- Podas en casos necesarios entre los 5 y 8 m durante los dos primeros años

##### Principales resultados

1. *E. deglupta* fue la especie que mostró mejor comportamiento a los seis años de edad en dap, altura y volumen de madera producido (29 cm, 26 m, 175 m<sup>3</sup>/km) seguida por *T. ivorensis* (29 cm, 22 m, 133 m<sup>3</sup>/km).

2. La mejor supervivencia de árboles a la edad de 5 años se obtuvo con *E. deglupta* y *T. grandis* (90%); la peor fue con la nativa *C. alliodora* (56%); *A. mangium* y *T. ivorensis* mostraron valores intermedios (70% y 80%). Sin embargo, observaciones posteriores mostraron que la mortalidad de *T. ivorensis* aumentó rápidamente a partir de los cinco años.
3. *T. ivorensis* y *E. deglupta* desarrollaron las copas más anchas a los cinco años de edad (10-11 m); en comparación, las demás especies tuvieron copas que promediaron 7 m. *E. deglupta* y *C. alliodora* desarrollaron copas abiertas y poco densas que proporcionaron menos sombra.

**Recomendaciones** para la siembra de estas especies maderables en linderos del trópico húmedo bajo:

1. Plantar *A. mangium* en los suelos más pobres.
2. En suelos fértiles con buen drenaje, sembrar *C. alliodora*, *E. deglupta* y *T. grandis*.
3. En potreros, sembrar *T. grandis* o *A. mangium*.
4. Donde se requiera menos sombra, sembrar *C. alliodora* o *E. deglupta*.
5. En suelos con mal drenaje, sembrar *T. rosea* (resultado de un estudio paralelo).
6. No se recomienda sembrar *T. ivorensis* en la zona, debido a su alta mortalidad a partir del quinto año.

Adaptado de Kapp et ál. (1997)

## 11.4 Bibliografía

- Beer, J. 2000. Linderos maderables. In Méndez, E; Beer, J; Faustino, J; Otárola, A. (Eds.). Plantación de árboles en línea. 2 ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 69-99. (Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1).
- Kapp, G; Beer, J; Luján, R. 1997. Timber tree planting in farms boundaries in the Atlantic lowlands of Costa Rica and Panama. *Agroforestry Systems* 35: 139-154.
- Galloway, G. 1986. Guía sobre la repoblación forestal en la sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador, Proyecto DINAF/AID. p. 163-177.
- Von Platen, H; Trejos, S. 1994. Costos de establecimiento y mantenimiento de linderos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 35 p. (Serie Técnica. Informe Técnico No. 219).

## 12. Las normativas legales y el aprovechamiento de la madera en fincas

Guillermo Detlefsen, Mauricio Scheelje

En varios foros internacionales, la producción agropecuaria ha sido catalogada como dañina para el medio ambiente; de hecho, los ganaderos centroamericanos han sido acusados de ser los principales causantes de la deforestación, desertificación y contaminación ambiental de la región (Szott et ál. 2000). Varios estudios realizados por el CATIE y otras instituciones gubernamentales y no gubernamentales de Centroamérica han generado información útil sobre temas como asociación de pastos con leguminosas, uso de árboles o arbustos para ramoneo, manejo de regeneración natural arbórea en pastizales, rotación de cultivos/pastos y cultivo de árboles. Los resultados de estas investigaciones han sido validados en áreas de pasturas degradadas o con cultivos permanentes en varios países de la región centroamericana. El manejo de bosques secundarios y de plantaciones arbóreas en potreros pueden ser alternativas atractivas como sistemas de pastoreo de ganado, ya que la diversificación del uso de la tierra puede ayudar a mantener la productividad, incrementar los ingresos y reducir la deforestación, degradación ambiental y pobreza en áreas productoras de ganado y cultivos agrícolas. Esta es una de las metas principales de los Proyectos Finnfor/CATIE y Mesoterra/CATIE en América Central.

Sin embargo, aunque ya existan tecnologías silvopastoriles que puedan hacer más viables biológica y económicamente (y por ende, sosteniblemente) el manejo de la ganadería y la agricultura en América Central, otro obstáculo tiene que ver con las políticas y/o normativas forestales nacionales. En buena medida, estas han sido las responsables del uso insostenible de las áreas agropecuarias en la región. Por tal razón, el presente capítulo hace énfasis en la revisión y análisis del marco legislativo y político vigente para el sector forestal en los siete países de América Central, en relación con el aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias (principalmente en pequeñas y medianas fincas con sistemas agroforestales). Se espera que los hallazgos aquí reseñados puedan dar pautas para el desarrollo de sistemas agroforestales con posibilidades de producción maderable, por medio de normas simplificadas.

El manejo de bosques secundarios y de plantaciones arbóreas en potreros pueden ser alternativas atractivas como sistemas de pastoreo de ganado, ya que la diversificación del uso de la tierra puede ayudar a mantener la productividad, incrementar los ingresos y reducir la deforestación, degradación ambiental y pobreza en áreas productoras de ganado y cultivos agrícolas.

En buena medida, las políticas y/o normativas forestales han sido las responsables del uso insostenible de las áreas agropecuarias en la región centroamericana.

Algunos efectos de la destrucción del bosque no se podrán determinar nunca, como la pérdida de especies no conocidas, de las cuales no se conocerán sus propiedades, hábitos y funciones desempeñadas.

La recuperación de la información que se ofrece proviene de validaciones con actores locales representativos de los sectores agropecuario, forestal y ambiental, así como de sondeos, consultorías y tesis de grado en Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, y talleres nacionales donde participaron productores, representantes de autoridades locales y técnicos locales, nacionales e internacionales en cada país.

## 12.1. Antecedentes

### 12.1.1 Tendencias en los sectores forestal y agropecuario

Las áreas forestadas a nivel mundial han decrecido en alrededor de 2 billones de hectáreas desde inicios de la revolución agrícola (Noble y Dirzo 1997). Según la FAO (2011), en la actualidad el mundo posee poco menos de 4 mil millones de hectáreas de bosques que cubren alrededor del 30% de la superficie terrestre mundial. A lo largo de los 15 años transcurridos de 1990 a 2005, el mundo perdió 3% de su superficie forestal total, lo que representa una disminución media de 0,2% al año. La variación boscosa anual neta estimada por la FAO (2002) para el decenio 1990-2000 fue de -9,4 millones ha (14,6 millones ha de deforestación anual y 5,2 millones ha de incremento de superficie boscosa).

De acuerdo a Brown et ál. (2010), a fines de la década de 1990, ni las condiciones impuestas ni la certificación estaban cumpliendo con la meta de reducir las altas tasas de deforestación y de enfrentar los serios problemas de gobernabilidad; esto hizo que la atención se centrara en los problemas relacionados con la tala ilegal. Entre otras cosas, se argumentaba que enfocarse en la 'ilegalidad', en un primer momento, ayudaría a superar las dificultades conceptuales relacionadas con conceptos más amplios, más desafiantes e intangibles - como la sostenibilidad-, particularmente en ambientes complejos típicos de los bosques de viejo crecimiento. Si bien el interés subyacente seguía siendo la sostenibilidad, el acercamiento por medio de la legalidad parecía una forma más realista de alcanzar la meta. Al mismo tiempo, debido a que este enfoque depende, en última instancia, de la demanda del consumidor - y no de la voluntad del productor- parecía que habría mayores probabilidades de éxito en ambientes donde la gobernabilidad era débil.

Los impactos de esta destrucción boscosa nunca se lograrán conocer del todo. Además de los efectos cuantificables, como la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera cuando se quema un bosque, la erosión del suelo, los disturbios en el ciclo hidrológico y la extinción de numerosas poblaciones de especies conocidas, hay efectos que nunca podremos determinar, como la pérdida de especies no conocidas, de las cuales no se conocerán sus propiedades, hábitos y funciones desempeñadas (Gascon et ál. 2004).

Centroamérica no escapa a las corrientes mundiales. Por muchas décadas se fomentó la deforestación en la región como parte de las políticas de colonización de nuevas tierras a fin de volverlas "productivas". De acuerdo con

FAOSTAT (2009), la cobertura agropecuaria de la región se incrementó en un 15% en 30 años (de 1975 al 2005), cuando las áreas agropecuarias (Cuadro 12.1) pasaron de ocupar el 46% del total del territorio centroamericano en 1975 (241.124 km<sup>2</sup>) al 61% en el 2005 (319.751 km<sup>2</sup>). Con excepción de Honduras, en todos los países de la región la agricultura tuvo mayores incrementos que la ganadería en esos 30 años. Costa Rica, donde el área ganadera tuvo un aumento considerable entre 1975 y 1995, logró contener ese avance de 1995 al 2005 gracias a las políticas agropecuarias que prohibieron el cambio de uso de bosques hacia actividades agropecuarias.

A nivel de la región ha habido una tendencia a la ralentización del avance de la frontera agrícola y pecuaria (Cuadro 12.2). No obstante, aún quedan muchos obstáculos que vencer. Las contradicciones entre leyes, reglamentos y políticas, así como el cambio de cultura de tecnologías destructivas de los recursos naturales están entre los temas de más difícil solución.

Las contradicciones entre leyes, reglamentos y políticas, así como el cambio de cultura de tecnologías destructivas de los recursos naturales están entre los temas de más difícil solución.

**Cuadro 12.1.** Superficie agrícola y de pasturas por país centroamericano a lo largo de tres décadas

País	Superficie (en miles ha)	Año			
		1975	1985	1995	2005
Belice	Superficie del país	2297	2297	2297	2297
	Superficie agrícola	85	101	146	152
	Praderas y pastos permanentes	37	48	50	50
Costa Rica	Superficie del país	5110	5110	5110	5110
	Superficie agrícola	2122	2803	2855	2895
	Praderas y pastos permanentes	1630	2280	2340	2340
El Salvador	Superficie del país	2104	2104	2104	2104
	Superficie agrícola	1308	1377	1605	1704
	Praderas y pastos permanentes	610	620	750	794
Guatemala	Superficie del país	10889	10889	10889	10889
	Superficie agrícola	2888	3785	4512	4652
	Praderas y pastos permanentes	1250	2000	2602	2602
Honduras	Superficie del país	11249	11249	11249	11249
	Superficie agrícola	3135	3278	3480	2936
	Praderas y pastos permanentes	1500	1500	1530	1508
Nicaragua	Superficie del país	12949	12949	12949	12949
	Superficie agrícola	3630	3855	4553	5326
	Praderas y pastos permanentes	2400	2450	2683	3165
Panamá	Superficie del país	7820	7820	7820	7820
	Superficie agrícola	1806	1995	2132	2230
	Praderas y pastos permanentes	1260	1400	1477	1535
América Central	Superficie de América Central	52418	52418	52418	52418
	Superficie agrícola	14974	17194	19283	19895
	Praderas y pastos permanentes	8687	10298	11432	11994

Fuente: FAOSTAT (2009)

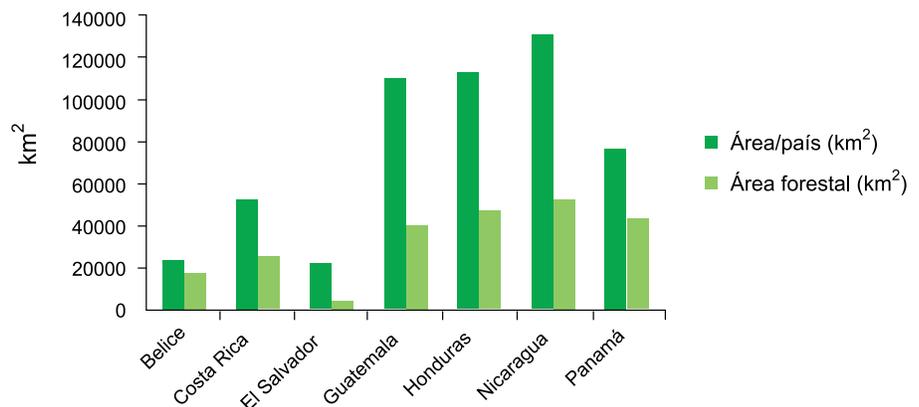
**Cuadro 12.2.** Incremento medio de la superficie agrícola y de pasturas en Centroamérica a lo largo de tres décadas

Década	Superficie agrícola (en miles ha)	Superficie de pasturas (en miles ha)
1975 – 1985	2220	1611
1985 – 1995	2089	1134
1995 – 2005	612	562

Fuente: FAOSTAT (2009)

Por otro lado, también ha habido algunos avances significativos en el manejo sostenible y la conservación de los recursos naturales. Gracias a numerosos esfuerzos nacionales e internacionales, la región aun disfruta de cerca de 204.431 km<sup>2</sup> de cobertura forestal (el equivalente al 39% del territorio total del Istmo) (Fig. 12.1). Belice y Panamá son los países que cuentan con mayor cobertura boscosa relativa.

Las plantaciones forestales establecidas en el período 1990-2005 (Cuadro 12.3), por otra parte, apenas representan 2.740 km<sup>2</sup> para la región y aunque no se ha estimado cuál es el área de regeneración natural boscosa en ese mismo periodo, se deduce que hay un déficit considerable en pérdida de área boscosa, ya que la deforestación estimada fue de alrededor de 2.621 km<sup>2</sup>/año entre 1975 y el 2005 (FAOSTAT 2009).



**Figura 12.1.** Superficie territorial y cobertura forestal en Centroamérica en el 2005  
Fuente: FAOSTAT 2009

**Cuadro 12.3.** Cobertura de bosque natural y plantaciones forestales en América Central durante el periodo 1990-2005

País	Superficie forestal 2005			
	Total bosques (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)	Superficie per cápita (ha)	Plantaciones forestales (km <sup>2</sup> )
Belice	16.530	71,98	5,8	-
Costa Rica	23.910	46,79	0,6	40
El Salvador	2.980	14,16	0,0	60
Guatemala	39.380	36,16	0,3	1220
Honduras	46.480	41,32	0,7	300
Nicaragua	51.890	40,07	0,9	510
Panamá	42.940	54,91	1,4	610
<b>Total</b>	<b>224.110</b>	<b>42,75</b>	<b>-</b>	<b>2740</b>

Fuente: FAOSTAT 2009.

### 12.1.2 Árboles en fincas agropecuarias

En algunos ecosistemas tropicales queda poco del bosque original y, si queda, está muy fragmentado en un mosaico complejo de usos de la tierra. Estos usos van desde prácticamente ninguna cobertura arbórea (campos dominados por pastizales o monocultivos) hasta complejos sistemas agroforestales (SAF) con un alto grado de cobertura forestal y variedad de especies arbóreas (Boshier et ál. 2004).

En América Central, las formas tradicionales de conservación de la biodiversidad (p.e. áreas protegidas) ofrecen opciones reducidas, por lo que es necesario explorar opciones nuevas, si realmente se pretende conservar. Por ejemplo, casi todos los sistemas agrícolas tradicionales (incluyendo los sistemas ganaderos) tienen árboles intercalados con cultivos o manejados en forma zonal, donde se alternan árboles y cultivos y/o pastos –o sea, SAF (Beer et ál. 2004).

Los árboles encontrados en condiciones de fragmentación y manejados en SAF pueden ser un recurso importante para la conservación de especies del bosque, ya que sirven como hábitat para los polinizadores y dispersores de semillas que facilitan el flujo genético hacia otras especies, con lo que se crean las condiciones ambientales para la regeneración (Boshier et ál. 2004). Asimismo, tales árboles facilitan el flujo genético entre reservas y la conservación de genotipos particulares no encontrados en las mismas, a la vez que mantienen la viabilidad mínima de las poblaciones. Estas funciones pueden ser de mayor importancia en situaciones donde las reservas forestales son prácticamente inexistentes (p.e. tierras ganaderas) y donde los árboles utilizados representan una parte importante de las poblaciones o de la riqueza genética de las especies.

En Centroamérica existen grandes áreas agropecuarias con bosques fragmentados, SAF y árboles aislados. Por ejemplo, la ganadería y la agricultura, que abarcan cerca del 23 y 38% respectivamente de la superficie de la región (FAOSTAT 2009), implican, la mayoría de las veces, la combinación de árboles

En algunos ecosistemas tropicales queda poco del bosque original y, si queda, está muy fragmentado en un mosaico complejo de usos de la tierra.

En Centroamérica, la ganadería y la agricultura, implican, la mayoría de las veces, la combinación de árboles nativos dispersos, en líneas o en bloques dentro de los pastizales, los cafetales u otros cultivos agrícolas.

nativos dispersos, en líneas o en bloques dentro de los pastizales, los cafetales u otros cultivos agrícolas. Son relativamente pocos los cultivos o pastizales que no tienen absolutamente ningún árbol asociado. Sobre esta base, al menos un 50% del territorio centroamericano (donde están los pastizales, los cultivos permanentes como café, cacao, cardamomo, caucho y otros) pudiera mejorar el papel que juegan los árboles y contribuir paralelamente a conservar la biodiversidad. Uno de los primeros pasos en ese sentido es que los manejadores de estos sistemas consideren las capacidades reproductivas y regenerativas de las especies prioritarias, así como las prácticas de manejo de la regeneración natural o artificial para asegurar poblaciones arbóreas a largo plazo (Boshier et ál. 2004). Otro paso prioritario es la definición de un marco de políticas forestales que permita el mejoramiento y conservación de la biodiversidad por medio de SAF.

En general, las políticas forestales de la región han sido restrictivas y poco efectivas, con lo cual no se logra aumentar la cobertura forestal ni incrementar las exportaciones de madera procesada.

### 12.1.3 Marco de políticas forestales

La destrucción de los bosques en las últimas tres décadas ha sido una preocupación mucho más grande para la sociedad centroamericana que la escasa productividad de los mismos, de allí que los controles y restricciones tengan mayor peso que el fomento de la producción. En general, las políticas forestales de la región han sido restrictivas y poco efectivas, con lo cual no se logra aumentar la cobertura forestal ni incrementar las exportaciones de madera procesada.

Un aspecto fundamental que las legislaciones y políticas forestales centroamericanas no han considerado es que casi todos los dueños de bosques son también productores agropecuarios. El sesgo restrictivo de las políticas forestales hacia los pequeños productores agropecuarios invisibiliza su aporte a la producción forestal: gran parte de la leña que se consume en la región proviene de fincas agropecuarias de pequeños y medianos productores, así como buena parte de la madera que se procesa en los aserraderos (incluyendo árboles en potreros).

De las legislaciones forestales vigentes en Centroamérica, únicamente las de Guatemala y El Salvador reconocen el manejo sostenible de los árboles maderables en fincas agropecuarias. En Guatemala, además, se han simplificado al máximo los procedimientos para el aprovechamiento forestal, tanto de bosques naturales y plantaciones, como de SAF. En Belice, aunque la legislación forestal es bastante antigua, ofrece previsiones para que los productores agropecuarios puedan aprovechar madera de sus fincas mediante pequeños permisos de aprovechamiento (*petty permit*). En otros cuatro países (El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica), la legislación ha dejado algunas “ventanas” que permiten fomentar el manejo sostenible de los recursos maderables en las fincas agropecuarias. No obstante, en Honduras y Nicaragua es necesario contratar regentes forestales para que elaboren el plan de manejo y tramiten el permiso de aprovechamiento forestal en fincas agropecuarias, lo que afecta la posibilidad de mejorar los ingresos de los pequeños productores agropecuarios. En Costa Rica también es necesario contratar regentes si se quieren aprovechar más de 10 árboles/ha/año en fincas agropecuarias; en Panamá se exigen, además, estudios de impacto ambiental y de prospección arqueológica para aprovechar madera en fincas agropecuarias.

Estos pocos casos mencionados permiten aseverar que las políticas forestales en Centroamérica son poco efectivas para los pequeños y medianos productores agropecuarios y que ese sesgo restrictivo favorece la ilegalidad en el aprovechamiento y comercialización de la madera proveniente de fincas agropecuarias. Los trámites engorrosos para el aprovechamiento y la ausencia de incentivos para la comercialización legal de la madera en el mercado hacen que los pequeños productores perciban a los árboles maderables como un estorbo y decidan eliminarlos de sus fincas. Aun en países como Guatemala y El Salvador, donde las políticas forestales han reconocido la importancia de la producción arbórea en fincas agropecuarias para el fomento de la producción y, en consecuencia, se han simplificado los trámites y requisitos, falta difundir las bondades de esta herramienta de desarrollo a fin de que los pequeños y medianos productores se puedan beneficiar con ellas.

### 12.2. Desarrollo de las leyes y políticas forestales en cada país centroamericano

#### 12.2.1 Contexto legal para la actividad maderera

Según Dembner (1993), *“La legislación tiene por objetivo orientar y controlar la actuación de los grupos e individuos con respecto a una política establecida. Las leyes y los reglamentos fijan incentivos para el cumplimiento de los objetivos de las políticas y sanciones para desalentar las actuaciones que se oponen a su consecución.”*

En al menos tres (Honduras, Nicaragua y Panamá) de los siete países de Centroamérica, los pobres no tienen acceso al verdadero precio de mercado de los abundantes recursos forestales que los rodean porque la legislación vigente es excesivamente prohibitiva y discrimina en su contra. Según Barrance (2001), esto es debido al diferencial de precios entre el productor y el procesador, que normalmente acaba en manos de los intermediarios. A continuación se ofrece una corta reseña del desarrollo de las normativas y políticas forestales en vigor en cada uno de los siete países de la región centroamericana. Nuestro propósito es entender el contexto que regula la actividad maderera de los pequeños productores agropecuarios en sus fincas y su acceso a acciones de fomento del quehacer forestal en sus respectivos países.

#### Guatemala

Hasta finales de la década de 1980, en el país se daba una falta de claridad y de consistencia entre las políticas relacionadas con la conservación, manejo y recuperación de los bosques. La deforestación se atribuía a la sustitución del bosque por sistemas agrícolas y ganaderos. Con la formulación del Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG), entre 1989 y 1991 se enunció la necesidad de promover el manejo sostenible de los bosques según su potencial de producir bienes y servicios. La máxima valorización del bosque debía constituirse en un factor determinante para incrementar su competitividad ante la agricultura y la ganadería en tierras forestales (Guatemala 1991). Ese proceso de planificación

Las políticas forestales en Centroamérica son poco efectivas para los pequeños y medianos productores agropecuarios y favorece la ilegalidad en el aprovechamiento y comercialización de la madera.

Los pobres no tienen acceso al verdadero precio de mercado de los abundantes recursos forestales que los rodean porque la legislación vigente es excesivamente prohibitiva y discrimina en su contra.

Se impulsó la función reguladora del Estado con el fin de estimular el manejo sostenible, la reforestación y el procesamiento industrial y artesanal de la madera de forma legal.

promovió el manejo técnico de los bosques desde el sector público a partir de las características naturales y del entorno social y ecológico; asimismo, se impulsó la función reguladora del Estado con el fin de estimular el manejo sostenible, la reforestación y el procesamiento industrial y artesanal de la madera de forma legal.

Entre las estrategias generales del PAFG se proponían las siguientes:

- La modernización y profesionalización de la administración forestal y del sistema guatemalteco de áreas protegidas
- La promoción del manejo forestal, la reforestación y la agroforestería
- La creación de un programa de incentivos

La transformación del servicio forestal nacional fue un proceso que tomó cinco años, desde que se formuló el PAFG hasta que se aprobó la creación del Instituto Nacional de Bosques (INAB) en 1996. La nueva legislación forestal se redefinió para crear una institución administrativa ágil y eficiente para la regulación del quehacer forestal en el país. El INAB impulsó los planes de manejo simplificados como herramientas para poner a producir los bosques en forma sostenible; además, propuso otros instrumentos, como el pago de incentivos forestales, los mecanismos de desarrollo limpio, la producción de agua y el manejo productivo de bosques naturales (Jiménez 2002).

En los últimos 15 años, Guatemala ha alcanzado avances significativos en la legislación, políticas y mejoras institucionales, así como en el establecimiento de trámites simplificados para el aprovechamiento y comercialización de recursos maderables en SAF. Sin embargo, muchas de las comunidades rurales, como las asentadas en el Departamento de Petén, desconocen los trámites simplificados, así como los derechos que la legislación y políticas forestales les atribuyen para el aprovechamiento del recurso arbóreo en sus fincas agropecuarias.

### **Belice**

De acuerdo con Rosa (2010), el Fondo Forestal de Belice (*Forest Trust*) se convirtió en la década de 1920 en el Departamento Forestal, cuando se estableció la primera reserva forestal y el primer programa forestal basado en la extracción de madera. La primera legislación forestal todavía vigente fue promulgada en enero de 1927 bajo el nombre de Ley Forestal (*Forest Act*); en 1995 fue revisada para ajustar la coherencia con el lenguaje actual y para ajustar las tarifas por extracción de madera. El principio rector, sin embargo, se mantuvo inalterado. En 1995, el Departamento Forestal pasó a formar parte del Ministerio de Recursos Naturales y del Medio Ambiente, donde regula las actividades del sector forestal a partir de tres leyes (Ley Forestal, Ley de Áreas Protegidas y Ley de Vida Silvestre). El 2 de septiembre de 1945 se aprobó y publicó la “Política Forestal de Honduras Británica” (hoy Belice) que permanece hasta hoy como la base de la política forestal desarrollada en la Ley Forestal.

En 2003 se hizo una nueva revisión a la Ley Forestal (*Forest Act Subsidiary*); así se incorporaron conceptos como ordenación de las reservas forestales,

regulación forestal (protección de los árboles), ordenación de los impuestos de exportación forestal, reglamento forestal, delegación de poderes para la licencia forestal, regulación de la protección de manglares, aplicación de la ley de tierras privadas, poderes de la proclamación del oficial forestal y regulación de los caminos forestales.

La Política Forestal de Belice fue hecha para estimular el uso del bosque y sus recursos a través de una planificación apropiada. Dicha política fue desarrollada en una época en que el sector forestal contribuía con más del 60% al PIB del país. El aprovechamiento de madera se realiza por medio de licencias que el Gobierno emite mediante un proceso de diligencia que verifica la capacidad del postulante para aprovechar la madera (plan de manejo) y la capacidad del bosque para un aprovechamiento forestal (Rosa 2010).

Es evidente, entonces, que las políticas relacionadas con el aprovechamiento maderero no han sufrido cambios considerables en las últimas décadas y, aunque ninguna de las leyes beliceñas hace mención a los SAF como parte de la política forestal del país, los árboles en las fincas agropecuarias se aprovechan por medio de pequeños permisos de aprovechamiento (*petty permits*). Estos permisos, además de ser simples, permiten comercializar la madera en cualquier punto del mercado pues, junto con el permiso, se asignan las guías de transporte, sin mayores trámites.

### **Honduras**

Según el Plan de Acción Forestal 1996-2015, antes de 1974 en Honduras había una libertad absoluta en el uso del recurso forestal; era como si el país fuera de vocación natural agropecuaria (secplan-afe-cohdefor-srn 1996). El bosque tenía valor únicamente para los industriales de la madera; para los productores interesados en la agricultura o la ganadería, la meta era desboscar terrenos para establecer pasturas o cultivos. La extracción de madera para la industria se hacía sin que mediaran previsiones técnicas ni controles efectivos por parte del Estado.

De 1974 a 1991 se dio un cambio drástico en la política forestal. Así, se pasó de un modelo basado en la iniciativa privada a otro modelo tutelado por el Estado. Este cambio se fundamentó en el reconocimiento del bosque como el recurso natural más importante del país y en la convicción de que su explotación incontrolada e ineficiente estaba causando su destrucción y dañando la economía nacional. El Estado se propuso elaborar y ejecutar, a través de la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (Cohdefor), planes de manejo para todos los bosques del país que fueran intervenidos. Criterios ecológicos y de rendimiento máximo sostenido fueron enunciados como los principios orientadores de la intervención de los bosques; sin embargo, en la práctica nunca se aplicaron. Esto fue muy criticado por la sociedad y forjó un clima de desconfianza por la forma en que los bosques eran intervenidos con la autorización de Cohdefor. En 1992 se dio un nuevo cambio de política: la administración y usufructo de los bosques volvió a manos de sus legítimos dueños en terrenos privados y ejidales,

Aunque ninguna de las leyes beliceñas hace mención a los SAF como parte de la política forestal del país, los árboles en las fincas agropecuarias se aprovechan por medio de pequeños permisos de aprovechamiento (*petty permits*).

en tanto que a la Administración Forestal del Estado (AFE), en colaboración con Cohdefor, se le asignaron tres responsabilidades, básicamente: manejar los bosques nacionales; fomentar, normar y controlar la actividad forestal privada y ejidal; administrar las áreas protegidas y la fauna silvestre.

Con la adopción de un modelo económico neoliberal, el gobierno hondureño ha fomentado la incorporación de los gobiernos locales en la toma de decisiones sobre el uso de los recursos naturales bajo su jurisdicción. AFE-Cohdefor, además, alienta a los propietarios de bosques privados para que incorporen los planes de manejo y planes operativos al manejo de sus bosques. Uno de los esfuerzos más grandes por conservar la cobertura boscosa hondureña se centra en la declaración de áreas protegidas bajo diferentes regímenes de protección; actualmente el país cuenta con 107 áreas protegidas en nueve categorías de manejo, las cuales cubren el 23,8% del territorio nacional (AFE-Cohdefor 2006).

Hasta el año 2007, la actividad forestal en Honduras (producción y protección) pertenecía al denominado subsector forestal. En el año 2008, con la promulgación de la nueva Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto 98-07), dicho subsector se elevó a la categoría de sector. Esta categoría dio el espacio para la creación de una nueva institucionalidad forestal; se creó, entonces, la Secretaría de Desarrollo Forestal con dos subsecretarías especializadas: desarrollo forestal (actividades productivas) y áreas protegidas (actividades de protección). Con la nueva ley forestal, se creó al Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) con el fin de garantizar la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, la aplicación participativa de la política y normativas forestales, y la inversión en el sector forestal. Sin embargo, el continuo cambio de leyes, reglamentos y normas técnicas, así como las inconsistencias en su aplicación y la reformulación frecuente de las mismas ha generado un clima de inestabilidad para la producción sostenible a largo plazo y, en consecuencia, se han reducido o desaparecido las inversiones necesarias para el desarrollo forestal sostenible. Las nuevas normativas no reconocen la producción y comercialización de madera proveniente de SAF como una actividad diferente del aprovechamiento en bosques naturales o plantaciones. Por lo tanto, se requiere de la contratación de profesionales forestales para el aprovechamiento y comercialización legal de madera proveniente de árboles aislados en fincas agropecuarias.

Las nuevas normativas no reconocen la producción y comercialización de madera proveniente de SAF como una actividad diferente del aprovechamiento en bosques naturales o plantaciones.

### **El Salvador**

En El Salvador, históricamente el Estado ha sido el ente protagónico de la actividad forestal. La legislación salvadoreña no cuenta con políticas ni programas que promuevan la rentabilidad forestal; en consecuencia, la participación de las comunidades y de los empresarios privados ha quedado en un segundo plano. Durante los últimos 20 años, el Servicio Forestal se ha visto relegado financieramente, por lo que su quehacer se limita al control del aprovechamiento doméstico y muy poco a la investigación, inventarios y planes de manejo (MAG 2002).

No obstante, el sector forestal salvadoreño produce madera para satisfacer las necesidades de la industria local e incluso para la exportación. Este sector genera empleo rural en períodos de recesión de otras actividades productivas en el sector agropecuario, por lo que tiene un peso importante en la vida de hombres y mujeres de la zona rural, ya que ofrece productos que satisfacen sus necesidades específicas. El uso de SAF en tierras agrícolas en zonas de ladera bien pudiera diversificar la producción y constituirse en una alternativa de mayor rentabilidad para productores y productoras de granos básicos.

Con la nueva Ley Forestal del 2002 y su Reglamento del 2004, se crearon leyes y políticas muy amplias en cuanto al manejo de recursos maderables en SAF. Esta ley fomenta el aprovechamiento de árboles maderables en fincas agropecuarias mediante procedimientos muy sencillos, al alcance de todo tipo de productor. Sin embargo, el marco institucional forestal evidencia una falta de definición de políticas e instancias de coordinación, y tampoco se tienen directrices y manuales de procedimientos para la aplicación de la ley. Si se subsanaran esas deficiencias, se facilitarían los procesos administrativos para los productores y mejoraría el control por parte de la institución rectora del sector forestal.

Lo positivo es que tanto el Gobierno, como organizaciones no gubernamentales, el sector privado y las comunidades han manifestado una actitud favorable para participar en la solución de la problemática forestal del país. Ahora sí hay voluntad política para el desarrollo de políticas coherentes con sus normativas que permitan orientar el desarrollo forestal, agroforestal y de conservación del país, y la promoción de un uso sostenible de los recursos. El uso de mecanismos simples para la producción y aprovechamiento comercial de madera y leña en SAF se concibe como un eje central de la nueva política forestal del país.

### Nicaragua

Al inicio de la década de 1990, la legislación forestal de Nicaragua estaba rezagada en relación con las profundas transformaciones agrarias que se estaban dando, como resultado de la finalización del conflicto bélico nacional. Miles de familias se asentaron en tierras forestales, lo que provocó una acelerada destrucción de los bosques. Fue preciso, entonces, reforzar las leyes mediante un componente de áreas protegidas que, una vez implementado, imprimió restricciones más severas al acceso a los recursos naturales y contribuyó a evitar asentamientos humanos en esas zonas. Sin embargo, tales medidas no han logrado resolver la problemática forestal a nivel nacional.

Los recursos naturales por lo general no forman parte del concepto tradicional de “desarrollo local” manejado por los gobiernos municipales. Normalmente, como preocupaciones por “lo forestal” están la reforestación o la conservación de áreas protegidas, pero el bosque en manos privadas y los árboles en fincas no han sido considerados como parte de una agenda seria de desarrollo, a pesar de que ofrecen muchos bienes y servicios a la población (Larson y Zeledón 2004). De acuerdo con Barahona (1997), las políticas aplicadas en el pasado no han sido muy efectivas para frenar la destrucción del bosque ni incentivar la

El uso de SAF en tierras agrícolas en zonas de ladera bien pudiera diversificar la producción y constituirse en una alternativa de mayor rentabilidad para productores y productoras de granos básicos.

El bosque en manos privadas y los árboles en fincas no han sido considerados como parte de una agenda seria de desarrollo, a pesar de que ofrecen muchos bienes y servicios a la población.

industria forestal, de manera que se constituya en una fuente importante de divisas para el país. Más bien, el sesgo prohibitivo de las políticas forestales ha provocado que amplios segmentos del mercado de la madera y de la leña se desarrollen en la ilegalidad: la tala ilegal y el contrabando de madera se han convertido en actividades de todos los días.

Es necesario destacar, sin embargo, que la actividad maderera no ha sido la principal responsable de la tala de los bosques. Las plantaciones forestales, por su lado, tampoco han demostrado ser el método más barato para aportar leña y madera a la sociedad, ni han podido resolver problemas ambientales como la producción y calidad del agua.

La legislación forestal vigente en Nicaragua ha permitido la creación de algunos espacios para el fomento del manejo sostenible de los recursos forestales en las fincas ganaderas. No obstante, con la promulgación de la Ley de Veda (Ley 585 2006) se cerraron varios de esos espacios, lo que ha afectado la posibilidad de mejorar los ingresos de los pequeños productores agropecuarios.

### **Costa Rica**

El abastecimiento de madera en Costa Rica ha pasado por diferentes etapas que van desde el cambio de uso de la tierra hasta el manejo sostenible de los bosques naturales, plantaciones forestales y SAF, pasando por procesos de certificación forestal y cadena de custodia (Sotela y Ugalde 2008).

En la década de 1970 no existían los planes de manejo forestal como instrumento oficial de control y manejo de la extracción de madera sino, simplemente, un permiso de corta. Esa forma de extracción de madera era el principal proveedor de bienes maderables en Costa Rica. En la década de 1980, se incorporó el inventario forestal como instrumento de control para efectos del pago del impuesto forestal, y en la segunda mitad de la década, con la Ley 7032, se introdujeron los planes de manejo para el aprovechamiento de bosques naturales. Hasta 1986, el cambio de uso de la tierra con cobertura boscosa era permitido en terrenos de aptitud agrícola (Soto 2000).

En 1996 se publicó la Ley 7575, la cual incluyó el estándar de sostenibilidad del manejo de bosques y el proceso de certificación forestal en Costa Rica. Ese mismo año se registró la tasa de reforestación más alta en la historia de Costa Rica. Sin embargo, esa tasa de reforestación que rondaba 9000 ha/año en los años 90 pasó a menos de 3000 ha/año en el 2005. Actualmente ha llegado a niveles que no garantizan la sostenibilidad del proceso, ni son atractivos para atraer inversiones en reforestación e industrialización, a pesar de que el Estado ha asignado recursos financieros del Programa de Pago por Servicios Ambientales para cubrir unas 6000 ha anuales. Sotela y Ugalde (2008) aseguran que la oferta de madera proveniente de bosques naturales cosechada mediante planes de manejo legalmente autorizados disminuyó desde 475.000 m<sup>3</sup> de madera en rollo en 1994, a unos 50.000 m<sup>3</sup> en los últimos siete años (entre el 5% y 8% de la oferta). La madera proveniente de terrenos de uso agropecuario, que hasta el

2002 fue la principal fuente de materia prima (hasta el 71% del total), se redujo considerablemente y ahora equivale al 30% del volumen consumido.

Esos datos coinciden con lo reportado por la Oficina Nacional Forestal. A partir de 1998, el volumen de madera proveniente de bosques naturales manejados comenzó a decrecer significativamente: 248.362 m<sup>3</sup> en 1998, 56.878 m<sup>3</sup> en 1999 (Arce y Barrantes 2004). La madera proveniente de terrenos de uso agrícola aumentó a partir de 1998, hasta alcanzar su valor máximo en el año 2001 (673.426 m<sup>3</sup> rollo) (Arce y Barrantes 2004), cuando empezó su descenso hasta llegar a niveles no sostenibles. En esta situación ha jugado un papel importante la “Estrategia de control de la tala ilegal” implementada por el SINAC (Sotela y Ugalde 2008). Según proyecciones de Arce y Barrantes (2004), a partir del año 2007 alrededor del 60% de la madera demandada en Costa Rica no podría ser provista por la producción nacional.

Los terrenos de uso agropecuario sin bosque, que desde mediados de la década de 1990 y hasta el 2002, fueron la principal fuente de madera, ocupan ahora el segundo lugar (unos 275.000 m<sup>3</sup> anuales). Un alto porcentaje de esas áreas correspondían a bosques recién socolados y convertidos a potreros para facilitar el acceso a la madera de los bosques (Arias 2002) y al mismo tiempo, cambiar el uso de la tierra a sistemas menos restrictivos que el forestal.

Barrantes y Salazar (2008) afirman que la oferta de madera proveniente de terrenos de uso agropecuario (potreros) representa el 19%, según datos oficiales; extraoficialmente, sin embargo, se estima una oferta de hasta el 30% pues los sistemas silvopastoriles tienen un gran potencial. Scheelje (2009) considera que los problemas de legislación implícitos en la Ley Forestal 7575 y su reglamento afectan el desempeño del sector forestal de Costa Rica, desvalorizan la madera y disminuyen su oferta con el tiempo. Entre esos problemas menciona ambigüedades y contradicciones que no permiten la ejecución de la ley en forma sencilla y eficiente, y la poca claridad de manuales y guías en cuanto a los trámites necesarios para la solicitud de permisos de aprovechamiento de árboles en fincas agropecuarias.

### **Panamá**

Panamá, al igual que el resto de países de Centroamérica, poseía inmensas masas boscosas que, con el paso de los años, se han ido reduciendo con gran rapidez. En la década de 1980 existían 3,5 millones de hectáreas de bosques, pero en 1992 ya se habían perdido 200.000 ha. Sin embargo, la tasa de deforestación del periodo 1986-1992 permite estimar una cobertura boscosa de 2.440 millones ha en el 2010. Las cifras sobre deforestación indican un proceso de transformación progresiva en el uso de la tierra. Según los datos de cobertura boscosa y las relaciones entre diferentes periodos, se puede afirmar que la destrucción del bosque supera las 50.000 hectáreas anuales, lo que refleja un comportamiento a la baja en la cobertura boscosa.

Según el sistema de clasificación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-SCS), alrededor del 25% de los suelos panameños

Los problemas de legislación implícitos en la Ley Forestal 7575 y su reglamento afectan el desempeño del sector forestal de Costa Rica, desvalorizan la madera y disminuyen su oferta con el tiempo.

son de aptitud agropecuaria y el 75% (5,7 millones ha) son de vocación forestal y agroforestal, por sus condiciones naturales de topografía, suelo, clima y/o razones socioeconómicas. Sin embargo, casi el 40% de las tierras se encuentran bajo uso agropecuario; o sea que más de un millón de hectáreas se encuentran bajo cobertura agropecuaria que no corresponde a su capacidad potencial. Este es un indicador evidente del uso inadecuado de los suelos.

Panamá tiene un consumo estimado de madera de 70-90 mil m<sup>3</sup> anuales, sin considerar otros consumos menores no registrados, como la madera de uso artesanal y la leña. Esta situación, sumada a la expansión de la frontera agrícola por la colonización desordenada e incontrolada, incide directamente en la reducción de los escasos bosques existentes.

El alto consumo de madera y la expansión de la frontera agrícola por la colonización desordenada e incontrolada inciden directamente en la reducción de los escasos bosques existentes en Panamá.

La Ley Forestal de Panamá (Ley 1 1994) y su Reglamento (05-98) establece las normas para el manejo y aprovechamiento de productos forestales madereros a nivel nacional según el siguiente régimen:

- Bosques naturales en tierras de propiedad privada
- Permisos para aprovechamientos especiales (árboles individuales) a personas naturales o grupos organizados conforme a la Ley, en bosques y áreas naturales estatales y privadas
- Aprovechamiento de plantaciones forestales del Estado por administración directa o delegada
- Concesiones forestales en bosques naturales propiedad del Estado por adjudicación directa (menores de 5.000 ha) o por licitación pública (las de mayor tamaño)
- Proyectos de desarrollo y actividades humanas en bosques y áreas naturales

La legislación forestal panameña no contempla explícitamente los SAF.

### 12.2.2 Marco jurídico y político para el aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias

Cada uno de los siete países de Centroamérica cuenta con un marco jurídico y político. Las leyes, reglamentos y documentos de política concernientes al sector forestal y ambiental -y, específicamente, los relacionados con el componente arbóreo en fincas ganaderas- se resumen en el Cuadro 12.4.

**Cuadro 12.4.** Marco jurídico y político para el aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias en los siete países de Centroamérica

Guatemala	Belice	Honduras	El Salvador	Nicaragua	Costa Rica	Panamá
Constitución de la República (1985)	Ley Forestal (Forest Act) (1927)	Constitución de la República (Decreto 131-82)	Constitución de la República (Decreto Legislativo 56)	Constitución de la República (1987)	Ley Forestal No 7575 (1996)	Constitución Política de la República (reformada en 1978, 1983 y 1994)

Ley Forestal (Decreto 101-96)	Ley Forestal Subsidiaria (Forests Act Subsidiary) (1927)	Ley forestal, áreas protegidas y vida silvestre (Decreto 98-07)	Ley Forestal (Decreto 852)	Ley de organización, competencia y procedimientos del Poder Ejecutivo (Ley 290-1998)	Decreto No 25721-Minae (1997): Reglamento a la Ley Forestal	Ley No. 1 Legislación Forestal (1994)
Reglamento de la Ley Forestal (Resolución JD-INAB No. 1.43.05)	Ley de protección al chicle (Chicle Protection Act) (1935)	Ley de creación de la Escuela Nacional de Ciencias Forestales Esnacifor (Decreto 136-93)	Reglamento de la Ley Forestal (Decreto 33-2004)	Ley general del medio ambiente y los recursos naturales (Ley 217-1996)	Decreto No 26870-Minae: Reglamento para regentes forestales	Ley de medio ambiente (1998)
Reglamento Pinfor. (Resolución JD-INAB No. 1.01.2007)	Ley de bosques privados (Private Forests Conservation Act) (1945)	Ley de bosques nublados (Decreto 87-87)	Política Forestal (MAG 2002)	Política Ambiental (Decreto 25-2001)	Decreto No 33826-Minae (2007): Ratificación del plan nacional de desarrollo forestal y organización del Sirefor	
Reglamento transporte productos forestales (Resolución JD-INAB No. 1.13.2004)	Ley de protección contra incendios forestales (Forest Fire Protection Act) (1962)	Ley del Colegio de ingenieros forestales (Decreto 69-89)	Manual de procedimientos técnicos (2005)	Ley de desarrollo y fomento del sector forestal (Ley 462-2003)	Decreto No 29147-Minae (1996): Modificación del artículo 26 del Reglamento a la Ley Forestal	
Normativa interna INAB: aprovechamiento de árboles aislados en potreros	Ley de la industria de la madera (Timber Industry Act) (1955)	Ley del Colegio de profesionales forestales (Decreto 70-89)	Ley ambiente y los recursos naturales (2005)	Reglamento de la Ley Forestal (Decreto 73-2003)	Decreto No 27925-Minae (1999): Modificación del artículo 89 del Reglamento a la Ley Forestal	
Ley MARN (Decreto 90-2000)	Ley de áreas protegidas (Protect Areas Conservation Trust Act) (1996)	Ley de Municipalidades (Decreto 134-90 y sus reformas: Decreto 48-91)	Política de criterios e indicadores para el manejo forestal sostenible a nivel nacional y de unidad de manejo forestal	Política de desarrollo forestal (Decreto 50-2001)	Decreto No 29084-Minae (2000): Creación de la Comisión Agroforestal Nacional	
Código Municipal (Decreto 12-2002)	Ley de sistemas de parques nacionales (National Parks System Act) (1982)	Ley para la modernización y el desarrollo del sector agrícola (Decreto 31-92)		Ley especial de delitos contra el medio ambiente y los recursos naturales (2005)	Decreto No 25700-Minae (1997): Veda de 18 especies forestales	
Política Forestal de Guatemala (1999)	Ley de vida silvestre (Wildlife Protection Act) (1982)	Ley general del ambiente (Decreto 104-93)		Reglamento de incentivos forestales (Decreto 104-2005)	Decreto No 34072-Minae: Aumento al tope presupuestario del Fondo Forestal 2007	
	Ley de mediciones forestales (Measures of Wood Act) (1910)	Ley para el desarrollo rural sostenible (Decreto 12-00 y su reglamento Acuerdo 1036-00)		Ley de veda del corte, aprovechamiento y comercialización del recurso forestal (Ley 585-2006)	Decreto No 34599-Minae: Estándares de sostenibilidad para manejo de bosques naturales	

Política forestal la Honduras Británica (Forestry policy of British Honduras) (1945)	Ley de ordenamiento territorial (Decreto 180-03)		Resolución Administrativa No 81-2007	Decreto no 27240-Minae (1996): Guías de transporte	
	Ley de propiedad (Decreto 82-04)			Manual de procedimientos para PSA (2009)	
	Ley de protección a la actividad caficultora (Decreto 199-95)			Decreto No 35159-Minae (2009): hectáreas disponibles para PSA	
	Ley del Ministerio Público (Decreto 228-93)			Decreto 26748-Minae (1998): sistema de placas para aprovechamiento de productos forestales	
	Aspectos forestales (Decreto 1039-93)			R-SINAC-028-2010 (2010): Manual de procedimientos para el aprovechamiento maderable en terrenos de uso agropecuario y sin bosque y situaciones especiales	
	Reglamento de multas y sanciones (Decreto 1088-93)				
	Reglamento regularización de derechos de población en tierras nacionales de vocación forestal (Acuerdo 16-96)				
	Normas técnicas y reglamentarias para elaboración de planes de manejo forestal en bosques de coníferas, mixtos y plantaciones - Modelo Procafor (Resolución GG-057-95)				
	Normas técnicas y reglamentarias para la elaboración de planes de manejo forestal en bosques latifoliados y coníferas				
	Certificación de plantaciones forestales, manejo y aprovechamiento (Resoluciones AFE-Cohdefor GG-548-96 y GG-116-97)				
	Metodología para la elaboración del plan de manejo de finca SAF-DICTA-AFE-Cohdefor/ACDI (sin resolución de Gerencia)				

### Guatemala

Gracias a la visión y promulgación de nuevas leyes y políticas, así como a cambios institucionales recientes, el sector forestal en Guatemala ha avanzado mucho en los últimos 15 años. Se han dado cambios positivos en programas y proyectos forestales y ambientales que se traducen en la reducción de la tasa de deforestación de 900 km<sup>2</sup>/año en las décadas de 1980 y 1990, a 500 km<sup>2</sup>/año del 2000 al 2005 (Rodas y Gálvez 2005). La cobertura forestal de Guatemala se sigue manteniendo relativamente alta (alrededor del 36% del territorio); además, entre 1974 y 2004, se incrementó el establecimiento de plantaciones forestales (unos 710 km<sup>2</sup>, y 500 km<sup>2</sup> más de *Hevea brasiliensis*). El área bajo manejo de bosques naturales también se incrementó significativamente, ya que pasó de 500 km<sup>2</sup> antes de 1994 a cerca de 6.000 km<sup>2</sup> en fincas privadas y áreas comunales en el 2004; asimismo, como resultado del involucramiento de comunidades e industrias forestales en el manejo forestal, el bosque natural está mucho más protegido (Revolorio 2004, PAFN 2003, Rodas y Gálvez 2005). En general, estas actividades productivas acarrearán un impacto económico positivo para el país y, junto con la política de co-manejo de áreas protegidas, contribuyen a la conservación de la biodiversidad.

Las leyes y políticas del sector forestal guatemalteco permiten el establecimiento y manejo de árboles maderables en fincas agropecuarias, sin necesidad de formular planes de manejo para el aprovechamiento de los mismos. Solamente se requiere que el finquero interesado registre los árboles de regeneración natural y/o plantados para que el INAB le extienda el permiso de aprovechamiento y notas de envío para el transporte de la madera. Sin embargo, hasta ahora no se perciben indicadores de que el sector ganadero esté diversificando sus fincas con árboles maderables que les permitirían incrementar sus ingresos económicos. Esto hace pensar que el sector ganadero desconoce las normativas vigentes.

### Belice

En la época en que Belice era una colonia inglesa, los regidores del país ofrecían grandes concesiones forestales que, por lo general, eran delimitadas por ríos en un área formada por 4,82 km (tres millas) a cada lado del río, bajo el criterio de que el tamaño de la concesión permitía realizar un manejo sostenible. Luego, las concesiones se redujeron considerablemente, y empezaron a otorgarse bajo criterios más políticos y menos técnicos, lo cual debilitó la integración bosque/industria, ya que la superficie no era suficiente para abastecer a la industria en forma permanente y continua (FAO 2004).

Belice aún posee el 61% de su territorio bajo cobertura de bosque latifoliado (FRA 2005), pero la extracción selectiva e ilegal de árboles de alto valor y el creciente cambio de uso de suelo hacia la ganadería, principalmente, hacen que dicha cobertura siga disminuyendo. El Estado es propietario de la mayor parte de los bosques del país y el aprovechamiento se realiza mediante permisos forestales otorgados por el gobierno mediante un proceso de diligencia realizado por el usuario ante el Departamento Forestal (DF). El DF verifica la capacidad que el usuario tiene para aprovechar la madera (a partir de un plan de manejo) y la capacidad que el bosque tiene para suplir la producción contemplada.

Las leyes y políticas del sector forestal guatemalteco permiten el establecimiento y manejo de árboles maderables en fincas agropecuarias, sin necesidad de formular planes de manejo para el aprovechamiento de los mismos.

Para el aprovechamiento forestal en reservas forestales, tierras nacionales y privadas, la Ley cuenta con un listado de especies, diámetros mínimos de corta e impuestos a pagar, ya sea por pie cúbico en rollo o por árbol, dependiendo de la especie. Para *Swietenia macrophylla* y *Cedrela* spp., por ejemplo, el Instrumento Legal N° 56 de 1995 define el impuesto por volumen aprovechado.

Según el Artículo 5° de la Ley Forestal Subsidiaria, las licencias y permisos para el aprovechamiento forestal son:

- Licencia forestal para el aprovechamiento con rendimiento sostenible de madera u otro producto forestal.
- Licencia forestal para el aprovechamiento con rendimiento no sostenible de madera u otro producto forestal.
- Permiso forestal para aprovechamiento de madera u otros productos forestales en un área de salvamento, donde el valor del impuesto de la producción no excede los 1000 dólares beliceños (US\$500).
- Permiso forestal pequeño para aprovechamiento de madera u otros productos forestales, donde el valor del impuesto de la producción no excede los 50 dólares beliceños (US\$25).
- Licencia para el aprovechamiento de chicle (*Manilkara zapota*).

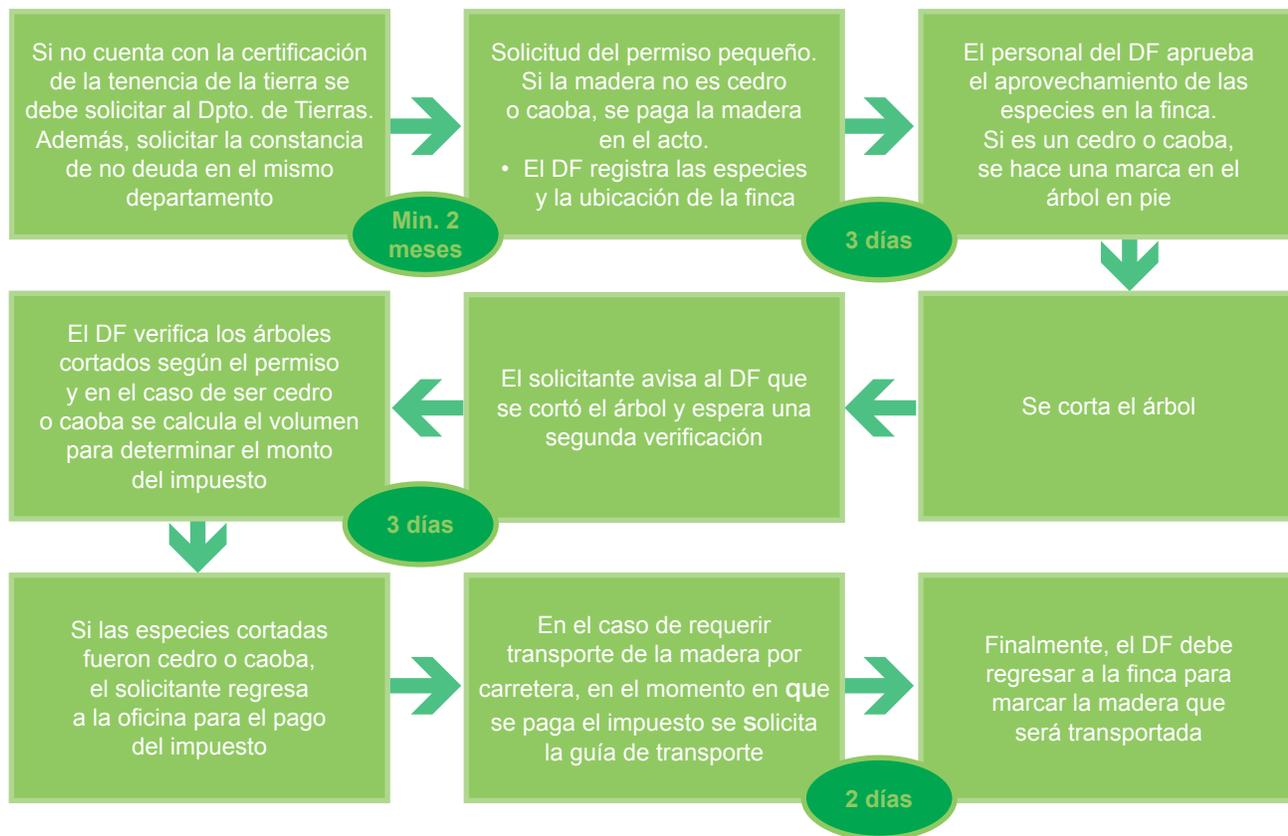
Para el aprovechamiento del recurso maderable en fincas agroforestales no hay una licencia ni permiso específico. A pesar de que el *petty permit* no hace mención al aprovechamiento en SAF, el DF lo otorga a los propietarios ganaderos cuando lo solicitan. Existen requisitos y procedimientos que se deben cumplir para obtener tal permiso; primero que todo hay que demostrar la tenencia de la tierra (sea en tierras privadas o nacionales) y que no se tienen deudas con el Estado. Si se cumple con estos requisitos, cualquiera puede aspirar a un permiso forestal pequeño. Los procedimientos y tiempos requeridos para cada etapa de la solicitud se describen de manera detallada en la Fig. 12.2.

Como una forma de incentivar el manejo forestal en bosques privados y disminuir la tala ilegal, el DF cobra únicamente la mitad del impuesto que se pagaría por el mismo aprovechamiento en bosques nacionales.

A fin estimular el aprovechamiento forestal en tierras privadas y disminuir la tala ilegal, el DF cobra únicamente la mitad del impuesto que se pagaría por el mismo aprovechamiento en tierras nacionales. Por ejemplo, para cortar un árbol de *Tabebuia rosea*, un productor debería pagar un impuesto de US\$8,5 por árbol (independiente de su volumen). Con esta política de reducción de impuestos en tierras privadas, este productor solo paga un impuesto de US\$4,25 por árbol aprovechado.

### **Honduras**

En Honduras, el marco político-legal relacionado con el sector forestal es muy amplio. Las numerosas leyes, reglamentos y normativas que tienen incidencia en ese sector, a menudo generan ambigüedades y controversias. A pesar de la amplitud del marco político-legal hondureño, ninguna ley hace mención a los SAF y/o SSP, como sistemas de producción que puedan contribuir con la economía forestal del país.



**Figura 12.2.** Procedimiento para la obtención de un permiso forestal pequeño (*petty permit*) para el aprovechamiento de árboles en fincas agropecuarias en Belice

Los altos costos de acceso a la legalidad desmotivan a los propietarios y a la industria maderera por el aprovechamiento legal del recurso maderable; además, la gran cantidad de trámites y el largo tiempo que demora el proceso de obtención de un permiso de aprovechamiento fortalecen aun más la negativa a hacer las cosas según lo dicta la ley. Un plan de manejo, por ejemplo, aparte del costo económico, implica meses de trabajo y múltiples visitas a las oficinas estatales.

Todo tipo de aprovechamiento forestal con fines comerciales está sujeto a la elaboración de un plan de manejo forestal cuya vigencia corresponde, como mínimo, al periodo de rotación de la cosecha (Decreto 98-07, Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre). Para obtener la aprobación de un plan de manejo para el aprovechamiento forestal, el beneficiario debe cumplir con un engorroso y lento proceso de aprobación. En la Fig. 12.3 se esquematizan los principales pasos que conlleva ese proceso de aprobación (Chavarría 2010).

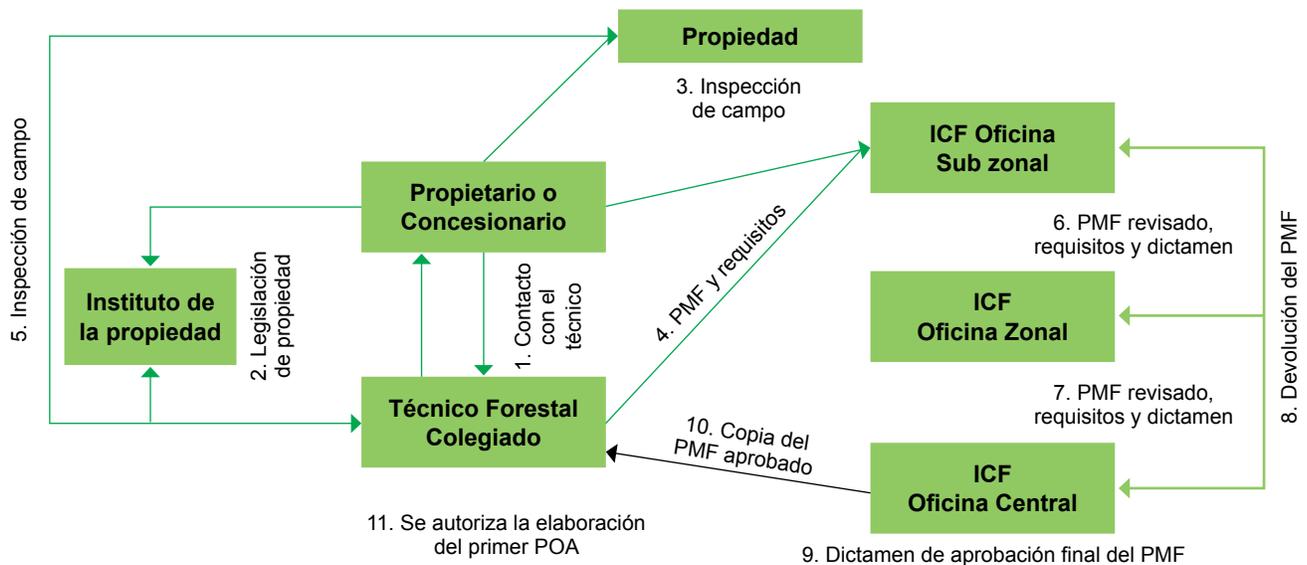
A medida que las áreas y volúmenes de madera a extraer disminuyen, los costos de acceso a la legalidad aumentan. Esta situación es aun más seria para los pequeños productores. El marco legal que cubre al sector forestal hondureño no ofrece un tratamiento preferencial a los pequeños productores agropecuarios

A pesar de la amplitud del marco político-legal hondureño, ninguna ley hace mención a los SAF y/o SSP, como sistemas de producción que puedan contribuir con la economía forestal del país.

o forestales. Es prácticamente imposible que los pequeños productores paguen regencias forestales, y bastante difícil es que los medianos productores paguen regencias forestales y estudios de impacto ambiental.

La actual legislación forestal de Honduras no hace diferencia entre los permisos para aprovechamiento de árboles maderables en SAF y bosques naturales y exige los mismos requisitos para ambos, incluyendo un estudio de impacto ambiental. Mientras no se desarrolle un instrumento de política que facilite el aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias, cualquier finquero ganadero o agricultor que quiera aprovechar los recursos arbóreos de su finca en forma comercial, deberá elaborar obligatoriamente un plan de manejo y someterlo a la aprobación del ICF. Por otra parte, -y para agravar la situación- los productores ganaderos desconocen los trámites que deben seguir para el aprovechamiento comercial de árboles maderables en sus fincas.

Como se observa en la Fig. 12.3, una vez que el propietario o concesionario tiene la escritura y/o título de la propiedad donde se realizará el aprovechamiento forestal, debe contratar un técnico forestal colegiado para que elabore el plan de manejo forestal (PMF) (Paso 1). Por medio de un abogado se tramita la legalización del terreno en el Instituto de la Propiedad para comprobar que todo lo referente a la propiedad es legal, no hay conflictos de tenencia ni deudas por impuestos (Paso 2). Este paso tarda generalmente entre 20 a 30 días. Una vez legalizada la tenencia de la tierra, el propietario y/o técnico forestal solicitan al ICF, por medio del apoderado legal (abogado), la autorización para la elaboración del PMF. Una vez recibida, el técnico forestal procede a elaborar el PMF (Paso 3). Las fases de campo y oficina para la elaboración del PMF pueden tardar entre 20 a 30 días, dependiendo del tamaño del área a manejar.



**Figura 12.3.** Procedimiento para solicitar un permiso de aprovechamiento de madera en sistemas agroforestales en Honduras  
Fuente: Chavarría (2010)

Cuando ya se tiene preparado el PMF, empieza el proceso de aprobación. El técnico forestal y/o el propietario entregan el PMF, junto con los requisitos, a la oficina subzonal del ICF (Paso 4). Los encargados en la oficina subzonal revisan junto con el técnico forestal el documento y hacen las correcciones pertinentes. Asimismo, se programa una visita de inspección a la propiedad para corroborar en campo lo descrito en el PMF. Este paso puede tardar entre 20 y 30 días (Paso 5). Después que la oficina subzonal ha realizado la revisión e inspección en campo, da un dictamen de aprobación y pasa el documento y requisitos a la oficina zonal del ICF. Allí se hace una nueva revisión del documento; si se encontraran fallos, se le devuelve a la oficina subzonal para las respectivas enmiendas (Paso 6). Este paso puede tardar entre 10 y 15 días. Una vez revisado y aprobado en la oficina zonal, se emite un dictamen de aprobación y el PMF es pasado a la oficina central del ICF (Paso 7) para una revisión final. Si ICF no aprueba el PMF, este es devuelto a la oficina zonal y subzonal para que el técnico responsable haga las enmiendas correspondientes (Paso 8). Este paso puede tardar entre 20 y 30 días. Finalmente, cuando la oficina central da el dictamen final de aprobación (Paso 9), el PMF es entregado al técnico encargado y/o propietario (Paso 10). El ICF debe explicar tanto al técnico como al propietario las implicaciones y responsabilidades que conlleva la ejecución del PMF.

Entre la elaboración del PMF y su aprobación han transcurrido de 3 a 4 meses y recién ahora el propietario recibe la autorización para elaborar el plan operativo anual (POA) (Paso 11). El proceso de aprobación del POA sigue pasos similares que la aprobación del PMF e, igualmente, se tarda entre 3 a 4 meses. Esto quiere decir que la obtención de un permiso de aprovechamiento forestal con fines comerciales (forestal o agroforestal) demora entre 6 y 8 meses. Hay que destacar, además, que en los pasos descritos anteriormente participan muchos actores y se dan procedimientos secundarios y/o complementarios para culminar el proceso. En total, participan alrededor de 20 actores y se dan más de 40 procedimientos en el proceso de legalización del aprovechamiento forestal con fines comerciales (Chavarría 2010).

### **El Salvador**

En general, el marco legal que gobierna al sector forestal salvadoreño promueve y estimula la incorporación de árboles en SAF con fines de aprovechamiento comercial. En la Ley Forestal y su reglamento se definen los SAF y se establece que cualquier finquero que quiera aprovechar el recurso forestal existente en SAF dentro de su finca no requiere de permiso alguno.

La ley salvadoreña es muy racional y benevolente. Por ejemplo, si un propietario desea aprovechar especies vedadas, solo debe demostrar que fueron plantadas y el Servicio Forestal emitirá el permiso correspondiente. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) impulsa el manejo forestal sostenible mediante apoyo directo a los pequeños productores, especialmente a aquellos de escasos recursos, para la elaboración de planes de manejo. La ley ofrece a los pequeños productores agropecuarios y forestales un tratamiento preferencial

La obtención de un permiso de aprovechamiento forestal con fines comerciales (forestal o agroforestal) demora entre 6 y 8 meses.

El MAG impulsa el manejo forestal sostenible mediante apoyo directo a los pequeños productores, especialmente a aquellos de escasos recursos, para la elaboración de planes de manejo.

real dentro del marco legal vigente, por medio del MAG como la institución encargada de dar asesoría técnica, capacitación y apoyo.

El potencial del país para la producción y manejo sostenible del recurso maderable en SAF es amplio. La asistencia técnica que el MAG ofrece para el aprovechamiento de árboles maderables en SAF facilita las cosas y reduce los costos, por lo que está al alcance económico de un pequeño productor. Asimismo, los trámites para obtener el permiso de aprovechamiento son sencillos y se realizan en las oficinas regionales de la Dirección General Forestal Cuencas y Riego (DGFCR) (Fig. 12.4). Los costos en los que incurre el productor son básicamente el transporte desde la comunidad hacia las oficinas (dos visitas), fotocopias de documentos personales, fotocopia de títulos legales de la propiedad o parcela y guías de transporte. El apoyo de los técnicos de la DGRCR/MAG es totalmente gratuito.

A pesar de lo anterior, informaciones aisladas indican que la aprobación de un permiso para el aprovechamiento de madera llega a demorar hasta ocho meses debido a que se siguen aplicando procedimientos administrativos establecidos en la anterior ley forestal, ya derogada. Por otra parte, el MAG no cuenta con guías técnicas o manuales de procedimientos para la tramitación de permisos de transporte y comercialización de madera.

Los pasos que debe seguir un productor son los siguientes:

- El productor presenta la solicitud de aprovechamiento de madera en fincas agrícolas ante la oficina regional de la DGFCR/MAG. El agente forestal junto con el productor completan la solicitud.

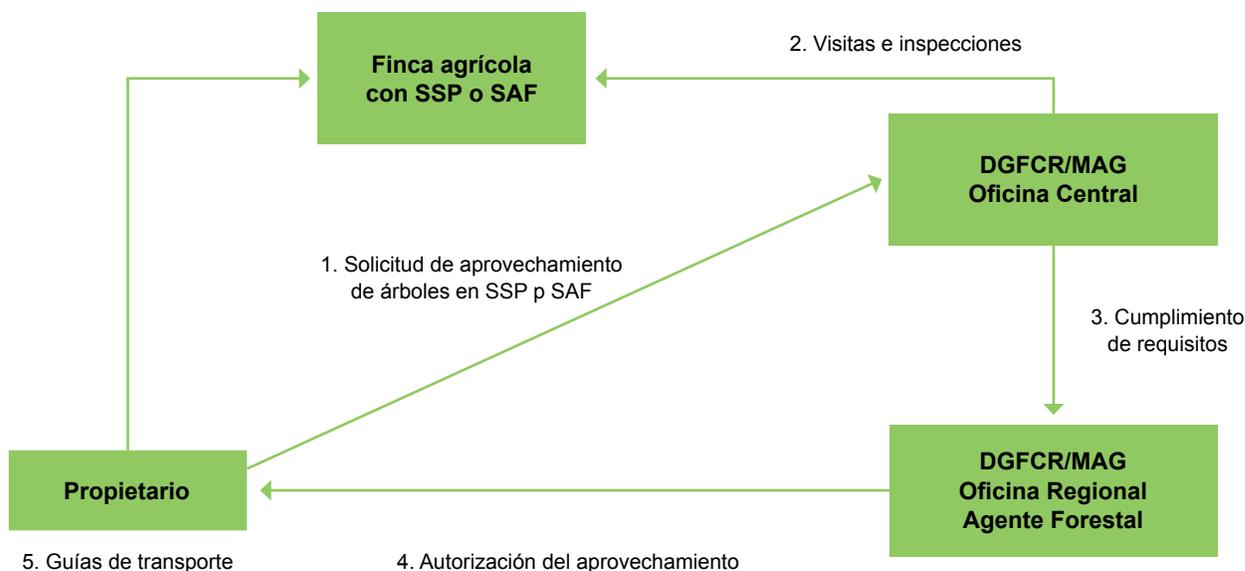


Figura 12.4. Procedimiento para la obtención de un permiso de aprovechamiento de madera en sistemas agroforestales en El Salvador

- El técnico programa una visita de campo con el productor para verificar los requerimientos e identificar los árboles que serán aprovechados.
- Luego de la visita, el técnico da el visto bueno para el aprovechamiento de los árboles maderables. Si no se cumple con la normativa o regulaciones forestales, el técnico da recomendaciones para subsanar los problemas.
- La DGFCR/MAG extiende la autorización de corta al productor y las guías de transporte para movilizar el producto al mercado.

En el caso de SAF con cultivos permanentes, como café u otros, el Artículo 17 de la Ley Forestal faculta el aprovechamiento de árboles maderables sin ninguna restricción, siempre y cuando se reúnan los requisitos para la obtención del permiso y las guías de transporte.

### Nicaragua

La Ley de Desarrollo y Fomento del Sector Forestal (Ley 462-2003) creó espacios positivos para el aprovechamiento de los recursos arbóreos en fincas agropecuarias; sin embargo, no se ha logrado que los miles de finqueros que se podrían beneficiar, se involucren en ese proceso de manejo sostenible de los recursos naturales. La legislación y política forestal vigente presenta algunos elementos novedosos en cuanto a incentivos y espacios para el fomento e investigación agroforestal (y por ende silvopastoril) pero, en términos generales, sigue la misma lógica de las anteriores legislaciones forestales del país. En comparación con las restricciones y cargas administrativas, el fomento a la producción de madera es casi nulo; asimismo, la mayor parte de los incentivos formulados están dirigidos al sector de productores forestales que pertenecen a la economía formal. Con la entrada en vigor de la Ley de Veda en el 2006, la legislación se volvió aún más restrictiva.

Los enfoques conservacionistas abogan por medidas de control del aprovechamiento, transporte y venta de madera más rigurosas. Un enfoque alternativo busca incentivar a los finqueros para que establezcan más árboles en sus fincas, ya sea en plantaciones forestales o SAF, con el fin de reducir la presión sobre los bosques. Sin embargo, este enfoque no tiene mucho peso en la agenda gubernamental ni en los organismos del sector; la política forestal actual y la legislación vigente lo abordan de manera muy periférica. Ni la Ley Forestal ni su reglamento consideran explícitamente a los árboles dispersos en SAF y manejados por pequeños y medianos productores como un recurso forestal.

El Estado nicaragüense ha tenido dificultades para formular y ejecutar una política que fomente la actividad forestal como un componente atractivo para los finqueros. La política forestal sigue dirigida a los dueños de bosques y plantaciones, en un país donde la mayor proporción de madera y leña proviene de miles de fincas que se dedican principalmente a la producción agropecuaria.

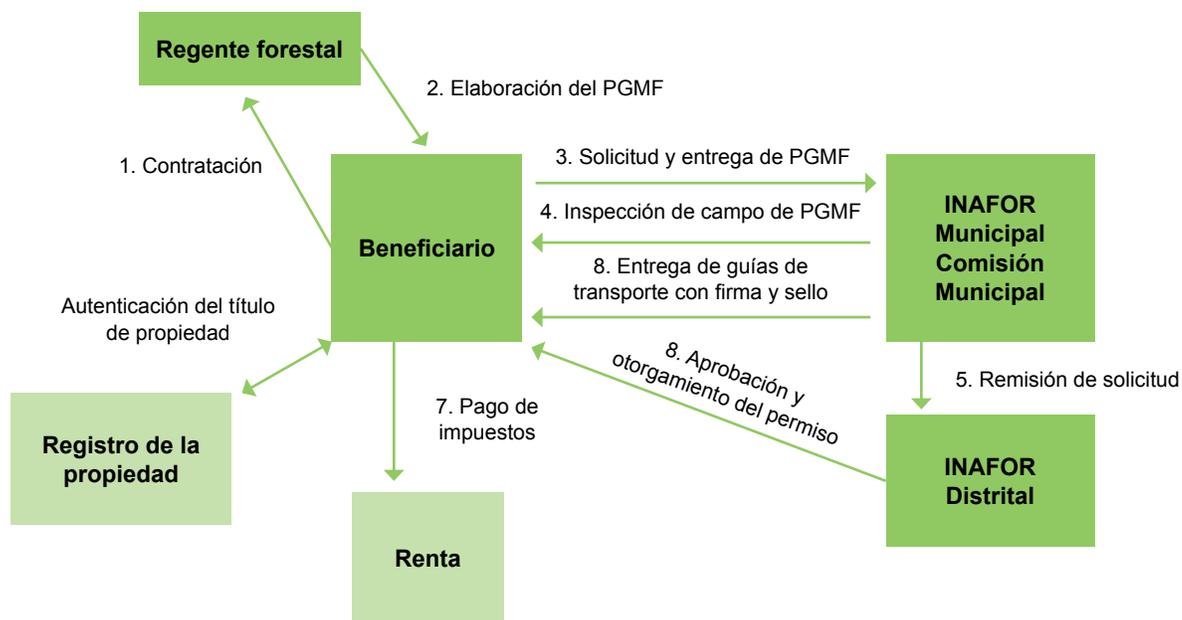
El aprovechamiento forestal en sistemas agrosilvopastoriles está regulado por los Artículos 8, 30, 31 y 32 de la Resolución Administrativa No. 81-2007, la cual establece un volumen máximo de aprovechamiento de 50 m<sup>3</sup> de madera

Ni la Ley Forestal ni su reglamento consideran explícitamente a los árboles dispersos en SAF y manejados por pequeños y medianos productores como un recurso forestal.

en rollo/año. Si se desea aprovechar un volumen superior, la solicitud debe someterse a la Comisión Interinstitucional Municipal Forestal; esta Comisión puede autorizar hasta 200 m<sup>3</sup>, siempre y cuando el aprovechamiento se justifique técnicamente, no atente contra el medio ambiente, ni ponga en peligro la existencia de las especies a aprovechar. Los requisitos que todo solicitante de este tipo de permiso debe presentar ante las oficinas municipales del Instituto Nacional Forestal (Inafor) o del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Marena) en zonas de amortiguamiento son:

- Solicitud escrita del propietario o cesionario dirigida al delegado municipal del Inafor o Marena
- Título de dominio de la propiedad o documento posesorio, declaración jurada o documento de cesión de derechos de aprovechamiento
- Aval de la alcaldía (previa visita de inspección)
- Pago de la inspección técnica
- Compromiso de reposición del recurso forestal
- Plan general de manejo forestal (PGMF) para SAF con áreas mayores a 10 ha (Art. 8)

Para obtener la aprobación del permiso de aprovechamiento en sistemas agrosilvopastoriles (como se denomina a los SAF en las normativas de Nicaragua), el solicitante debe cumplir con un proceso de aprobación, el cual incluye una serie de pasos que se esquematizan en la Fig. 12.5.



Comisión: INAFOR, Alcaldía, C.P.C. (Consejo de Poder Ciudadano), MARENA (en áreas protegidas)

**Figura 12.5.** Procedimiento para obtener un permiso de aprovechamiento de madera en sistemas agrosilvopastoriles en Nicaragua  
Fuente: Entrevistas a personal técnico del distrito Matagalpa-Jinotega del INAFOR.

Para tramitar un permiso de aprovechamiento en un SAF de más de 10 ha, el productor o beneficiario del permiso debe contratar un regente forestal (autorizado por el Inafor) para que elabore el PGMF (Paso 1). Una vez redactado, el PGMF se presenta ante la oficina del Inafor o del Marena en zonas de amortiguamiento, según sea el caso (Paso 2). El propietario de la finca debe gestionar, mediante notario público, la autenticación del título de propiedad ante el Registro Público de la Propiedad con el fin de comprobar que la propiedad es legal, no posee conflicto de tenencia y para demostrar el dominio de la propiedad. Este paso tarda generalmente entre 10 a 15 días, dependiendo de la lejanía del municipio donde se realizará el aprovechamiento respecto de la cabecera departamental donde se encuentran las oficinas.

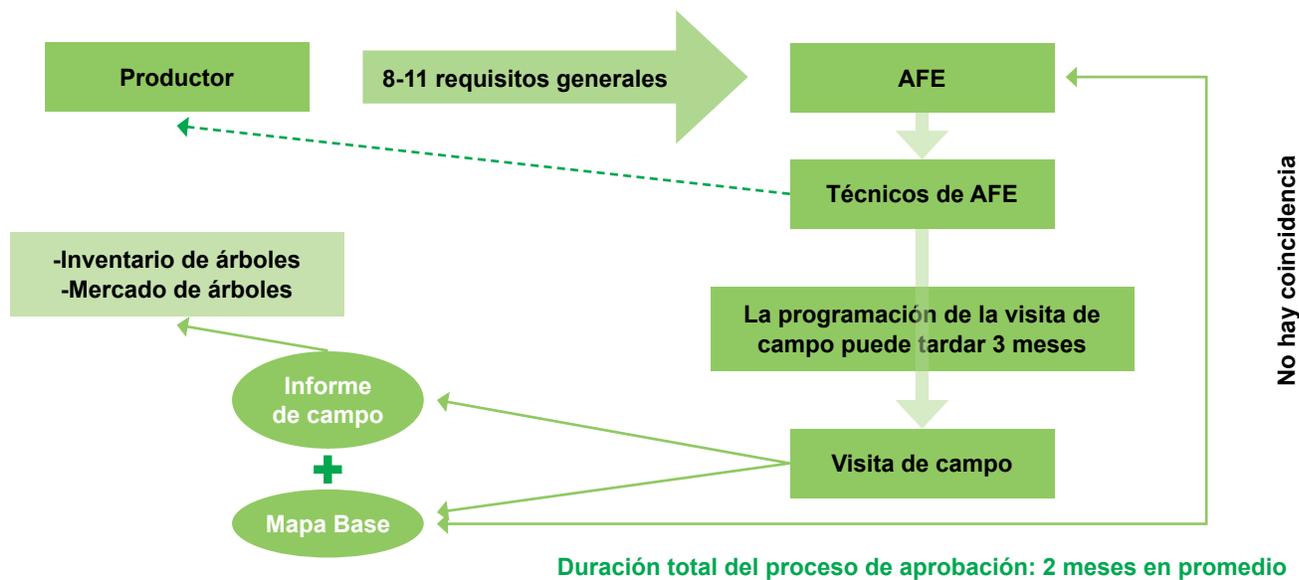
El productor o beneficiario del permiso presenta una solicitud por escrito acompañada del PGMF y del título de propiedad al técnico municipal del Inafor o Marena para su revisión y verificación de los requisitos de ley (Paso 3). Si el PGMF no cumple con los requisitos, o la documentación acompañante está incompleta, el expediente se devuelve para que se corrija o complete la información. En caso contrario, es remitida a la Comisión Municipal Forestal (compuesta por el Inafor, la alcaldía municipal y Marena en zonas de amortiguamiento; si los árboles a aprovechar son parte de un programa de saneamiento fitosanitario, se incorpora también un representante de la Dirección General de Protección Sanitaria Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería). La Comisión Municipal Forestal revisa la documentación y hace una visita de inspección en campo. Si todo estuviese en orden, se aprueba la solicitud y se emiten los avales respectivos (Paso 4). Este paso tiene una duración mínima de 5 a 7 días.

Con el informe de la inspección de campo y el aval de la Alcaldía, el delegado del Inafor municipal remite la solicitud para la aprobación y otorgamiento del permiso (Paso 5), proceso que puede durar entre 5 y 10 días. Una vez aprobado el permiso, se le notifica al solicitante (Paso 6) para que cancele el pago de los impuestos correspondientes en la Oficina de Administración de Renta (Paso 7). Una vez realizado el pago, el delegado municipal del Inafor entrega al beneficiario las guías de transporte firmadas y selladas (Paso 8). En teoría, todo el trámite para recibir un permiso de aprovechamiento forestal se tarda entre 22 y 32 días.

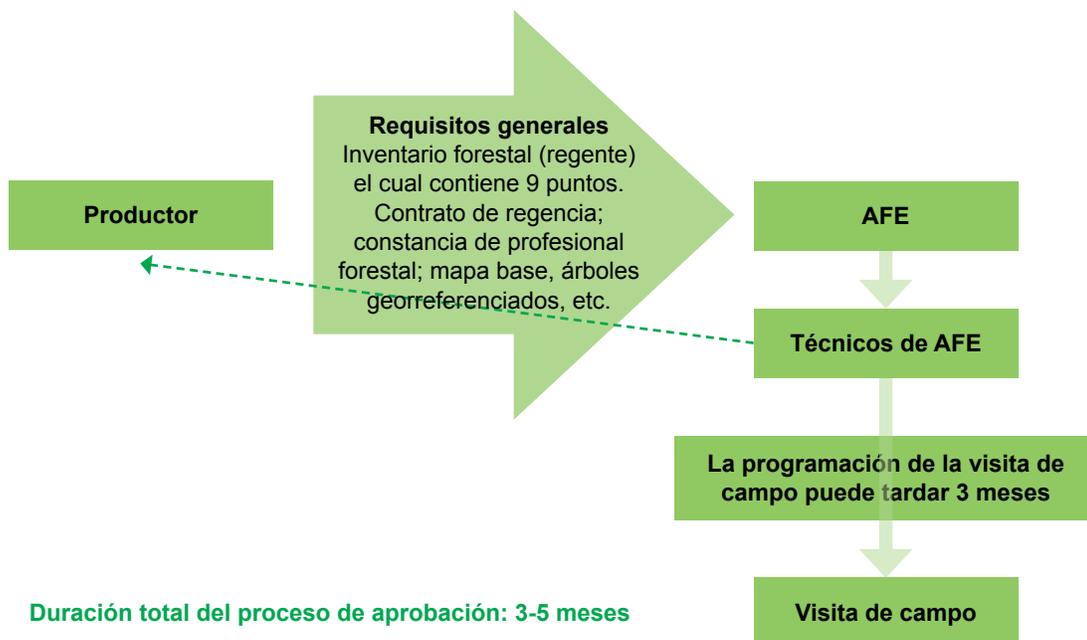
### **Costa Rica**

A pesar de que Costa Rica ha logrado revertir en cierta medida el proceso de deforestación en el país, aún existe una fuerte presión sobre los bosques primarios. Uno de los principales retos del gobierno es la disminución de la pobreza rural; por ello, la utilización de SAF constituye una opción muy prometedora para los pequeños y medianos productores agropecuarios. La simbiosis entre especies arbóreas y/o cultivos y/o ganado permite diversificar la producción e incrementar los rendimientos de los cultivos y de carne y/o leche por los SSP apropiados.

De acuerdo con Scheelje (2009), los pequeños productores pueden aprovechar, sin mayores complicaciones burocráticas, desde tres árboles por hectárea hasta un máximo de 10 árboles/finca/año (Fig. 12.6). Para un aprovechamiento mayor, el finquero debe cumplir con todos los requisitos establecidos por la Ley Forestal 7575 y su reglamento (Fig. 12.7), la cual no facilita los trámites de aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias.



**Figura 12.6.** Procedimiento para obtener un permiso de aprovechamiento de madera en terrenos de uso agropecuario y sin bosque en Costa Rica



**Figura 12.7.** Procedimiento para obtener un permiso de aprovechamiento de más de 10 árboles por inmueble por año

Los pastizales en alrededor de 2,3 millones ha podrían combinarse con árboles para diversificar sus sistemas de producción y mejorar su productividad. Para lograrlo, es necesario revisar la Ley Forestal y otras leyes conexas a fin de resolver ambigüedades y contradicciones entre leyes, facilitar el proceso de inspección por parte de los técnicos forestales y la Administración Forestal del Estado, y simplificar los trámites y cuellos de botella en los manuales de procedimientos para el aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias. Un aumento en el uso de especies arbóreas nativas en los potreros podría contribuir a conservar la biodiversidad e incrementar los ingresos económicos de los productores.

### **Panamá**

Uno de los principales vacíos del marco legal forestal en Panamá es la ausencia de incentivos para la inversión forestal, lo que incide en la baja competitividad del sector. Por ejemplo, el actual sistema de permisos de aprovechamiento del bosque natural limita la inversión de capital en el manejo a largo plazo. Los costos del aprovechamiento forestal (incluyendo SAF) son muy altos por la ausencia de infraestructura adecuada y el alto costo de transporte, que elevan los costos operativos); además, los costos no regulados oficialmente (plan de manejo forestal y planes operativos anuales, estudios de impacto ambiental y estudios de prospección arqueológica, entre otros muchos otros requisitos) encarecen aún más el aprovechamiento en relación con otras actividades agropecuarias. Esto incide en la rentabilidad de la actividad y constituye un desincentivo para el productor promedio del país. La liberalización de los aranceles de importación es un desincentivo adicional a la producción local, debido a la entrada de productos maderables a precios muy bajos.

Para la autorización del aprovechamiento de árboles maderables en sistemas agroforestales se han definido una serie de pasos (Fig. 12.8). El proceso inicia con la inscripción de la plantación agroforestal ante la Autoridad Nacional del Medio Ambiente (ANAM); para ello se debe cumplir con los requisitos generales establecidos por la ANAM y pagar US\$15. Con la plantación inscrita, se presenta la solicitud de aprovechamiento y luego de la inspección del técnico de campo se emite la certificación o resolución que autoriza el aprovechamiento. Este proceso puede tardar, dependiendo de la zona, entre dos y tres meses.

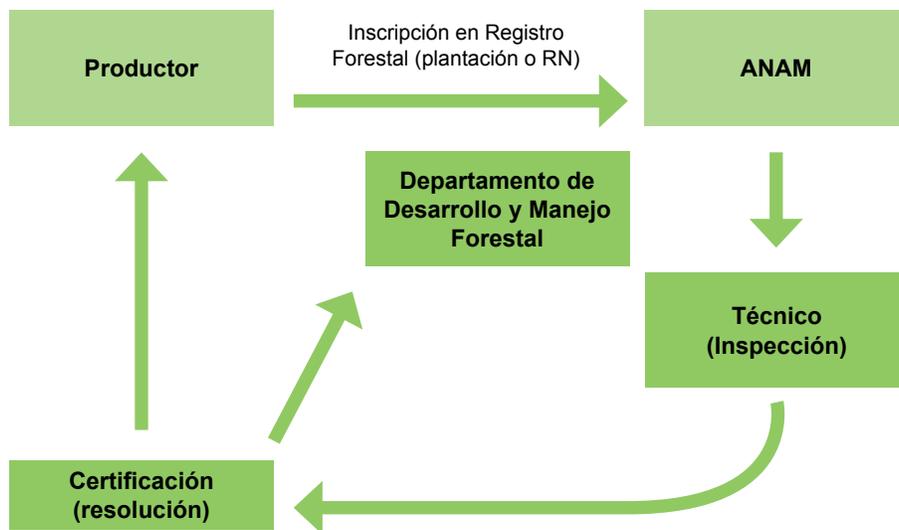
Si se trata de árboles de regeneración natural, los productores se pueden acoger al Art. 454 del Código Agrario, el cual autoriza el aprovechamiento de hasta 24 árboles/año/persona (50% madera dura y 50% madera suave). En este caso los costos son mayores, hay que pagar impuestos y el proceso se demora más de cinco meses (Fig. 12.9).

Cuando se trata de permisos individuales o de subsistencia, al transportarse para el comercio fuera del lugar de origen, la factura de cobro debe acompañarse de copias del permiso de aprovechamiento y de la guía. Ambos formatos guardan relación entre sí para facilitar los controles respectivos. En cada puesto de control se revisa la vigencia del permiso o contrato y se llevan registros de

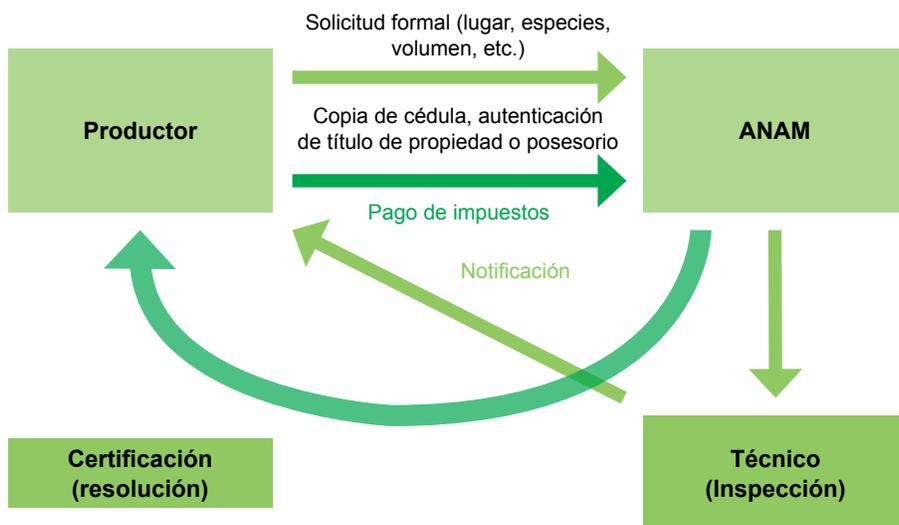
Las políticas conservacionistas del gobierno actual han venido impulsando cambios en la legislación, políticas e institucionalidad forestal, los cuales dificultan cada vez más los trámites para el aprovechamiento de más de 10 árboles maderables/año en fincas agropecuarias.

La actividad forestal en Panamá tiene baja rentabilidad, lo que constituye un desincentivo para el productor promedio del país.

los volúmenes transportados por permiso o contrato, para asegurarse de que no se sobrepasen los volúmenes aprobados.



**Figura 12.8.** Procedimiento para obtener un permiso para el aprovechamiento de madera en sistemas agroforestales en Panamá



**Figura 12.9.** Procedimiento para obtener un permiso para el aprovechamiento de hasta 24 árboles provenientes de la regeneración natural en sistemas agroforestales en Panamá

Cada oficina provincial de la ANAM elabora, mensualmente, un informe regional (un consolidado de las actividades de producción forestal y movilización de productos forestales maderables), el cual envía a la sede central con copia al Departamento de Desarrollo y Manejo Forestal para el registro y seguimiento. Además, se hacen controles o monitoreos a los aserraderos principales y revisiones en carretera a los camiones que transportan madera; en estos controles se hacen algunas remediciones para detectar posibles irregularidades en los procedimientos.

En la sede central de la ANAM se lleva el registro de los permisos de aprovechamiento de árboles individuales, concesiones forestales, permisos comunitarios, privados o especiales y de las guías de transporte otorgadas.

A pesar de que la Ley Forestal de Panamá -y en general todas las leyes que tienen que ver con el sector forestal en el país- no menciona específicamente el tema agroforestal, la Ley de Incentivos para Plantaciones Forestales permite impulsar el desarrollo e incorporación de árboles maderables en fincas agropecuarias. Además, el Art. 454 del Código Agrario permite el aprovechamiento de hasta 24 árboles no plantados/año. Sin embargo, es necesario re-definir el aprovechamiento simplificado de especies maderables provenientes de la regeneración natural en SAF, ya que actualmente, ante el vacío de la ley, se usa el Código Agrario para su aprovechamiento.

### 12.3 Manejo simplificado de árboles maderables en fincas ganaderas de Centroamérica: sostenibilidad y competitividad

Entre los grandes desafíos que la región enfrenta, la disminución de la pobreza rural continúa siendo uno de los principales retos. Sin embargo, las bajas escalas de producción agropecuaria de los pequeños productores centroamericanos difícilmente llegarán a ser rentables si se continúa con las políticas actuales de producción agropecuaria tradicional. Para aumentar los ingresos y mejorar el nivel de vida de los pequeños y medianos productores agropecuarios se necesita poner en marcha estrategias que, entre otros aspectos, diversifiquen la producción e incrementen el valor de la producción (valor agregado).

Una estrategia que puede ser aprovechada por los gobiernos de la región es el manejo simplificado de árboles maderables en fincas agropecuarias. A continuación se analiza dicha posibilidad, la cual debería ser desarrollada en forma coherente con las leyes y políticas forestales y ambientales de cada país centroamericano.

#### 12.3.1 Difusión del manejo simplificado de árboles maderables

El crecimiento de especies maderables provenientes de la regeneración natural en fincas agropecuarias de Centroamérica es un capital natural que, si se le da un manejo adecuado, puede potenciar la producción de madera en la región. Normalmente las fincas agropecuarias están mejor ubicadas en relación con

El crecimiento de especies maderables provenientes de la regeneración natural en fincas agropecuarias de Centroamérica es un capital natural que, si se le da un manejo adecuado, puede potenciar la producción de madera en la región.

la infraestructura de carreteras, puertos, aeropuertos, etc., en comparación con las regiones forestales y, además, los suelos de las fincas agropecuarias por lo general son mejores que los de las zonas catalogadas como 'forestales'. Estas condiciones facilitarían tanto el manejo como el transporte y comercialización de los productos maderables.

En Guatemala, El Salvador, Belice y, en parte en Costa Rica, ya se permite a los productores agropecuarios la producción y aprovechamiento de madera en fincas agropecuarias, sin que medien trámites complicados. Estas experiencias bien se pudieran replicar y validar en los otros países de la región, y constituirse en un gran incentivo para manejar especies arbóreas de regeneración natural (como otro elemento de diversificación de las fincas agropecuarias). Sin embargo, para que este tipo de iniciativas puedan ser sostenibles y competitivas, es necesario que el gobierno de cada país centroamericano se comprometa con este proceso y con el **desarrollo de estrategias a nivel regional que ayuden a fortalecer y empoderar a los pequeños productores**. Entre las estrategias que se debieran desarrollar están:

- La asistencia técnica para mejorar la capacidad de gestión y producción del sector agroforestal con visión de mercado.
- Las cadenas de valor que beneficien principalmente a los pequeños y medianos productores organizados.
- Las líneas de crédito para implementar mejores prácticas agroforestales.
- La creación de alianzas estratégicas para asegurar el manejo sostenible de estos recursos naturales en armonía con el ambiente.
- El fortalecimiento de los procesos de investigación e intercambio y recuperación de experiencias agroforestales a nivel nacional y regional.

De concretarse esta iniciativa, muchos finqueros se interesarían por establecer pequeñas plantaciones forestales o agroforestales para mejorar los rendimientos y productividad de diversos productos maderables. Además, disminuiría la presión que actualmente ejercen los productores agropecuarios sobre los bosques remanentes, pues contarían con sus propios recursos arbóreos en sus fincas.

### 12.3.2 Convenios regionales

Una iniciativa de esta naturaleza exige voluntad política de los gobiernos centroamericanos para proponer acciones que permitan convertir rápidamente el manejo, conservación y desarrollo de los árboles en fincas ganaderas en una herramienta de desarrollo sostenible y en un elemento fundamental para el combate de la pobreza en zonas rurales. Obviamente, la simplificación de trámites para el aprovechamiento de la madera pasa por la implementación de un sistema de monitoreo o auditoría social. Para simplificar este proceso con pequeños productores independientes se puede diseñar una estrategia de capacitación y monitoreo mediante la conformación de agrupaciones o asociaciones gremiales.

El establecimiento de convenios regionales facilitaría aún más este proceso pues, además de permitir un adecuado monitoreo y mayor intercambio de información, se podrían compartir recursos diversos y lecciones aprendidas para el diseño de políticas comunes que fortalezcan el comercio legal de productos maderables provenientes de fincas ganaderas.

### 12.3.3 Certificación del manejo simplificado de árboles maderables en fincas agropecuarias

Al igual que ya se usa la certificación de plantaciones forestales o bosques naturales bajo manejo sostenible, se puede promover en la región una certificación del manejo simplificado y sostenible de árboles maderables en fincas ganaderas. Este tipo de certificaciones no solamente pueden contribuir a facilitar aún más los trámites para los finqueros, sino garantizar la consecución de mejores espacios para mercados cautivos de productos maderables provenientes del manejo sostenible.

## 12.4 Conclusiones

A pesar de que Centroamérica sigue inmersa en un proceso destructivo de sus recursos forestales, ya se han logrado avances importantes en cuanto a la legislación y la institucionalidad ambiental regional, pero queda el sinsabor de que tales avances todavía no se destacan en el terreno.

En Guatemala y El Salvador, el proceso de renovación y simplificación de leyes, reglamentos y políticas ya echó a andar con la implementación de mecanismos simplificados; en Belice, el *petty permit* no implica grandes costos de transacción para los productores. Además, junto con el permiso de aprovechamiento, los productores de estos tres países pueden obtener fácilmente notas de envío o guías de transporte para vender su madera en cualquier mercado local o nacional. Si los productores recibieran una orientación adecuada, podrían lograr mejores precios de venta por su madera dentro de la cadena productiva.

En Costa Rica, el aprovechamiento de hasta 10 árboles/ha/año/finca no requiere de trámites particulares ni implica grandes costos; sin embargo, si se quiere aprovechar más de diez árboles, los trámites se multiplican y, en consecuencia, los costos y el tiempo requerido también.

En Honduras, Panamá y Nicaragua, las leyes, reglamentos y normativas forestales buscan garantizar que se evite el abuso en el aprovechamiento de los recursos maderables; por ello, la legislación es bastante restrictiva y controladora. En consecuencia, los pequeños y medianos productores no pueden cumplir con todos los requisitos que exigen las leyes y, entonces, perciben a los árboles maderables como un estorbo en sus fincas, de los cuales hay que deshacerse a como haya lugar. El aprovechamiento y venta ilegal de la madera se convierte en la norma -y no la excepción- aun a sabiendas de que pierden precio por no vender sus productos en forma legal.

Lo complicado, lento y engorroso de los trámites oficiales para obtener permisos legales de aprovechamiento hace que la ilegalidad campee en el sector forestal centroamericano. En todos los países de la región falta un servicio de extensión forestal que logre incidir en el fomento de la producción de madera en fincas agropecuarias.

Lo complicado, lento y engorroso de los trámites oficiales para obtener permisos legales de aprovechamiento hace que la ilegalidad campee en el sector forestal centroamericano.

## 12.5 Recomendaciones

La diversificación agropecuaria que los países centroamericanos necesitan, pasa por el diseño y fomento de políticas de aprovechamiento simplificado de madera en sistemas agroforestales. Las entidades forestales en cada país deberían elaborar normativas internas que faciliten los trámites a los pequeños y medianos productores que hayan registrado sus plantaciones agroforestales (o sistemas agroforestales tradicionales provenientes de regeneración natural). La meta debe ser que, una vez registrados los árboles presentes en la finca agropecuaria, cuando el productor vaya a hacer un aprovechamiento comercial de madera, los únicos trámites requeridos sean una inspección del recurso forestal que se quiere aprovechar y la emisión de la guía de transporte o nota de envío de productos maderables por el volumen a aprovechar.

Un programa de capacitación dirigido a los pequeños productores agropecuarios, que muestre las bondades del manejo silvicultural de especies maderables en sus fincas de manera legal.

Con el fin de poner en práctica el procedimiento mencionado, en cada país se debería crear un programa de capacitación dirigido a los pequeños productores agropecuarios, que muestre las bondades del manejo silvicultural de especies maderables en sus fincas de manera legal. Además, la formación de capacidades humanas a todo nivel es fundamental para mejorar las condiciones técnicas, financieras y administrativas de los pequeños y medianos productores. Como primer paso, se deberían identificar regiones estratégicas, considerando su potencial de producción bajo sistemas agroforestales, conservación y uso racional de los recursos naturales e impacto social (generación de empleo, combate a la pobreza, estabilización de la sociedad local, seguridad alimentaria de grupos vulnerables, mejoramiento de la calidad de vida e índice de desarrollo humano).

Las instituciones de gobierno deberían acercarse más a los productores en el campo e inclinar la balanza hacia el trabajo más operativo y menos burocrático. Se debería también promover la participación de la población meta en las decisiones relacionadas con el desarrollo agroforestal para fortalecer la capacidad de búsqueda concertada de soluciones apropiadas.

La participación de los productores en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo agroforestal ayudaría a fortalecer la búsqueda de soluciones apropiadas para los problemas que el agro enfrenta en la región centroamericana.

Paralelamente a la creación de mecanismos institucionales para la incorporación de los pequeños y medianos productores a las acciones de producción forestal en sus fincas agropecuarias, se debería diseñar un programa que les permita beneficiarse con la cadena de valor agregado y comercialización. Además, en cada país se deberían elaborar propuestas para la creación de un sistema de incentivos para el establecimiento (o manejo de regeneración natural) de árboles maderables en sistemas agroforestales en general y en sistemas silvopastoriles en particular. Al respecto, se pudieran utilizar los programas de incentivos forestales ya existentes, o crear un sistema específico -por ejemplo, el pago por servicios ambientales con especial énfasis en los pequeños y medianos productores.

## 12.6 Bibliografía

- AFE-Cohdefor (Administración Forestal del Estado – Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal). 2006. El sector forestal de Honduras (en línea). Consultado 14 ago. 2006. Disponible en [http://cohdefor.hn/sector\\_forestal/](http://cohdefor.hn/sector_forestal/)
- Arce, H; Barrantes, A. 2004. La madera en Costa Rica; situación actual y perspectivas. San José, Costa Rica, ONF, SINAC, Fonafifo. 25 p.
- Arias, G. 2002. Mitos y realidades de la deforestación en Costa Rica. San José, Costa Rica, Fundecor. s.n.p.
- Asamblea Nacional (Nic). 2006. Ley 585: Ley de veda para el corte, aprovechamiento y comercialización del recurso forestal. Diario La Gaceta. 3 p.
- Barahona, T. 1997. La política forestal: el tiro por la culata. Revista Envío no.185. Disponible en <http://www.envio.org.ni/artículo/310>
- Barrance, A. 2001. Bosques y pobreza en América Central: un estudio de la demanda para la investigación forestal en Honduras, El Salvador, Guatemala y Nicaragua. Tegucigalpa, Honduras, Proyecto ZF0143, DIFID, Natural Resources International Limited. 87 p.
- Barrantes, A; Salazar, G. 2008. Precios de la madera en Costa Rica 2008. San José, Costa Rica, Oficina Nacional Forestal. 5 p.
- Beer, J; Ibrahim, M; Somarriba, E; Barrance, A; Leakey, R. 2004. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. In Cordero, J; Boshier, D. (Eds.). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, Inglaterra, OFI-CATIE. p. 197-242.
- Boshier, D; Gordon, J; Barrance, A. 2004. Prospects for Circa situm tree conservation in Mesoamerican dry-forest agro-ecosystems. In Frankie, GW; Mata, A; Vinson, SB (Eds.). Biodiversity conservation in Costa Rica: learning the lessons in a seasonal dry forest. University of California Press.
- Brown, D; Schreckenber, K; Bird, N; Cerutti, P; Del Gato, F; Diaw, C; Fomété, T; Luttrell, C; Navarro, G; Oberndorf, R; Thiel, H; Wells, A. 2010. Madera legal: verificación y gobernanza en el sector forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE/RECOFTC/CIFOR/ODI. 358 p.
- Chavarría, A. 2010. Incidencia de la legislación forestal en el recurso maderable de fincas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles de Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 176 p.
- Dembner, SA. 1993. La política y la legislación forestales. Unasylya 175:1-2.
- FAO (Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación). 2011. Situación de los bosques del mundo 2011. Roma, Italia, FAO. 176 p.
- FAO (Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación). 2004. National report Belize. Latin American Forestry Sector Outlook Study Working Paper - ESFAL/N/17, Belize Forest Department and FAO, Rome, 70 p.
- FAO (Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación). 2002. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000; informe principal. Roma, Italia, FAO. 468 p.
- FAOSTAT. 2009. Base de datos estadísticos (en línea). Consultado el 6 nov. 2009. Disponible en <http://faostat.fao.org>
- FRA (Forest Resources Assessment). 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA, sigla en inglés). Roma, Italia, FAO. 350 p.
- Gascon, C; Fonseca da, GAB; Sechrest, W; Billmark, KA; Sanderson, J. 2004. Biodiversity conservation in deforested fragmented tropical landscapes: an overview. In Schroth, G; Fonseca, GAB da; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press. p. 153-197.
- Guatemala, Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG). 1991. Plan de acción forestal para Guatemala; documento base y perfiles de proyectos. Detlefsen Rivera, G; Castañeda Amaya, LA; Oliva Hurtarte, E. (Eds.). Guatemala, PAFG. 227 p.
- Jiménez, MA. 2002. Estado actual de la información sobre manejo forestal. In FAO (Ed.). Estado de la información forestal en Guatemala. Santiago, Chile. p. 153-183.

- Larson, A; Zeledón V. 2004. Lo municipal y lo forestal. ¿Cómo, hacia dónde, para quiénes? Revista Envío no. 267. Managua, Nicaragua, Universidad Centroamericana (UCA).
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, ES). 2002. Política Forestal. San Salvador, El Salvador, MAG. 13 p.
- Noble, IR; Dirzo, R. 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277:522-525.
- PAFN (Programa Forestal Nacional). 2003. Agenda Nacional Forestal de Guatemala en el marco del Programa Forestal Nacional; agenda 2003 –2012. Guatemala, Proyecto FAO-GCP/GUA/008/NET. 49 p.
- Revolorio, A. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina; informe nacional Guatemala. Roma, INAB-FAO. 66 p. (ESFAL No. 10).
- Rodas, OA; Gálvez, J. 2005. Diagnóstico y desafíos sobre la meta del Milenio 9: incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y programas nacionales y revertir la pérdida de recursos del medio ambiente. Guatemala, Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República. 62 p.
- Rosa Cruz, A. 2010. Desafíos de la legislación forestal para el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de El Cayo, Belice. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p.
- Scheelje, JMB. 2009. Incidencia de la legislación sobre el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Costa Rica. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 156 p.
- SECPLAN (Secretaría de Planificación, Coordinación y Presupuesto; AFE-Cohdefor (Administración Forestal del Estado – Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal); SRN (Secretaría de Recursos Naturales). 1996. Plan de acción forestal 1996 – 2015 (PLANFOR); en el marco de la agenda forestal hondureña. Tegucigalpa, Honduras, SECPLAN-AFE-COHDEFOR-SRN/ PROFOR-GTZ. v. 2. 206 p.
- Sotela, J; Ugalde, S. 2008. Desabastecimiento de madera en Costa Rica, perspectiva del sector privado. *In* Organización para Estudios Tropicales. El abastecimiento sostenible de madera en Costa Rica. San José, Costa Rica, OET. p. 41-52.
- Soto, G. 2000. Manejo forestal y conservación de bosques en Costa Rica. San José, Costa Rica, Oficina Nacional Forestal y Proyecto COSEFORMA.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover; cattle, pasture, land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, Costa Rica, CATIE-DANIDA-GTZ. 71 p.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, España y el Estado de Acre en Brasil.



Proyecto Finnfor  
Bosques y Manejo Forestal  
en América Central

