

CURSO

EVALUACION DEL COMPONENTE ARBOREO
Y SU EFECTO EN CAFETALES

11 al 21 de agosto de 1997

CALENDARIO DE ACTIVIDADES

Curso Corto CATIE-PROMECAFE

"Evaluación del componente arbóreo y sus efectos en cafetales"

CATIE, Costa Rica, 11-21 agosto 1997

DIA	FECHA	ACTIVIDAD
Dom	10-08-97	Llegada a Turrialba; tour de instalaciones del CATIE (1500 horas)
Lun	11-08-97	<u>CATIE</u> : Inscripción, bienvenida, presentaciones magistrales y discusiones
Mar	12-08-97	<u>CATIE</u> : Presentaciones técnicas de participantes y discusiones
Mier	13-08-97	<u>CATIE</u> : Presentaciones técnicas: agroforestería, silvicultura, mediciones
Jue	14-08-97	<u>Campo/CATIE</u> : parcelas permanentes (Turrialba)
Vier	15-08-97	<i>libre - opcional: gira al volcán Irazu (medio día)</i>
Sab	16-08-97	mañana: traslado a <u>Cahuita</u> y presentación sobre historia de SAF en Tala/Bocas; tarde: visita del Parque Nacional Cahuita
Dom	17-08-97	<u>Campo</u> : evaluación y atributos de sombra, maderables en linderos (Talamanca, Costa Rica)
Lun	18-08-97	<u>Campo</u> : maderables en ensayos formales (Bocas del Toro, Panamá) y regreso a Turrialba
Mar	19-08-97	<u>CATIE</u> : Presentaciones técnicas: daños en cafetales, evaluación rápida de interacciones, aspectos socio-antropológicos de incluir árboles; análisis, presentación y discusión de prácticas de campo
Mier	20-08-97	<u>Campo/CATIE</u> : Evaluación rápida de interacciones árbol-cafeto (Turrialba)
Jue	21-08-97	<u>CATIE</u> : Conclusion del curso: desarrollo de una metodología uniforme, trabajos futuros y alianzas Cena de despedida
Vier	22-08-97	Salida de Turrialba

FECHA	HORA	ACTIVIDAD	RESPON- SABLE
Lunes 11.08.97	0800-0900	Inscripción	RM
	0900-0930	Apertura del Curso - Bienvenida y objetivos	JA/JB/RM
	0930-1000	Refrigerio	
	1000-1030	Tour del campus del CATIE	PB
	1030-1200	Evaluación financiera de maderables en cafetales	GC
	1200-1330	Almuerzo	
	1330-1530	Interacciones bio-físicas café-árboles (ventajas/desventajas de árboles - ejercicio de clase)	JB
	1530-1600	Refrigerio	
	1600-1700	Edafología de SAF y criterios de sostenibilidad	DK
	1700-1715	Recomendaciones para las presentaciones por país el 12.08.97	RM
Martes 12.08.97	0700-0730	Motivación y objetivos para presentaciones de participantes	JB/RM
	0730-0900	Presentación y discusión: árboles en cafetales de Costa Rica	ICAFE
	0900-0930	Refrigerio	
	0930-1100	Presentación y discusión: árboles en cafetales de Nicaragua	UNICAFE
	1100-1230	Presentación y discusión: árboles en cafetales de Honduras	IHCAFE
	1230-1400	Almuerzo	
	1400-1530	Presentación y discusión: árboles en cafetales de Brazil	IAPAR

	1530-1600	Refrigerio	
	1600-1730	Presentación y discusión: árboles en cafetales de Guatemala	ANACAFE
Miercol. 13.08.97	0700-0800	Conceptos silviculturales relevantes para el manejo de árboles en cafetales	GG/WV/LU
	0800-0900	Métodos para medir maderables	WV
	0900-0930	Refrigerio	
	0930-1030	Conceptos para manejar árboles de sombra en plantaciones de cultivos perennes	ES/RM
	1030-1130	Diseños estadísticos para evaluar el componente arbóreo en cafetales	JB
	1130-1230	Almuerzo	
	1230-1330	Discusión de criterios de selección de la región y del sitio apropiado para establecer ensayos de maderables en cafetales	JB/RM
	1330-1430	Discusión de criterios para la selección de especies maderables a incluir en ensayos de especies en cafetales	JB
	1430-1445	Refrigerio	
	1445-1630	Ejemplos 1: Linderos maderables - conceptos y resultados de un estudio de caso	JB
	1630-1645	Refrigerio	
	1645-1800	Ejemplo 2: Taungya - conceptos y resultados de un estudio de caso	JB
Jueves 14.08.97	0700-0730	Introducción a la práctica	JB
	0730-0800	Traslado a parcelas permanentes con café (Finca Azul, Turrialba)	RM
	0800-1100	Práctica de campo I: Diseño y medición de parcelas permanentes p/ la evaluación de	JB

		maderables de regeneración natural en cafetales	
	1100-1400	Regreso al CATIE y Almuerzo	RM
	1400-1600	Análisis de datos de la práctica	participantes y JB
	1600-1730	Presentación y discusión de resultados	
Viernes 15.08.97	0800-1200	libre (feriado: Día de la madre) opcional: Gira al volcán Irazú (Parque Nacional a 3400 msnm - hace frío!)	RM
Sábado 16.08.97	0800-0900	Charla sobre (1) la historia de SAF en Talamanca, Costa Rica y Bocas del Toro, Panamá y (2) la selección de maderables para los SAF de la región	ES
	0900-1200	traslado Turrialba - Siquirres - Limón - Cahuita- Puerto Viejo	RM
	1200-1330	Almuerzo	
	1330-1800	Visita del Parque Nacional Cahuita y revisión de literatura técnica del curso Noche en Puerto Viejo, Talamanca	participantes
Domingo 17.08.97	0600-0700	Traslado y desayuno en Bribri	RM
	0700-0730	Traslado a Margarita, Talamanca	RM
	0730-1000	Práctica de campo II: Evaluación y atributos de sombra (Margarita)	ES
	1000-1300	Traslado a Guabito, Panamá (paso de la frontera) y almuerzo	RM
	1300-1500	Práctica de campo III: Maderables en linderos (Guabito)	ES/JB
	1500-1530	Traslado a Changuinola, Panamá	RM

	1530-1700	Analisis de resultados del dia Noche en Changuinola	participantes
Lunes 18.08.97	0700-0800	Traslado a Ojo de Agua	RM
	0800-0830	Introducción a la práctica IV: Medición de maderables en ensayos formales (Ojo de Agua)	ES
	0830-1100	Práctica de campo IV:	ES
	1100-1200	Almuerzo en el campo (Sandwiches)	
	1200-1300	Traslado a Charagre	RM
	1300-1400	Visita de ensayo Cacao - Laurel - Plátano (Charagre)	ES
	1400-1800	Regreso a Turrialba	RM
Martes 19.08.97	0700-0800	Daños en cafetales por aprovechamiento de los maderables	ES
	0800-0900	Evaluación de efectos de árboles sobre cafetos	RM
	0900-0930	Refrigerio	
	0930-1030	Aspectos sociales de incluir árboles (aspectos familiares, mano de obra, etc.)	RL
	1030-1200	Analisis y resumen de datos de la práctica III (maderables en linderos)	participantes
	1200-1330	Almuerzo	
	1330-1430	Presentación y discusión de resultados de la práctica III	participantes y ES
	1430-1600	Analisis de datos de la práctica IV (maderables en bloques)	participantes
	1600-1700	Presentación y discusión de resultados de la práctica IV	participantes y ES

Miercol. 20.08.97	0700-0730	Introducción a la práctica V: Evaluación rápida de efectos de árboles sobre café	RM
	0730-0800	Traslado a finca comercial	RM
	0800-1130	Trabajo de campo	participantes
	1130-1330	Regreso al CATIE y <i>Almuerzo</i>	
	1330-1530	Análisis de datos de la práctica	participantes
	1530-1600	<i>Refrigerio</i>	
	1600-1700	Presentación y discusión de resultados	participantes y RM
Jueves 21.08.97	0700-0800	Resumen de actividades y logros; identificación de deficiencias de conocimiento/metodologías	JB/ES/RM
	0800-1000	Taller: Hacia metodologías uniformes: tamaños de parcelas, números de árboles, parámetros a evaluar, identificación de especies promisorias etc.	JB/ES/RM participantes
	1000-1030	<i>Refrigerio</i>	
	1030-1200	Taller continuado	
	1200-1330	<i>Almuerzo</i>	
	1330-1500	Discusión round-table: trabajos futuros y alianzas	JB/ES/RM participantes
	1500-1700	libre	
	1700-1800	Clausura del curso	JB/ES/RM
Viernes 22.08.97		Salida de Turrialba	RM y oficina de capacitación
		opcional: acceso a facilidades del CATIE (p.e., biblioteca) y enlaces profesionales	

**LISTA DE PARTICIPANTES CURSO EVALUACION DEL COMPONENTE ARBOREO Y SUS EFECTOS EN CAFETALES
CATE, TURRIALBA, COSTA RICA, 11-21 AGOSTO, 1997**

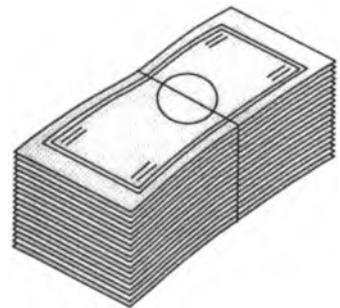
NOMBRE	PAIS	INSTITUCION	DIRECCION
Amílcar Aguilar Carrillo	NICARAGUA	Proyecto CATE/INTA/MIP (NORAD)	Km. 12 ½ , Carretera Sur, 2 km. al noroeste, Managua Tel.: 2657268 Fax: 2657114 caticen@ibw.com.ni
Ramón Mendoza García	Idem	Idem	Idem
Henry Mendoza Vidaurte	NICARAGUA	UNICAFE	Oficina de Extensión de Matagalpa. Tel.: 6122815 Fax. 612 5282
Marco Tulio Duarte Navarro	GUATEMALA	ANACAFE	Oficina Finca Las Flores, Barberena, Santa Rosa Tel.: 8870291-8870292
Florencio Pappa Santos	GUATEMALA	ANACAFE	Oficina Región II Mazatenango, Suchitepequez Tel/Fax: 8721-431
Byron Yury Medina Fernández	GUATEMALA	ANACAFE	5 Calle 0-50-7-14 Ciudad de Guatemala
José Angel Zavala Buechsel	GUATEMALA	ANACAFE	Oficina Regional Coban, Alta Verapaz Tel/Fax: 952-1317
Hugo García Cárcamo	GUATEMALA	FEDECOVERA	Coban Alta Verapaz Fca. Chimax, Guatemala Tel/Fax: 9521035
Alex Carneiro Leal	BRASIL	IAPAR	Caixa Postal 481, Londrina PR, BRASIL Fax: 55-043-376.2000 Fax: 55-043-376.2101 alexleal@pr.gov.br (Oficina) leal@sercomtel.com.br (Residencia)

Miguel H. Sosa López	HONDURAS	IHCAFE	Campamento Olancho Tegucigalpa, HONDURAS Tel. 37-31-30 (31-32) Residencia Tel. 95-4556 (Catacamas, Olancho)
José Leonidas Rivera Rivera	HONDURAS	IHCAFE	San Pedro Sula Tel. Teguc.: 37-3130 (31-32) S.Pedro Sula: 50-0735 50-4994 - 50-3158. Res.: 57-0096 S.P. Sula
Mario A. Ordoñez	HONDURAS	IHCAFE	Santa Bárbara, Honduras Tel: 64-2021
Ronny Alfaro Araya	COSTA RICA	ICAFE	Tel. 238-3651 Fax: 237-1975 Naranjo, Alajuela Tel: 450-0082 Fax: 450-0082
Carlos Fonseca Castro	COSTA RICA	ICAFE	Apdo. Postal 131-3009 Heredia, Costa Rica Tel: 238-3651 Fax: 237-1975
Luis Guillermo Ramírez Mora	COSTA RICA	AGENCIA MAG	Turrialba, Costa Rica Tel: 556-0185
Eliécer Campos Campos	COSTA RICA	ICAFE	Tel.: 260-1874 Fax: 237-1975 Res. Alajuela Tel: 433-8623 Fax: 433-8846
John Beer	INGLATERRA	CATIE	CATIE 7170, Turrialba, C.R. Tel.: 556-1789 Fax: 556-7766 jbeer@catie.ac.cr
Eduardo Somarriba	NICARAGUA	CATIE	CATIE 7170, Turrialba, C.R. Tel.: 556-1789 Fax: 556-1576 esomarr@catie.ac.cr
Reinhold Muschler	ALEMANIA	CATIE/GTZ	Apdo. 126, CATIE 7170 Tel.: 556-6438 Fax: 556-1891 - 556-1533 muschler@catie.ac.cr

Aspectos económicos



En sistemas agroforestales



Introducción

- 
- La función básica del análisis económico agrícola es la de **formular recomendaciones** sobre cual o cuales de las miles de posibles producciones es ventajoso utilizar. Estas recomendaciones surgen de un estudio de rentabilidad o eficiencia de las actividades productivas.

Introducción

- 
- El análisis económico establece si la producción por sus características físicas en un lugar dado tiene potencial. Los factores determinantes son dos:
 1. Aspectos biofísicos (clima, enfermedades, rendimientos, etc).
 2. Precios y uso de factores de producción.

Por qué obtener datos económicos?

- **En el corto plazo:**
para evaluar y determinar en que medida una actividad o insumo es demasiado caro y debe ser modificada



Por qué obtener datos económicos?

- **En el largo plazo:**
para medir el éxito de un sistema agroforestal, así como las ventajas económicas para el productor, la comunidad y el país.



Para qué sirven los datos económicos?

- 
- Para **demostrarle** al productor las ventajas de menores riesgos y mayores ganancias o retribuciones económicas.
 - Para que el productor tome la decisión de si le conviene esperar 15 años para obtener un ingreso forestal, sembrar año a año un cultivo o realizar una mezcla de ambos: agroforestería.

Presupuestos

- 
- **Parciales:** Se ocupa para estimar consecuencias de cambios en los métodos o prácticas que solo afectan parte y no la totalidad de la actividad.
 - **Totales:** Se ocupa para evaluar actividades como un todo.

Presupuestos

- 
- **Costos:** Es el valor en términos monetarios de las cantidades de insumos, materiales o del esfuerzo físico de la mano de obra, utilizados para producir un producto o un servicio.
 - **Ingresos:** Valor monetario del flujo de productos o servicios producidos.

COSTOS VARIABLES

Son costos que varían de acuerdo con el nivel o la cantidad de producción.

Ejemplos:

Costos de: mano de obra
 fertilizantes
 semillas



COSTO MARGINAL

Es el costo requerido para producir una unidad adicional del bien o servicio.

COSTOS FIJOS

Un COSTO es el valor de las cantidades de recursos utilizados para producir un producto o servicio forestal (insumos, materiales y mano de obra).

COSTOS FIJOS

Son los que, en el corto plazo, permanecen inalterables, aunque se varíe la cantidad producida o el período de producción.

Ejemplos:

El salario de un capataz, la depreciación de un edificio, bodega u otros inmuebles utilizados en la producción.

COSTO FIJO TOTAL

Representa la suma de todos los costos fijos de un sistema de producción forestal.

COSTO FIJO PROMEDIO

Resulta de dividir el costo fijo total entre la cantidad de unidades de producto.

COSTOS EN EFECTIVO Y NO EFECTIVO

COSTOS EN EFECTIVO

Son aquellos en los que realmente se incurre en desembolsos monetarios cuando se realiza una actividad de producción forestal y agroforestal.

Ejemplo:

La compra de fertilizantes, semillas, herramientas y otros productos químicos.

COSTOS NO EFECTIVOS

Son aquellos en los que realmente no hay desembolsos monetarios; hay aportes de insumos, materiales y trabajo.

Ejemplos:

El costo por el uso de la tierra propia del productor, el uso de instrumentos o equipos propios, el aporte de la mano de obra familiar, etc.

Estimación de precios

- Precio de mercado
- Precios de sustitutos
- Método de Costo-Precio
- Cambios en la productividad
- Evaluaciones hipótéticas
 - Precios sombra

Precios sustitutos

- Costos o beneficios no tienen valor en el mercado, pero existen sustitutos cercanos.
- **Ejemplos.**
- Precio de madera de melina, es especie muy nueva, y no tiene precio en el mercado, es posible utilizar precio de eucalipto, madera similar.
- Precio sustitutos en el caso de gastos evitados.

Cuando se usan árboles fijadores de nitrógeno, se necesita menos fertilizante, entonces el beneficio es el valor del fertilizante que no se necesitó.

PRODUCTOS FORESTALES Y AGROFORESTALES

Ejemplos:

DIRECTOS

- Madera
- Leña
- Postes
- Tutoros para cultivos
- Cercas
- Soportes para plantas de banano
- Madera para construcción de vivienda rural
- Semilla
- Forraje para ganado
- Medicina
- Fibra para pulpa
- Frutos
- Taninos
- Durmientes
- Otros

INDIRECTOS O SERVICIOS

- Fijación de nitrógeno
- Conservación de suelos
- Sombra para cultivos
- Protección de aguas
- Rompeviento
- Delimitar áreas
- Refugio vida silvestre
- Calidad de aire
- Sombra para humanos
- Belleza paisaje
- Captación de miel de las flores
- Otros

CUANTIFICACION DE PRODUCTOS FORESTALES Y AGROFORESTALES

La cuantificación de productos forestales se puede hacer:

En sistemas forestales:

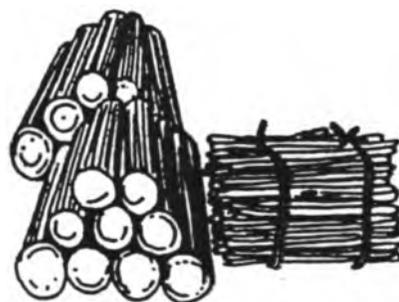
1. Por árbol:

- No. postes/árbol
- No. de tutores/árbol
- M³ de leña/árbol



2. Por unidad de área o longitud (ha, mz, km, etc.)

- No. postes/área (ha,mz,km)
- No. de tutores/área (ha,mz,km)
- M³ de leña/área (ha, mz, km)



3. Por sistemas agroforestales

- Kg de maíz/ha
- Litros de leche/ha
- Otros



VALORACION DE LOS PRODUCTOS FORESTALES Y AGROFORESTALES

Para valorar los productos se requiere determinar:

1. La cantidad de cada uno de los productos.
2. El precio de cada producto.

Para determinar el precio del producto debe tomarse en cuenta su destino:

- Los productos para la venta se valoran a precios de mercado, en el puesto de venta.
- Los productos que se dejan para autoconsumo se valoran a precios de finca.



Integración de la información



■ Beneficios brutos
(B.B.)

Costos totales (C.T.)

- Variables (C.V.) y Fijos
- Efectivos (C.E.) y no efectivos

• Beneficio neto = B.B. - C.T.

• Margen bruto = B.B. - C.V.

• Flujo de gastos = (Beneficios - costos)
en efectivo

• Ingreso familiar = B.B. - (C.T. - Valor M.O. Familiar)

Consideraciones especiales en sistemas agroforestales



Factores:

- Existe una relación física entre dos o más especies de plantas, (competencia o complementariedad)
- Tiempo

Un método de medir la complementariedad es un método llamado equivalencias tierra (ET).

ET se define como la cantidad de tierra necesaria para producir, en monocultivo, los rendimientos obtenidos de dos o más cultivos en forma combinada (Mead y Willey, 1980).

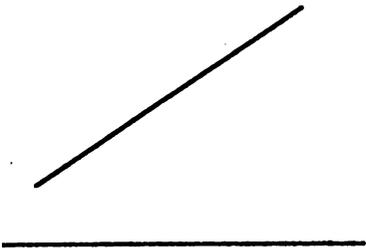
La regla de decisión es:

- 1. Si $ET=1$, da lo mismo producir en forma combinada o en monocultivo,**
- 2. Si $ET > 1$, es mejor producir en forma asociada, y**
- 3. Si el $ET < 1$, es mejor producir en monocultivo.**

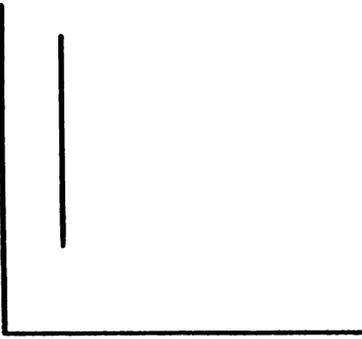
Tipo de relación según literatura ecológica

Tipo de relación	Componente	Otro componente
1. comensalismo	+	0
2. amensalismo	-	0
3. parasito	+	-
4. inhibitorio	-	-
5. sinergismo	+	+

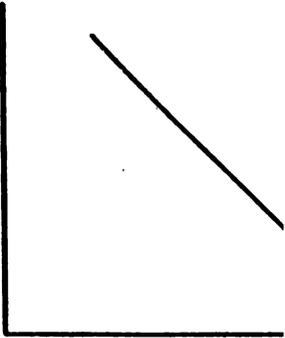
Complementarios



Suplementarios



Competitivos



Cultivo

Ejemplo

Sistema cacao-plátano-laurel

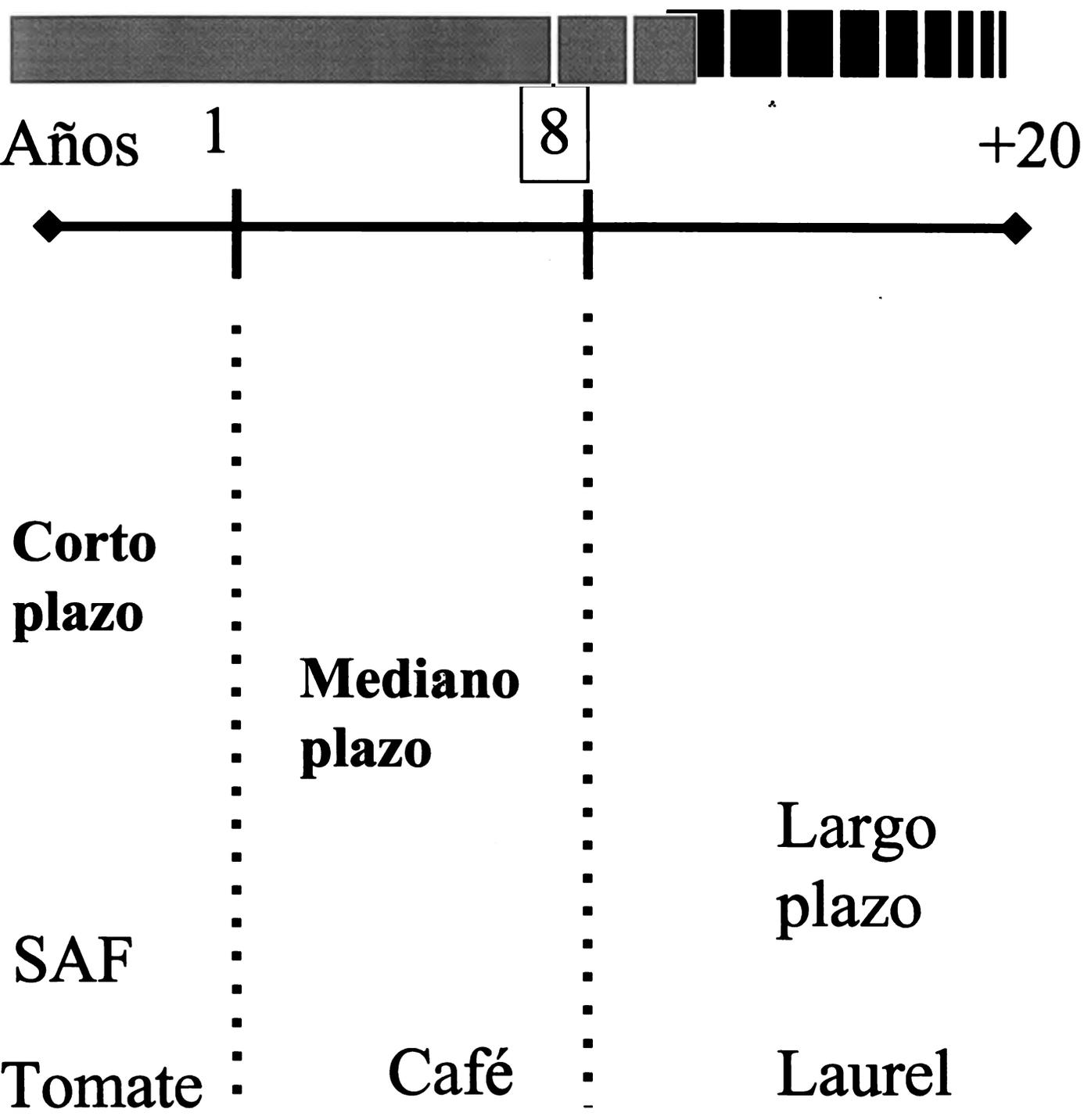
- **SAF**
- **Cacao**
104 kg/ha/año
- **Plátano**
612
racimo/ha/año
- **Laurel**
11.03 m³/ha

- **Monocultivo**
- **Cacao**
900 kg/ha/año
- **Plátano**
1440
racimos/ha/año
- **Laurel**
23.65 m³/ha

Estimación del ET

	SAF	Mono	SAF/Mono
Cacao	104	900	0.12
Plátano	612	1440	0.43
Laurel	11.03	23.65	0.466
Total			1.02

Tiempo





Análisis Financiero/económico

Tipos de análisis económicos/financieros

- 
- **Ex- ante**: Se utiliza para estimar la rentabilidad de una inversión, antes de realizarla,
 - **Ex-post**: Se utiliza para evaluar la rentabilidad de una inversión después de realizarla.

Supuestos del análisis financiero/económico

- 
- Precios son constantes y varían por igual para insumos y bienes y servicios producidos.
 - Existe una tasa de actualización con la cual podemos ajustar el valor del dinero en el tiempo.

Cómo analizar los datos obtenidos?

- Se utilizan medidas como:
 1. Razón B/C
 2. Valor actual neto (VAN)
 3. Tasa interna de retorno (TIR)
 4. Ingreso por trabajo.

Razón B/C

Relaciona los flujos de beneficios y de costos actualizados en forma relativa.

Regla de decisión: un proyecto es recomendable si la relación es mayor que 1.

Cómo analizar los datos obtenidos?

■ Se utilizan medidas como:

1. Razón B/C
2. **Valor actual neto (VAN)**
3. Tasa interna de retorno (TIR)
4. Ingreso por trabajo

Valor actual neto (VAN)

Estima la suma de los beneficios netos en la vida del proyecto.

Regla de decisión: el VAN debe ser positivo y el más alto es el mejor.

Cómo analizar los datos obtenidos?

- Se utilizan medidas como:
 1. Razón B/C
 2. Valor actual neto (VAN)
 3. Tasa interna de retorno (TIR)
 4. Ingreso por trabajo

Tasa interna de retorno (TIR)

Tasa de descuento que hace los beneficios brutos igual a los costos.

Regla de decisión: cuando la TIR es superior al costo de oportunidad del capital o sea a la tasa de interés vigente.

Cómo analizar los datos obtenidos?

- Se utilizan medidas como:
 1. Razón B/C
 2. Valor actual neto (VAN)
 3. Tasa interna de retorno (TIR)
 4. Ingreso por trabajo (RNMO)

RNMO

Refleja la retribución de la mano de obra del agricultor.

Regla de decisión:

Monto igual o superior al costo de contratación de mano de obra. en la zona.

Ajuste de los supuestos



- Precios: Análisis de sensibilidad, que permite evaluar variaciones del precios de insumos y bienes en el tiempo.
- Tasa de actualización: utilizar dos tasas, una más estricta y otra más suave.

Ejemplo

Sombras maderables para café - un análisis parcial

Se pueden comparar económicamente dos actividades similares, comparando simplemente las diferencias entre ambas. Este procedimiento tiene la ventaja de que no es necesario tener la información completa de las actividades y los parámetros de producción.

Para explicar este procedimiento se utilizará un ejemplo de producción de café.

Un productor necesita saber si continúa produciendo su café con solo poró como sombra o aumentar la sombra con una cierta cantidad de árboles de laurel. En este caso es posible hacer un análisis completo de ambas actividades y compararlos, pero es mucho más sencillo y eficiente valorar solo los beneficios y los costos incrementales o adicionales.

Pasos a seguir para realizar el análisis:

1. Determinar todos los costos adicionales.

En este caso los costos adicionales tienen dos fuentes:

- Todos los costos asociados al establecimiento del laurel: valor de las plántulas, la siembra de las mismas, el valor de las resiembras y el mantenimiento durante los dos primeros años.
- La reducción del rendimiento del café debido al aumento de la sombra, esta baja se estima en un 1% a partir del tercer año de la plantación del laurel, aumentando 1% cada año, hasta llegar a un máximo de 5% en el séptimo año. Esta reducción en el rendimiento se valora a precios de mercado.

2. Determinar todos los ingresos adicionales.

Los beneficios son aumentados por la venta de la madera. Se supone la venta de los árboles en pie, lo que hace que no haya costos de cosecha. Tampoco se espera costos altos por daños a la plantación debido a la tumba de los árboles. Por un lado estudios indican (Somarriba, 1991) bajos daños y por otro se puede renovar el café al mismo tiempo que la cosecha de árboles (puede ser poda o replante).

3. Construir cuadro de costos e ingresos incrementales.

Costos e ingresos incrementales de un aumento de sombra en café, por ha. En US\$.

Año	Item	Unidad	Precio	Cantidad	Costo	Comentario
1	Plantas de laurel	Unidad	0.5	46.0	23.0	Precio incluye transporte a la finca
	Siembra	Jornal	7.0	2.0	14.0	Ahoyado, transporte interno en la finca, siembra
	Limpias	Jornal	7.0	2.0	14.0	
2	Plantas de laurel	Unidad	0.5	14.0	7.0	Tasa de mortalidad del 30%
	Resiembra	Jornal	7.0	1.0	7.0	Ahoyado, transporte interno en la finca, siembra
	Limpias	Jornal	7.0	2.0	14.0	
3	Limpias	Jornal	7.0	2.0	14.0	
	Reducción cosecha de café	Fanega ¹	80.0	0.4	28.0	1% de 35 fanegas.
4	Reducción cosecha de café	Fanega	80.0	0.7	56.0	2% de 35 fanegas
5	Reducción cosecha de café	Fanega	80.0	1.1	84.0	3% de 35 fanegas
6	Reducción cosecha de café	Fanega	80.0	1.4	112.0	4% de 35 fanegas
7-14	Reducción cosecha de café	Fanega	80.0	1.8	140.0	5% de 35 fanegas
15	Reducción cosecha de café	Fanega	80.0	1.8	140.0	5% de 35 fanegas
	Venta de laurel	Unidad	80	50	4000	Venta de árboles en pie, no tiene costo de cosecha

^{1/} Fanega: Medida de volumen (400 litros) de café cereza, equivalente a unos 6 kg de café oro.

4. Construir cuadro maestro para el cálculo de índices financieros

Cuadro maestro de costos e ingresos incrementales, tasa actualización 3%.

Año	Costos	Margen Bruto	Margen Neto
1	51	0	-51
2	56	0	-56
3	42	0	-42
4	56	0	-56
5	84	0	-84
6	112	0	-112
7	140	0	-140
8	140	0	-140
9	140	0	-140
10	140	0	-140
11	140	0	-140
12	140	0	-140
13	140	0	-140
14	140	0	-140
15	140	4000	3860
Total	1,661	4,000	2,339
VAN	1,270	2,567	1,298
Razón B/C			2.0
TIR			14%

5. Interpretación de los índices.

Interpretación y evaluación de los índices financieros.

	Parámetros de éxito económico
VAN	El valor actualizado del margen neto es positivo, condición sine qua no.
Razón B/C	Criterio de rentabilidad, en este caso es positivo y alto
TIR	Es un indicador significativo, el valor obtenido es elevado para US\$

Ejemplo

Cacao con sombra de laurel

Se presenta un sistema agroforestal de un cultivo agrícola perenne (cacao), con sombra de árboles maderables (laurel). La densidad de la siembra es 1,111 árboles/ha de cacao y para laurel de 36 árboles/ha inicialmente y 23 árboles/ha finales, luego de un raleo.

Se asume que las plantas de cacao y laurel son compradas y durante los dos primeros años, se sembró maíz dos veces al año.

La información mostrada es un mezcla de datos reales obtenidos a través de un seguimiento de las actividades de campo por cinco años, los datos del año 6 al 15 son estimaciones obtenidas a partir de los cinco primeros años. En terminos generales este análisis es un mezcla de análisis ex-ante y ex-post.

En el Cuadro 1. se muestran el detalle de costos y beneficios obtenidos en la producción de este sistema agroforestal. Como primer paso para esta estimación, se recopilaron los datos existentes del seguimiento de los primeros cinco años, a partir de estos datos y en base a un plan de manejo se estimaron los costos y beneficios para los años siguientes. Como se observa en el cuadro, se diferencia entre los costos de insumos y mano de obra para hacer el calculo del flujo de fondos. Esto es, porque vamos a trabajar bajo el supuesto de que el agricultor aporta su mano de obra y esto no causa gastos en efectivo debido a este rubro. Todos los insumos restantes son comprados a precio de mercado. Respecto a los productos todos son vendidos en el mercado y por lo tanto forman parte del flujo de fondos. Respecto a los árboles, se asume que son vendidos en pie en la finca, por lo que no generan costos de cosecha y comercialización.

Actividades a realizar.

- 1. Prepare un cuadro resumen de costos y beneficios con los datos aportados,**
- 2. Calcule los indicadores financieros que usted considere conveniente, y**
- 3. Discuta y evalúe la factibilidad financiera de este sistema utilizando los indicadores financieros calculados en el punto anterior.**

Cuadro 1. Detalles de la producción agroforestal cacao con sombra de laurel. Por hectárea. Valores en US\$

	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5-14		Año 15	
	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor
Costos												
Mano de obra	106.9	748.3	83.6	585.2	20.0	140.0	73.0	511.0	52.1	364.7	52.1	364.7
Preparación terreno	42.0	294.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Siembra y resiembra	30.7	214.9	27.2	190.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fertilización	0.0	0.0	8.2	57.4	0.0	0.0	1.7	11.9	1.8	12.6	1.8	12.6
Chapeas/deshierbas	22.0	154.0	22.0	154.0	1.0	7.0	19.5	136.5	5.9	41.3	5.9	41.3
Aplicación herbicidas	2.8	19.6	15.7	109.9	12.0	84.0	6.9	48.3	0.2	1.4	0.2	1.4
Aplicación agroquímicos	0.7	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	17.5	2.5	17.5
Podas	0.0	0.0	2.0	14.0	4.0	28.0	17.0	119.0	9.5	66.5	9.5	66.5
Manejo de plantas	0.0	0.0	6.5	45.5	3.0	21.0	13.3	93.1	12.2	85.4	12.2	85.4
Cosecha	2.0	14.0	2.0	14.0	0.0	0.0	14.6	102.2	20.0	140.0	20.0	140.0
Otros trabajos	6.7	46.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Insumos		586.0		140.0		109.0		308.0		197.0		197.0
Semilla	15.5	6.0	15.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Plantas de laurel	345.0	86.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Plantas de cacao	1222.0	341.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Herbicidas	9.4	80.0	14.5	127.0	9.0	109.0	19.2	101.0	0.4	2.0	0.4	2.0
Insecticidas	5.2	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fungicidas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	0.2	1.0
Otros pesticidas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	14.0	1.8	2.0	1.8	2.0
Cal	0.0	0.0	204.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	436.2	2.0	436.2	2.0
Fertilizantes	111.0	43.0	19.2	5.0	0.0	0.0	488.5	191.0	471.8	184.0	471.8	184.0
Otros insumos	33.2	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	2.0	40.4	6.0	40.4	6.0
Total de costos variables		1334.3		725.2		249.0		819.0		561.7		561.7
Producción												
Maíz	792	175	112	245			657	618	1003	943	1003	943
Cacao												
Madera												
Total de beneficios brutos		175		245	0	0		618		943		11352
Margen bruto		-1159.3		-480.2	-249.0	-249.0		-201.0		381.3		10790.3
Flujo de fondos		-411.0		105.0	-109.0	-109.0		310.0		746.0		11155.0

Resumen de costos y beneficios del sistema agroforestal cacao con sombra de laurel. Por ha. Valores en US\$

Año	Costos		Beneficios				Flujo de fondos	Margen Neto	Margen Neto acumulado
	Insumos	Mano de obra	Total	Cultivos	Madera	Beneficio bruto			
1	586.0	748.3	1334.3	175		175	(411)	(1,159)	(1,159)
2	140.0	585.2	725.2	245		245	105	(480)	(1,640)
3	109.0	140.0	249.0	0		0	(109)	(249)	(1,889)
4	308.0	511.0	819.0	618		618	310	(201)	(2,090)
5	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	(1,708)
6	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	(1,327)
7	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	(946)
8	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	(564)
9	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	(183)
10	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	198
11	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	580
12	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	961
13	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	1,342
14	197.0	364.7	561.7	943		943	746	381	1,724
15	197.0	364.7	561.7	943	1840	2,783	2,586	2,221	3,945

	5%	2%
VAN:	1,570.7	2,794
TIR:	12%	12%
B/C	1.2	1.3

Parámetros del éxito económico	
Margen bruto	Los primeros años muestran un margen bruto bajo e inclusive negativo, como es normal en un cultivo perenne que requiere unos años hasta alcanzar la plena producción. A partir del quinto año, se obtiene un margen bruto de US\$ 381/ha.
Flujo de caja	Debido a la siembra de maíz, a pesar del bajo rendimiento que se obtuvo, hay solo dos años (el primero y tercero) con un flujo de caja negativo, que es una ventaja significativa para pequeños agricultores, que normalmente tienen problemas de efectivo. A partir del quinto año, se obtiene la suma de 746 US\$/ha por la venta de cacao, en el año 15 la suma de casi 2.600 US\$/ha gracias a la venta de árboles.
Retribución a la mano de obra familiar	El flujo de caja es, en este caso, igual a la retribución a la mano de obra familiar. En la fase de plena producción, a partir del año 5, son US\$ 14, 19/jornal, lo que es mayor a lo que una persona podría ganar en la agricultura en cualquier país de Centroamérica. La retribución promedia a la mano de obra es casi 11,50 US\$/jornal y refleja los años de inversión con un alto requerimiento de trabajo sin remuneración.
Razón B/C	Es de 1,3, lo que se puede considerar regular.

CONCEPTOS BASICOS DE DASOMETRIA

Luis A. Ugalde A.

La publicación y distribución de este trabajo fue patrocinado por el Programa Suizo de Cooperación para el Desarrollo, DDA, por medio de INFORAT: Información y Documentación Forestal para América Tropical.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
Programa de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica, 1981

CONCEPTOS BASICOS DE DASOMETRIA

DEFINICION

La Dasometría es la ciencia dentro del campo forestal que se relaciona con la medida y estimación de las dimensiones de árboles y bosques, de su crecimiento y de sus productos. También se le llama dendrometría o mensuración forestal (Forest Mensuration, en inglés).

Para fines de estudio se acostumbra a dividir la dasometría en dos partes:

Dendrometría, que consiste en la medición y estimación de las dimensiones de árboles y bosques desde un punto de análisis estático, y la Epidometría que es la medición y estimación del crecimiento y productos de árboles y bosques, es decir, desde un punto de análisis dinámico.

El objetivo principal de la dasometría no es únicamente la medición y estimación de variables antes mencionadas, ya que no sería importante saber las dimensiones de árboles y bosques por sí mismos, sino que la dasometría debe ser considerada como un medio o instrumento que nos permita obtener la información necesaria para el manejo del recurso en que estamos interesados.

1.1 Mediciones y Estimaciones

La medición directa es un procedimiento sencillo que solo requiere el conocimiento de ciertos instrumentos especiales que se usan para medir dimensiones accesibles. Sin embargo no siempre es posible medir ciertas dimensiones y en otros casos es más costoso medirlas que calcularlas, por lo que en base a dimensiones fáciles de medir se calculan aquellas que presentan cierto grado de dificultad en su medición.

Las estimaciones son un producto de cálculos y pueden implicar un muestreo; permiten determinar magnitudes sin medirlas directamente y aún hacer predicciones.

1.2 Nociones Matemáticas

Es necesario para la medición forestal tener conocimientos fundamentales de

Para la presente exposición y debido a la limitación de tiempo se han seleccionado las variables dasométricas más importantes que serán utilizadas en la práctica de campo que se hará en el presente curso.

2. DIAMETROS Y CIRCUNFERENCIAS

2.1 Generalidades

El diámetro o la circunferencia son medidas básicas en cualquier árbol. Sirven de base para mediciones y estimaciones de área basal, volumen, crecimiento, clasificación, etc.

2.2 Diámetro de Fustes y Trozas

La medida más típica del diámetro de un árbol es el "diámetro a la altura del pecho", que se representa abreviando con las letras DAP; dap; d.a.p., (en inglés d.b.h.). Con esta medida se trata de conocer el diámetro que tiene el fuste del árbol a la altura de 1,30 m. sobre el nivel del suelo.** Cuando el árbol está sobre terreno inclinado, la altura del pecho se puede tomar a partir del nivel alto del suelo. Fig. 1

Cuando por conveniencia no se mide el diámetro, sino la circunferencia a la altura del pecho, la representación se hace por CAP, cap, c.a.p. (en inglés g.b.h.).

Para efectos prácticos y mediciones que no requieren precisión el DAP puede considerarse equivalente al CAP y los valores pueden transformarse del uno al otro por medio de la fórmula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

En ocasiones es necesario medir el DAP sin corteza, en cuyo caso se mide

** En algunos textos en inglés se menciona a veces cuatro pies 1/2 que corresponde a 1 m. 37.

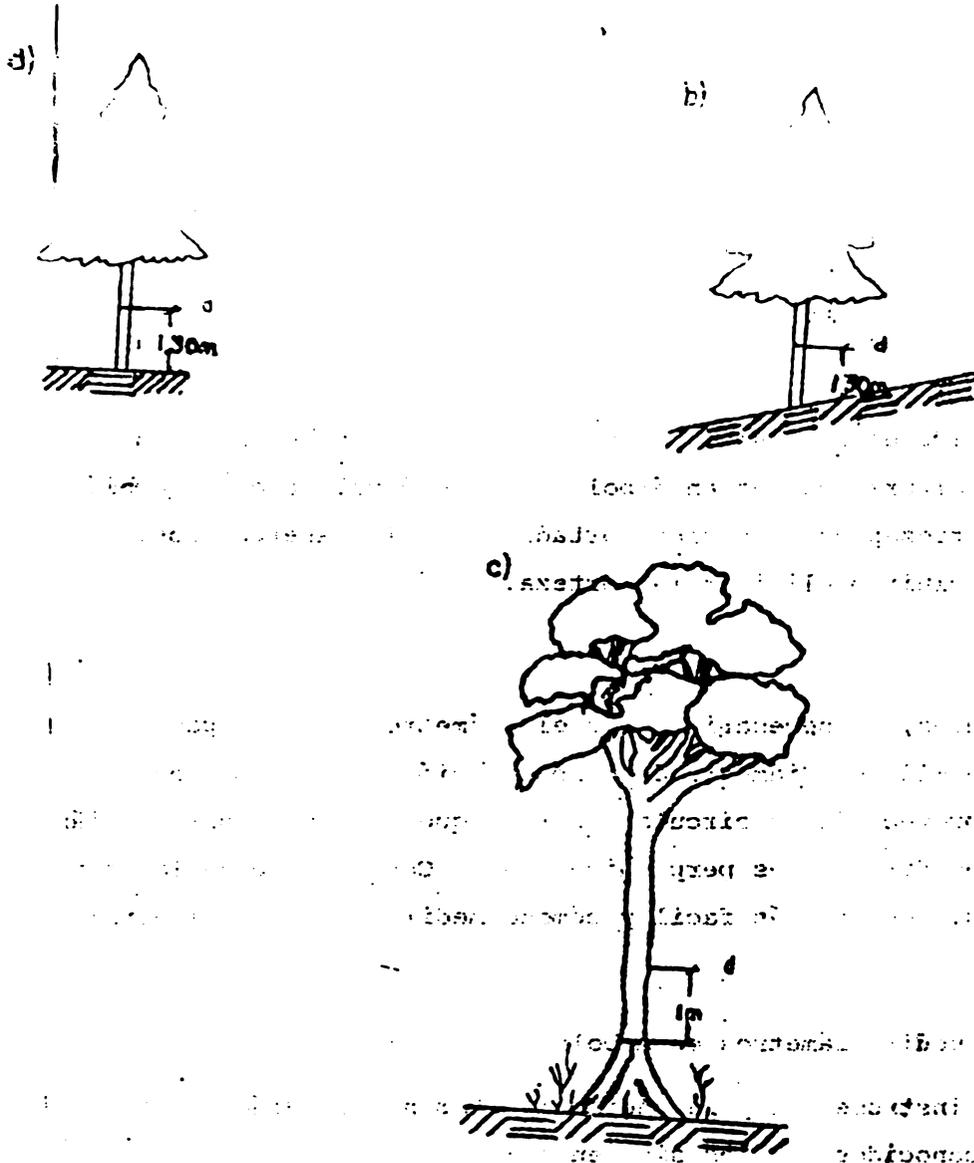


Figura 1 a).- Diámetro normal, b).- Diámetro normal en terreno inclinado y-
c).- Diámetro normalizado.

Cuando la sección transversal de un árbol es circular, se toman 2 o más diámetros a la altura, de la parte más ancha y la más estrecha, para sacar un promedio que estime al DAP.

No solamente se mide el DAP, sino que muchas veces es necesario medir los diámetros a distintas alturas ya sea en árboles en pie ó volteados. También se miden diámetros de trozas que han sido cortadas para los aserraderos, en las cuales se puede incluir o eliminar la corteza.

2.3. Diámetro de Copas

Para ciertos estudios, es necesario medir el diámetro de las copas de los árboles. Para esto se mide el diámetro de la proyección de la copa sobre el suelo. Pocas veces tal proyección es circular, por lo que se debe medir el diámetro por lo menos en dos direcciones perpendiculares. Con el auge de las fotografías aéreas verticales, resulta más fácil y cómodo medir las copas directamente en las fotografías.

2.4. Instrumentos para medir Diámetros de Arboles

Existen numerosos instrumentos para medir directamente el diámetro o la circunferencia, los más conocidos son los siguientes:

a) La cinta. Puede utilizarse cualquier cinta graduada en m, cm, o mm, con ésta se miden circunferencias.

También existe la cinta diámetrica que en una cara lleva escala para longitudes y en otra el equivalente a diámetros graduados a base de la relación: $\text{diámetro} = \text{circunferencia} \div \pi$. Con esta cinta se mide directamente el diámetro.

b) La forcípula. Este instrumento de metal o de madera consta de una regla graduada (A) y dos brazos perpendiculares a ésta, el uno fijo (C) y el otro móvil (B) que se desliza a lo largo de la regla (A). Fig. 2

Con la forcípula se lee directamente el diámetro, solamente hay que tener cuidado con la posición de los brazos al momento de hacer la lectura, para evitar errores debido a la inclinación del instrumento o a la irregularidad del

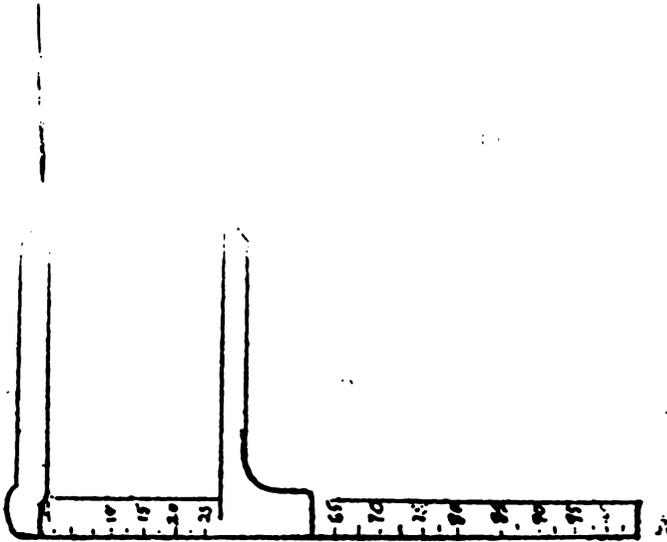


Fig. 2 La forcípula

Otros instrumentos utilizados para la medición de diámetros son: La regla de Biltmore. Es una regla de madera o de metal liviano que permite leer los diámetros directamente, manteniendo con el brazo cierta distancia del ojo del árbol. La graduación de los diámetros se hace a base de la semejanza de los triángulos. El microdendrómetro, es un instrumento diseñado para medir crecimiento del diámetro del árbol o las variaciones del diámetro en períodos cortos como: semanas, meses, etc. Se le denomina microdendrógrafo cuando esta diseñado para el crecimiento se marca automáticamente sobre un papel. El relascopio de Biterlich es un instrumento de uso múltiple con el que se puede medir alturas y diámetros utilizando la escala respectiva.

Posibles Errores en la Medición de diámetros

Al medir los diámetros se cometen varios tipos de errores que deben reducirse al mínimo cuando se les conoce y se manejan bien los aparatos, estos errores se pueden clasificar en:

- a) Errores sistemáticos : se producen por defecto de los aparatos o por prejuicio del lector. Se repiten con cierta frecuencia siempre en el mismo sentido.
- b) Errores compensantes : son errores independientes del instrumento y del operador. Se producen al redondear ó al aproximar valores.

de hay variaciones y es la base para el cálculo estadístico.

- d) Errores accidentales : Puede ser un error en la decimal de anotaciones, de lectura, etc. Estos saltan a la vista.

3. ALTURAS

3.1. Generalidades

La altura es una variable necesaria para estimar el volumen, crecimiento, para la clasificación de sitios, etc.

En las alturas, según la parte del árbol que se desea medir, se distinguen:

- Altura total : La que va del suelo hasta el ápice de la copa.
- Altura del fuste : La que va del suelo hasta la base de la copa.
- Altura de la copa : La diferencia entre las dos anteriores.
- Altura comercial : La parte del fuste que puede utilizarse o aprovecharse para la venta. Está limitada por el diámetro en la parte superior, o por los defectos (nudos torceduras, etc.). Depende de los requisitos comerciales de la región.

Cuando se mide la altura, no se puede alcanzar mucha precisión, por eso según los fines varía más o menos desde 1 m hasta los 10 cm de aproximación. Se puede alcanzar más precisión, pero ello requiere tiempo e instrumentos más complicados.

Se pueden clasificar los métodos para medir la altura en:

- a) Métodos basados en principios geométricos, que buscan la semejanza de los lados y triángulos y a base de sus relaciones calculan altura.
- b) Métodos basados en principios trigonométricos que requieren que se conozca un lado y un ángulo de un triángulo rectángulo.
- c) Métodos utilizados en fotografía aéreas que se basan en el desplazamiento, en la sombra, o en la visión estereoscópica.

3.3. Instrumentos más conocidos, basados en principios geométricos

Entre los más conocidos están:

- a) "Hipsómetro de Merrit". Consta de una regla graduada para hacer lecturas desde una distancia fija; también en el momento de usarlo la mano que sostiene el instrumento en posición bien vertical, debe estar a una distancia fija desde el ojo. Con este instrumento se mide con rapidez cualquier altura del árbol, puede graduarse para leer la altura expresada en trozas de igual longitud. A veces en la misma regla, en otra cara, se hacen las graduaciones de la regla de Biltmore para medir diámetros. Fig. 3.

$$\frac{CB}{AB} = \frac{ED}{AD}$$

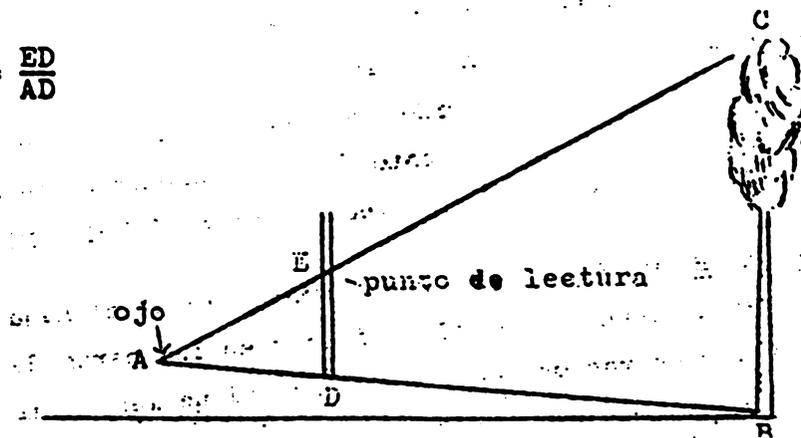


Fig. 3 Determinación de la altura total con el Hipsómetro de Merrit

La fórmula que sirve para graduar la regla es: $ED = \frac{AD \cdot CB}{AB}$

AD = largo del brazo

CB = altura del árbol

Otros instrumentos utilizados en la medición de alturas son:

El hipsómetro de Christen. Este instrumento es una regla pequeña, fácil de llevar al campo. Al usarlo se requiere la ayuda de una vara adicional de largo conocido que se coloca junto al árbol. La graduación del hipsómetro se hace en función del largo de la vara.

La regla o vara. Sirve para estimar la altura cuando no se dispone de otra cosa. Se basa en triángulos con dos lados semejantes.

Instrumentos Basados en Principios Trigonométricos

Cuando se mide con estos instrumentos se requiere hacer dos lecturas una mirando a la base y otra la ápice del árbol desde una distancia horizontal.

El hipsómetro de Abney. Se denomina también nivel de Abney o clinómetro de Abney. Este instrumento lleva acoplado un nivel de trabajo que permite medir los ángulos verticales. Las escalas que utiliza son de grados y pendientes. Fig. 7

El hipsómetro de Haga. Conocido también como altímetro de Haga. Este instrumento en vez de nivel, utiliza un péndulo que se estabiliza por gravedad. Posee escalas graduadas para diferentes distancias a base de: $H = d \times \text{tag}$. Según la distancia desde la cual se mide, se debe utilizar la escala para esa distancia. Tiene además un adiestramiento óptico (telémetro) para medir la distancia con ayuda de una mira que se coloca junto al árbol. Fig. 4

El hipsómetro de Blume Leiss. Es básicamente igual al Haga. La diferencia está en que el Haga tiene las escalas fijadas en las caras de un prisma recto que se hace girar, mientras que el Blume Leiss tiene las escalas fijadas una debajo de otra en una sola cara. Fig. 5

Clinómetro Sunto. Este aparato está diseñado casi exclusivamente para medir altura de árboles. En él se ha sustituido el nivel de burbuja por un péndulo fijo a 90° de la línea índice de la horizontal. Consiste en una caja metálica que tiene en su interior un disco móvil suspendido por un eje central. La caja tiene un orificio por el que se puede observar la periferia del disco. Fig. 6

Arillo de colocación de escalas

Fijador de índice
Disparador de índice

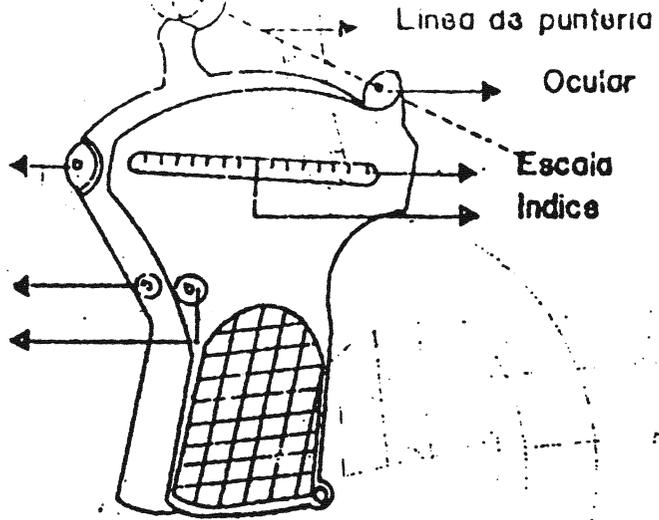


Figura 4 - Pistola Haga.

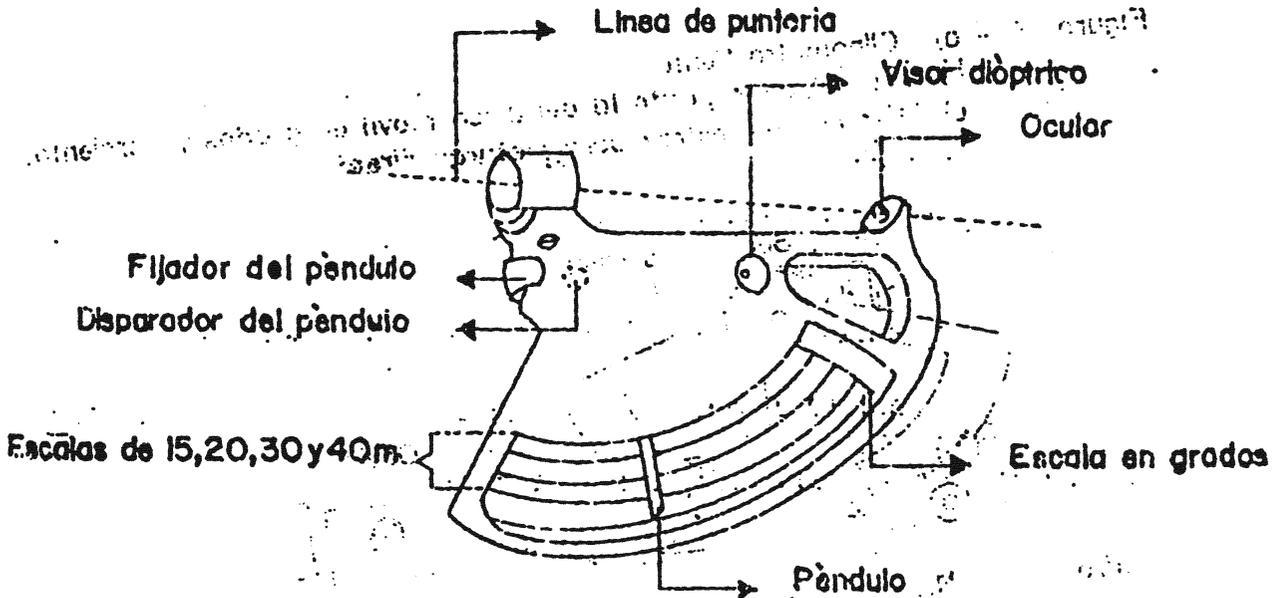


Figura 5 - Hipómetro Blume-Leiss

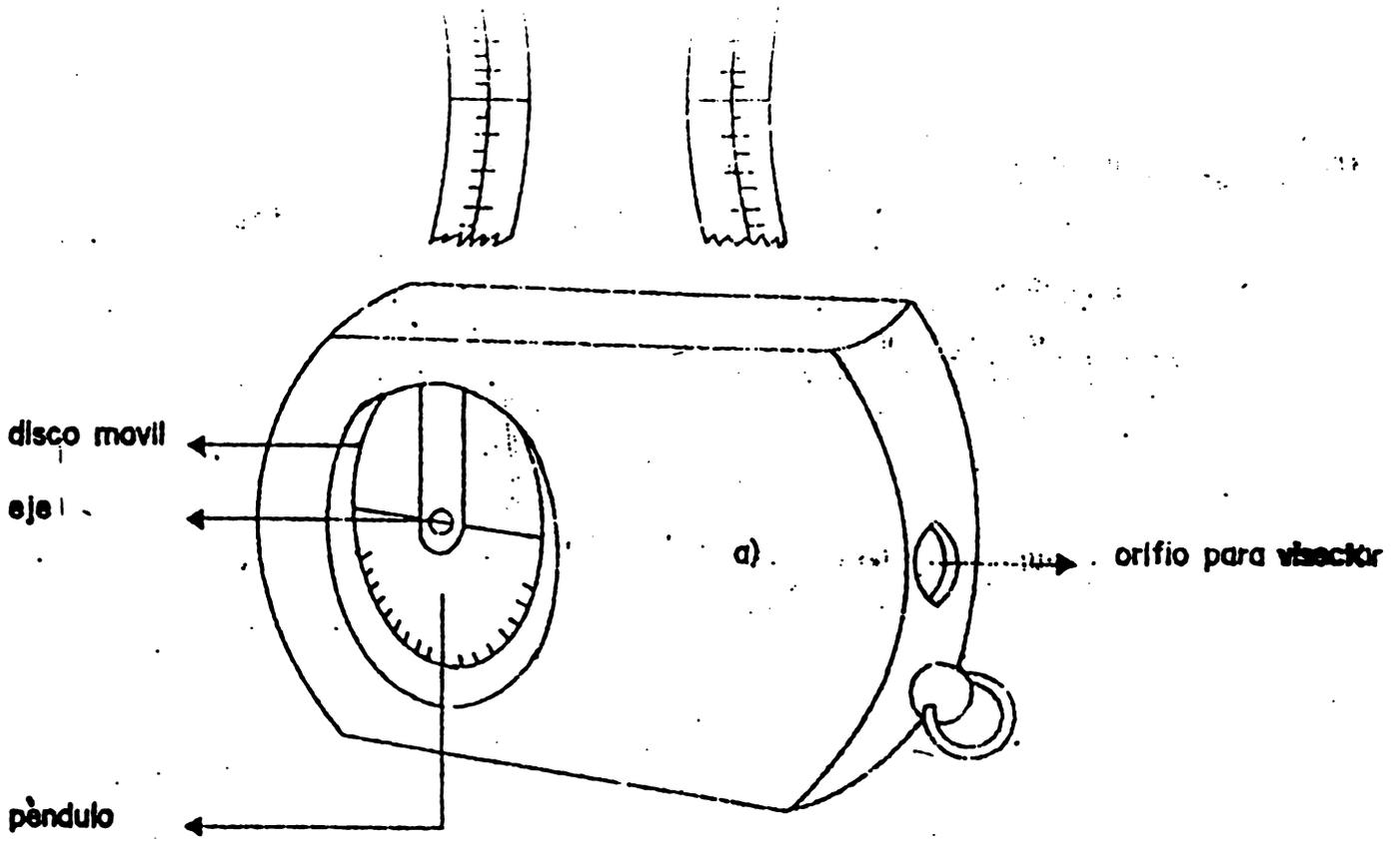


Figura 6 - a).- Clinómetro Sunto.
b).- Escala de la periferia del disco móvil en grados y por ciento.
c).- Escalas en metros para lecturas directas.

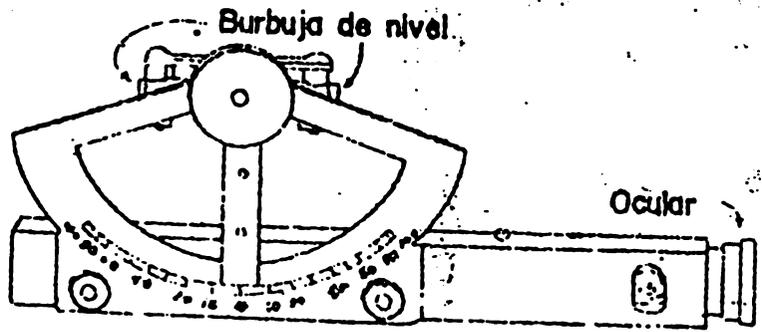


Figura 7 - Nivel de Abney.

Para usar este nivel se coloca un punto al ojo y con el otro ojo visar la punta y la base del árbol. El orificio de la caja tiene una línea horizontal que es el índice con el cual se debe tomar la lectura. Al igual que el nivel Abney las lecturas se toman en grados o porcentajes.

3.4 Algunos errores en la medición de alturas

Cuando se mide un árbol en pie se supone que está perpendicular, pero no siempre es así por tal razón se puede sub o sobre estimar la altura real cuando se hace la medición.

Otra causa de lecturas erróneas es la falta de visibilidad del ápice del árbol, especialmente en árboles con copas anchas como los que crecen en el trópico.

Otros errores provienen de los instrumentos que se emplean en la medición, la distancia del observador y altura del árbol, inclinación del terreno y, especialmente del entrenamiento del observador. Estos errores pueden clasificarse como en el caso de los diámetros.

4. AREAS

4.1 Generalidades

La medida de áreas tiene importancia en dasometría para calcular volúmenes y algunos tipos de productos forestales.

Se descarta aquí la medición de áreas de terrenos por considerarlo como material de topografía. No se da una descripción detallada de los instrumentos para medir áreas por estimarlos muy conocidos.

4.2 El area basal

Se entiende por área basal, el área de cualquier sección transversal del fuste del árbol. La que más se usa en dasometría es el área calculada a base

del DAP o sea el área que tiene el fuste en la sección transversal a 1.30 m del suelo. Se supone que esta área se aproxima al área del círculo, por eso se la calcula en función del DAP o del CAP.

$$AB = \frac{\pi D^2}{4} = 0.7854 D^2$$

$$AB = \frac{C^2}{4 \pi} = 0.0796 C^2$$

AB = Área basal

D = DAP

C = CAP

π = 3.1416

El área basal por hectárea, es una medida de la densidad de un rodal y se expresa en m²/ha. El área basal promedio se calcula sumando las áreas basales de los árboles que están dentro de la hectárea y dividiendo esta suma por el número de árboles.

5. LA FORMA

5.1 Generalidades

La forma del árbol sirve principalmente para el cálculo de su volumen geométrico. La forma se debe a la disminución del diámetro con el aumento de altura, y para valorarla se busca la relación del volumen del árbol con el volumen de algún sólido geométrico, o la relación que existen entre dos diámetros del mismo fuste, por eso se distinguen:

$$\text{El factor volumétrico de forma} = \frac{\text{Volumen del árbol}}{\text{Volumen de sólido geométrico}} = f$$

$$\text{El factor diamétrico de forma} = \frac{\text{Diámetro arbitrario}}{\text{DAP}} = CF$$

Estos factores sirven de base para estimar el volumen de los fustes o de árboles y por ello deben conocerse para utilizarlos apropiadamente.

5.2 El factor volumétrico de forma (f)

A este factor se le conoce con distintos nombres: coeficiente mórfoico (CM),

factor de forma (FF), form factor, factor m3rfico, etc.

El f es una relaci3n de vol3menes, (ver fig.8), requiere conocerse el volumen del fuste o de todo el 3rbol, por esto es posible encontrar un f diferente para cubicar las ramas, el fuste 3 todo el 3rbol. Se sabe que:

$$\text{Volumen del 3rbol} = AB \cdot L \cdot f \quad AB = \text{3rea basal}$$

$$\text{de donde} \quad f = \frac{\text{Volumen del 3rbol}}{AB \cdot L}$$

Esto conduce a cierto c3lculo vicioso, ya que para determinar el volumen del 3rbol debe conocerse el factor f y para conocer el f debe conocerse el volumen del 3rbol. Generalmente se elaboran las tablas de f para un rodal o para una especie, a base de muestras de 3rboles.

El denominador $AB \cdot L$, da el volumen de un cilindro (el 3rea basal x longitud); seg3n donde se toma el 3rea basal y seg3n la longitud que se tome para la cubicaci3n, el f recibe diferentes nombre:

f absoluto: con AB al nivel del suelo, L = altura total

f a la altura del pecho: con AB a 1.30 m. del suelo. L = altura total.

Este factor es el m3s conocido y utilizado.

f normal: AB a una altura arbitraria (por ejemplo: un 5% o 10% de la altura del 3rbol).

f comercial: AB a 1.30 m y L = altura comercial, es muy usado.

f del tronco: se calcula con la f3rmula $\frac{V}{V'}$ en la que V' = volumen del cono truncado con AB en la base y AB' el AB de la 3ltima troza.

3 El factor diam3trico de forma (CF)

Se le llama tambi3n coeficiente de forma. Es una relaci3n de di3metros generalmente en el denominador se pone el DAP y en el numerador un di3metro menor (D_1) tomando a una altura, prefijada, sobre el DAP.

$$CF = \frac{D_1}{DAP}$$



CF normal o de Schiffel: Cuando D_1 se toma en la mitad de la altura total del árbol. Es el más común.

$$\text{CF normal} = \frac{D_1 \text{ a } L/2}{\text{DAP}}$$

Relación entre los factores volumétrico y diamétrico de forma

Sabiendo que:

$$f = \frac{\text{volumen del árbol}}{\text{volumen cilíndrico}}$$

Volumétrico

y
$$\text{CF} = \frac{D_1}{\text{DAP}}$$

Diamétrico

como volumen árbol =
$$\frac{\pi D_1^2}{4} \cdot L$$

y volumen cilindro =
$$\frac{\pi \text{DAP}^2}{4} \cdot L$$

$$f = \frac{\frac{\pi D_1^2}{4}}{\frac{\pi \text{DAP}^2}{4}} = \frac{D_1^2}{\text{DAP}^2} = \left(\frac{D_1}{\text{DAP}}\right)^2$$

Entonces
$$f = \left(\frac{D_1}{\text{DAP}}\right)^2$$

$$\text{CF} = f = \frac{D_1}{\text{DAP}}$$

$$f = \text{CF}^2$$

En otras palabras, el factor volumétrico es igual al cuadrado del factor diamétrico de forma.

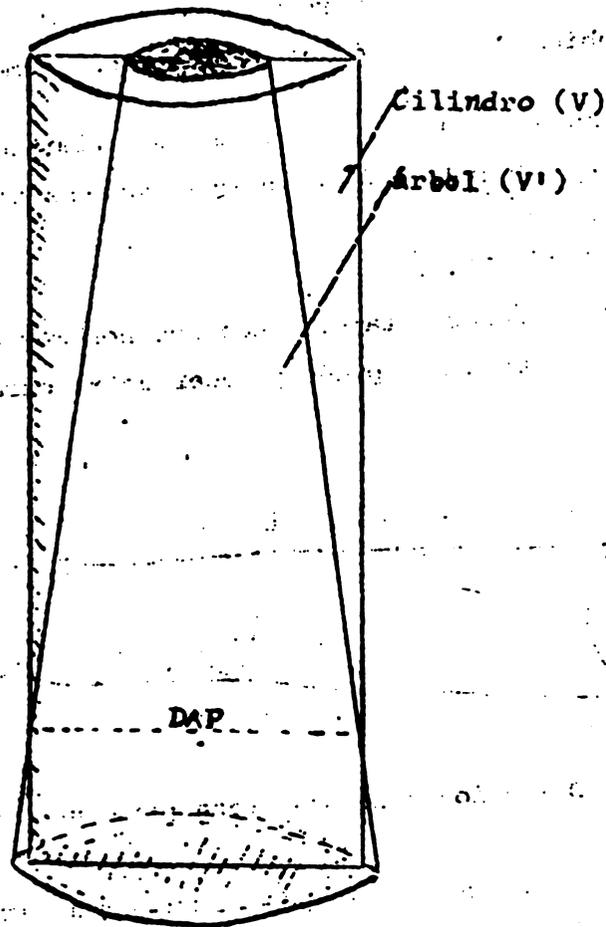


Figura 8. Dibujo que muestra el fundamento del factor volumétrico de forma $f = \frac{V'}{V}$

6. MEDICION DEL VOLUMEN

Para conocer el volumen de un árbol o de sus partes con bastante exactitud se pueden seguir distintos métodos:

- el desplazamiento de agua (principio de Arquímedes)
- el peso (relación entre volumen y peso)
- la cubicación (medida de dimensiones geométricas)

Los métodos a) y b) se usan con muchas limitaciones, aunque son más precisos que el c). El método c) es el que más usa el técnico forestal.

6.1 La Cubicación de Trozas

Las trozas se conocen también con los nombres de rollizos, tucas, rolas, etc. Una troza de un árbol puede parecer entre otras a los sólidos geométricos ya citados.

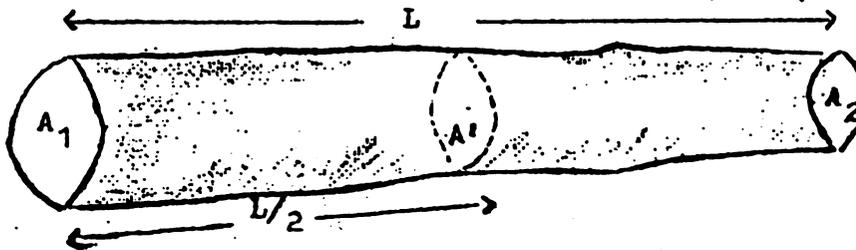


Fig. 9 Dimensiones de una troza para su cubicación

En la troza, como la del dibujo, se pueden medir las áreas A_1 , A' y A_2 (en función de sus diámetros) y el largo L , y para su cubicación se conocen varias fórmulas según la forma de los sólidos con las que guarde semejanza.

Las tres fórmulas más conocidas y utilizadas son la de Smalian, la de Huber y la de Newton.

Fórmula de Smalian:

$$V = L \frac{A_1 + A_2}{2}$$

V = volumen de la troza
 L = largo de la troza
 A_1 = área en un extremo
 A_2 = área en el otro extremo.

Esta fórmula es muy práctica y bastante exacta cuando se trata de figuras como la del paraboloide truncado y el cilindro.

Fórmula de Huber:

$$V = L \cdot A'$$

A' = área en la mitad del largo de la traza.

Esta fórmula da una buena cubicación para el cilindro y el paraboloide truncado.

Fórmula de Newton:

$$V = L \frac{A_1 + 4A' + A_2}{6}$$

Esta es la fórmula del neloide truncado.

Sobre estas fórmulas se puede decir que dan un resultado muy aproximado del volumen real de la troza. Son fáciles de calcular y requieren pocas mediciones. De éstas, la de Huber es la más sencilla y rápida. Los errores serán más grandes cuando haya más diferencia entre la forma geométrica de la troza y la fórmula aplicada, lo que sucede, generalmente, al aumentar el largo de la troza.

La cubicación de fustes o troncos VF

6.2 Cubicación de árboles Volteados

El camino más simple consiste en dividir el fuste en secciones semejantes a trozas para luego cubicar cada sección con las fórmulas conocidas.

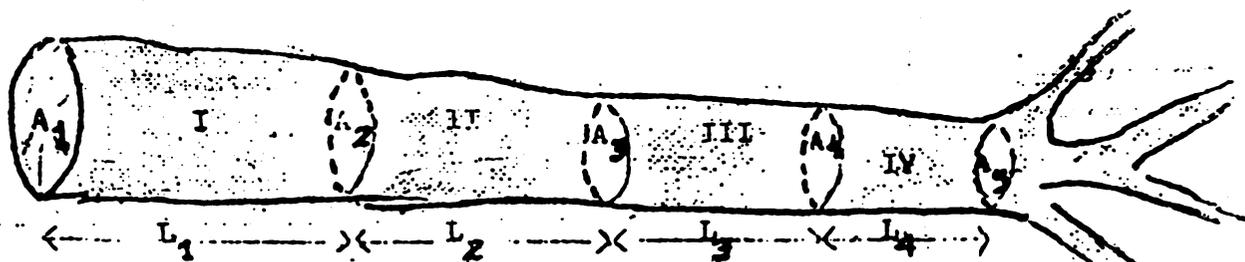


Fig. 10 División de un árbol en secciones de igual longitud para cubicar el fuste.

Medición de Corteza

Para llegar a conocer el diámetro sin corteza, que permite calcular el área

sin corteza de una sección, para posteriormente cubicar el volumen de madera sin la corteza, es necesario medir el grosor de la corteza.

En secciones cortadas, tal medición no presenta dificultad, sin embargo; en secciones no cortadas, la medición no es tan sencilla. Para estos casos se utiliza el Medidor de Corteza que consiste en una varilla metálica con la punta filosa y truncada que tiene una acanaladura en el vástago. Sobre el vástago está inscrita una escala y sobre él se desliza un índice que permite hacer la lectura en la escala (figura 11).

La punta de la varilla es truncada en un lado para permitir que penetre en la corteza pero no en la madera y es así como se realiza la medición.

Al hacer la medición de corteza en secciones no cortadas, debe tenerse en cuenta que la medida de la corteza es radial por lo que el diámetro sin la corteza es igual al diámetro con la corteza menos dos veces el grosor de la corteza.

$$dsc = dcc - 2 \cdot gc$$

dónde dcc = diámetro con corteza

dsc = diámetro sin corteza

gc - grosor de la corteza

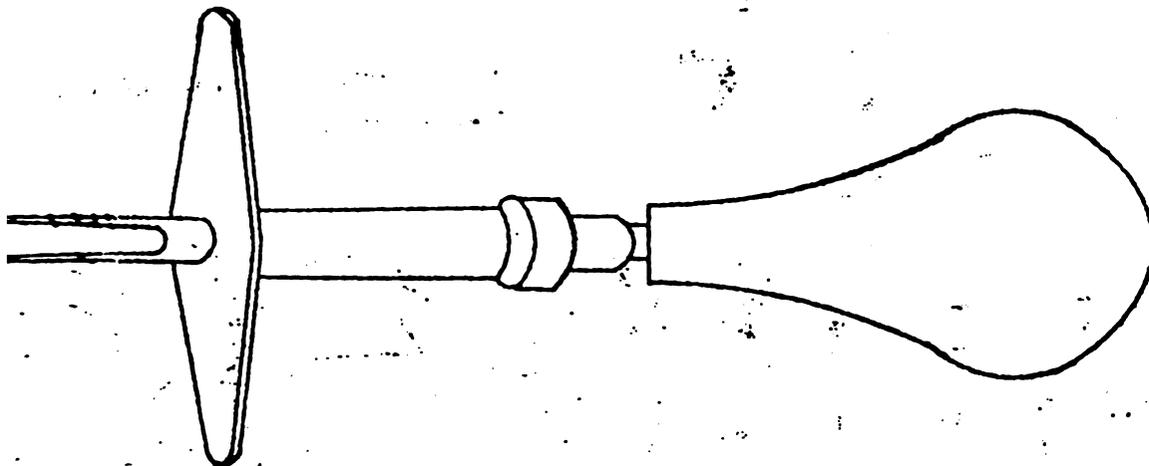


Figura 11. Medidor de corteza

7. LA EDAD

7.1 Generalidades

La edad de un árbol es una variable necesaria para evaluar el crecimiento, la productividad de un sitio, para la ordenación, para determinadas prácticas silvícolas.

El método más conocido para determinar la edad de los árboles consiste en contar el número de anillos anuales de crecimiento en la base del tronco. Esto sólo es posible en los árboles que tienen tales anillos pero en estos casos se encuentran algunas dificultades debidas a la existencia de falsos anillos, poca demarcación para distinguirlos, discontinuidad, etc. En algunas especies tropicales como laurel (Cordia alliodora) y cedro (Cedrela mexicana) es posible tener en algunos casos una buena aproximación de la edad por medio del conteo de anillos pero no siempre resulta fácil.

TABLAS DE VOLUMEN

Las tablas de volumen constituyen un elemento esencial en trabajos de evaluación forestal. Son construidas para especies individuales o para grupos de especies. Unas sirven para estimar el volumen de los árboles en función del diámetro, a las que se les ha denominado tablas "de una entrada". Otras estiman el volumen en función del diámetro y altura, conocidas como tablas de volumen "de doble entrada". Un tercer tipo son las "tablas formales", las cuales estiman el volumen en función del diámetro, altura y clase de forma.

Las tablas de una entrada tienen menor precisión por asumirse que árboles con el mismo diámetro a la altura del pecho (DAP), poseen una misma altura media e igual forma. Sin embargo, esto dependerá de la variación de los árboles en el área especificada. La selección del tipo de tabla de volumen a usar dependerá de la precisión que se desea tener.

Un ejemplo sobre la elaboración y utilización de tablas de volumen de doble entrada se presenta en el documento que se repartirá en el Curso.

Adaptado de: LOJAN, I. L. Apuntes del curso de dasometría, primera parte (Mediciones en árboles individuales) IICA, Turrialba, Costa Rica, 1966. pp 1-50.

ESCUELA NACIONAL DE AGRICULTURA, DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACION Y SERVICIO EN BOSQUES. Apuntes de dendrometría, Chapingo, México. 1977. pp 1-66.

Apéndice 1. Tablas de espaciamentos y densidades

(Reproducida del Commonwealth Forestry Handbook, con permiso de la Commonwealth Forestry Association).

NUMERO DE PLANTAS POR HECTAREA CON DISTINTOS ESPACIAMIENTOS (METROS)

Metros	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10
1.5	4444												
2	3333	2500											
2.5	2667	2000	1600										
3	2222	1667	1333	1111									
3.5	1905	1429	1143	952	816								
4	1667	1250	1000	833	714	625							
4.5	1481	1111	889	741	635	556	494						
5	1333	1000	800	667	571	500	444	400					
6	1111	833	667	556	476	417	370	333	278				
7	952	714	571	476	408	357	317	286	238	204			
8	833	625	500	417	357	313	278	250	208	179	156		
9	741	556	444	370	317	278	247	222	185	159	139	123	
10	667	500	400	333	286	250	222	200	167	143	125	111	100

ESPACIAMIENTO: CUADRADO Y TRIANGULAR

PLANTS PER UNIT AREA					
UNITS OF SPACING		SQUARE SPACING		TRIANGULAR SPACING	
Feet	Metres	Acre	Hectare	Acre	Hectare
3	0.91	4840	11960	5589	13810
3-28	1	4047	10000	—	11547
4	1.22	2722	6727	3144	7768
—	1.50	1798	4444	—	5132
5	1.52	1742	4305	2012	4972
6	1.83	1210	2990	1397	3453
—	2	1012	2500	—	2887
7	2.13	889	2197	1026	2537
8	2.44	681	1682	786	1942
—	2.50	648	1600	—	1648
9	2.74	538	1329	621	1534
—	3	450	1111	—	1283
10	3.05	436	1076	503	1243
—	3.50	330	816	—	943
12	3.65	303	747	349	863
—	4	253	625	—	722
—	4.50	200	494	—	570
15	4.57	194	478	224	552
—	5	162	400	—	462
18	5.48	134	332	155	394
—	5.50	134	331	—	387
—	6	113	278	—	321
20	6-10	109	269	126	311
—	7	83	204	—	236
—	8	63	156	—	180
—	9	50	123	—	143
30	9-14	48	120	56	138
32-8	10	40	100	47	115
ft	m	43560	10,000	50298	11547
		ft ²	m ²	ft ²	m ²

Apéndice 2. Algunos símbolos para la dasometría

Nota: los símbolos en letras minúsculas se refieren a valores de árboles individuales; los símbolos en letras mayúsculas se refieren a valores de la masa por unidad de área.

Símbolos principales

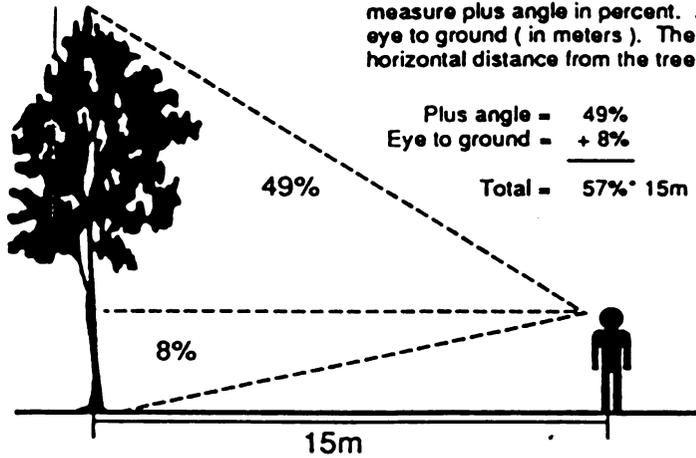
c	circunferencia	}	de un solo árbol, a 1.3 m de altura por encima de la corteza
d	diámetro		
g	área basal		
G	área basal por unidad de área (por ejemplo, m ² /ha)		
h	altura total de un árbol		
i	incremento, de un único árbol en un año		
k	coeficiente de forma del diámetro a la mitad de la altura total dividido por d		
n	número, normalmente de los tallos en una muestra		
N	número total de árboles por unidad de área		
P	porcentaje de incremento		
t	edad, normalmente expresado en años después del trasplante		
v	volumen de madera de tronco		
f	coeficiente de forma, para madera total de tronco, incluida la corteza; es decir, normalmente $f = v/g$		
V	Volumen total por unidad de área, por ejemplo m ³ /ha		

Todos los símbolos que figuran arriba pueden limitarse por subíndices u otras modificaciones. Entre ellos, los de mayor utilidad son los siguientes:

Símbolos modificados

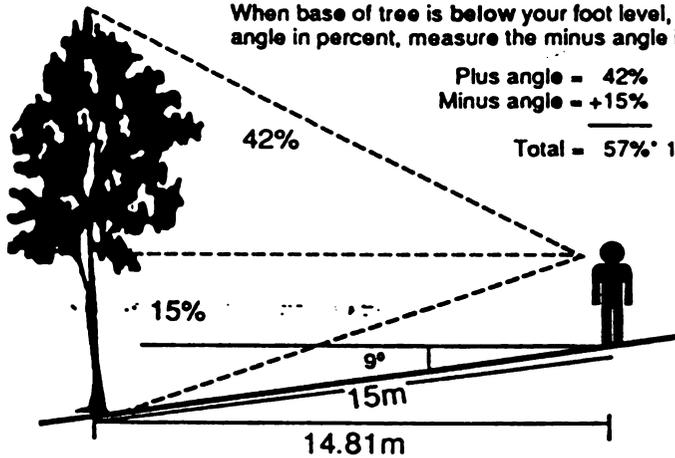
\bar{d}	diámetro medio de un rodal, es decir, $(d)/n$
dg	diámetro del árbol de área basal media
\bar{g}	área basal del árbol de área basal media, de un rodal; es decir, G/n
\bar{h}	altura media de un rodal, es decir $(h)/n$
hg	altura del árbol de área basal media
\bar{hd}	altura del árbol de diámetro medio
h_{dom}	altura media de los 100 árboles de mayor diámetro de la parcela
i_d	incremento del diámetro de un solo árbol en un año
v_7	volumen de madera del tronco (de un solo árbol) que exceda los 7 cms de diámetro incluyendo la corteza; es decir, volumen a un límite de diámetro de 7 cms.
v_b	volumen total de un árbol solo considerando las partes fuera del suelo; es decir, incluyendo la madera de las ramas, pero excluyendo la madera de las raíces.

When base of tree is at same level as your feet, measure plus angle in percent. Add distance from eye to ground (in meters). Then multiply by horizontal distance from the tree.



$$\begin{array}{r} \text{Plus angle} = 49\% \\ \text{Eye to ground} = + 8\% \\ \hline \text{Total} = 57\% \cdot 15\text{m} = 8.6\text{m} \end{array}$$

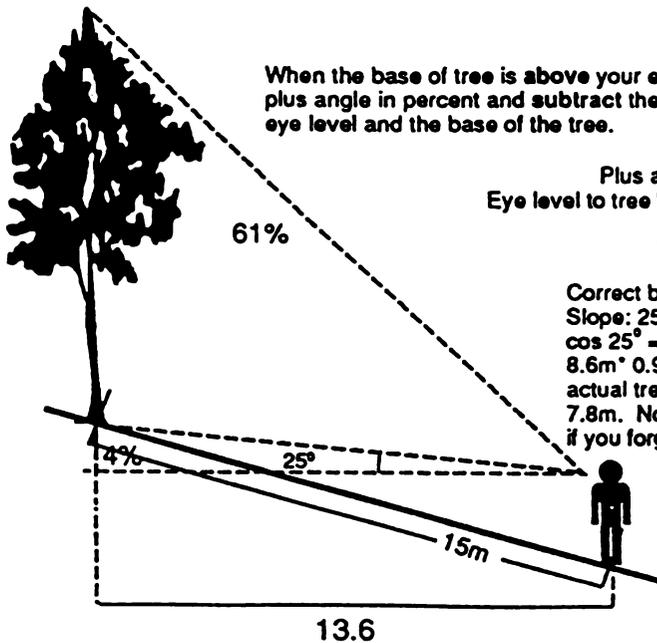
When base of tree is below your foot level, measure the plus angle in percent, measure the minus angle in percent, and add them.



$$\begin{array}{r} \text{Plus angle} = 42\% \\ \text{Minus angle} = +15\% \\ \hline \text{Total} = 57\% \cdot 15\text{m} = 8.6\text{m} \end{array}$$

Correct baseline for slope.
Slope: 9°
 $\cos 9^\circ = 0.987$
 $8.6\text{m} \cdot 0.987 = 8.49\text{m}$; thus, the actual tree height is recorded as 8.5m

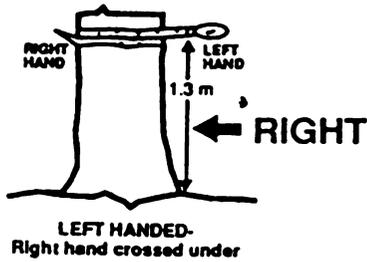
When the base of tree is above your eye level, Measure plus angle in percent and subtract the angle between your eye level and the base of the tree.



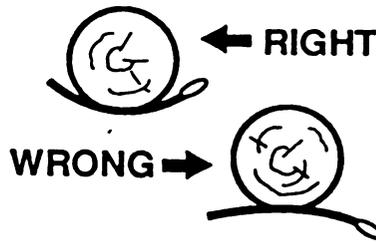
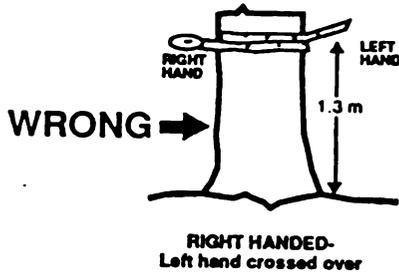
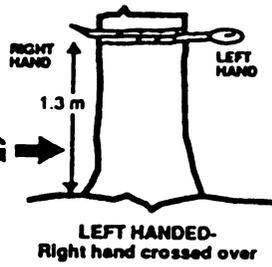
$$\begin{array}{r} \text{Plus angle} = 61\% \\ \text{Eye level to tree base} = - 4\% \\ \hline \text{Total} = 57\% \cdot 15\text{m} = 8.6\text{m} \end{array}$$

Correct baseline for slope.
Slope: 25°
 $\cos 25^\circ = 0.906$
 $8.6\text{m} \cdot 0.906 = 7.79\text{m}$; thus, the actual tree height is recorded as 7.8m. Note the potential for error if you forget to correct for slope.

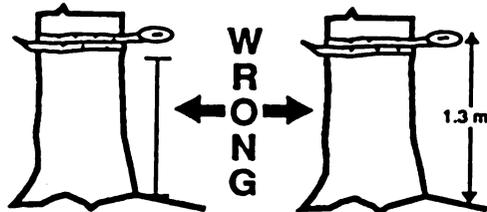
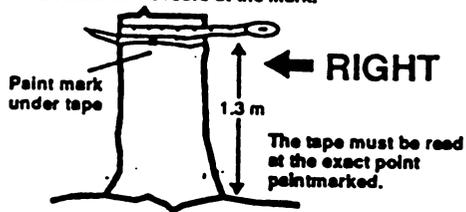
Figure C.1. Using a clinometer



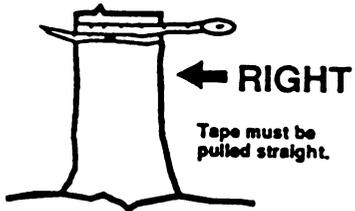
WRONG



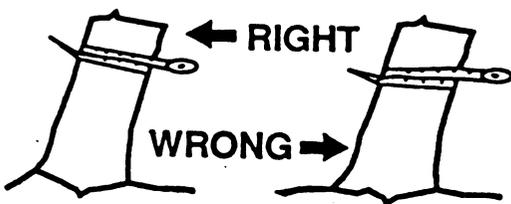
Be sure to measure at the mark.



Always assume that the 1.3 m DBH point is at the top of the paint mark. Put top of lower tape at this point.



The tape must be at right angles to the lean of the tree.



Don't place tape at an abnormal place on the bole.

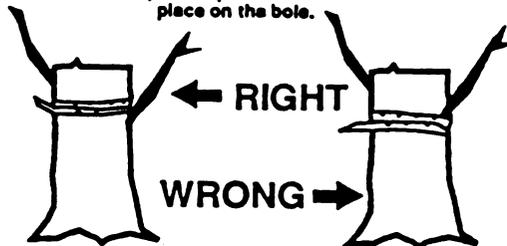


Figure C.2. Using the diameter tape

DINAMICA DE RODALES

Glenn Galloway, PhD
Líder Proyecto TRANSFORMA
UMBN/CATIE

INTRODUCCION A "DINAMICA DE RODALES"

Plantaciones de árboles desarrollan siguiendo procesos que han sido ampliamente estudiados. "Dinámica de rodales" refiere a la disciplina que dedica al estudio de los procesos y cambios que suceden en un rodal durante su desarrollo (rodal, en esta charla, refiere a una plantación). Es importante entender estos procesos, que determinan el desarrollo de rodales, por las siguientes razones:

- Para tener clara la importancia del manejo de las plantaciones (el raleo, en particular),
- Para predecir el efecto de intervenciones silviculturales (raleos y podas),
- Para saber de antemano si un raleo o poda tiene el potencial de lograr su objetivo o no, y
- Para poder explicar mejor la importancia de manejo de las plantaciones a los productores que practican reforestación en la región.

Esta discusión comienza con una introducción al concepto "espacio para crecer". Después, se discute la distribución de energía dentro de árboles seguida por una descripción de la interacción entre árboles en una plantación y lo que sucede en una plantación sin manejo. Finalmente, se detallan posibles respuestas de los árboles a un raleo en una plantación. Se hacen referencias a la situación de plantaciones en América Central.

INTRODUCCION CONCEPTO "ESPACIO PARA CRECER"

El "espacio para crecer" es el conjunto de factores que influyen/limitan el crecimiento de plantas en un sitio. Los factores más importantes son luz solar, agua, nutrientes, temperatura, O₂, y CO₂. Muchas actividades que se realizan en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales centran en aumentar la disponibilidad de uno o más de estos factores. Por ejemplo, en suelos compactos, el laboreo de suelo puede aumentar la disponibilidad de agua, porque más infiltra al suelo, y nutrientes también, porque más entran en solución. Cuando se abren desagües en sitios con mal drenaje, se aumenta la disponibilidad de oxígeno. Al raleo una plantación se aumentan la luz, la humedad, y los nutrientes disponibles a los árboles no raleados.

Arboles crecen libremente y utilizan los factores mencionados hasta que el crecimiento se limita por la falta de uno o más de ellos. La Ley de Mínimo de Liebig dice que el "Espacio para crecer" existe hasta que uno de los factores necesarios para el desarrollo de las plantas se encuentre limitado. Por ejemplo, un sitio podría disponer de casi todos los factores necesarios para permitir un buen crecimiento de plantas, pero si hubiera niveles muy deficientes de un nutriente (P, por ejemplo), el desarrollo sería limitado por la falta de ese nutriente.

La interacción principal entre árboles es de competencia. Arboles expanden hasta que estén en "contacto" con otros árboles o con otras plantas (maleza, por ejemplo) que también están expandiendo. Una vez que están "en contacto" (no siempre físicamente), comienza la competencia entre las plantas/árboles. Competencia entre árboles implica que algún factor necesario para el crecimiento de los individuos se encuentra en cantidades inadecuadas; es decir,

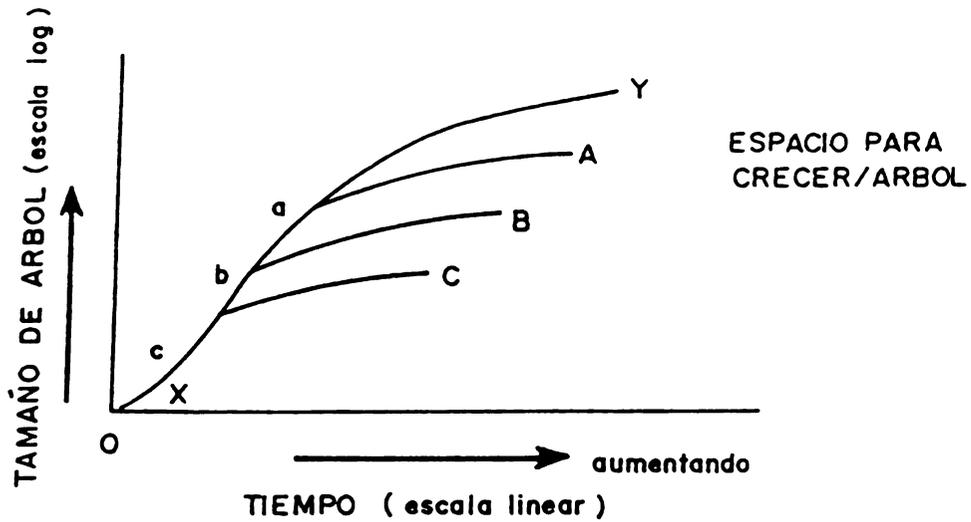


Figura 1 Un árbol creciendo sin competencia ocupará más "espacio para crecer" [espacio que incluye los factores necesarios para el desarrollo de los árboles (luz, agua, nutrientes, CO_2 , O_2 y temperatura)] y crecerá siguiendo la línea XY en la figura. Árboles que entran en competencia en los puntos a, b, ó c crecerán siguiendo las líneas aA, bB o cC respectivamente. Eventualmente llegan a su tamaño máximo por el "espacio para crecer" que disponen.

el crecimiento es afectado negativamente. El control de la maleza y el raleo de plantaciones forestales se aplican para reducir esta competencia.

Operaciones silviculturales en plantaciones forestales no siempre aumentan el potencial productivo de un sitio; es decir, pueden reducir el "espacio para crecer". Por ejemplo, si se construyen caminos forestales sin las normas adecuadas habría un aumento en la erosión de suelo. La erosión reduce el "espacio para crecer" de un sitio. Otro ejemplo sería un rodal donde durante la extracción de trozas se compacta el suelo (algo común en áreas húmedas con suelos arcillosos). Si una operación silvicultural reduce el "espacio para crecer", ¿qué se puede concluir sobre el valor de la plantación de punto de vista ecológica? ¿sostenibilidad?

Como forestales siempre debemos reflexionar sobre el "espacio para crecer" durante el establecimiento y manejo de plantaciones forestales. Hay, por lo menos, dos metas para tener presentes cuando se establecen plantaciones: lograr los objetivos de los productores y sostener la productividad de los sitios. No se ha logrado un éxito con una plantación, si la productividad de sitio baja por la realización de actividades silviculturales no apropiadas.

DISTRIBUCION DE ENERGIA DENTRO DE ARBOLES

El volumen de un árbol aumenta en una curva "sigmoideal" (figura 1) si no hay un impedimento al crecimiento. Al principio, un árbol crece lentamente hasta producir follaje, raíces, y otros tejidos necesarios para sostener un buen desarrollo. Después, hay un período de rápido crecimiento cuando el follaje y las raíces aumentan más rápidamente que los tejidos activos en respiración. Esto es el período cuando un árbol crece más rápidamente en volumen. Después cuando el árbol alcanza una edad mayor o entra en competencia con otros su tasa de crecimiento comienza a bajar. Si un árbol joven entra en competencia fuerte, su tasa de crecimiento en volumen reducirá mucho más rápidamente que un árbol que dispone de más espacio. Este concepto se refuerza en figura 1b que demuestra curvas de crecimiento en diámetro de *Pinus caribaea* plantada a diferentes espaciamientos (Liegel *et al.* 1985). A densidades mayores el crecimiento en diámetro se detiene más rápidamente, ¿Porque el crecimiento en diámetro (volumen) de un árbol es tan sensible a la competencia? A continuación, se dirige la discusión a contestar esta pregunta.

Aunque no es absoluto, se ha desarrollado una jerarquía que describe la distribución de energía de la fotosíntesis dentro de un árbol. Las prioridades en orden de importancia son:

1. Energía usada en la respiración de tejidos vivos. Todo tejido requiere energía para mantenerse vivo. Cuando un árbol crece en tamaño, sus necesidades de energía para la respiración aumentan en forma paralela.

2. Producción de raicillas y follaje. Las raíces y el follaje incorporan carbohidratos en su formación y utilizan energía en la respiración.

3. Producción de flores y semillas (en árboles maduros). El crecimiento en altura y en diámetro se reduce en años de producción prolífica de semillas.

4. Crecimiento primario (crecimiento de ramas terminales y laterales). Aquí entra el crecimiento en altura de los árboles. Por el hecho de que el crecimiento en altura es menos sensible a la competencia que el desarrollo en diámetro, se usa la altura para estimar la calidad de sitio (índice de sitio).

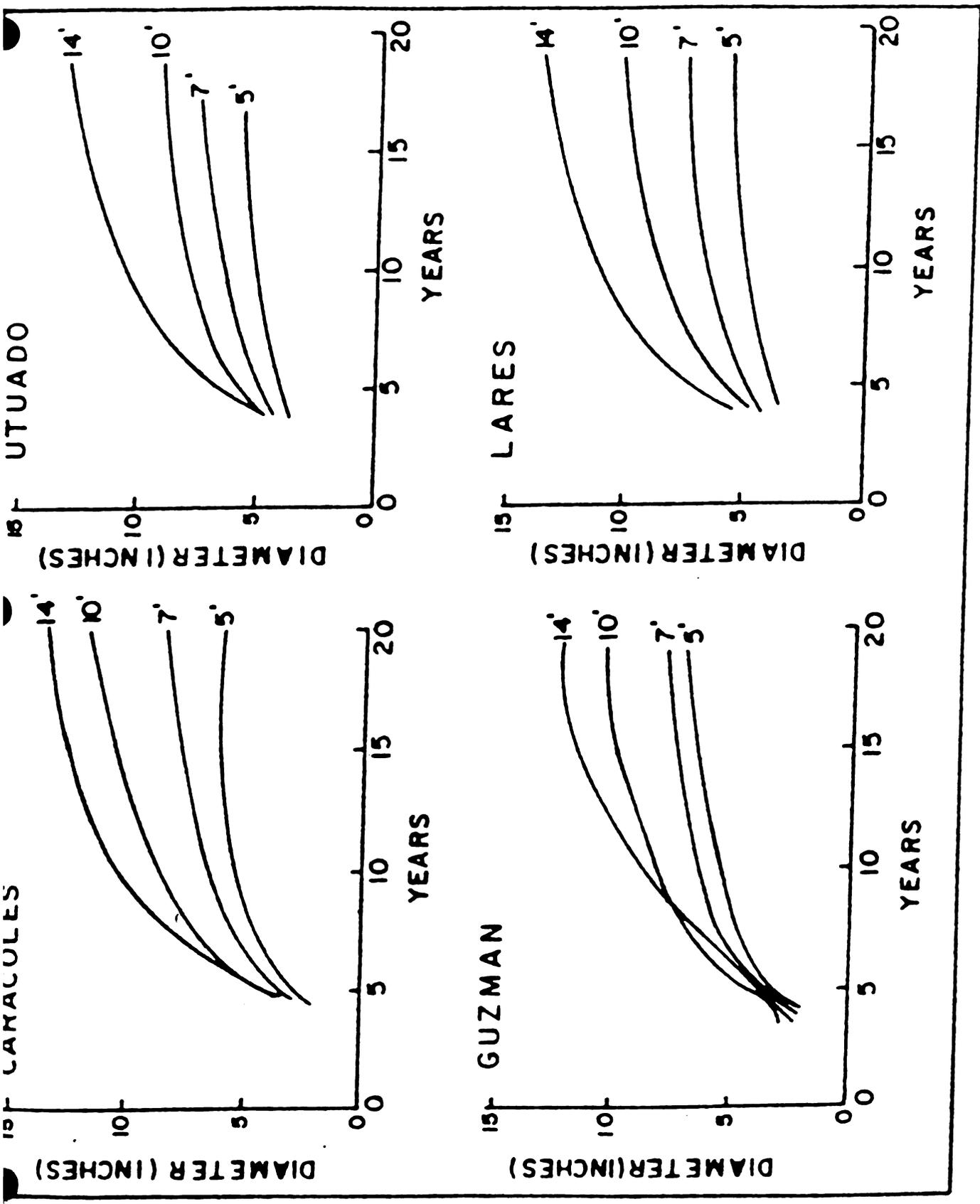


Figure 1B. Honduras pine diameter growth for four triangular spacings at four locations in Puerto Rico.

5. **Crecimiento en diámetro.** Si todavía hay carbohidratos disponibles, el árbol crecerá en diámetro.

6. **Mecanismos de resistencia contra plagas y enfermedades.** Finalmente, el árbol invertirá energía en mecanismos (resinas y otros químicos) de resistencia contra plagas y enfermedades.

A continuación se presenta un ejemplo de la distribución de energía dentro de una especie del bosque templado (cuadro 1).

Cuadro 1: Distribución de Energía dentro de Árboles de *Fraxinus* sp

Árboles Vigorosos (dominantes)	Función de la Energía Usada	% de la Energía
	-Respiración	26%
	-Formación de raíces y follaje	32%
	-Crecimiento en Diámetro	42%
Árboles suprimidos		
	-Respiración	50%
	-Formación de raíces y follaje	42%
	Crecimiento en diámetro	8%

Árboles suprimidos tienen copas pequeños y reciben relativamente pocos rayos solares. Por consiguiente, disponen de poca energía para crecer. En cambio, un árbol dominante tiene una copa amplia encima del dosel general del bosque y recibe rayos solares de arriba y de los lados; su crecimiento en diámetro es mucho mayor. En casos extremos, árboles suprimidos por competencia excesiva pueden pasar años sin aumentar el diámetro de sus fustes. Esta reducción dramática en el crecimiento diametral se puede observar en los árboles de muchas plantaciones que no han sido manejados oportunamente (raleados). A continuación se describe en más detalle lo que sucede en un rodal sin manejo (sin raleos oportunos).

¿QUE SUCEDE EN UN RODAL SIN MANEJO?

Antes de considerar un rodal sin manejo conviene visualizar árboles creciendo sin competencia a plena luz (figura 2). Dichos árboles tienden a tener copas grandes y frondosas. Las ramas tienden a ser persistentes y también grandes. Los fustes (troncos) crecen rápidamente en diámetro y en perfil tienden a ser cónicos. El árbol es fuerte, estable y vigoroso. Ahora, se va a contrastar este árbol con otros que están creciendo en una plantación sin manejo.

CRECIMIENTO PLENA LUZ

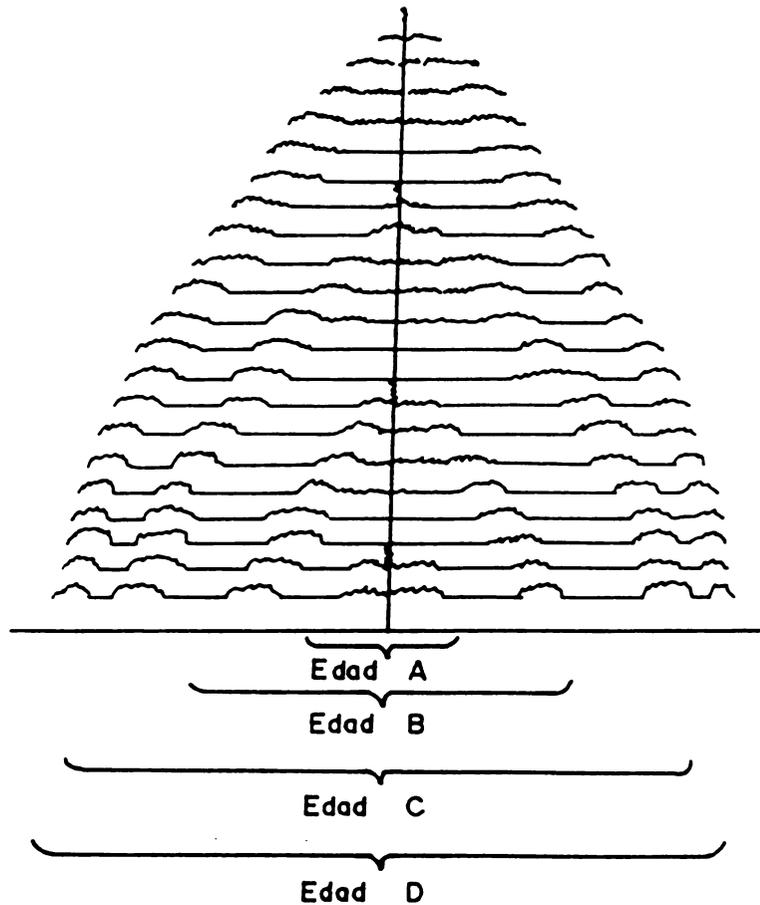


Figura 2. Un árbol creciendo a plena luz. Un árbol creciendo sin competencia lateral por luz tiende a mantener su copa. El follaje activo en fotosíntesis se encuentra concentrado hacia las extremidades de las ramas.

Recesión de copas

En un rodal denso (por ejemplo, a 3 x 3 o 2 x 2 m) sin raleos, los árboles comienzan a competir entre sí a una edad joven. Una vez que las copas toman contacto, su tamaño no varía mucho si los árboles crecen en altura a una tasa uniforme (figura 3). Con el crecimiento en altura de los árboles, las ramas inferiores reciben más sombra, dejan de ser activas en fotosíntesis, y eventualmente mueren. Este proceso de la mortalidad de ramas inferiores se denomina la recesión de copas. Mientras más denso es un rodal, más rápidamente inicia la recesión de copas. Suele ocurrir rápidamente en plantaciones en las regiones tropicales y subtropicales. En el Cuadro 2, se presentan unos ejemplos de recesión de copas en plantaciones de América Central.

Cuadro 2. Recesión de copas en plantaciones sin manejo*

Especie	Edad (años)	Espaciamiento inicial (m)	Altura total (m) *	% Copa viva
<i>Cupressus lusitanica</i>	7	2 x 2	12	20
<i>Gmelina arborea</i>	3.6	3 x 3	11.8	20
<i>Eucalyptus deglupta</i>	3.6	2.5 x 2.5	18.5	31 **
<i>E. deglupta</i> (en hilera)	3.25	3.6	20.2	84.2

* El ancho de las copas es igualmente importante. Relatar caso melina en Guanacaste.

** Este valor es un promedio, es decir incluye árboles dominantes con copas más grandes. Muchos árboles tenían copas vivas de menos de 20% de su altura.

Hay varios mensajes en el Cuadro 2 que es importante destacar: mientras más rápido sea el crecimiento de los árboles, más acelerada es la recesión de copas (caso de *G. arborea*, por ejemplo). Cuando árboles de una especie disponen de más espacio, logran sostener copas más grandes (caso de *E. deglupta* que contrasta los árboles en hileras con otros plantados a 2.5 x 2.5 m). El proceso de recesión de copas se puede evitar aumentando oportunamente el espacio disponible a los árboles.

La recesión de copas tiene mucha importancia. Un árbol en competencia sigue creciendo en altura, pero con el paso de tiempo, su copa es comparativamente más pequeña (Figura 3). Las demandas de energía aumentan con el crecimiento en altura, porque los tejidos activos en respiración (en el fuste y en las raíces) son cada vez mayores. Por lo tanto, hay menos energía disponible para invertir en el crecimiento en diámetro. Ya se explicó que el crecimiento en diámetro es una prioridad baja en la distribución de energía dentro de un árbol, y la reducción de su tasa de crecimiento es una de las primeras manifestaciones de competencia en una plantación.

Reducción del crecimiento en diámetro

La recesión de copas produce una reducción del crecimiento en diámetro. Este proceso ocurre más rápidamente cuando los árboles se establecen a espaciamentos estrechos y en sitios donde pueden alcanzar tasas altas de crecimiento en altura. En América Central, algunas especies como *Eucalyptus camaldulensis* se plantan a densidades altas (espaciamentos de 1.5 x 1.5 m o

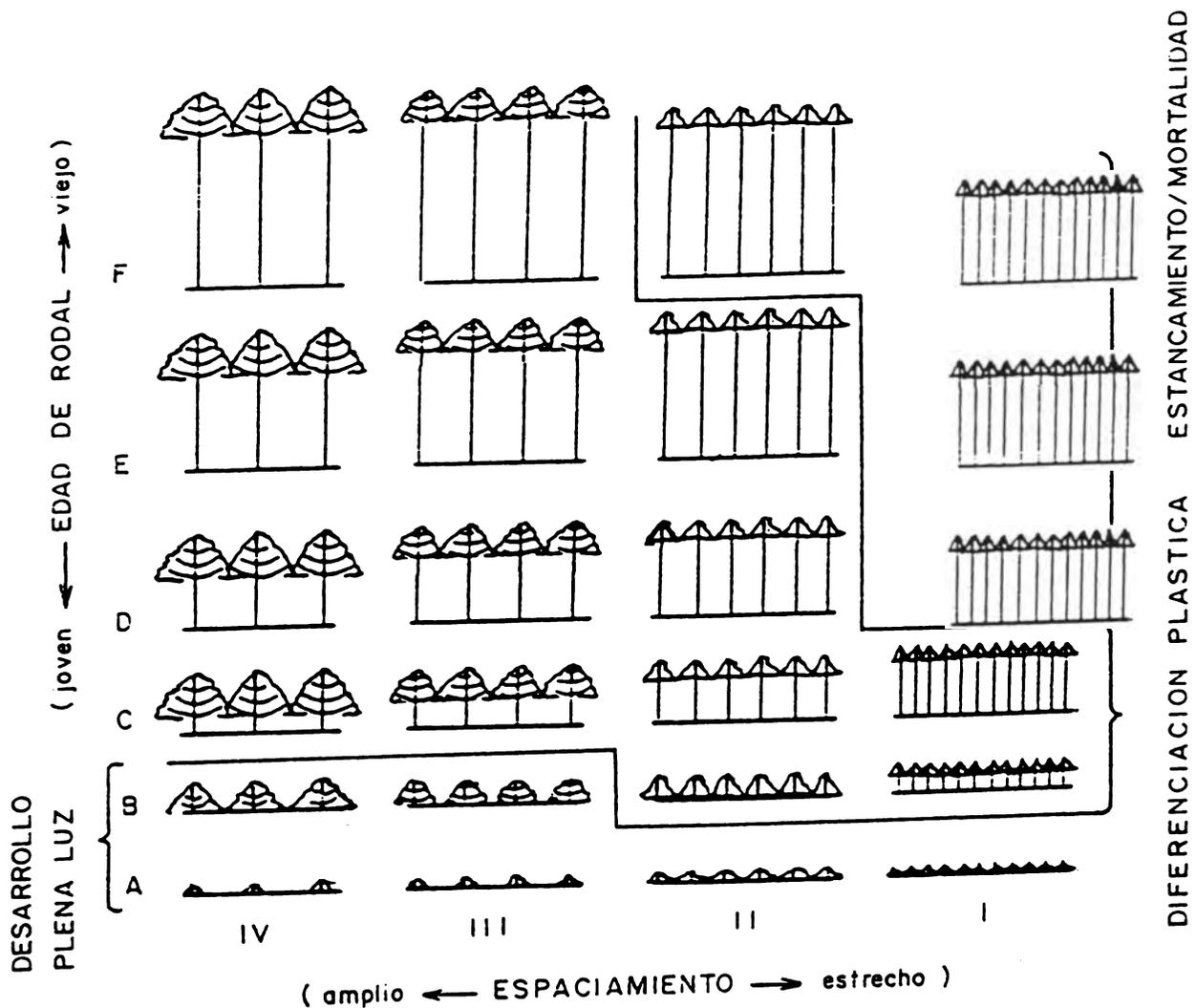


Figura 3. Crecimiento idealizado de varias plantaciones con densidades iniciales diferentes, sin diferenciación (crecimiento igual entre los árboles). La reducción en el tamaño relativo de las copas debida a la mortalidad de ramas inferiores se denomina recesión de copas. Las copas son más pequeñas en las plantaciones más densas. En estas plantaciones los efectos de competencia serían más pronunciados.

menos son comunes) en el lado Pacífico del Istmo Centroamericano. En un ensayo de espaciamiento con esta especie, Sequeira y Vásquez (1995) determinaron que las tasas máximas de crecimiento en diámetro en plantaciones no raleadas (plantadas a 1.5 x 1.5 m), se obtuvieron antes del final del segundo año. El crecimiento en diámetro cesó por completo durante el sexto año.

Sánchez (1994), estimó que la tasa máxima de crecimiento en diámetro en plantaciones no raleadas de *E. deglupta*, plantadas a 3 x 3 m, ocurrió cuando el área basal se acercó a los 12 m²/ha, lo que se alcanza en un sitio productivo durante el tercer año. Estos resultados son consistentes con otros estudios que demuestran que el crecimiento en diámetro de árboles individuales, culmina rápidamente en plantaciones densas sin manejo. La reducción del crecimiento en diámetro se puede evitar aumentando oportunamente el espacio disponible para cada árbol.

Aumento en la relación Altura/Diámetro

Cuando un árbol crece en altura pero poco o nada en diámetro, la relación entre altura y diámetro (A/D) va aumentando. Según varios autores, citados por Oliver y Larson (1990), cuando la relación A/D supera 100 (un árbol de 10 m de alto y 10 cm de diámetro tiene una relación A/D de 100), los árboles de muchas especies se pueden considerar inestables y, en casos extremos, los fustes pueden fallar (inclinarse y/o romperse). Si se realiza un raleo tardío de un rodal con árboles inestables, los problemas se agravan aún más (Sommerville 1980; Cremer *et al.* 1977).

Los aumentos en la relación A/D de árboles en plantaciones de rápido crecimiento sin raleos son dramáticos. El Cuadro 3 presenta ejemplos de este fenómeno en plantaciones de varias especies en América Central.

Con los datos del Cuadro 3, se puede llegar a varias conclusiones:

1. Las reducciones del crecimiento en diámetro ocurren más pronto en plantaciones más densas. Por ejemplo, los árboles de *E. camaldulensis* de 5.4 años, plantados a 1.5 x 1.5 m alcanzaron relaciones de A/D de 150, lo que contrasta con las plantaciones establecidas a 3 x 3 m, las cuales que presentaron relaciones A/D con un promedio de 120. Estos datos demuestran que los árboles plantados a 3 x 3 m siguieron creciendo en diámetro, después de aquellos plantados a 1.5 x 1.5 m.
2. En plantaciones sin raleo, las relaciones A/D pueden llegar a niveles críticos en poco tiempo, especialmente en sitios productivos. Por ejemplo, plantaciones sin raleo de *E. deglupta* de 3.7 años y de *G. arborea* de cuatro años, ya habían alcanzado relaciones A/D promedios de 147 y 111, respectivamente.
3. Los aumentos excesivos en las relaciones A/D pueden evitarse con reducciones oportunas de las densidades de los árboles que permiten la expansión de las copas. Entre las plantaciones con mayor altura en el Cuadro 2 están las de *E. deglupta* plantada en hilera (20.15 m) y *G. arborea* raleada (17.1 m), que tenían relaciones A/D de 88 y 78, respectivamente. Dado

que los árboles en estas plantaciones tenían copas más grandes, el crecimiento en diámetro continuó aún cuando en plantaciones sin raleo, se había reducido fuertemente.

4. Finalmente, aunque los árboles dominantes en plantaciones sin raleo tienden a tener copas más grandes y relaciones A/D más bajas, el proceso de diferenciación no permite que estos árboles optimicen su crecimiento en diámetro. Aún los árboles dominantes sufren la recesión de copas y reducciones en su crecimiento en diámetro.

Cuadro 3. Información proveniente de plantaciones de América Central de diferentes especies, edades y densidades incluyendo la relación A/D.

Especie	Edad años	Espac. inicial (m)	Supervivencia (%)	Altura promedio (m)	DAP promedio (cm)	A/D	País**	Fuente
<i>Cupressus lusitanica</i>	7	2.1x1.5	97	12.7	11.2	113	GT	Madeleña*
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.4	1.5x1.5	95	10.6	7.0	150	NI	Sequeira, Vásquez (1995)
<i>E. camaldulensis</i>	5.4	3x3	95	13.4	11.2	120	NI	igual
<i>Eucalyptus deglupta</i>	3.7	2.5x2.5	76	18.5	12.6	147	CR	Sánchez (1994)
<i>E. deglupta</i> (en hilera)	3.3	3.57	100	20.15	23.0	88	CR	igual
<i>E. deglupta</i> (dominantes)	2.5-4	prom. 2.7x2.7	variable	variable	variable	prom. 104	CR	igual
<i>E. grandis</i> (4 parcelas)	6.5	1x2	55	24.6	16.8	146	CR	Vásquez, Ugalde (1994)
<i>Gmelina arborea</i>	4.0	3x3	96	15.6	14.1	111	CR	Madeleña*
<i>G. arborea</i> (raleada)	5.6	3x3	53	17.1	21.8	78	CR	Madeleña*
<i>Tectona grandis</i>	6.5	2.5x2.6	90	11.8	11.87	99.4	SV	Madeleña*

* Datos recolectados y procesados durante talleres sobre el manejo de plantaciones forestales en 1993 y 1994.

**GT=Guatemala; NI=Nicaragua; SV=El Salvador; CR=Costa Rica

Reducción del crecimiento en altura

Cuando la competencia entre árboles y la recesión de copas alcancen niveles extremos, el crecimiento en altura también disminuye. Las reducciones del crecimiento en altura pueden ser severas cuando se cultivan especies de copa ancha con espaciamientos estrechos. El Cuadro 4 demuestra cómo la densidad de plantación puede influir en el crecimiento en altura de diferentes especies.

Cuadro 4. Reducciones en crecimiento en altura debido a la densidad de plantación.

Especie	Edad (años)	Espaciamiento (m)	Altura promedio (m)
<i>Schizolobium parahybum</i>	26	6.0 x 6.0	29 (P)*
<i>S. parahybum</i>	26	12.0 x 12.0	42 (P)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.4	1.5 x 1.5	13.6 (D)
<i>E. camaldulensis</i>	5.4	3.0 x 3.0	16.4 (D)
<i>Eucalyptus grandis</i> (Nelder)	6.8	1.6 x 1.6	19.8 (P)
<i>E. grandis</i> (Nelder)	6.8	7.0 x 7.0	29.5 (P)

* P=Altura promedio; D=Altura dominante

El Cuadro 4 ilustra claramente cómo los árboles que disponen de mayor espacio crecen mejor en altura, y que la reducción del crecimiento en altura, debido a la densidad, afecta hasta los árboles dominantes de una plantación (ver caso de *E. camaldulensis*). Por lo tanto, en plantaciones densas sin manejo, la altura de los árboles dominantes no necesariamente refleja bien la productividad de un sitio. Eversole (1955) y Curtis y Reukema (1970) llegaron a la misma conclusión para *Pseudotsuga menziesii*, al analizar datos procedentes de parcelas de diferentes densidades de esta especie en el noroeste de los Estados Unidos.

Aumento en el peligro de plagas y enfermedades

La resistencia contra plagas y enfermedades disminuye en árboles poco vigorosos debido a una competencia fuerte (de Gryse 1955; Hinds 1962; Shaw y Roth 1977; Cremer 1984; Marks y Smith 1987). Los árboles altos con copas pequeñas, cuentan con poca energía para invertir en mecanismos de resistencia contra plagas y enfermedades. En los Estados Unidos, por ejemplo, se ha relacionado la resistencia de árboles contra ataques de *Dendroctonus* spp. (una plaga común y dañina en Guatemala) con su vigor. Se puede mantener el vigor de los árboles aumentando oportunamente el espacio disponible para los árboles (Graham y Knight 1965). Mencionar nuevas observaciones en Guanacaste.

Pérdida del sotobosque

En plantaciones densas sin manejo, los árboles aprovechan la mayor parte del "espacio de crecer"; en dichas condiciones es común encontrar que el sotobosque es pobre. En el noroeste de los Estados Unidos la supresión del sotobosque en plantaciones densas de *P. menziesii* ha propiciado muchas críticas sobre el uso de esta especie. Lo mismo sucede en otros países con *Eucalyptus* spp, donde este género compite agresivamente con las plantas del sotobosque. La supresión del sotobosque en plantaciones de teca sin manejo, está causando una erosión laminar considerable en algunas plantaciones en Guanacaste, Costa Rica. Sin embargo, con un manejo

oportuno, se puede favorecer la presencia y vigor de plantas en el sotobosque y reducir los problemas señalados.

LIBERACION DE ARBOLES DE COMPETENCIA

Figura 4 muestra la respuesta de las copas de dos árboles después de un raleo. La competencia por luz en estas figuras se ilustra como paredes laterales que suben juntamente con el crecimiento en altura de los árboles. Arbol #1, cuando joven, tiene muy poco espacio lateral para expandir su copa. Aunque crece en altura, el tamaño de su copa sigue igual desde edad B hasta edad E. A la edad F se ralean los vecinos de Arbol #1 (se eliminan las paredes). La recesión de la copa se detiene y la copa se expande lateralmente y verticalmente permitiendo que árbol #1 a edad G tiene una copa más grande. (Se densifica el follaje también.)

Arbol #2 inicia su vida con más espacio, y por ende, desarrolla una copa más grande. El tamaño de su copa también queda igual una vez que cierran las copas. A la edad F, los vecinos de Arbol #2 detienen su crecimiento lo que permite la expansión de su copa lateralmente y verticalmente. Es importante notar que ni Arbol #1 ni Arbol #2 expandan sus copas hacia abajo después del raleo.

OTRAS POSIBLES RESPUESTAS A LIBERACION DE COMPETENCIA

-Rotura o falla de los fustes de árboles: Si ha habido una recesión grande de copas, no habrá un aumento inmediato en crecimiento diámetro. Con el crecimiento en altura habrá una expansión de las copas, y por ende, un aumento del área foliar que recibe la fuerza del viento, lo que puede provocar la rotura posterior de algunos fustes. Donde los raleos son oportunos esto no representa un problema.

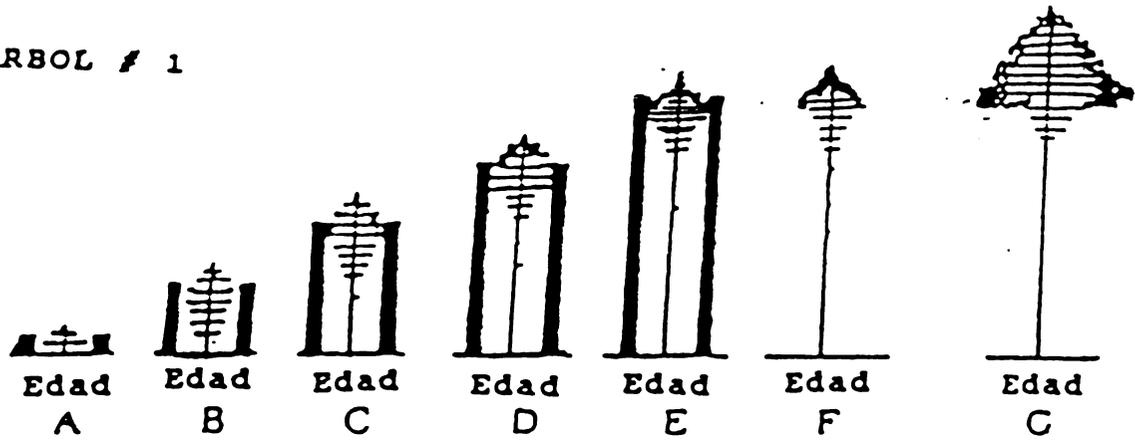
-Brotos epicórmicos: Algunas especies forman brotes en los tallos después de un raleo fuerte (*Pinus radiata*, por ejemplo). Se observan la proliferación de brotes epicórmicos en los tallos de árboles de teca en plantaciones que han sido raleadas en forma inoportuno en El Salvador. Sería conveniente vigilar otras especies en América Central para ver si ocurre tal respuesta después de raleos y podas.

-Aumento en la respiración: Después de un raleo, más rayos solares alcanzan los fustes y follaje inferior de los árboles lo que provoca un aumento en su temperatura. A temperaturas más altas, tejidos respiran más.

-Aumento en el crecimiento en volumen: Una vez que expanden las copas, los árboles van a tener más energía para invertir en crecimiento en diámetro; el incremento en volumen/árbol aumenta. Sin embargo, un árbol que ha sufrido competencia nunca puede alcanzar el volumen de un árbol que creció libre de competencia en el mismo lapso de tiempo (figura 5). Mientras más severa y más tiempo duró la competencia, más será la reducción en volumen/árbol al final de turno. Es muy importante entender este punto. Mostrar nueva experiencia de Guanacaste, Costa Rica.

-Desarrollo del sotobosque: Después de un raleo más luz solar y precipitación alcanza el sotobosque. Generalmente, este aumento en "espacio para crecer" permite la regeneración y crecimiento de plantas en el sotobosque. Por ejemplo, en sistemas silvopastoriles (por ejemplo, pino con pasto) se aplican raleos fuertes y oportunos para favorecer el componente pasto. En

ARBOL # 1



ARBOL # 2

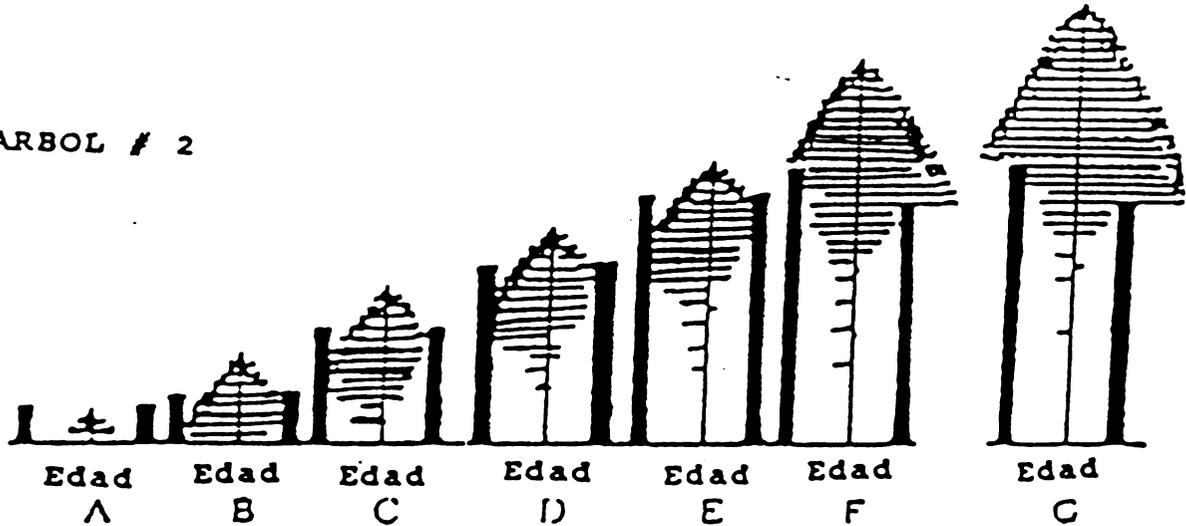


FIGURA 4. El efecto de sombra lateral en el crecimiento y morfología de un árbol. La sombra lateral actúa como paredes que no permiten el desarrollo y supervivencia de las ramas laterales inferiores. Mientras más espaciadas son las paredes, más grandes pueden desarrollar las ramas inferiores. Si se remueve la sombra a la edad F en árbol #1, tendría una copa como se aprecia en la figura. Con el tiempo podría aumentar el tamaño de su copa lateralmente y con el crecimiento en altura.

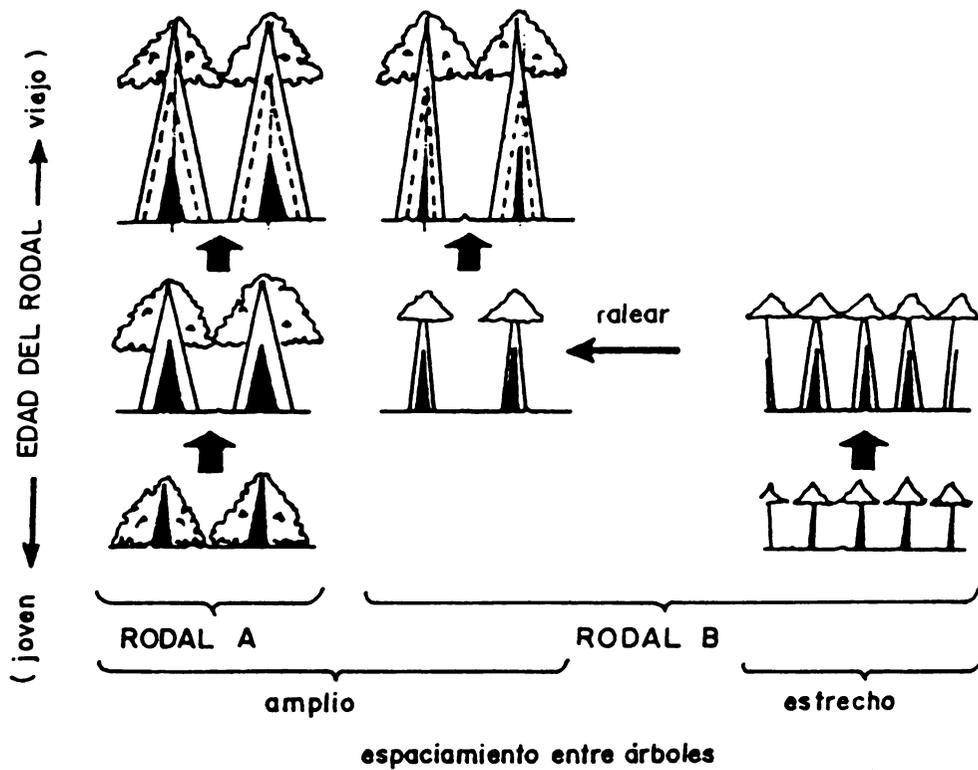


Figura 5. El efecto del momento de raleo en el crecimiento en diámetro de los árboles. Árboles que disponen de más "espacio para crecer" desde una edad más joven alcanzarán diámetros mayores en el mismo lapso de tiempo. Árboles que sufran mucha competencia nunca alcanzarán los diámetros logrados por árboles que han tenido más "espacio para crecer" durante su desarrollo.

plantaciones densas donde el sotobosque ha sido eliminado, por exceso de competencia, su recuperación puede ser muy lenta después de un raleo. Si los árboles reocupan rápidamente el "espacio para crecer", no habrá una recuperación del sotobosque. Esta situación se observa en plantaciones de teca donde se han realizado raleos leves y tardíos.

RESUMEN DE LOS CONCEPTOS PRESENTADOS

Para repasar los conceptos presentados, regrese a la figura 3 que ilustra el desarrollo "idealizado" de rodales de una sola especie con espaciamiento y crecimiento uniformes (hay 4 rodales ilustrados, cada uno con un espaciamiento diferente). Las plantaciones ilustradas aproximan muchas plantaciones puras en la región. Mensajes importantes de la figura son:

1. Al inicio, las copas desarrollan libre de competencia.
2. Cuando topan las ramas, las ramas inferiores comienzan a ser sombreadas. La sombra de las ramas inferiores aumenta con el crecimiento en altura de los árboles. Eventualmente, las ramas inferiores dejan de ser activas en la fotosíntesis y eventualmente mueren. La capacidad de mantener copa viva en sombra después del cierre de copas varía por especie.
3. Árboles más grandes bambolean en el viento. Ramas que topan, a menudo, sufren daños físicos durante tempestades fuertes (se puede comprobar esto en un rodal después de vientos fuertes; habrán ramas rotas en el piso del bosque).
4. Los árboles entran en la etapa de **diferenciación plástica**. El diámetro de los árboles y el tamaño de sus copas depende del espacio que se disponen (de la densidad del rodal).
5. Después del cierre de las copas, el área foliar/árbol activa en fotosíntesis no cambia drásticamente si no hay una reducción en la densidad del rodal.
6. La reducción en el crecimiento en volumen/árbol es más rápido en rodales con espaciamientos estrechos (la situación es crítica en América Central donde los espaciamientos iniciales pueden ser de 1.5 x 1.5m en muchas plantaciones).
7. Con la reducción del vigor de los árboles, se ponen más sensibles a plagas y enfermedades. Estabilidad contra los vientos se reduce. Eventualmente, aún crecimiento en altura puede ser afectado y el rodal se estanca su crecimiento (ver el rodal más denso en la figura).

Los procesos ilustrados en figura 3 ocurren más rápidamente en rodales de especies de copa amplia, como por ejemplo, *Albizia*, *Schizolobium*, *Prosopis*, *Enterolobium* etc. Es conveniente plantar dichas especies a espaciamientos iniciales mayores (4 x 4 o 5 x 5 m, por ejemplo).

DIFERENCIACION

Cuando el crecimiento de los árboles en una plantación es irregular sucede un proceso llamado diferenciación. En los rodales ilustrados previamente, los árboles no pasan por el proceso de diferenciación; todos los árboles crecen en forma pareja. Donde ocurre diferenciación, se encuentran árboles grandes, intermedios y pequeños intercalados en la plantación. Si la diferenciación es fuerte, puede servir como un auto-raleo. Diferenciación de en un rodal está influenciado por varios aspectos:

Calidad de sitio -- Diferenciación ocurre más rápidamente en sitios de alta productividad. ¿Porqué?

Variación en calidad de microsítios -- Los árboles plantados en microsítios favorables tendrán una ventaja sobre sus vecinos.

Variación en la calidad de las plantas y en el cuidado de plantarlas. La genética de los individuos entra aquí también, pero no es definitiva en determinar cual árbol alcanza un crecimiento superior.

Variación en el espaciamiento -- Árboles con más superficie, dispondrán más "espacio para crecer" (figura 6).

LA IMPORTANCIA DE RALEOS INTENSOS Y OPORTUNOS EN PLANTACIONES PARA LA PRODUCCION DE MADERA PARA ASERRIO

Aquí, se van a discutir brevemente las respuestas a raleos ejecutados en rodales de diferentes edades y densidades. Se va a ilustrar como el desarrollo de un rodal es fuertemente influido por el momento y la intensidad de raleo.

Figura 7 ilustra el efecto de raleos de diferentes intensidades en el tamaño de las copas. Conjuntamente con la expansión de las copas puede haber una densificación del follaje también. Con raleos más fuertes, el tamaño de las copas se pueden expandir más, lo que permite mayor crecimiento en diámetro.

Figura 8 muestra el raleo de un rodal a diferentes edades. ¿Qué podría suceder después de un raleo tardío cuando las copas son pequeñas en relación con la altura de los árboles? ¿Como influye el tamaño de las copas en la respuesta de los árboles a un raleo?

Como ya se mostró en figura 5, árboles que han crecido en rodales raleados en forma tardía, nunca alcanzarán el diámetro de árboles que han crecido en rodales menos densos (raleados oportunamente). El rodal raleado en forma temprana en figura 8, tendrá árboles de diámetros más grandes que el rodal raleado en forma tardía. En contraste, el tamaño de las copas terminarán igual.

¿CUANTOS ARBOLES DEJAR PARA EL TURNO FINAL?

En esta discusión no se ha discutido en detalle el potencial productivo de los sitios. Cada sitio tiene cierto potencial para sostener el desarrollo de árboles. Una medida que refleja bien el potencial productivo de los sitios es el área basal; es decir, el área total (la suma) de la sección transversal de los árboles a los 1.3 m, expresado en m^2/ha . Mientras más alto es el potencial productivo de un sitio, más alto puede subir el área basal.

Como ejemplo, en Nicaragua, el área basal de *E. camaldulensis* se ha medido en un gran número de sitios de calidad variable. Con base en este trabajo preliminar se ha clasificado un sitio de buena calidad como aquello uno que alcanza a los cinco años unos $20 m^2/ha$ de área basal. Sitios de mediana y baja productividad son aquellos que alcanzan unos $13 a 15 m^2$ y $7 a 9 m^2/ha$ respectivamente (naturalmente, hay sitios intermedios alrededor de estos valores) a la

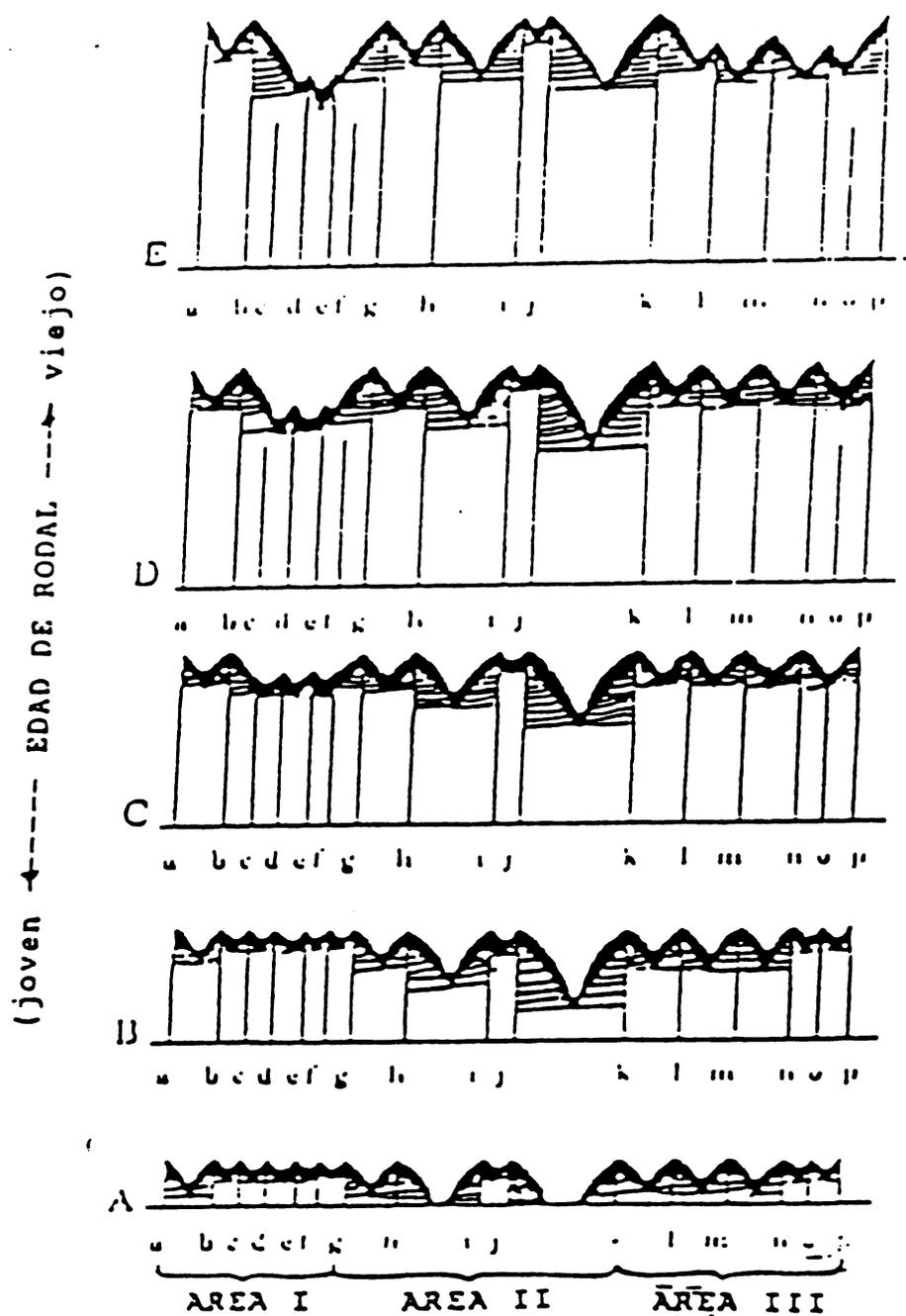


FIGURA 6. Diferenciación en un rodal debida a diferencias en el espaciamento inicial de los árboles. Árboles en un rodal que presentan un desarrollo superior, no necesariamente son genéticamente superiores.

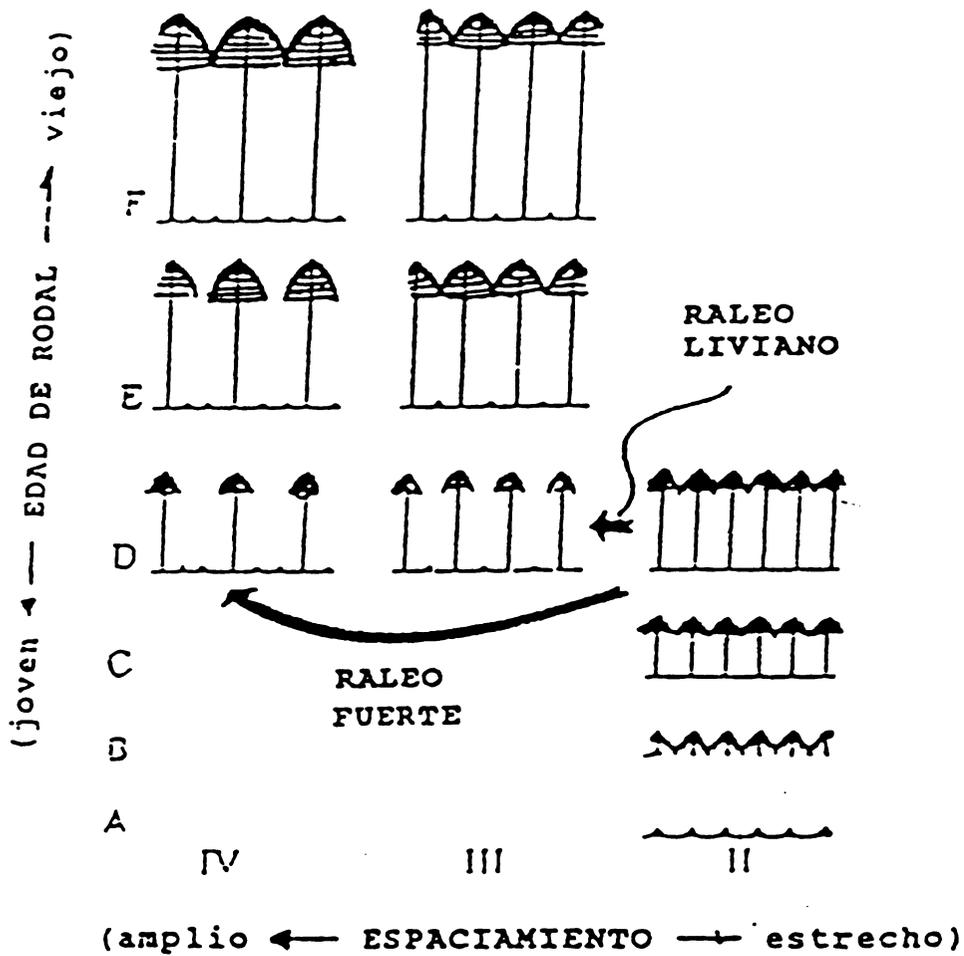


FIGURA 7. La diferencia en el tamaño de las copas de árboles después de un raleo liviano y un raleo fuerte. Los árboles en el rodal con un raleo fuerte tendrán más energía para dedicarse al desarrollo en diámetro.

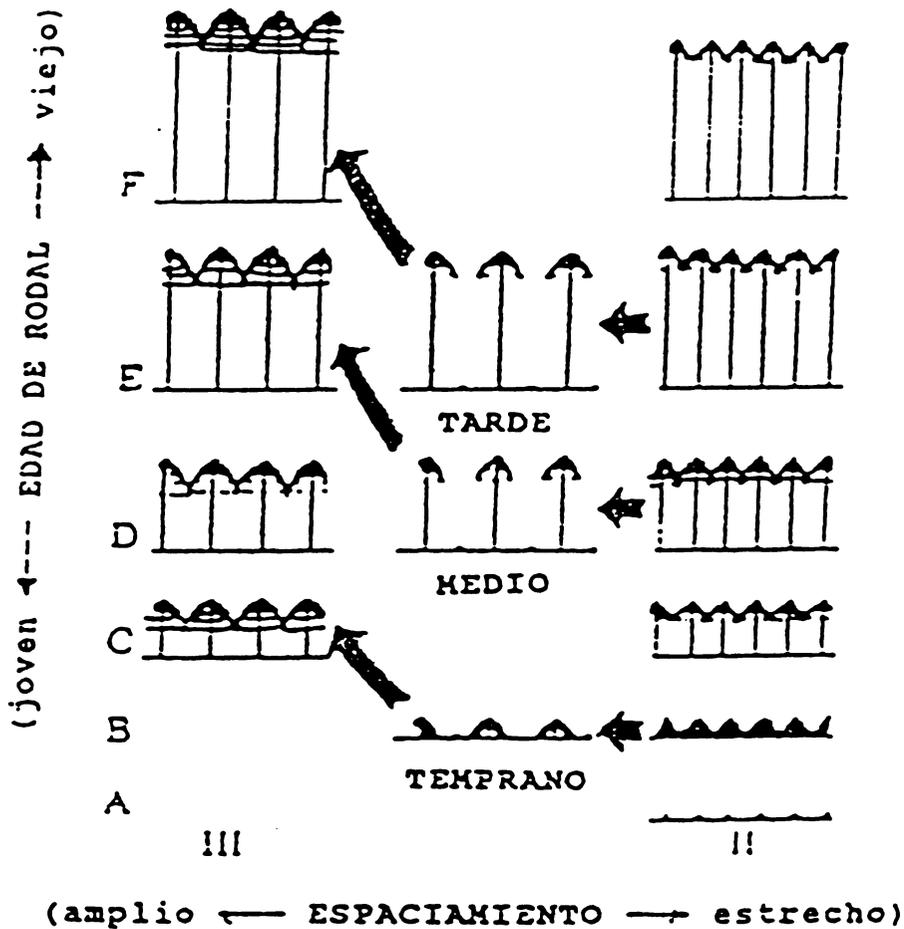


FIGURA 8. El efecto de la época del raleo en el desarrollo de un rodal. Si la densidad de los rodales es igual, las copas tendrán el mismo tamaño, independientemente, de la época del raleo. Sin embargo, en el rodal con el raleo temprano, el crecimiento en diámetro será mayor, porque los árboles tendrán una copa más grande más temprano en el turno.

misma edad. Con estos valores se puede proyectar el número de árboles a dejar por hectárea después de los raleos, si se conoce el tamaño final deseado.

Si se sabe el área basal máxima de un sitio, se puede proyectar el número de árboles/ha para el turno final. Por ejemplo, si tenemos un buen sitio con un potencial productivo de 20 m²/ha y queremos producir árboles de 28 cm de diámetro (DAP) para la producción de soleras, es un cálculo simple para determinar en forma aproximada el número de árboles para dejar por hectárea para el turno final. En este caso, cada árbol de 28 cm tiene un área basal de 0.0616 m². Entonces el cálculo será así:

$$\text{\# de árboles/ha para el turno final} = \frac{\text{potencial productivo de sitio (m}^2\text{/ha)}}{\text{tamaño final deseado de los árboles (m}^2\text{)}}$$

$$\text{\# de árboles/ha para el turno final} = \frac{20 \text{ m}^2\text{/ha}}{0.0616 \text{ m}^2\text{/árbol}}$$

$$\text{\# de árboles/ha para el turno final} = \text{aproximadamente } 325 \text{ árboles/ha}$$

En un sitio menos productivo con un potencial de sitio de 13 m²/ha el resultado cambia:

$$\text{\# de árboles/ha para el turno final} = \frac{\text{potencial productivo de sitio (m}^2\text{/ha)}}{\text{tamaño final deseado de los árboles (m}^2\text{)}}$$

$$\text{\# de árboles/ha para el turno final} = \frac{13 \text{ m}^2\text{/ha}}{0.0616 \text{ m}^2\text{/árbol}}$$

$$\text{\# de árboles/ha para el turno final} = \text{aproximadamente } 211 \text{ árboles/ha}$$

Hay dos mensajes claros:

1. El número de árboles para dejar para el turno final depende del potencial productivo de los sitios y del tamaño final deseado de los árboles. En unos 12 cursos/talleres sobre el manejo de plantaciones en varios países de Centro América se descubrió que muchos forestales no manejan bien estos conceptos, pues en evaluaciones preliminares respuestas como 500, 600 y hasta 800 árboles/ha fueron comunes cuando se les preguntó, ¿cuántos árboles/ha se deberían dejar para el turno final en plantaciones destinadas a la producción de madera para aserrío?. Es crucial que todos los forestales involucrados en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales dominen estos conceptos para poder proyectar adecuadamente el manejo de las mismas.

2. Los espaciamientos que se usan actualmente en muchas plantaciones son estrechos (1.5 x 1.5 m, por ejemplo) y si se desean generar productos de tamaños mayores habrá que raleo fuertemente y en forma temprana los rodales. En plantaciones de 1.5 x 1.5, y aún a 3 x 3 m, habrá que raleo durante el segundo o tercer año en sitios medianamente a bien productivos para favorecer el crecimiento en diámetro de los mejores árboles.

En la cuadro 5 se presentan datos **preliminares** que demuestran el número de árboles a dejar para el turno final en sitios de diferentes calidades de sitio para producir distintos productos.

Cuadro 5. Densidad final para *Eucalyptus camaldulensis* según el producto final deseado y la calidad del sitio expresada en términos de área basal máxima.

Área Basal (m ² /ha) Máxima de Sitio							
Producto	D (cm)*	AB/árbol	7	10	13	17	20
Leña:		Número de árboles finales/ha					
*leña doméstica	8	0.0050	1400	2000	2600	3400	4000
*leña industrial	15	0.0176	397	568	739	966	1136
Madera construc:							
*alfajilla	14	0.0154	455	649	844	1104	1299
*barules	16	0.0201	348	497	647	845	995
*soleras	28	0.0616	**	**	211	276	325
Poste eléctrica:	30	0.0707	**	**	184	240	283
Madera Aserrió:	35	0.0962	**	**	135	177	208

* D = diámetro del producto en cm; AB = área basal por árbol

** No es probable la producción de productos de diámetros mayores en sitios de baja calidad

Como otro ejemplo para reforzar los conceptos presentados, un rango representativo de valores del área basal máxima para *G. arborea* en Guanacaste, Costa Rica son: más de 25 m²/ha en sitios con buena productividad, de 15 a 25 m²/ha en sitios medianos y menos de 15 m² en sitios pobres (Vásquez y Ugalde 1994). El Cuadro 6 relaciona nuevamente la densidad final con el tamaño final deseado de los árboles y la productividad de sitio.

Cuadro 6. Densidad final (árboles/ha) en plantaciones destinadas a producir madera para aserrió en sitios de calidad variable.

Área Basal Máxima (m ² /ha)						
DAP del Arbol (cm)	AB/árbol (m ²)	15	18	20	25	30
		Densidad Final en Árboles/ha				
25	0.049	306	367	408	510	612
35	0.0962	156	187	208	260	312
40	0.1257	119	143	160	199	238
45	0.159	94	113	126	157	189

CONSIDERACIONES FINALES

Falta de manejo en plantaciones forestales puras ha dado una reputación mala en muchos países. Plantaciones densas con ramas persistentes sin un sotobosque no son estéticamente atractivas y, a menudo, no ofrecen mucho hábitat a especies de animales y pájaros. Entonces, de varios puntos de vista (estética, bio-diversidad, producción de madera, etc), el manejo de plantaciones es importante.

En base a lo que se ha discutido, se puede concluir que para lograr la respuesta óptima de un raleo es importante:

- ralear el rodal a una edad apropiada (joven en el primer raleo y el número de veces necesarias para llegar a la densidad final deseada).
- eliminar un número adecuado de árboles para que los que queden tengan espacio adecuado para crecer vigorosamente. Un raleo demasiado leve no tendrá el efecto deseado.
- dejar desarrollar el rodal por un tiempo adecuado para que los árboles puedan aprovechar el "espacio adicional para crecer".

Lamentablemente, densidades excesivas y falta de manejo son problemas comunes en plantaciones forestales en muchos países de LA y en el mundo. Aún cuando se realizan raleos, muchos se aplican en forma tardía. Si las copas ya son pequeñas en relación a la altura de los árboles, el raleo fue tardío. El largo de la copa solo puede aumentar con el crecimiento en altura. Como conclusión, hay que dar más énfasis a raleos oportunos e intensos en plantaciones establecidas para la producción de madera de aserrío.

Hay que enfatizar la importancia de mantener parcelas de medición en plantaciones con y sin raleo. Este trabajo debería involucrar el sector público, el sector privado y las universidades. Con más parcelas en plantaciones bajo manejo se podría mostrar/determinar, en términos cuantitativos, las respuestas a raleos y generar información importante para ajustar las calidades de sitio y refinar estrategias de manejo. Felizmente, aún sin esta información, se puede formular estrategias preliminares efectivas de manejo que permitirían que las plantaciones establecidas logren sus objetivos. Lo importante es no desplazar el manejo de las plantaciones en el país.

LITERATURA CONSULTADA

Nota: Mucha conceptos/figuras de esta charla proviene del libro "Forest Stand Dynamics" por Chadwick D. Oliver y Bruce C. Larson (ver abajo).

- Cremer, K. W. 1984. Nature and impact of damage by wind, hail and snow in Australia's pine plantations. *Australian Forestry*, 47 (1): 28-38.
- Cremer, K. W., Myers, B. J., Van Der Duys, F. and I. E. Craig. 1977. Silvicultural lessons from the 1974 windthrow in radiata pine plantations near Canberra. *Australian Forestry*, 40(4): 274-292.
- Eversole, K. R. 1955. Spacing tests in a Douglas-fir plantation. *Forest Science* no 1, pp 14-18.

- Curtis, R. O. and D. L. Reukema. 1970. Crown development and site estimates in a Douglas-fir plantation spacing test. *Forest Science*, vol 16. pp 287-301.
- de Gooze, J. J. 1955. *Forest Pathology in New Zealand*. New Zealand Forest Service, Bulletin No.1, 58 p.
- Graham, S.A y F.B. Knight. 1965. *Principles of Forest Entomology*. McGraw-Hill Series in Forest Resources. 417 p.
- Hinds, H. V. 1962. The evolution of tending practice in New Zealand exotic forests. Information Series No. 40. New Zealand Forest Service, 15 p.
- Liege, L.H.; Balmer, W.E. y G.W. Ryan. Honduras pine spacing trial results in Puerto Rico. Río Piedras, Puerto Rico. *Southern Journal of Applied Forestry*, Vol. 9 (2): 69-75.
- Marks, G. C. and I. W. Smith. 1987. Effect of canopy closure and pruning on *Dothistroma septospora* needle blight of *Pinus radiata* D. Don. *Aust. For. Res.*, 17(2): 145-150.
- Nambiar, E.K.S. et al. 1979. Root regeneration and plant water status of *Pinus radiata* D. Don seedlings transplanted to different soil temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 30 (119): 1119-1131.
- Oliver, C. D. and B. C. Larson. 1990. *Forest Stand Dynamics*. McGraw-Hill, Inc., 467 p.
- Peñalosa, R., M. Herve and L. Sobarzo. 1985. Applied research on multiple land use through silvopastoral systems in southern Chile. *Agroforestry Systems*, Chile, 3: 59-77.
- Sanchez S., A. 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca en la zona de Turrialba, Costa Rica. Master's Thesis, CATIE, 95 p.
- Sequeira, A. and W. Vásquez. 1995. Crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis* bajo seis espaciamentos en Mateare, Nicaragua. Documento Interno, Proyecto Madeleña/CATIE, 11 p.
- Shaw, C. G. and L. F. Roth. 1977. Control of *Armillaria* root rot in managed coniferous forests: A literature review. Sonderdruck aus *European Journal of Forest Pathology* Band 8, Hamburg, 163-174.
- Sommerville, A. 1980. Wind stability: forest type and silviculture. New Zealand Forest Service Reprint, New Zealand, 1410: 476-501.
- Van Laar, A. 1982. The Response of *Pinus radiata* to initial spacing. *South African Forestry Journal*, 121: 52-63.
- Vasquez, W. and L. Ugalde. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe Final Convenio de Cooperación, Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO) y Proyecto Madeleña-3/CATIE, 42 p.

ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LINDEROS CON ARBOLES MADERABLES

John Beer, Ricardo Luján y Arturo Vargas

I. Introducción

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 las posibilidades de realización de actividades que su propietario puede organizar y desarrollar con absoluta independencia, en consideración de su libre albedrío. En el caso de las propiedades dedicadas a la realización de 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 establecen las relaciones entre el propietario del inmueble y sus vecinos, lo cual exige que estos estén claramente definidos, es decir, que no deben dejar dudas o ambigüedades, para que las relaciones entre diferentes propietarios se mantengan de manera armónica, de acuerdo con los preceptos de respeto mutuo y delimitación de actividades. Desde el punto de vista productivo, los linderos y su forma de demarcación pueden tener influencias en las actividades realizadas por los diferentes propietarios colindantes, por lo que interesa que estos respondan a las necesidades de las actividades que ambos desarrollan, evitando en lo posible los antagonismos que puedan generar conflictos de intereses.

En un sentido más amplio, los linderos pueden considerar las diferentes divisiones que pueden establecerse dentro de un mismo predio, para separar diferentes actividades productivas, como puede ser el caso de separaciones de pastizales para la producción ganadera, o para separar estas de las actividades agrícolas propiamente dichas. Para efectos de esta presentación, entenderemos los linderos en su sentido amplio.

Los linderos pueden ser demarcados de diferentes formas, las cuales responden plenamente a las actividades que el propietario o finquero realice. De esta manera, los linderos pueden ser demarcados simplemente por mojones, carriles desnudos de vegetación, cercos con alambres de púas sostenidos por postes de madera, concreto o arbustos y árboles. Cuando el propósito principal de sembrar árboles y arbustos es de sostener el alambre, se les denomina cercos vivos.

Un caso especial de demarcación de los linderos de una finca es aquel que se realiza utilizando la siembra de árboles maderables en una hilera que coincide con los límites de la propiedad o sus divisiones internas, con el fin de lograr utilidades marginales a la actividad productiva principal. Debe entenderse por árboles maderables, como aquellos que produzcan bienes tangibles como madera, postes y frutos que tengan un valor real en el

mercado. Es a este tipo demarcación de linderos al que haremos referencia a lo largo de este planteamiento.

Cabe entonces preguntarse si este tipo de siembra de árboles maderables en hileras sobre los linderos de una finca constituye un verdadero sistema agroforestal. La respuesta a esta interrogante, no puede, sin embargo, ser categórica, pues dependerá de la intensidad con que los árboles tengan influencia sobre las actividades agrícolas o ganaderas de la finca.

Si este tipo de lindero se establece en áreas de pastizales dedicados a la producción ganadera, posiblemente no pueda considerarse como un sistema silvopastoril en todo el sentido de la palabra. Su influencia sobre toda la pradera dependerá del tamaño de los apartos y distancia entre los linderos. Podría ser de escasa importancia y 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. Tampoco sería una verdadera cortina rompevientos. Pero si por el contrario el lindero coincide con los límites de plantaciones de cultivos (*i.e* cacao o plátano), los árboles del lindero podrían tener una decidida influencia por los beneficios como la sombra, y por otro lado generar competencia con el cultivo, derivándose que constituyen un verdadero sistema agroforestal.

II. Ventajas y desventajas de los linderos con árboles maderables

El uso de árboles maderables o frutales en los linderos, a diferencia de sembrarlos en plantaciones puras, representa una alternativa que debe ser valorada por el productor en términos económicos y de las ventajas o desventajas que eventualmente puedan derivarse para la producción principal de la explotación. Esta decisión conlleva necesariamente la inversión de recursos, tanto financieros como de mano de obra, manejo, administración e insumos, por lo que se impone un análisis cuidadoso para tomar la decisión de plantar árboles en los linderos.

Para facilitar este análisis, los principales factores que deben considerarse se presentan a continuación.

A. Ventajas

1. El establecimiento de este tipo de linderos permite una delimitación clara e inequívoca de la propiedad o finca, lo que produce un efecto de reafirmación de su dominio, evitando posibles conflictos legales con sus vecinos, invasiones de precaristas, etc.
2. Es una forma de producir madera o frutos comercializables en áreas no utilizadas o marginales, con relativa poca competencia con los cultivos.
3. Reduce eventualmente el crecimiento de vegetación en los linderos y eventualmente incrementa el beneficio de la inversión que normalmente se realiza en el mantenimiento de las rondas, aprovechándose mejor las chapeas que anualmente se realizan con ese fin.

4. Incrementa el valor de la propiedad, además de que contribuye a su embellecimiento.
5. Los raleos y podas pueden producir postes para utilizarlos en la construcción de otras cercas que sean necesarias en la finca.
6. Las tasas de crecimiento de los árboles sembrados en este sistema se ha observado consistentemente que son mejores que las que se dan en las 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. En casos de disponibilidad restringida de tierra para dedicarla a la producción forestal, este sistema permite a los pequeños productores incorporarse en los proyectos de reforestación.
8. Generalmente las legislaciones forestales de los países reconocen este sistema de cultivo de árboles como objeto para la concesión de incentivos forestales en los programas de reforestación.
9. La baja densidad de la población de árboles es un factor que puede contribuir a la disminución de la propagación de plagas y enfermedades, comparado con las que podrían darse en las plantaciones forestales en bloques.
10. Debido a que en este sistema no se presenta la competencia lateral, es posible atrasar los raleos, lo que ofrece más flexibilidad al propietario en contraste con las plantaciones en bloque donde la productividad puede ser severamente reducida si no se implementan los raleos en el momento oportuno.

B. Desventajas

1. En este sistema, los costos de protección por árbol, al menos durante los primeros dos años mientras alcanzan un desarrollo significativo, suelen ser más elevados que los de las plantaciones puras. Este aspecto es particularmente crítico en el caso de los linderos que se establecen en áreas dedicadas al pastoreo del ganado, por la posibilidad del daño por parte de los animales, ya sea por pisoteo, por rascarse o por ingestión del follaje tierno; de igual forma es crítico en las áreas con frente a caminos públicos por el daño o hurto que pueden ocasionar las personas.
2. La influencia de los árboles establecidos en los linderos se extiende a las dos propiedades que se pretende delimitar, por lo que eventualmente se pueden presentar conflictos de intereses con el vecino (reclamos por la sombra o sobre los productos comerciales), por lo que es recomendable consultar a los dueños de las propiedades que se afecten antes de iniciar el establecimiento. Una manera práctica de reducir este problema es tomar la decisión de plantar los árboles a la

distancia del límite que la ley establece para que no exista la posibilidad de reclamos por el vecino, distancia que puede variar de 1 a 2.5 m, según el país y su legislación.

3. Si los árboles sembrados coinciden con el límite de la propiedad y se utilizan como soporte del alambre que divide los predios, debe considerarse que esta práctica afectará negativamente la calidad de la madera por efecto del uso de los clavos o grapas para la fijación del alambre. En efecto, debe considerarse que por esta vía pueden perderse entre 1.0 y 1.5m de la troza basal, que es la más valiosa, por las grapas y alambre que quedan hundidos en la madera. Nuevamente la recomendación anterior de sembrar los árboles a distancia prudencial del límite de la propiedad para evitar clavar el alambre en ellos, es una solución adecuada a este problema. Otra solución, aunque más costosa podría ser el uso adicional de postes muertos para darle sostén y clavar en ellos el alambre.
4. Si se plantan especies frutales en el lindero y se utilizan a su vez como soporte del alambre de la cerca, es una tendencia natural utilizar el alambre para escalar el árbol y cosechar las frutas, en cuyo caso el costo de reparaciones de cercas se incrementará por el daño que esto ocasiona.
5. En el caso de la siembra de este tipo de linderos en campos de cultivos, inevitablemente se establecerán relaciones de competencia entre el árbol y el cultivo. La intensidad de la competencia dependerá básicamente del tipo de cultivo, el tipo de suelo, la especie forestal y su estado de desarrollo y manejo (podas, raleos). Aunque existe poca información al respecto, puede decirse que el área de influencia de los árboles sobre el cultivo se extenderá en el espacio aéreo al área de proyección de la copa (competencia por luz) y bajo la tierra a la extensión de sus raíces (competencia por agua, nutrientes 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 las especies forestales puede verse disminuido por la forma más cónica y ramificaciones que pueden desarrollar los árboles al existir una menor competencia lateral, comparada con la que se presenta en las plantaciones en bloque. Existe, en otras palabras, una mayor libertad de crecimiento que puede ser detrimental para el valor comercial del fuste de una especie maderable. Por ello, la selección de la especie que se plantará es un aspecto de importancia relevante, proceso en el que obviamente intervienen además las condiciones del suelo, climáticas y geográficas del sitio (altura, latitud).

7. Los costos iniciales de mantenimiento de los árboles en linderos son más altos que en plantaciones, debido a que en los linderos el crecimiento de vegetación en el suelo es mayor que en las plantaciones en donde los doseles cierran rápidamente. En consecuencia, las rondas en los árboles sembrados en los 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 sembrados en linderos de áreas de pastoreo pueden ser afectados por el pisoteo de los animales, ya que en ellos existe la tendencia a caminar cerca de los árboles (como protección contra el calor aprovechando la sombra), con una concentración del pisoteo que aumenta la compactación del suelo en el área de desarrollo de las raíces del árbol. También los animales tienen la tendencia de buscar los árboles para rascarse lo que eventualmente puede producir daños físicos al árbol. En el caso de que las hojas del árbol sean comestibles, el daño será mucho mayor.

III. Criterios de selección de especies arbóreas para linderos

La decisión de plantar árboles en los linderos de la finca, necesariamente involucra la interrogante de cuáles especies plantar si lo que se pretende es realizar una inversión que en el mediano plazo produzca ingresos que justifiquen dicha inversión. Es por esta razón que consideramos importante incluir en este manual algunos criterios que deben observarse para la selección de las especies que pueden plantarse para tratar de asegurar el éxito de la inversión. Entre ellos destacan:

1. *El valor comercial de la especie.* Es importante enfatizar de este criterio, pues el finquero requiere que la siembra de árboles maderables en sus linderos produzca, en el mediano plazo, ingresos que justifiquen el esfuerzo e inversión. En el caso de árboles maderables, deberá buscarse que los mismos produzcan al menos maderas de mediana calidad, aunque el óptimo sería introducir árboles de madera de alta calidad. Ello dependerá de la consideración de otros factores que analizaremos posteriormente. En el caso de los frutales, las opciones de comercialización y la demanda de los frutos será el factor más influyente en la decisión de la especie.
2. *Crecimiento apical rápido (para maderables).* El retorno a la inversión realizada en cualquier negocio, además de apropiada, se busca que se concrete en el menor tiempo posible por los problemas que ocasiona en la disponibilidad del flujo de caja la inversión no retomable en el corto plazo. 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 este problema por producir más rápidamente el producto esperado y también porque la especie alcance más rápidamente un desarrollo que disminuya los costos de mantenimiento del lindero. Algunas especies permiten la extracción de un producto secundario

durante su crecimiento, como es el caso de la producción de postes como producto de los raleos o bien de leña como producto de las podas y raleos.

3. *Autopoda en condiciones de campo abierto.* Como ya fue comentado, los árboles en linderos tienden a tener peor forma que los árboles en plantaciones en bloque debido a 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 una madera de menor calidad debido a los nudos grandes que quedan en la madera debido a la formación de estas ramas.

Algunas especies maderables, como *Cordia alliodora*, son conocidas por su hábito de "auto-poda" de ramas en la parte inferior del fuste, aún cuando están en campo abierto y hay disponibilidad de luz para todas las ramas. En otras palabras, las ramas inferiores de estas especies se secan y caen rápidamente, por lo que es preferible seleccionarlas para las plantaciones en linderos, pues permiten la reducción de costos y el incremento del valor del producto.

4. *Resultados previos alentadores.* La consideración de experiencias previas realizadas por otros finqueros o proyectos y las preferencias en la zona, ya sea en plantaciones puras de bloques o en forma de linderos, deben aportar criterios de selección de la especie que se desea plantar. De estas experiencias deberá considerarse los tiempos de desarrollo de la especie, los diámetros de los fustes desarrollados en el tiempo, las formas de crecimiento, la comercialización de los productos y subproductos, el manejo y las inversiones necesarias. La decisión de sembrar especies exóticas o nativas debe ser de los finqueros y no de los técnicos.
5. *Disponibilidad de semilla certificada.* Las probabilidades de éxito de la inversión se pueden aumentar si existen fuentes para la obtención de semillas o arbolitos certificados. Se deberá utilizar material genético de alta calidad que produzca plantas fuertes, sanas y principalmente con una conformación ideal concordante con los objetivos de la producción que se pretende. El uso de material genético de calidades o procedencias dudosas debe evitarse, pues el riesgo que se corre de malograr la inversión es alto. La selección de plantas sanas y vigorosas en el vivero es igualmente un factor de alta importancia.
6. *Susceptibilidad a plagas y enfermedades.* Debe evitarse utilizar especies que reconocidamente son susceptibles a plagas y enfermedades en la zona o bien con problemas ampliamente reconocidos como en el caso de las especies de caoba (*Swietenia macrophylla*) o el cedro amargo (*Cedrella odorata*) de gran susceptibilidad al ataque del barrenador del tallo (*Hypsipylla grandella*).

7. *Copa delgada y abierta*. Para minimizar la competencia por luz con cultivos aledaños al lindero, se recomienda el uso de especies con copa abierta o delgada, como es el caso de *Cordia alliodora* o *Eucalyptus deglupta*. También este tipo de copas tiene otra ventaja en el momento del aprovechamiento que es menos costoso y con menos riesgos de provocar daños a los cultivos, dado que la mayoría de estos son causados por la copa y no por la caída del fuste.
8. *Poca exigencia en el manejo*. El uso de especies agresivas, como por ejemplo los eucaliptos (*Eucalyptus deglupta*) o rústicas como el roble (*Tabebuia rosea*), con potencial significativo para sobrevivir y crecer rápidamente con un manejo no muy exigente, deben ser priorizadas, pues permitirán disminuir riesgos y costos de mantenimiento.

IV. Criterios de selección de sitios para sembrar árboles en linderos

Es claro que un análisis de las ventajas y desventajas para la decisión de la siembra de árboles comerciales en los linderos de las fincas, debe llevar necesariamente a la conclusión de que es muy variable la aptitud de los sitios de la finca para su establecimiento. Es por ello que algunas consideraciones generales del sitio deben tomarse en cuenta para asegurar el éxito de la inversión.

1. *Costos de establecimiento y de protección*. La protección y cuidado de los árboles jóvenes es uno de los rubros de costos más importantes en el manejo de los linderos. Salta a la vista que 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 alto que los animales provocan en los árboles. Es por ello que preferentemente se deben evitar los sitios o áreas de pastoreo para el establecimiento de árboles en los linderos, a menos que se cuente con disponibilidad de inversión en algunos métodos de protección de los árboles, hasta que estos alcancen un estado de desarrollo (mayor a los 10m de altura) que les permita sobrevivir a la presencia del ganado.

Los costos de establecimiento de un lindero han sido determinados por von Platen y Trejos (1994, representando 40 árboles en una distancia de 100 m en situaciones favorables y desfavorables en el trópico húmedo bajo de Costa Rica (Talamanca) y Panamá (Bocas del Toro). Tales costos se presentan a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Costos de establecimiento y manejo de un lindero de 100 m (40 árboles) en situaciones favorables y desfavorables en el trópico húmedo bajo de Costa Rica y Panamá. No incluye costos de cercas. En US \$.

SITUACION	ESTABLECIMIENTO	MANTENIMIENTO					TOTAL
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	
Favorable	8.49	2.96	3.08	3.15	0.73	0.14	18.55
Desfavorable	22.38	18.35	11.84	19.46	5.75	6.03	83.81

Concluyen estos autores que el costo de cercas es tan caro que no se puede recomendar linderos maderables donde la protección con nuevas cercas de alambre de púas es necesario.

2. *Competencia con los cultivos.* Se deben seleccionar sitios donde la competencia con los cultivos sea mínima. La competencia por luz es menor en el caso de la asociación con cultivos adaptados a la sombra como el cacao o el café que en cultivos heliófitos como el maíz.
3. *Condiciones del suelo.* Hay especies arbóreas que se adaptan con buen resultado a sitios muy húmedos y en suelos de potreros muy compactados, por lo que las especies deben ser seleccionadas para cada sitio. A lo largo de un lindero pueden presentarse diferentes circunstancias en los suelos, ya sea por malos drenajes o compactación, lo que debe ser tomado en cuenta para la selección de la especie para cada sector.
4. *Factibilidad del aprovechamiento.* El sitio de la plantación debe facilitar el aprovechamiento. Sitios cerca de un río o dentro de un guindo o barranco profundo pueden no ser deseables para una siembra de maderables, debido al riesgo de problemas legales (generalmente la ley no permite las talas en las márgenes de ríos y riachuelos) o bien los elevados costos de sacar trozas de madera en condiciones accidentadas del terreno. Posiblemente en estas áreas la recomendación podría ser la siembra de frutales en vez de árboles maderables, ya que el producto de la inversión no implica la remoción del árbol.
5. *Fertilidad del suelo.* Existe una tendencia de los gobiernos y grandes empresas a establecer preferencialmente las plantaciones forestales en suelos no aptos para la agricultura, es decir en suelos de baja fertilidad, aceptando un turno de mediano o largo plazo para la obtención de productos. Sin embargo, los finqueros, dada sus limitaciones de flujo de caja, requieren de un turno más corto, por lo que es recomendable iniciar con linderos en buenos suelos donde hay mayor probabilidad de conseguir resultados satisfactorios en menor tiempo. Además cuando hay un crecimiento inicial rápido del árbol, la necesidad de mantener chapeas se reduce, o cual ha sido un factor crítico en el éxito de muchos programas de reforestación en fincas privadas. Posteriormente,

cuando se tiene experiencia se puede intentar producir madera en sitios más difíciles. Desafortunadamente la tendencia actual es reforestar primero las peores partes de las fincas, donde los beneficios ecológicos pueden ser altos, pero las posibilidades de éxito son menores y los costos iniciales más altos.

6. *Sombra lateral.* La influencia de sombras laterales como la producida por un charral o plantaciones abandonadas es en muchos casos beneficiosa para la forma del fuste de un maderable incrementando su valor comercial. Sin embargo, si esta influencia se manifiesta por un solo lado, el efecto puede ser detrimental por la tendencia del árbol a crecer inclinado en dirección contraria a la sombra. Si la sombra del charral es excesiva, la tendencia que asume el árbol es a desarrollar rápidamente su tallo, dando como resultado un tallo alto y delgado, susceptible a sufrir daños de volcamiento o quiebra, por vientos cuando se elimina la sombra lateral. En estos caso deberá considerarse la posibilidad del manejo de la sombra de los charrales, aunque puede significar un costo adicional.
7. *Recursos del finquero.* El programa o los proyectos para la siembra de árboles maderables en linderos debe prever los recursos necesarios para el mantenimiento de la plantación. Es importante tener presente que la mayoría de los fracasos de reforestaciones ocurre porque el control de malezas durante los primeros dos años o no se hace, o se hace cuando conviene al productor y no cuando el árbol lo necesita. Es por ello que se recomienda que si no hay suficientes recursos para cuidar muchos árboles, es preferible sembrar menos, cuidando que los recursos disponibles sean suficientes para su mantenimiento. Debe recordarse que una selección adecuada de las especies puede influir en una menor exigencia del mantenimiento, pero que sin embargo siempre pueden ocurrir, como en cualquier cultivo, eventos imprevisibles como la aparición de ataques de plagas. El monitoreo regular por parte del productor es esencial para el éxito del programa.

V. Consideraciones técnicas para establecer árboles en linderos

Es importante que el productor antes de establecer los árboles en linderos reciba adecuada asistencia técnica que le permita un conocimiento práctico de la forma en que deba manejar la especie que selecciona, así como para establecer un cronograma de actividades que le permita maximizar los esfuerzos e inversión.

A continuación se mencionan algunas consideraciones técnicas relevantes que deben considerarse al establecer árboles maderables en linderos, las cuales responden a prácticas silviculturales generales que no deben perderse de vista para asegurar el éxito de la plantación.

A. Establecimiento

1. *Preparación del terreno.* La mayor parte de las especies maderables que se utilizan para establecer linderos son plantas heliófitas, o sea que necesitan un ambiente a plena luz. Por ello es necesario limpiar el terreno y dejarlo libre de malezas, principalmente las gramíneas y los bejucos o lianas enredadoras que son las que más afectan los árboles en los primeros estadios del desarrollo. En el caso de las siembras en charrales, es necesario chapear alrededor de 3 m a cada lado de la línea de plantación para dejar entrar suficiente luz.
2. *Marcación y hoyado.* La marcación del terreno por medio de estacas, de acuerdo al espaciamiento deseado, facilita la distribución de los árboles al plantarlos y permite ubicarlos al momento de las primeras chapeas y para efectos de inspecciones posteriores. Por lo general los hoyos deben hacerse de 25 x 25 x 25 cm, aunque cuando se utilizan pseudoestacas pueden ser menores. También debe considerarse la posibilidad de hacer más grandes los hoyos cuando se plantan los árboles en terrenos menos fértiles o más compactados, lo cual tiene por objeto favorecer el desarrollo radicular inicial del árbol.
3. *Espaciamiento.* El espaciamiento de la plantación en linderos depende fundamentalmente de los objetivos de la misma. Si lo que se desea producir es leña, los espaciamientos dentro de la línea pueden ser menores que 2.5 m; pero si lo que se desea es producir madera de aserrío, estos obviamente serán mayores, 3.0 m al menos y también deberá complementarse con raleos de la plantación. Sin embargo, algunas especies requieren espaciamientos diferentes, según las características particulares..
4. *Plantación.* La época de siembra de los árboles debe ser, al igual que las de cualquier cultivo, al inicio de las lluvias en los sitios con estaciones climáticas definidas, pues al final de esa época, los árboles han de haber desarrollado lo más posible su sistema radicular para evitar tener que regarlos durante la época seca. En zonas más lluviosas habrá de evitarse la siembra en épocas muy cercanas a los meses de menor precipitación para evitar problemas de pérdidas por marchitamiento de la planta. Es importante recordar que al momento de la siembra, las raíces principales del arbolito no queden dobladas en el hueco y que al rellenar el hoyo debe tenerse cuidado de no dejar bolsas de aire para lo cual es necesario compactar o apisonar la tierra. La fertilización al momento de la siembra por lo general no es necesaria, pues la mayor parte de las especies arbóreas no responden a esa aplicación, o si lo hacen es de manera poco significativa; en todo caso, dependiendo de la especie debe buscarse la recomendación técnica pertinente.

B. Manejo de los linderos.

1. **Rodajas.** Estas consisten en dejar un círculo alrededor del arbolito totalmente libre de malezas (en tierra), de aproximadamente 1 m de diámetro. Este se recomienda al menos durante el primer año, desde el momento de la siembra, y limpiarlo nuevamente con las primeras chapeas.
2. **Chapeas.** El objetivo de las chapas es favorecer el crecimiento inicial del árbol, evitando que este sea ahogado por las malezas, pues debe recordarse que por lo general el crecimiento inicial de los árboles es lento y en sus primeros estadios es muy susceptible a la competencia, pudiendo incluso causarse la muerte del árbol. La frecuencia de las chapeas dependerá entonces del clima, la agresividad de las malezas de la zona y el sitio donde se ha plantado el lindero. Los linderos colindando con cultivos o potreros manejados, requerirán de chapeas menos frecuentes.
3. **Deshijas.** Algunas especies que pueden sembrarse por pseudoestacas como la teca (*Tectona grandis*) o laurel (*Cordia alliodora*) producen más de un brote, los cuales deben dejarse hasta que alcanzan alturas de 0.5 a 1 m de altura. En ese momento se deben eliminar, dejando solamente un brote seleccionado con criterios de tamaño, vigor, forma recta y salud.
4. **Podas.** Las podas cumplen un papel importante en el mejoramiento de la calidad de la madera que producirá el árbol. Además, si se dejan las ramas bajas, morirán por falta de luz y producirán nudos muertos que en estadios adultos podrían ser puntos de ingreso al fuste de enfermedades (hongos de la pudrición) y termitas. Recuérdese que los árboles en linderos tenderán a ramificar más que en las plantaciones en bloque por la menor competencia lateral.
5. **Raleos.** Cada especie arbórea necesita de un espacio mínimo óptimo para su crecimiento. Cuando este espacio no es el adecuado, la consecuencia es un desarrollo vertical predominante, pero las copas serán estrechas y los diámetros del fuste serán delgados, descalificándolos para el aserrío. Al raleo oportunamente la plantación, se estimula el crecimiento de las copas de los árboles remanentes con el consecuente engrosamiento de los fustes. La razón de una siembra inicial densa es la consideración de que no todos los árboles sobrevivirán y llegarán al estadio de adultos y algunos desarrollan con formas no aptas para aserrar. Por lo tanto es necesario sembrar más árboles de lo deseable para el turno final y poder mantener y seleccionar suficientes árboles comerciales para aprovechar todo el sitio disponible. La labor de raleo adecua el espacio al crecimiento del árbol y eventualmente puede producir algún ingreso marginal al aprovecharse los árboles raleados como postes o leña.

VI. Experiencias de siembras de árboles maderables en linderos

La experiencia reciente del CATIE en la siembra de árboles en linderos se ha realizado en las zonas húmedas bajas de Talamanca (Costa Rica) y Changuinola (Panamá) a través del Proyecto CATIE/GTZ Sistemas Agroforestales. En este Proyecto se plantaron 12 ensayos, en cada uno de los cuales se plantaron 3 especies arbóreas maderables con tres repeticiones por ensayo. Las especies utilizadas fueron *Eucalyptus deglupta*, *Cordia alliodora*, *Terminalia ivorensis*, *Acacia mangium*, *Tectona grandis* y *Tabebuia rosea*. Por espacio de seis años se les ha dado seguimiento y se han medido las variables: sobrevivencia, diámetro del fuste a la altura del pecho (DAP), altura y diámetro de la copa.

El manejo de esos linderos ha consistido en protección contra el ganado, mantenimiento de una faja limpia de entre 6 y 10 m (ronda), se hicieron resiembras hasta los 6 meses, chapeas manuales y con hierbicidas, control contra sompopas (hormiga), raleos hasta de un 50% a partir de los 2.5 años y podas en los casos necesarios entre los 5 y 8 m durante los dos primeros años.

Las conclusiones (Kapp *et al.*, 1996) más importantes de esta experiencia se resumen a continuación:

1. *Eucalyptus deglupta* fue la especie con mayor DAP, altura y volumen de madera producido a los seis años de edad (29 cm, 26 m, 175 m³/km.), seguido por *Terminalia ivorensis* (29 cm, 22 m, 133 m³/km.).
2. La mejor sobrevivencia de árboles (% a la edad de 5 años) se obtuvo con *Eucalyptus deglupta* y *Tectona grandis* (90%). La peor fue con la especie *Cordia alliodora* (56%); y con valores intermedios para *Acacia mangium* (70%) y *Terminalia ivorensis* (80%).
3. Las copas más grandes a los 5 años de edad se obtuvieron con *Terminalia ivorensis* y *Eucalyptus deglupta* (10-11 m), comparado con la de las demás especies que promediaron alrededor de 7 m. *Eucalyptus deglupta* fue la especie que proporcionó menos sombra por tener una copa abierta.

VII. Recomendaciones

Con base en esta experiencia se han podido brindar las siguientes recomendaciones para la siembra de estas especies maderables en linderos para las zonas del trópico húmedo bajo:

1. Se recomienda plantar *Acacia mangium* en los suelos más pobres.
2. Para los suelos fértiles con buen drenaje se recomienda la siembra de *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta* y *Tectona grandis*.

3. Para la siembra en potreros se recomienda *Tectona grandis* o *Acacia mangium*.
4. Para linderos donde se requiera menos sombra, la recomendación es la siembra de *Cordia alliodora* o *Eucalyptus deglupta*.
5. Para los suelos con mal drenaje se recomienda la siembra de *Tabebuia rosea*.
6. No se recomienda la siembra de *Terminalia ivorensis* para las zonas del trópico húmedo bajo debido a su alta mortalidad a partir del quinto año.

VIII. Literatura citada

- BEER, J. 1993. Consideraciones básicas para el establecimiento de especies maderables en linderos. CATIE, Turrialba, Costa Rica (Serie Generación y Transferencia de tecnología No. 1). 17 p.
- KAPP, G.; BEER, J.; LUJAN, R. 1996. Timber tree planting trials on farm boundaries in the Atlantic Lowlands of Costa Rica and Panama. (Enviado a Agroforestry Systems).
- LUJAN, R. 1994. Manejo y crecimiento de linderos: resultados de ensayos del proyecto agroforestal CATIE/GTZ, de tres especies maderables en la zona de Talamarica, Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica (Serie Técnica, Informe Técnico No. 224). 93 p.
- PLATEN, H von; TREJOS, S. 1994. Costos de establecimiento y mantenimiento de linderos. CATIE, Turrialba Costa Rica (Serie Técnica, Informe Técnico No. 219). 35 p.

EJEMPLO DE CALCULOS PARA PARCELAS DE CRECIMIENTO

Por: WVásquez¹

1. Edad:

Consulte a los dueños de la plantación y verifique con base en los anillos de crecimiento si es posible.

Nota: Si la edad no es bien estimada los incrementos y otros cálculos que requieren de la edad estarán errados.

2. Area de la parcela: (S)

$$S = (L1 + L3)/2 * (L2 + L4)/2$$

Nota: Si el área es mal estimada, el error aumentará tantas veces como quepa la parcela en una hectárea, al extrapolar por hectárea.

Ejemplo. Si L1 = 35,4 m

$$L2 = 33,6 \text{ m}$$

$$L3 = 36,4 \text{ m}$$

$$L4 = 32,6 \text{ m}$$

$$S = (35,4 + 36,4)/2 * (33,6 + 32,6)/2$$

$$S = 35,9 * 33,1$$

$$S = 1188,29 \text{ m}^2$$

3. Cálculo número de árboles

Deben distinguirse:

n1 = número original de árboles

n2 = número actual de árboles

n1 se refiere a los árboles originalmente plantados dentro del área de la parcela para lo que deben incluirse los individuos faltantes; mientras que n2 se refiere a los árboles vivos en la parcela. Estos valores se obtienen por simple conteo y varían antes y después del raleo.

Para transferir valores de la parcela a la hectárea, se utiliza la regla de tres como sigue:

Si n1 = 120 árboles

$$\text{Planteo: } \frac{S = 1188 \text{ m}^2}{120 \text{ arb}} \text{ ---- en --- } 1188 \text{ m}^2$$

$$N1 \text{ ---- en --- } 10,000.00 \text{ m}^2$$

$$N1 = 120 * 10,000.00 / 1188$$

$$N1 = 1010 \text{ árboles / ha}$$

4. Cálculo del espaciamiento entre árboles (a)

Según el número de árboles $n1$ o $n2$ se tendrá espaciamiento inicial ($a1$) o espaciamiento actual ($a2$).

$$\text{Formula: } a1 = \sqrt{(S / n1)}$$

$$a1 = \sqrt{(1188 / 120)}$$

$$a1 = \sqrt{9,9}$$

$$a1 = 3,14 \text{ m}$$

Los árboles fueron plantados a 3,14 por 3,14 m aproximadamente.

5. Cálculo de la Supervivencia en %.

$$\text{Si } n2 = 95 \text{ y } n1 = 120$$

$$\text{Supervivencia} = (95/120) * 100$$

$$\text{Supervivencia} = 79,1 \%$$

6. Cálculo del dap y la altura promedio.

$$\text{dap promedio} = \sqrt{d_{11}^2 + d_{21}^2 + d_{31}^2 + d_{41}^2 + d_{42}^2 \dots d_n^2} / n$$

donde d_{ij} = diámetro del árbol i ésimo, eje j taésimo

n = número de ejes con dap

$$\text{Si } d_1 = 145 \text{ mm}$$

$$d_2 = 211 \text{ mm}$$

$$d_3 = 124 \text{ mm}$$

$$d_{41} = 195 \text{ mm}$$

$$d_{42} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{DAP promedio} = (145^2 + 211^2 + 124^2 + 195^2 + 100^2) / 5$$

$$\text{DAP promedio} = \sqrt{25789.4}$$

$$\text{DAP promedio} = 160.5 \text{ mm}$$

Aunque para efectos de anotación se usa dap en mm y altura en decímetros, lo más usual es presentar el dap en cm y la altura en metros.

7. Incremento medio anual (IMA) en dap y altura

Formula : dap o altura / edad en años

Si el dap promedio es 16,8 cm y la edad 5,5 años entonces:

$$\text{IMA dap} = 16,8\text{cm} / 5,5 \text{ años}$$

$$\text{IMA dap} = 3,05 \text{ cm/año}$$

Si la altura total promedio es de 18,4 m para la misma edad entonces:

$$\text{IMA Altura} = 18,4 \text{ m} / 5,5\text{años}$$

$$\text{IMA Altura} = 3,34 \text{ m/año.}$$

Interpretación: A los 5,5 años esta especie bajo estas condiciones de sitio y manejo a crecido a razón de 3 cm en diámetro y 3,3 metros anuales en altura.

8. Cálculo del área basal por árbol (g) y por hectárea (G)

Fórmula:

$$\text{Por árbol: } g = (0,7854 * (\text{dap}/1000)^2)$$

$$\text{Por ha: } G = (\Sigma g_i * 10,000.00)/S$$

donde: dap = diámetro del árbol en mm
 0,7854 constante equivalente a $\pi/4$
 1000 = para pasar mm a metros
 Σ = sumatoria

Ejemplo: Si se tiene 4 árboles en la parcela (solo como ejemplo):

$$d1 = 145 \text{ mm}$$

$$d2 = 211 \text{ mm}$$

$$d3 = 124 \text{ mm}$$

$$d4 = 195 \text{ mm}$$

$$g1 = 0,7854 * (145/1000)^2$$

$$g1 = 0,7854 * 0,021025$$

$$g1 = 0,0165$$

De igual forma:

$$g2 = 0,0349$$

$$g3 = 0,0120$$

$$g4 = 0,0299$$

$$\overline{0,0933} = \text{Area basal de la parcela en m}^2$$

Una forma más rápida de estimar esta área basal de la parcela es usando la fórmula siguiente:

$$g_p = 0,7854 * (\Sigma (d_i/1000)^2)$$

Desarrollando tenemos para los 4 árboles anteriores:

$$gp = 0,7854 (0,145^2 + 0,211^2 + 0,124^2 + 0,195^2)$$

$$gp = 0,7854 (0,0210 + 0,04452 + 0,0153 + 0,0380)$$

$$gp = 0,7854 (0,11882)$$

$$gp = 0,09332$$

Una vez que se tiene el área basal de la parcela por regla de tres estimamos el área basal por hectárea así:

$$G = [(0,09332 * 10,000) / 1188]$$

$$G = [933.2 / 1188]$$

$$G = 0,78 \text{ m}^2/\text{ha} \text{ (esto solo para el ejemplo)}$$

9. Cálculo del volumen

Si se tiene una tabla de volumen o el factor de forma (ff) para la especie, se procede igual que para la estimación del área basal. Primero se estima el volumen de cada árbol individual y por sumatoria el volumen de la parcela para luego extrapolar a hectárea.

Fórmula para volumen por árbol con ff:

$$vi = gi * altura \text{ total} * ff$$

donde: vi = volumen total del árbol iésimo
 gi = área basal del árbol iésimo en m^2
 altura = altura total en m
 ff = factor de forma

Fórmula para volumen total por parcela (vp):

$$vp = \Sigma vi$$

Fórmula para volumen total por hectárea:

$$V = (vp * 10,000) / S$$

donde: vp = volumen de la parcela en m^3
 10000 = metros cuadrados por hectárea
 S = área de la parcela en metros

Ejemplo: Sean los siguientes valores y un ff de 0,56:

$$\begin{aligned} d1 &= 145 \text{ mm} & g1 &= 0,0165 \text{ m}^2 & \text{alt1} &= 132 \text{ dm} \\ d2 &= 211 \text{ mm} & g2 &= 0,0349 \text{ m}^2 & \text{alt2} &= 232 \text{ dm} \\ d3 &= 124 \text{ mm} & g3 &= 0,0120 \text{ m}^2 & \text{alt3} &= 098 \text{ dm} \\ d4 &= 195 \text{ mm} & g4 &= 0,0299 \text{ m}^2 & \text{alt4} &= 175 \text{ dm} \end{aligned}$$

Para el árbol uno sería:

$$\begin{aligned} v1 &= g1 * \text{alt1} * 0,56 \\ v1 &= 0,0165 * 13,2 * 0,56 \\ v1 &= 0,1220 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Y así para los demás árboles:

$$\begin{aligned} v2 &= 0,4534 \text{ m}^3 \\ v3 &= 0,0659 \text{ m}^3 \\ v4 &= 0,2930 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El volumen de la parcela es por sumatoria:

$$\begin{aligned} v_p &= 0,122 + 0,4534 + 0,0659 + 0,2930 \\ v_p &= 0,9343 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Para extrapolar a la hectárea usamos la regla de tres:

$$\begin{aligned} V &= v_p * 10000 / S \\ V &= (0,9343 * 10000) / 1188 \\ V &= 7,86 \text{ m}^3/\text{ha} \end{aligned}$$

Nota: En caso que se mida solo una altura por clase de diámetro se deben hacer los cálculos de volumen usando la altura promedio de la clase para todos los árboles de esa clase.

10. Cálculo del Índice de Hart (S%)

El índice de espaciamiento relativo de Hart Becking es solo una razón del espacio entre árboles sobre la altura dominante; para una misma altura dominante a mayor espacio entre árboles mayor será el índice de Hart.

$$\text{Fórmula : } S\% = (a2/h_{dom}) * 100$$

donde: $a2$ = espaciamiento actual entre árboles en metros

h_{dom} = altura dominante en metros

Ejemplo: Del ejemplo anterior $a_2 = \sqrt{(S/n_2)}$, esto es

$$a_2 = \sqrt{1188/95}$$

$$a_2 = 3,54 \text{ m}$$

$$\text{Si } h_{\text{dom}} = 22,5 \text{ m}$$

$$S\% = (3,54 / 22,5) * 100$$

$$S\% = 15,7$$

Interpretación: Los árboles tienen en promedio un espacio promedio para crecer del 15,7 % relativo a la altura dominante.

11. Hoja de cálculo para parcelas de medición

Para facilitar los cálculos manuales a continuación se facilita un formato:

N° Arb	N° Eje	R/Hd	dap (cm)	dap ² (m ²)	g (m ² /arb)	altura (m)	Vol. (m ³ /arb)
--------	--------	------	-------------	---------------------------------------	----------------------------	---------------	-------------------------------

Totales

N° Arb = Número del árbol

N° Eje = Número del eje

R/Ad = En esta columna anote R para árboles raleados y
* para los árboles dominantes

dap = Anote el dap en cm

dap² = dap x dap.

g = 0,7854 * dap²

Altura = Anote la altura del árbol en metros

Vol = $g \times \text{altura} \times \text{ff}$

Estime los totales para los árboles en pie, los árboles raleados y para todos los árboles medidos.

VENTAJAS, DESVENTAJAS Y CARACTERISTICAS DESEABLES EN LOS ARBOLES DE SOMBRA PARA CAFE, CACAO Y TE

J. Beer**

RESUMEN

Se hace una revisión de las interacciones ecológicas que existen entre los árboles de sombra y los cultivos perennes: café (*Coffea* L. spp.), cacao (*Theobroma cacao* L.) y té (*Camellia sinensis* L. Kuntze). Estas interacciones se clasifican primero como ventajas y desventajas y, segundo, en cuanto efectos en el manejo de los cultivos, en el ciclo hidrológico, en patógenos, insectos y condiciones climáticas y en los suelos. Se dan referencias bibliográficas sobre las veinte ventajas y dieciséis desventajas en el uso de árboles de sombra, enfatizando en las publicaciones que proveen datos originales y metodologías útiles. Finalmente se presenta una lista de características deseables en los árboles de sombra para cultivos perennes.

Palabras claves: café, cacao, té, árboles de sombra, revisión.

INTRODUCCION

Las principales interacciones biológicas que existen entre los árboles de sombra y los cultivos que crecen debajo han sido revisadas por varios autores (Cunningham 1959; Gogoi 1977; Martínez y Enríquez 1981; Obaga 1985; Ostendorf 1962). Este informe provee listas acerca de las ventajas y desventajas sugeridas y que se atribuyen a los árboles de sombra usados para café (*Coffea* L. spp.), cacao (*T. cacao* L.) y té (*C. sinensis* L. Kuntze) (Budowski 1981; Fournier 1980; Purseglove 1968; Robinson 1964; Wrigley 1969). Estos listados se diseñaron para ayudar al estudiante, investigador o agente de extensión a identificar las interacciones árbol-cultivo más importantes, o las especies de árboles de sombra más adecuadas cuando se trabaja con una combinación agroforestal nueva y/o un nuevo sitio.

* Traducción del inglés por C. Rojas del artículo en *Agroforestry Systems* 5:3-13 1987. La idea de hacer una lista de ventajas y desventajas en los árboles de sombra, o en los sistemas agroforestales, no es nueva (véase Budowski 1981; Robinson 1964; Wrigley 1969). En esta revisión se da crédito a G. Budowski y a N. Gewald, quienes sugirieron su preparación y revisaron varios borradores previos. El autor también agradece a J. Heuvelink y P. K. Nair por sus útiles comentarios.

** Ph. D. Investigador Agroforestal, Proyecto Agroforestal, CATIE-GTZ, Turrialba, C. R.

Las referencias que se mencionan pertenecen a publicaciones que contienen datos experimentales y que describen una metodología utilizada para estudiar una interacción particular. En pocos casos, cuando los datos experimentales son escasos o no existen, se hace la referencia a publicaciones previas que incluyen la misma indicación (véase *Efectos beneficiosos en los organismos del suelo* en Fournier 1980). No se dan referencias cuando la posible ventaja o desventaja es obvia.

USO DE ARBOLES DE SOMBRA CON CULTIVOS TROPICALES PERENNES

Las agencias de servicio de extensión agrícola recomiendan actualmente el cultivo de café y cacao sin árboles de sombra, para obtener el más alto rendimiento posible. Tales recomendaciones se basan en un trabajo experimental realizado en muchos países tropicales, donde se ha demostrado que en los sitios indicados, con el manejo intensivo de monocultivos auto-sombreados, se puede incrementar la producción dos o tres veces, si se le compara con los sistemas mixtos tradicionales (Alvim 1977; Cabala *et al.* 1997; Cunningham y Lamb 1959; Cunningham y Arnold 1962; Hadfield 1981; Montes 1979; Murray 1956; Willey 1975; Wrigley 1969). Sin embargo existe poca información en relación a la rentabilidad a largo plazo del cultivo sin sombra en relación al cultivo con sombra (Akenkorah *et al.* 1974).

Para el pequeño agricultor resulta menos controvertida la inclusión de árboles de sombra, porque ellos, generalmente, tienen su cultivo en un sitio de clase subóptima (Nair 1980; Purseglove 1986; Wrigley 1969; para las descripciones de las condiciones óptimas para el café, cacao, té, otros.) Purseglove (1968:587) resume algunas de las más importantes consideraciones en el caso en que, como él afirma,

"La sombra reduce la fotosíntesis, la transpiración, el metabolismo y el crecimiento, por consiguiente se reduce también la demanda de nutrimentos del suelo y, así, se capacita a un cultivo para que se mantenga en suelos de baja fertilidad".

La sombra se recomienda invariablemente en cacao joven (Alvim 1977, Evans y Murray 1953) y, en los lugares óptimos, debe removerse en forma gradual hasta que el cacao se autosombree (Byrne 1972, Cunningham y Arnold 1962, Murray 1956). Sin embargo, en aquellos casos en que no se puede garantizar un manejo intensivo, más que todo con respecto a la aplicación regular de fertilizantes, se recomienda el mantenimiento de algunos árboles de sombra, tanto para el cacao (Wiley 1975) como para el café (Ostendorf 1962). Algunas de las muchas ventajas y desventajas de los árboles de sombra se indicarán en este informe, pero parece ser que el aspecto fundamental cuando se planea la renovación o establecimiento de plantaciones de cacao y café, es si el dueño tiene el lugar, educación y recursos para mantener estos cultivos sin sombra. En el caso de cultivos que se exportan, se presenta un riesgo adicional y consiste en que el valor del producto puede fluctuar temporalmente, y, en ocasiones, caer a un nivel tal que el finquero no puede proporcionar los gastos necesarios por más tiempo y, por lo tanto, abandona su plantación. Cacao o café bajo sombra sobrevivirán mejor a esta contrariedad que los monocultivos de estas especies (Haarer 1962:88).

El alto riego que en sí tienen los cultivos de cacao sin sombra, ha sido indicado por estudios económicos hechos por Cunningham (1963) en Ghana:

"Los gastos y trabajo asociados a la tumba de todos los árboles existentes, y el cultivo del cacao sin sombra con el uso de altas dosis de fertilizantes, se justificarán sólo cuando se obtengan producciones mayores o iguales a 3 000 lb/acre (3 360 kg/ha) de cacao seco" (véase también Vernon 1967).

Se ha observado que en la gran mayoría de los experimentos de fertilización realizados en plantaciones de cacao hay poca respuesta a la misma cuando se utiliza la sombra (Akenkorah *et al.* 1974; Alvim 1977; Byrne 1972; Cabala *et al.* 1972; Cunningham 1959; Cunningham y Arnold 1962; Murray y Nichols 1966); y, en tales circunstancias, no se justificaría el uso de fertilizantes. Parte de las investigaciones dedicadas a estos cultivos debería reorientarse, en el sentido de que, en vez de obtener cosechas máximas, los estudios deberían encaminarse a lograr sistemas de producción sostenida para los campesinos de pocos recursos económicos que hacen su agricultura en terrenos marginales.

Algunas de las consecuencias producidas por la sombra en los cultivos pueden ser favorables o desfavorables dependiendo de la situación, por ejemplo: la influencia en el balance hídrico del estrato inferior. **Si una Interacción particular es beneficiosa o perjudicial dependerá de las características de las especies y del área específica (clima, suelos, otros).**

Los árboles de sombra se pueden clasificar (Combe y Budowski 1979):

- Como una herramienta en el manejo de las condiciones ambientales de cultivos en asocio; por ejemplo *Erythrina poeppigiana* con café.
- Como un medio en la diversificación de la producción (incluyendo madera) de un cierto lugar, por ejemplo *Cordia alliodora* con café.
- En algunos casos la sombra llena los objetivos de manejo y de producción; por ejemplo *Leucaena leucocephala* con café.

Con base en las interacciones sugeridas (véanse ventajas y desventajas), las características de los árboles de sombra dadas se consideran las más apropiadas pero las de mayor importancia dependen de los objetivos mencionados.

La primera pregunta que se ha de contestar es que si la especie está adaptada a la zona. Finalmente, la mejor prueba de cuán adecuada sea una especie de árbol para sombra es su rendimiento financiero como asociación a largo plazo, comparado con el monocultivo del cultivo perenne. Las listas adjuntas son sólo una guía para escoger las especies que han de ser probadas.

Listas de especies arbóreas de sombra potenciales han sido publicadas para: Brasil (Leite 1972; Santos y Lebad 1983, Vinha y Silva 1982); Camerún (Letousey 1955); América Central y Suramérica (Jiménez 1980a, 1980b); Costa Rica (Gutiérrez y Soto 1976; Holdridge 1957); Costa de Oro (Greenwood y Posnette 1950); India (Dutta 1978); Costa de Marfil (Lemee 1955); Kenya (McClelland 1935); México (Holdridge 1957); Sri Lanka (Holland 1931); Trinidad (Murray 1956); Uganda (Thomas 1940); varios países (Cook 1901; Haarer 1962; MacMillan 1943; Wrigley 1969) y Zaire (Poncin 1958).

POSIBLES VENTAJAS DE LOS ARBOLES DE SOMBRA CON CULTIVOS PERENNES

Consecuencias que facilitan el manejo del cultivo

- Prevención de sobreproducción y consecuente quema de los ápices ("die back") que resulta en producciones menos variables; las que al cabo de un largo período permiten una utilización eficiente de la maquinaria y de las labores durante la cosecha y el procesamiento (Purseglove 1968).
- Supresión del desarrollo de malezas (Bermúdez 1980; Cunningham 1963; Suárez de Castro *et al.* 1961; Vernon 1967).
- Diversificación de la producción, por ejemplo frutos, madera. Además, los árboles maderables representan "un capital permanente", y desde este punto de vista representan un seguro contra las pérdidas de los cultivos (Somarriba y Beer 1987).
- Control de la fenología del cultivo; por ejemplo la fructificación y maduración pueden ser influenciadas con el manejo de las condiciones ambientales por medio del control del período de la poda de los árboles de sombra o con el uso de árboles deciduos apropiados (Ampofo y Bonaparte 1981; Carvalho *et al.* 1961; Evans y Murray 1953; Greenwood y Posnette 1950; Hurd y Cunningham 1961; Vicente-Chandler *et al.* 1968; Young 1984).
- La sombra puede mejorar la calidad del cultivo, por ejemplo del café (Carvalho *et al.* 1961; Castillo 1960; Montes 1979).

Influencias beneficiosas en el ciclo hidrológico

- Disminución en la tasa de evapotranspiración del cultivo sombreado (Alvim 1960, Fordham 1972, Hardy 1962, Jiménez y Golberg 1982, Lemee 1955, McCulloch *et al.* 1965, Nair 1979, Suárez de Castro *et al.* 1961).
- Remoción de los excesos de humedad en el suelo mediante la transpiración producida por la densa cobertura vegetal de sombra (Evans y Murray 1953, Martínez y Enríquez 1981); por ejemplo las plantaciones de té en el noroeste de India (Willey 1975).
- Incremento en la entrada de humedad por medio de la intercepción horizontal de neblina o nubes; por ejemplo *Grevillea robusta* en plantaciones de té en Tanzania (East African Tea Research Institute).

Protección del cultivo de los patógenos, insectos y climas adversos

- Extensión de la vida productiva del cultivo (Akenkorah *et al.* 1974, Alvim 1977).
- Reducción de los valores extremos en la temperatura del aire, suelo y superficie foliar, y en algunos casos se mejoran las condiciones microclimáticas para el cultivo; por ejemplo mayor humedad (Alvim 1958, Alvim 1960, Cabala *et al.* 1972, Hadfield 1968, Nair 1979, Suárez de Castro *et al.* 1961, Vicente-Chandler *et al.* 1968).
- Disminución del daño ocasionado por el granizo y lluvias torrenciales.
- Disminución de algunas enfermedades, plagas e infecciones por parásitos en las plantas (Akenkorah *et al.* 1974, Alvim 1960, Nataraj y Subramanian 1975, Smith 1981, Tapley 1961, Thomas 1940).
- Disminución de la velocidad del viento en el estrato del cultivo (Alvim 1977, Leite *et al.* 1981, Schroeder 1951).

Mejoramiento de la fertilidad y protección del suelo

- El crecimiento y posible muerte de los sistemas radicales de los árboles de sombra favorecen el drenaje y la aireación del suelo (Holland 1931), por ejemplo fracturando el estrato de subsuelo compactado ("hard pan").
- Provisión de mantillo en el suelo que ayuda a mantener la humedad del suelo en la época seca y aumento de la cantidad de materia orgánica del suelo proveniente de la caída natural de las hojas y de los residuos de la poda (Beer 1988, Glover y Beer 1986, Hadfield 1981, Heuveldop *et al.* 1985, Holland 1931, Santana y Cabala 1985).
- Disminución de la erosión en las pendientes (Suárez de Castro 1951, Vicente-Chandler *et al.* 1968, Wiersum 1984).
- Disminución en la tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo, resultado de la reducción de la temperatura del suelo.
- Recirculación de nutrimentos que no son accesibles al cultivo (Ananth *et al.* 1960).
- Fijación de nitrógeno, producto de los nódulos del sistema radical de los árboles de sombra (Beer 1988, Escalante *et al.* 1984, Robertson *et al.* 1982).
- El manejo de cultivos perennes sin sombra involucra un gran uso de sustancias químicas agrícolas especialmente de herbicidas. Estos pueden producir efectos inhibidores sobre los organismos beneficiosos para el suelo, por ejemplo, descompensadores de materia orgánica y fijadores

de nitrógeno de vida libre (Fournier 1980). El incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, creado por la presencia de árboles de sombra, puede promover la actividad de organismos benéficos en el suelo (Nair 1979).

POSIBLES DESVENTAJAS DEL USO DE ARBOLES DE SOMBRA CON CULTIVOS PERENNES

Aspectos que obstaculizan el manejo del cultivo

- Caída natural de los árboles y sus ramas, o la cosecha de los árboles maduros, dañará el cultivo inferior (Baker 1941, Beer 1980).
- Repentinas defoliaciones de los árboles de sombra a causa de insectos o enfermedades pueden producir un cambio brusco en las condiciones ambientales normales del cultivo bajo sombra y ocasionar una muerte progresiva de los ápices; por lo tanto es preferible el uso de varias especies de sombra que sólo una.
- Necesidad de una labor manual extraordinaria para las asociaciones cuando los árboles son regularmente podados (Enríquez 1986).
- Dificultad en la mecanización del estrato inferior del cultivo.
- Difícil establecimiento de estructuras de control de la erosión (por ejemplo, uso de terrazas) una vez que se plantan los árboles.
- Mejoramiento de las variedades de cultivo está orientado a su adaptación a las condiciones de monocultivo y no a las de sombra (Barúa y Sarma 1983, Castillo 1960, Enríquez 1986, Hadfield 1968, Montes 1979).
- Fuerte sombreo puede reducir la calidad de un cultivo, por ejemplo el té (Hilton 1975, McCulloch *et al.* 1965).

Influencias perjudiciales en el ciclo hidrológico

- Competencia de las raíces de los árboles de sombra por agua en la estación seca y por oxígeno en la estación lluviosa (Alvim 1960, Folster y Wood 1963, Franco 1951, Hadfield 1981, Laycock y Wood 1963, Vernon 1967).

Fomento de factores adversos y condiciones ambientales perjudiciales

- La disminución en el movimiento del aire y el aumento en humedad pueden favorecer las enfermedades fungosas (Cabala *et al.* 1972, Carvalho *et al.* 1961, Dakwa 1980, Smith 1981).
- X La incidencia de insectos dañinos puede ser mayor en cultivos sombreados (Schroeder 1951, Wiersum 1984).
- La existencia de efectos alelopáticos (Anaya *et al.* 1982, Rietveld 1979), por ejemplo la combinación de nogal (*Juglans sp.*) con café es potencialmente peligrosa.
- X Los árboles de sombra pueden ser huéspedes alternativos de plagas y enfermedades (Byrne 1972, Lemee 1955, Smith 1981).
- Los árboles de sombra no sólo reducen la cantidad de luz disponible, y por lo tanto el rendimiento de los suelos fértiles (Bonaparte 1967, Byrne 1972, Vernon 1967, Vicente-Chandler *et al.* 1968), sino también la calidad de la radiación transmitida al absorber diferencialmente ciertas longitudes de ondas importantes en la fotosíntesis (Bainbridge *et al.* 1966, Nair 1979).

Reducción en la fertilidad del suelo con respecto al cultivo asociado y mayor erosión

- Las raíces de los árboles de sombra compiten por nutrimentos (Folster y Wood 1963, Gehrke 1962).
- El agua que corre en el tronco y el goteo, producido por la coalescencia de las gotas de lluvia que se unen en las hojas de los árboles de sombra, pueden ocasionar una redistribución desfavorable de la lluvia, que incrementa la erosión, daña el cultivo y disminuye la absorción de humedad en el suelo (Beer *et al.* 1981, Govindarajan 1969, MacMillan 1943, Suárez de Castro 1952, Wiersum 1984).

La extracción de frutos y/o madera constituye una salida de los nutrimentos del lugar (Fassbender *et al.* 1985, Glover y Beer 1984).

CARACTERISTICAS DESEABLES DE LOS ARBOLES DE SOMBRA PARA CULTIVOS PERENNES

- Compatibilidad con el cultivo, que significa una competencia mínima por agua, nutrimentos y espacio; por ejemplo que no produzca retoños, desarrollo de la copa sobre el cultivo, sistema radical profundo, mínimo traslape de las zonas de las raíces de las especies superiores e inferiores.
- Sistema radical fuerte (resistente a los vientos). Los árboles de sombra están más expuestos a las condiciones climáticas adversas que los de una plantación forestal o un bosque natural, y deben ser capaces de adaptarse al crecimiento en pleno sol.

- Habilidad de propagación vegetativa por medio del enraizamiento de las estacas, para dar rápidamente una sombra adecuada.
- Capacidad para extraer nutrimentos del suelo que el cultivo no pueda tomar*.
- Habilidad para fijar nitrógeno.
- Posesión de una copa rala que proporcione sombra en parches y no una uniforme que produzca luz de baja calidad fotosintética.
- En el caso de especies productoras de madera, es deseable un diámetro de copa pequeño que:
 - a) reduzca la resistencia del follaje al viento y, por lo tanto, el riesgo de caída, b) permita densidades relativamente altas de los árboles de sombra sin reducir los niveles de luz por debajo de valores críticos, c) minimice los daños ocasionados al cultivo cuando los árboles (producción sostenida de madera) son cosechados.
- Ramas y tallos no quebradizos.
- Tallos y ramas libres de espinas, para facilitar el manejo.
- Rápido crecimiento apical en las especies productoras de madera.
- Autopoda y, en condiciones de crecimiento libre, formación de troncos rectos no bifurcados, en el caso de las especies productoras de madera.
- Tolerancia a fuertes podas repetidas.
- Presencia de una alta producción de biomasa, que recircule los nutrimentos por medio de la caída de hojas y/o las podas. Hojas y material leñoso de fácil descomposición.
- En el caso de los árboles deciduos, que rápidamente generen nuevas hojas para restablecer las condiciones originales de sombra.
- Ausencia de susceptibilidad a enfermedades o insectos que podrían provocar una defoliación súbita.
- Presencia de hojas pequeñas, para evitar el efecto de unión de las gotas de lluvia que causan daños por golpeteo.
- Ausencia de efectos alelopáticos.

* Este es un punto contencioso ya que varios autores describen los árboles como "bombas" de nutrimentos que proveen elementos que no están al alcance de las raíces del cultivo inferior. No obstante, Budowski afirma que las "raíces horizontales largas y superficiales" son una característica ventajosa, ya que así pocos nutrimentos escapan del sistema combinado de raíces-cultivo-árbol (1981). De hecho, con excepción de suelos arenosos, hay poca evidencia en los trópicos húmedos que demuestre que los sistemas radicales del cultivo y del árbol ocupen diferentes niveles en el suelo. En áreas con alta precipitación, la mayoría de las raíces alimenticias de todas las plantas están cerca de la superficie del suelo.

- Presencia de una corteza lisa que no permita hospedar epífitas.
- Producción de madera de valor, frutas o cualquier otro producto, por ejemplo el hule en *Hevea* spp.
- No hospedero alternativo de insectos patógenos, principales enemigos del cultivo.
- Las especies de sombra no deben tener la capacidad de reproducirse como malas hierbas, p.e. *Ricinus communis* y *Leucaena leucocephala* (en ciertas zonas).

Véase también Haarer (1962) MacMillan (1943) Martínez y Enríquez (1981) y Thomas (1940).

BIBLIOGRAFIA

- AKENKORAH, Y.; AKROFI, G.S.; ADRI, A.K. 1974. The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science* 49: 43-51.
- ALVIM, P. de T. 1958. El problema del sombreado del cacao desde el punto de vista fisiológico. *Agronomía (Perú)* 25: 34-42.
- ALVIM, P. de T. 1960. Las necesidades de agua del cacao. *Turrialba* 10: 6-16.
- ALVIM, P. de T. 1977. Cacao. III. Climate. In *Ecophysiology of tropical crops*. P. de T. Alvim, T.T. Kozłowski (Eds.). New York, Academic Press. p. 280-289.
- AMPOFO, S.T.; BONAPARTE, E.E. 1981. Flushing flowering and pod-setting of hybrid cocoa in a cocoa/shade/spacing/cultivar experiment. In *International Cocoa Research Conf. (7., 1979, Camerún)*. Proceedings. Lagos/Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 103-108.
- ANANTH, B.R.; IYENGAR, B.R.V.; CHOKKANNA, N.G. 1960. Studies on the seasonal variations of plant foods under different shade trees. *Indian Coffee* 24: 347-361.
- ANAYA, A.L.; OCOTHA, G.R.; ORTIZ, L.M.; RAMOS, L. 1982. Potencial alelopático de las principales plantas de un cafetal. In *Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. A.E. Jiménez, A. Gómez-Pompa (Eds.). Xalapa, Méx., INIREB. p. 85-94.
- BAINBRIDGE, R.; EVANS, G.C.; RACKHAM, O. (Eds.). 1966. *Light as an ecological factor*. Oxford, England, Blackwell. 452 p.
- BAKER, R.E.D. 1941. Immortelle disease. *Tropical Agriculture* 18:96-101.
- BARUA, D.N.; SARMA, P.C. 1983. Effect of leaf-pose and shade on yield of cultivated tea. *Horticultural Abstracts* 3(5):374. También en: *Indian Journal of Agricultural Sciences* 52(10):653-656.



- BEER, J.W. 1980. *Cordia alliodora* with *Theobroma cacao*: A traditional agroforestry combination in the humid tropics. Turrialba, C.R., CATIE. 5 p. (Mimeo).
- BEER, J.W. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114.
- BEER, J.W.; CLARKIN, K.L.; DE LAS SALAS, G.; GLOVER, N. L. 1981. A case study of traditional agro-forestry practices in a wet tropical zone: The "La Suiza" project. In *Las ciencias forestales y su contribución al desarrollo de la América Tropical*. M. Chavarría (Ed.). San José, C.R.. CONICIT-INTERCIENCIA-SCITEC. p. 191-209.
- BERMUDEZ, M.M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.) y poró (*Erythrina poeppigiana* (Walper) O.F. Cook) en Turrialba, Costa Rica. M. Sc. Tesis. Turrialba, C. R., CATIE-UCR. 74 p.
- BONAPARTE, E.E. 1967. Interspecific competition in a cocoa shade and fertilizer experiment. *Tropical Agriculture* 44: 13-19.
- BUDOWSKI, G. 1981. Applicability of agro-forestry systems. In *Agroforestry in the African humid tropics*. L.H. MacDonald (Ed.). Tokyo, Japan, United Nations University. p. 13-16.
- BYRNE, P.N. 1972. Cacao shade spacing and fertilizing trial in Papua and New Guinea. In *International Cocoa Research Conference* (4., 1972, Tri.). St. Augustine, Tri. p. 275-286.
- CABALA, P.; MIRANDA, E.R.; SANTANA, C.J.L. 1972. Interacción sombra fertilizantes en cacaotales de Bahía. In *International Cocoa Research Conference* (4., 1972, Tri.). St. Augustine, Tri. p. 181-189.
- CARVALHO, A.; KRUG, C.A.; MENDES, J.E.T.; ANTUNES, F.; JUNQUEIRA, A.R.; ALOISI, J.; ROCHA, T.R.; MORAES, M.V. 1961. Melhoramento do cafeeiro. *Bragantia* 20:1045-1142.
- CASTILLO, J. 1960. Rendimiento de las variedades Typica y Boubon del *C. arabica* L., en diferentes condiciones de cultivo. *Cenicafé* 11(5):137-142.
- COMBE, J.; BUDOWSKI, G. 1979. Classification of agroforestry techniques. In *Proc. Agroforestry systems in Latin America*. G. De las Salas (Ed.). Turrialba, C.R., CATIE. p. 17-47.
- COOK, O.F. 1901. Shade in coffee culture. Washington, USDA. Bulletin no. 25. 79 p.
- CUNNINGHAM, R.K. 1959. A review of the use of shade and fertilizer in the culture of cocoa. London, England, West African Cocoa Research Institute. Technical Bulletin no. 6. 15 p.
- CUNNINGHAM, R.K.; LAMB, J. 1959. A cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute, Ghana. I. First year. *Journal of Horticultural Science* 34:14-22.
- CUNNINGHAM, R.K.; ARNOLD, P.W. 1962. The shade and fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao*) in Ghana. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13: 213-221.

- CUNNINGHAM, R.K. 1963. What shade and fertilizers are needed for good production. *Cocoa Growers Bulletin* 1:11-16.
- DAKWA, J.T. 1980. The effects of shade and NPK fertilizers on the incidence of cocoa black pod disease in Ghana. *Horticultural Abstracts* 50(3):187.
- También en: *Ghana J. Agricultural Science* 9(3): 179-184.
- DUTTA, A.C. 1978. Shade trees, green crop and cover crop plants in the tea estates of North East India. *Horticultural Abstracts* no. 48(4):357.
- También en: Jorhat/Assam. 1977. Tocklai Exp Station. Memo no. 30. 128 p.
- ENRIQUEZ, G.A. 1986. Respuesta del cacao híbrido a dos sistemas de sombra en Turrialba, Costa Rica. In *Proceedings Seminar Advances in Agroforestry Research*. J.W. Beer, H.W. Fassbender (Eds.). Turrialba, C. R., CATIE. p. 141-154.
- ESCALANTE, G.; HERRERA, R.; ARANGUREN, J. 1984. Fijación de nitrógeno en árboles de sombra (*Erythrina poeppigiana*) en cacaotales del Norte de Venezuela. *Pesquisa Agropécuaria Brasileira* 19:230.
- EVANS, H.; MURRAY, D.B. 1953. A shade and fertilizer experiment on young cacao. In *Report Cacao Research 1945-51*. St. Augustine, Tri., Imperial College of Tropical Agriculture. p. 67-76.
- FASSBENDER, H.W.; ALPIZAR, L.; HEUVELDOP, J.; ENRIQUEZ, G.; FOLSTER H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. *Turrialba* 35: 403-413.
- FORDHAM, R. 1972. Irrigation and shade experiment, Las Hermanas. In *Annual Report on Cacao 1971*. St. Augustine, Tri., Univ. W. Indies. p. 38- 46.
- FOLSTER, L.J.; WOOD, R.A. 1963. Observations on the effects of shade and irrigation on soil-moisture utilization under coffee in Nyasaland. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 31:108-114.
- FOURNIER, L.A. 1980. Fundamentos ecológicos del cultivo de café. San José, C. R. IICA, PROME-CAFE. *Publicaciones Misceláneas* no. 230. 29 p.
- FRANCO, C.M. 1951. A agua do soio e o sombreamento dos cafezais na America Central. *Bragantia* 11(4-6): 99-119.
- GEHRKE, M.R. 1962. Distribution of absorbing roots of coffee (*Coffea arabica* L.) and rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Agr.) in mixed plantings in two ecological zones of Costa Rica. M.Sc. Tesis. Turrialba, C. R., IICA. 117 p.
- GLOVER, N.; BEER, J. 1984. Spatial and temporal fluctuations of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* var. Caturra - *Erythrina poeppigiana* - *Cordia alliodora*. Turrialba, C.R., CATIE. 49 p. (Mimeo).

- GLOVER, N.; BEER, J.W. 1986. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 4: 77-87.
- GOGOI, B.N. 1977. A review of research on shade in tea. *Horticultural Abstracts* 47 (11):917.
- También en: *Two Bud* 23(2):67-73.
- GOVINDARAJAN, A.G. 1969. Shade trees for coffee. IX. *Syzygium jambolanum* D.C. *Indian Coffee* 33(17): 219-224.
- GREENWOOD, M.; POSNETTE, A.F. 1950. The growth flushes of cacao. *Journal of Horticultural Science* 25:164-174.
- GUTIERREZ, Z.G.; SOTO, B. 1976. Arboles usados como sombra en café y cacao. *Revista Cafetalera* 18: 27-32.
- HAARER, A.E. 1962. *Modern coffee production*. London, Leonard Hill. 495 p.
- HADFIELD, W. 1968. Leaf temperature, leaf pose, and productivity of the tea bush. *Nature* 219:282-284.
- HADFIELD, W. 1974. Shade in North-East Indian tea plantations. I. The shade pattern. *Journal of Applied Ecology* 11: 51-78.
- HADFIELD, W. 1981. Climatic constraints in Ecuadorian cocoa production. In *International Cocoa Research Conference (7., 1979, Camerún)*. Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 13-24.
- HARDY, F. 1962. La sombra del cacao en relación con la intercepción de lluvia. *Turrialba* 12:80-86.
- HEUVELDOP, J.; ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H.W.; ENRIQUEZ, G.; FOLSTER H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. II. Producción agrícola, maderable y de residuos vegetales. *Turrialba* 35: 347-355.
- HILTON, P.J. 1974. The effect of shade upon the chemical composition of the flush of tea (*Camellia sinensis*). *Tropical Science* 16(1): 15-22.
- HOLDRIDGE, L.R. 1957. Arboles de sombra para el cacao. In *Manual del curso de cacao* A.L. Erickson A.L. (Ed). Turrialba, C.R., IICA. p. 113-117.
- HOLLAND, T.H. 1931. The green manuring of tea, coffee and cacao. *Tropical Agriculture* 77: 71-98, 197-218.
- HURD, R.G.; CUNNINGHAM, R.K. 1961. A cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute Ghana. III. Physiological results. *Journal of Horticultural Science* 36:126-137.

- JIMENEZ, A.E.; GOLBERG, A.D. 1982. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. III. Efecto de diferentes estructuras vegetales sobre el balance hídrico del cafetal. In Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. A.E. Jiménez, A. Gómez-Pompa (Eds.). Xalapa, Méx., INIREB. p. 39-54.
- JIMENEZ, V.G. 1980a. Asociación de especies frutales con cacao. Turrialba, C.R., CATIE. 16 p. (Mimeo).
- JIMENEZ, V.G. 1980b. El sombreado de cacao. Turrialba, C.R., CATIE. 26 p. (Mimeo).
- LAYCOCK, D.H.; WOOD, R.A. 1963. Some observations on soil moisture use under tea in Nysaland. II. The effect of shade trees. *Tropical Agriculture* 40:42-48.
- LEITE, J. de O. 1972. Medida de densidade de sombramento em cacaosais com base em fotografias aéreas. In International Cocoa Research Conference (4., 1972, Tri.). Proceedings. St. Augustine, Tri. p. 300-311.
- LEITE, R.M. de O.; ALVIM, R.; ALVIM, P. de T. 1981. Effects of wind and solar radiation on the mechanical rupture of the cacao pulvinus (Abstract). In International Cocoa Research Conference (7., 1979, Cameroun). Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 129.
- LEMEE, G. 1955. Influence de l'alimentation en eau et de l'ombrage sur l'economie hydrique et la photosynthèse du cacaoyer. *Agronomie Tropicale* 10(5):592-603.
- LETOUSEY, R. 1955. Les arbres d'ombrage des plantations agricoles Camerounaises. *Bois et Forêts des Tropiques* 42:15-25.
- MACMILLAN, H.F. 1943. *Tropical planting and gardening*. London, MacMillan. p. 208-214.
- MARTINEZ, A.; ENRIQUEZ, G. 1981. La sombra para el cacao. Turrialba, C.R., CATIE. Boletín Técnico no. 5. 93 p.
- McCLELLAND, T.L. 1935. Coffee shade in Kenya. *East African Agricultural and Forestry Journal* 1(2) : 107-118.
- McCULLOCH, J.S.G.; PEREIRA, H.C.; KERFOOT, O.; GOODCHILD, N.A. 1965. Effect of shade trees on tea yields. *Agricultural Meteorology* 2:385-99.
- MONTES, S. 1979. Estudios del porcentaje de granos vanos, y el rendimiento en *Coffea arabica* var. Caturra Rojo y Amarillo en plantaciones al sol y a la sombra. *Ciencia y Técnica en la Agricultura: Café y Cacao* 1(1-2):35-45.
- MURRAY, D.B. 1956. Shade trees for cacao. In Report Cacao Res 1955-56. Tri., Imperial College of Tropical Agriculture. p. 45-47.
- MURRAY, D.B. 1956. The use of shade for cacao. In Conf Interam Cacau (6., 1956). Bahía, Brasil. p. 111-116.

- MURRAY, D.B.; NICHOLS, R. 1966. Light, shade and growth in some tropical plants. In Light as an ecological factor. R. Bainbridge, G.C. Evans, O. Rackham (Eds.). Oxford, England, Blackwell. p. 249-263.
- NAIR, P.K.R. 1979. Intensive multiple cropping with coconuts in India: Principles, programmes and prospects. Berlin, Germany, Parey. 147 p.
- NAIR, P.K.R. 1980. Agroforestry species: A crop sheets manual. Nairobi, Kenya, ICRAF. 336 p.
- NATARAJ, T.; SUBRAMANIAN, S. 1975. Effect of shade and exposure on the incidence of brown-eye-spot of coffee. Indian Coffee 39(6):179-180.
- OBAGA, S.O. 1985. Shade trees in tea: A review. Horticultural Abstracts 55(5):409.
- También en: Tea 5(1) : 39-47.
- OSTENDORF, F.W. 1962. The coffee shade problem. Tropical Abstracts 17 : 577-581.
- PONCIN, L. 1958. The use of shade at Lukolela Plantations. In Report Cocoa Conf 1957. London, The Cocoa, Chocolate and Confectionary Alliance. p. 281-288.
- PURSEGLOVE, J.W. 1968. Tropical Crops: Dicotyledons. New York, Wiley. 719 p.
- RIETVELD, W.J. 1979. Ecological implications of allelopathy in forestry. In John S. Wright For Conf. H.A. Holt, B.C. Fisher (Eds.). Purdue, Indiana, Purdue University. p. 91-112.
- ROBERTSON, G.P.; HERRERA, R.; ROSSWALL, T. (Eds.). 1982. Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean. Plant Soil 67 : 241-291.
- ROBINSON, J.B.D. (Ed.). 1964. A handbook on Arabica coffee in Tanganyika. Tanganyika Coffee Board. 182 p.
- SANTANA, M.B.; CABALA, P. 1985. Reciclagem de nutrientes en uma plantacao de cacau sombreada com *Erythrina*. In International Cocoa Research Conference (9., 1984, Togo). Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 205-210.
- SANTOS, M.O.; LEBAO, D.E. 1982. Sombreamiento definitivo do cacauero. Ilheus, Bahia, Brasil, Comissao Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. 24 p.
- SCHROEDER, R. 1951. Resultados obtenidos de una investigación del microclima en un cafetal. Cenicafe 2(18):33-43.
- SMITH, E.S.C. 1981. The interrelationships between shade types and cocoa pest and disease problems in Papua New Guinea. In Cocoa Research Conference (7., 1979, Cameroun). Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 37-43.
- SOMARRIBA, E.; BEER, J.W. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. 18 : 113-126.

Forest Ecology and Management

- SUAREZ DE CASTRO, F. 1951. Experimentos sobre la erosión de los suelos. Chinchilla, Col., Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Boletín Técnico no. 6. 44 p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. 1952. Potencialidad erosiva de las lluvias dentro de un cafetal y al aire libre. *Cenicafe* 3(32):21-31.
- SUAREZ DE CASTRO, F.; MONTENEGRO, L.; AVILES, P.C.; MORENO, M.M.; BOLAÑOS, M. 1961. Efecto del sombrío en los primeros años de vida de un cafetal. Santa Tecla, Salv., Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. 36 p.
- TAPLEY, R.G. 1961. Crinkle-leaf of coffee in Tanganyika. *Kenya Coffee* 26:56-157.
- THOMAS, A.S. 1940. Robusta coffee. In *Agriculture in Uganda*. J.P. Tothill (Ed.). London, Oxford University Press. 551 p.
- THOMAS, A.S. 1940. Arabica coffee. In *Agriculture in Uganda*. J.P. Tothill (Ed.). London, Oxford University Press. 551 p.
- THOMAS, A.S. 1940. Shade trees. In *Agriculture in Uganda*. J.P. Tothill (Ed.). London, Oxford University Press. 551 p.
- VERNON, A.J. 1967. New developments in cocoa shade studies in Ghana. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 18:44-48.
- VERNON, A.J. 1967. Yield and light relationship in cocoa. *Tropical Agriculture* 44:223-238.
- VICENTE-CHANDLER, J.; ABRUÑA, F.; BOSQUE-LUGO, R.; SILVA, S. 1968. Intensive coffee culture in Puerto Rico. University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 211. p. 23-28.
- X VINHA, S.G.; SILVA, L.A. 1982. Arvores aproveitadas como sombreadoras de cacauzeiros no sul da Bahía e norte do Espirito Santo. Ilheus, Bahía, Bra., Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. 136 p. X
- WIERSUM, K.F. 1984. Surface erosion under various tropical agroforestry systems. In *Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability*. C.L. O'Loughlin, A.J. Pearce (Eds.). Honolulu, Hawaii, East-West Center. p. 231-239.
- WILLEY, R.W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45(12):791-798.
- WRIGLEY, G. 1969. *Tropical agriculture: The development of production*. London, England, Faber. 376 p.
- YOUNG, A.M. 1984. Flowering and fruit-setting patterns of cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) (Sterculiaceae) at three localities in Costa Rica. *Turrialba* 34(2):129-142.

TAUNGYA Y SISTEMAS AGROSILVICULTURALES PERMANENTES

John Beer, Gerald Kapp, Carlos Lucas, Arturo Vargas y Henning von Platen

Introducción

Este documento ha sido preparado para contrastar tres sistemas alternativos de reforestación para los pequeños y medianos productores: la plantación pura, la combinación con sólo cultivos agrícolas anuales en la fase inicial del ciclo forestal (sistema Taungya) y la asociación continua con cultivos agrícolas anuales seguidos por perennes (agrosilvicultura permanente). Para este propósito se presenta un resumen de las publicaciones que sobre el tema han sido publicadas por el Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ (Beer et al., 1994; Lucas et al., 1995; von Platen, 1996).

Estas tres publicaciones se complementan en el seguimiento de las actividades de investigación y transferencia de tecnologías que este Proyecto realizó en la región de Baja Talamanca en la costa del Atlántico Sudeste de Costa Rica. La primera publicación de Beer et al. (1994) analiza el concepto, ventajas y desventajas de los sistemas agrosilviculturales, los cuales incluyen al sistema Taungya, comparado con la reforestación sin asocio. La segunda de Lucas et al. (1995), presenta los resultados de un ensayo taungya - agrosilvicultural permanente instalado en Baja Talamanca en donde se estudia el comportamiento biofísico de dos especies maderables: laurel (*Cordia alliodora*) y mangium (*Acacia mangium*), bajo dos tecnologías de manejo: en plantación pura y en asocio con la secuencia de cultivos agrícolas, maíz (*Zea mays*), jengibre (*Zigiber officinale*) y finalmente arazá (*Eugenia stipitata*). Finalmente, en la tercera publicación de von Platen (1996) se analiza la economía de los sistemas con laurel estudiados en este ensayo: i.e. plantación pura, Taungya y agrosilvicultura permanente.

Conceptos básicos

Un sistema agrosilvicultural es una plantación en la cual se combinan los cultivos agrícolas y especies maderables. Esta combinación podría ser temporal (Taungya) o bien permanecer hasta el aprovechamiento de la madera. Aunque el término 'Taungya' era originalmente el nombre de un método que el Departamento Forestal de Birmania utilizaba, con agricultores migratorios, para establecer plantaciones forestales, se sigue la tendencia moderna de utilizar el término para cualquier combinación de cultivos agrícolas con

maderables durante la fase del establecimiento de los últimos; con o sin la participación de una organización forestal. Por otro lado, se denominará en adelante "sistema agrosilvicultural permanente" a la combinación continua de cultivos agrícolas con maderables ("Taungya modificada" según Nair, 1991). Las combinaciones de árboles maderables con cultivos perennes como el cacao (*Theobroma cacao*) o café (*Coffea* spp.), son ejemplos bien conocidos de sistemas agrosilviculturales permanentes. Estos sistemas son alternativas para el pequeño o mediano propietario con interés en reforestación pero que necesita que sus terrenos le rindan ingresos a corto plazo y de manera permanente.

El Taungya es un método apropiado para finqueros que tengan el terreno suficiente para dedicar una parte a la producción maderable, pero que también necesitan reducir los costos de establecimiento y de espera. Generalmente, el manejo de un sistema Taungya es menos complicado que el manejo de un sistema agrosilvicultural permanente. Los sistemas agrosilviculturales permanentes son una opción más apropiada en terrenos de vocación agrícola, mientras que un Taungya es más apropiado para terrenos de vocación forestal donde es factible conseguir una o dos cosechas de un cultivo anual, incluso sin aplicaciones de fertilizantes, si ha existido previamente un barbecho suficiente. No se deben utilizar los sistemas Taungya en suelos propensos a la erosión.

En zonas como Talamanca, Costa Rica, donde hay programas de reforestación con incentivos para fincas pequeñas y medianas, un sistema Taungya es una alternativa atractiva distinta a las plantaciones puras que promueve la autoridad estatal.

Historia del Sistema Taungya

Sistemas combinados de cultivos agrícolas con maderables fueron desarrollados en forma independiente en Europa (Kapp, 1987), China y la antigua Birmania, hoy Myanma (Jordan et al., 1992).

El nombre Taungya se originó en Birmania, país donde el sistema fue promovido desde 1856 por Dietrich Brandis, regente forestal de ese entonces. En su forma original consistía en la siembra de semilla de teca (*Tectona grandis*) dentro de los cultivos tradicionales, principalmente arroz (*Oryza sativa*) y algodón (*Gossypium* spp.). Así, el Departamento Forestal podía contar con mano de obra y reducir los costos de reforestación, especialmente la roza y las primeras limpiezas y los agricultores dispondrían de la tierra para cultivar. Cuando los agricultores migratorios

desocupaban sus campos de cultivo después de un año, como siempre lo hacían debido a la alta competencia de las malezas y la fertilidad en descenso, quedaban los árboles sembrados. Los agricultores recibían una recompensa en dinero según la cantidad de árboles sobrevivientes. En los siguientes años se pagaba adicionalmente para otras limpiezas (Brandis, 1884).

Sobre la base del éxito inicial de esta experiencia, el método se difundió en muchos países tropicales como solución parcial a la destrucción de bosques debido al sistema de 'roza y quema', y para compatibilizar las necesidades de tierra de la población rural y las necesidades de los Servicios Forestales de establecer nuevas plantaciones maderables.

Entonces, en su sentido original, el sistema Taungya implicó el asocio temporal de cultivos anuales con árboles maderables para reducir los costos del establecimiento de plantaciones forestales estatales. En muchos países tuvo un sentido aún más restringido que fue la conversión de bosques naturales a plantaciones forestales, por medio de agricultores migratorios que practicaban el sistema de roza y quema (Lamprecht, 1990). Era visto como método de reforestación más que un sistema agroforestal.

Dado que el enfoque del método fue la reforestación, no se hizo ninguna modificación silvicultural para facilitar la producción agrícola. Una vez que las copas de los maderables empezaban a cerrar, no era posible seguir con el asocio agrícola. Como consecuencia, después de una a tres cosechas, los agricultores tenían que salir de la zona de reforestación o pasar a cultivar otra área recién sembrada con maderables, sin recompensa adicional.

En varios países, el sistema Taungya fue utilizado como respuesta a la demanda de tierras del Estado, permitiendo a las administraciones forestales imponer condiciones rígidas a los cultivadores. La mayoría de los beneficios quedaron para los Departamentos Forestales y la situación económica de los agricultores continuó siendo crítica. De allí que el método Taungya haya sido criticado como un "vestigio de colonialismo" y un abuso contra los cultivadores que practicaban la agricultura migratoria. De hecho, debido a que los cultivadores no recibieron ningún beneficio de los productos arbóreos (que eran propiedad del Estado), ocurrieron casos de daños accidentales y hasta deliberados en las plantaciones forestales.

Esas razones históricas han hecho que la metodología Taungya haya ganado una mala reputación, incluso en América Latina donde el sistema ha sido poco practicado. Sin embargo, con el reconocimiento del papel de los finqueros privados y de las organizaciones locales en la reforestación, vale la pena reexaminar el potencial del Taungya, bajo el supuesto que el finquero es dueño tanto de los árboles como de los cultivos (Somarriba, 1981). Se habla de un "Taungya privado" en contraste con el histórico "Taungya estatal".

Combinaciones y rotaciones muy semejantes al Taungya en cuanto a sus aspectos biofísicos, son bien conocidas por los finqueros de América Latina. Por ejemplo, es común observar maíz o frijoles (*Phaseolus vulgaris*) en nuevas plantaciones de café, aprovechando el control de malezas para el beneficio del cultivo perenne y de paso obteniendo alimentos o ingresos efectivos por la venta de los productos agrícolas. En nuevas plantaciones de cacao, en terrenos sin cobertura, es necesario sembrar cultivos que le proporcionen sombra temporal al cacao, tales como el gandul (*Cajanus cajan*), plátano (*Musa AAB*), yuca (*Manihot esculenta*) u otros cultivos de porte mediano, mientras se desarrolla una sombra permanente (Somarriba et al, 1996). Este tipo de asociación es diferente al caso del Taungya, pero la experiencia acumulado sobre cómo asociar cultivos anuales con perennes durante su fase de establecimiento, es muy relevante para implementar Taungya con maderables.

Reforestación con sistemas agrosilviculturales versus reforestación sin asocio

Es necesario considerar las diferentes opciones tipo "Taungya" cuando se discute las consecuencias biofísicas y socioeconómicas que resultan de utilizar estos sistemas agrosilviculturales para reforestación. Por ejemplo, cuando un finquero quiere establecer un sistema "Taungya privado" en su propio terreno, hay que considerar los aspectos biofísicos y la rentabilidad en comparación con una reforestación sin asocio. Cuando se piensa utilizar el sistema "Taungya estatal", en reservas forestales, hay que considerar otra serie de aspectos socioeconómicos y hasta políticos adicionales, antes de adoptar este método. Dado que el interés actual primordial es la reforestación en fincas privadas, no se presentan argumentaciones sobre este último sistema.

Es importante destacar que esta discusión se refiere a zonas donde la decisión de sembrar maderables ya ha sido tomada y la pregunta es: ¿Vale la pena hacer reforestación con o sin el asocio? No se trata entonces de hacer contrastes entre

ventajas y desventajas de sembrar maderables y cultivos en el mismo terreno o de forma separada (Somarriba et al., 1994).

Posibles ventajas de agrosilvicultura vs. reforestación pura

A continuación se dan las posibles ventajas y desventajas de utilizar sistemas agrosilviculturales para reforestación. Es importante notar que no ocurren todas estas interacciones en cada sitio e inclusive que hay ventajas y desventajas aparentemente contradictorias. Si es ventajoso o no utilizar un sistema agrosilvicultural en lugar de reforestación pura, dependerá del sitio (suelo, clima, etc.), las condiciones socioeconómicas del finquero (p.e. disponibilidad de mano de obra, terreno, efectivo) y las especies involucradas (maderables y cultivos). Todos los puntos que continúan en las listas deben ser considerados antes de tomar una decisión, pero algunos no serían importantes en casos específicos. Esta decisión solamente puede ser tomada por el técnico o el finquero con base en su conocimiento de las condiciones específicas de la finca. No existen recetas!

1. El manejo y la ganancia de los cultivos agrícolas puede reducir o pagar los costos de establecimiento de los maderables. No hay que esperar hasta el fin del turno forestal para recibir ingresos de la parcela reforestada. Si en vez de un Taungya se establece una asociación con un cultivo perenne, existe la posibilidad de obtener ganancias agrícolas durante todo el turno forestal.
2. El manejo agrícola (limpias, fertilización, etc.) puede mejorar las condiciones biofísicas del sitio, lo cual resulta en mejores tasas de sobrevivencia y crecimiento de los maderables.
3. Si el asocio es con un cultivo leguminoso, podría mejorarse la disponibilidad de nitrógeno para los árboles.
4. Para zonas secas se podría reducir el riesgo de fuego por tener cultivos (terreno limpio) en lugar de maleza seca.
5. El cuidado de los cultivos, para evitar daños por los animales, reduce el riesgo de daños en los árboles.
6. La frecuencia de atención a un campo agrícola es mayor que lo normal para una plantación forestal pura, lo cual facilita la oportuna detección y tratamiento de

problemas de plagas o enfermedades forestales durante la etapa de establecimiento.

7. Es posible que el asocio de los maderables con cultivos puede reducir la dispersión de enfermedades de los árboles (p.e. *Fusarium* en las raíces), o de una plaga (p.e. el barrenador de cedro y caoba [*Hypsipyla grandella*]). Este punto se menciona frecuentemente como ventaja en los sistemas agrícolas intercalados. Sin embargo, no se conocen resultados que demuestren que sea una ventaja significativa en los sistemas agroforestales. También se ha sostenido que la incidencia de enfermedades y plagas en los cultivos sería menor cuando se intercala líneas de maderables (Jordan et al., 1992)
8. El aprovechamiento intensivo de los nutrimentos disponibles en el suelo que realizan los cultivos agrícolas al instalarse después de limpiar una parcela para su reforestación, reduce las pérdidas por lixiviación.

Posibles desventajas de agrosilvicultura vs. reforestación pura

1. La presencia de agricultores quienes están acostumbrados a utilizar el fuego para limpiar un terreno agrícola puede resultar en fuegos en las plantaciones forestales.
2. Puede resultar que, debido a la competencia de los cultivos, los maderables tengan una fase de crecimiento y sobrevivencia más baja.
3. Efectos alelopáticos (alteración en la sobrevivencia y el crecimiento de otras plantas cercanas por la liberación de sustancias químicas) de los cultivos en los maderables. Sin embargo, hasta ahora solamente se han reportado efectos alelopáticos de los árboles en los cultivos (Jordan et al., 1992).
4. Las actividades de manejo y cosecha de los cultivos pueden perjudicar a los árboles (p.e. daños a las raíces de los maderables durante una cosecha de cultivos de raíces o tubérculos).
5. Si el cultivo agrícola (especialmente un perenne) está dando buenas ganancias y a juicio del finquero sus rendimientos están siendo reducidos por la competencia de los maderables, podría verse impulsado a hacer podas excesivas de los maderables e inclusive hasta eliminar

árboles "futuros" (árboles seleccionados para la cosecha final por su crecimiento y forma superior).

6. Dado que la demanda de recursos para el establecimiento y la intensidad de manejo en un sistema agrosilvicultural es más alto, el área que se puede reforestar sería menor.
7. Deterioro del sitio debido a erosión o agotamiento de nutrimentos (p.e. demasiadas cosechas de yuca sin fertilización). No es recomendable utilizar Taungya en fuertes pendientes.
8. En el caso de asocio a mediano o largo plazo, las actividades silvícolas pueden provocar daños físicos en cultivos perennes (p.e. raleos de maderables en plantaciones de cacao).
9. Si los cultivos y los árboles son susceptibles a las mismas plagas o patógenos, el asocio puede ser altamente perjudicial e inestable.

Criterios para la selección de los componentes de los sistemas agrosilviculturales

En la selección de los componentes agrícolas y forestales de los sistemas agrosilviculturales, es importante destacar que las características de los árboles y los cultivos se pueden modificar con buenas prácticas de manejo para aprovechar sus características positivas y minimizar las negativas. Por ejemplo, se pueden manipular estas interacciones a través de:

- 1) Las fechas y secuencia de siembra de los componentes forestales y agrícolas;
- 2) Espaciamientos entre los árboles en el cultivo y entre los árboles y cultivos;
- 3) Duración del período de asocio (período agrícola) y
- 4) Métodos de manejar los dos componentes (podas, fertilización, control de malezas, etc.).

Además, las condiciones de cada sitio deben ser evaluadas para hacer coincidir los requerimientos de las especies maderables y agrícolas con las características del sitio (p.e. no sembrar laurel ni frijoles en sitios con mal drenaje).

Selección de los maderables

Cuando la intención es utilizar un sistema Taungya, donde el objetivo principal es el establecimiento de una plantación forestal, las especies maderables deben ser fuertes competidoras con el componente agrícola. Deben ser entonces de crecimiento rápido, con capacidad de cerrar sus copas rápidamente y ser tolerantes a la competencia por luz, agua y nutrimentos durante el primer año.

Cuando se da a la producción agrícola igual importancia que a la producción forestal (sistemas agrosilviculturales permanentes), las especies forestales idealmente deben (King, 1968):

- 1) Dar una forma de fuste aceptable aún cuando se planta con amplios espaciamentos (p.e. laurel es un buen ejemplo, mientras que la teca no tiene esta característica).
- 2) Tener autopoda (p.e. como *C. alliodora*).
- 3) No dar una sombra densa (p.e. *Eucalyptus deglupta* es preferible a *E. saligna*).
- 4) Recién establecidos deben ser tolerantes a la sombra lateral y algo de sombra vertical (p.e. como *C. alliodora*).
- 5) Tener una copa pequeña (p.e. como *C. alliodora*).
- 6) No tener efectos alelopáticos sobre los cultivos asociados (p.e. excluir *Eucalyptus* spp. en zonas secas) (Jordan et al., 1992).
- 7) No deben tener un sistema radicular superficial que daría una competencia fuerte a los cultivos y que sería susceptible al daño debido al manejo agrícola.
- 8) Deben tener potencial económico y/o requerimiento alimenticio en la finca.

Selección de los cultivos

- 1) No deben dar una sombra densa antes de la dominancia de los arboles (p.e. excluir cacao antes del establecimiento de los maderables).

- 2) No se deben incluir especies trepadoras mientras los árboles son jóvenes (p.e. excluir ñame -*Dioscorea alata*- durante la fase de establecimiento).
- 3) No deben agotar los nutrimentos del suelo hasta un nivel que pudiese afectar la calidad del sitio (p.e. excluir plátano cuando no está previsto aplicar fertilizantes para reemplazar los nutrimentos perdidos).
- 4) Si se van a cultivar raíces y tubérculos, estas no deben extenderse lejos del tallo, para evitar daños a las raíces de los árboles en el momento de cosechar el cultivo agrícola (p.e. excluir yuca).
- 5) Sería una ventaja si fijan nitrógeno.
- 6) Deben tener potencial económico o requerimiento alimenticio en la finca.
- 7) Debe existir una tradición y experiencia en la zona con estas especies.
- 8) No deben tener la capacidad de convertirse en maleza (en algunos caso en Africa se recomienda excluir Higuierilla -*Ricinus communis*-).
- 9) No debe ser hospedero de plagas que pueden afectar a los árboles (el hongo *Armillaria mellea* que ataca los árboles vía yuca)
- 10) Deben ser tolerantes a la sombra (p.e. jengibre) o aún mejor, necesitar algo de ella (p.e. cacao, una vez establecidos los maderables).
- 11) No deben causar daños físicos a los árboles (p.e. la caída de plátano en una plantación forestal nueva).
- 12) No deben tener efectos alelopáticos sobre los árboles.
- 13) No deben competir fuertemente por nutrimentos con los árboles recién sembrados (p.e. el arroz ha sido prohibido en sistemas Taungya en algunos países).
- 14) Deben ser especies poco exigentes en cuanto a manejo. La mano de obra requerida para el cultivo agrícola puede limitar el área que se pueda reforestar con sistemas agrosilviculturales.

Un ejemplo práctico

En 1988, en el marco del Proyecto CATIE/GTZ, en Baja Talamanca, Costa Rica, se diseñó y estableció un ensayo agrosilvicultural permanente, en el que se estudió el comportamiento biofísico de dos especies maderables (laurel y mangium), bajo dos tecnologías de manejo: en plantaciones puras y con cultivos agrícolas. En la asociación árboles-cultivos (sistema agrosilvicultural) se distinguieron dos fases: una asociación temporal ("Taungya"), con una secuencia de cultivos anuales (tres cosechas de maíz seguida por una de jengibre) y después una asociación permanente, con un frutal arbustivo arazá.

Productividad forestal y agrícola (Lucas et al., 1994)

El crecimiento diamétrico y de altura de mangium asociado con maíz a los 18 meses, fueron menores que para mangium en plantación pura. Esto podría ser un efecto de la intensidad de las resiembras de mangium en las parcelas asociadas. El crecimiento inicial de laurel no fue afectado por el asocio con maíz. Hubo mayor crecimiento diamétrico de los árboles a densidades menores. Esto sugiere la necesidad de raleos más tempranos que los practicados en el ensayo, pero deben considerarse las desventajas que conlleva esa decisión, principalmente el aumento de eventos de control de malezas, debido al aumento en la luz por debajo de los árboles (plantación pura) y las tendencias a una mayor ramificación de los árboles, lo que aumentará a su vez la necesidad de podas. Laurel creció más en altura en las parcelas asociadas que en las puras, lo que demuestra su respuesta al mejoramiento de las condiciones del sitio. Mangium no respondió a esas condiciones.

Después de cinco años de evaluación se encontró que para los árboles maderables, se lograron los mejores índices de crecimiento y sobrevivencia en los sistemas agrosilviculturales que en las plantaciones puras. Además el laurel asociado resultó mejor que mangium asociado, dando 90 m³/ha de volumen total a los cinco años, comparado con 60 m³/ha logrado en los otros tres tratamientos (Fig. 1). Ambas especies no se diferenciaron en plantaciones puras. Sin embargo, mangium se mostró especialmente susceptible al ataque de ratas durante los dos primeros años, enfermedades radiculares y a problemas de drenaje en el suelo aluvial del sitio experimental, lo cual demuestra que no es recomendable para este tipo de sitio.

La producción de maíz fue mayor en monocultivo o en asocio con mangium, tal vez por el menor grado de competencia del

mangium que presentó problemas en su establecimiento (Cuadro 1). La productividad del maíz disminuyó fuertemente en la tercera cosecha debido a que no se fertilizó durante los tres ciclos y al sombramiento por los árboles (ya tenían una altura de 4 a 6 m). En asocio, el número de plantas de jengibre fue el 50% del número en parcelas de monocultivo, lo cual explica la mayoría de la diferencia en rendimientos por hectárea. Este es un cultivo que exige una inversión fuerte de recursos y mano de obra, lo cual limita su aceptabilidad. Los datos de arazá eran provisionales (sólo un año de cosecha). Estudios anteriores sugieren que la productividad aumentará en el futuro. Aunque la productividad de arazá era menor en asocio con maderables, su potencial dentro de plantaciones forestales es evidente.

Cultivos agrícolas en sistemas agrosilviculturales pueden lograr productividades razonables, aunque sería lógico esperar mayores rendimientos cuando se cultivan "puros". Es muy importante la selección de cultivos y su rotación de acuerdo al desarrollo de los árboles. Para disminuir los riesgos de daños a las raíces de los árboles maderables, en el caso de sistemas agrosilviculturales, sería preferible introducir temprano un cultivo como jengibre. La rotación podría ser: maíz-maíz-jengibre-arazá. Esto reduciría la fase del Taungya y adelanta la introducción del sistema agroforestal permanente.

Cuadro 1. Producción agrícola¹ Fase "Taungya" (kg/ha)

TRATAMIENTO	MAIZ 2	MAIZ 3	JENGIBRE	ARAZÁ
Laurel asociado	2 490	1 190	8 970	19 200
Mangium asociada	2 790	1 980	7 930	16 000
Cultivo puro	2 380	1 860	23 560	24 400

¹ Según datos del agricultor, Maíz 1 rindió un equivalente a 1500 kg/ha sin diferencias entre tratamientos.

Análisis Económico (von Platen 1995)

Debido a la intensidad del manejo que requiere el cultivo de arazá, los dos sistemas "reforestación pura" y "sistema mixto" son tan diferentes que una comparación del tipo "dos sistemas sustitutos" no es posible. El sistema mixto, al

final no es una reforestación con énfasis en el componente forestal, sino una producción agroforestal, en la cual el componente agrícola domina completamente. El sistema Taungya se acerca más a las características de una reforestación pura.

Sin embargo, los tres sistemas de producción son económicamente atractivos y pueden ser soluciones interesantes para finqueros en busca de alternativas (Cuadro 2). La escogencia entre las tres actividades depende del finquero, sus recursos, alternativas y gustos. El Cuadro 3 resume las características globales de los sistemas en este sentido y proporciona indicaciones para tomar esta decisión.

Cuadro 2. Indicadores financieros para reforestación pura, Taungya y un sistema agrosilvicultural incluyendo *Cordia alliodora* en las tierras bajas del trópico húmedo de Costa Rica.

	Reforestación pura	Taungya	Agrosilvicultu- ra permanente
Retorno por trabajo (\$/día)	14.5	19.6	13.5
Margen bruto (ingreso neto (\$/ha/año)	139	542	1310
razón beneficio/costo (\$ganados/\$invertidos)	1.95	2.04	2.28

Cuadro 3. Características económicas globales de los sistemas.

Concepto	Reforestación pura	Taungya	Sistema mixto
Intensidad: capital/ha	Baja	Baja ¹	Muy alta
mano de obra/ha	Baja	Baja ¹	Muy alta
Riesgo	Bajo	Mediano	Alto
Rentabilidad mano de obra	Mediana	Alta	Mediana
estabilidad a cambios	Baja ²	Alta	Mediana
Rentabilidad del capital	Mediana	Mediana	Mediana
estabilidad a cambios	Mediana ²	Mediana	Baja
Productividad de la tierra	Muy baja	Mediana	Alta
estabilidad a cambios	Mediana ²	Baja	Baja

¹ Alta en el año 3

² Aunque los efectos de cambios en los precios de la madera son pronunciados, son poco probables.

La reforestación pura es más apta para finqueros que tienen una relación tierra/mano de obra alta; es decir, que disponen de mucha tierra pero carecen de mano de obra. Además, deben tener otras fuentes de ingresos. A pesar de que el sistema no requiere altas inversiones por hectárea, las requiere por mucho tiempo. En el caso de falta de mano de obra es económico emplear mano de obra contratada. Aunque todos los índices económicos no son muy elevados, una producción de este tipo se considera muy sólida por su bajo riesgo.

Una opción interesante para finqueros con limitada disponibilidad de mano de obra y capital pero suficiente tierra es la siembra de árboles en forma rotativa, es decir, en pequeñas extensiones anuales, durante varios años. De esta manera, se disminuyen los costos por año y se distribuyen los beneficios en varios años. Gradualmente estas siembras pueden desembocar en una forestería tradicional, en la cual hay siembra y cosecha todos los años, cuando la corta de la primera siembra ocurre en el mismo año de la siembra del último terreno designado a la forestería. Sin embargo, los lotes por sembrar en cada año no pueden ser demasiado pequeños, para evitar que los costos fijos aumenten el costo total por árbol, y para evitar interferencias negativas entre árboles grandes y pequeños.

El sistema mixto o "agrosilvicultural" es más recomendable para finqueros con una baja disponibilidad de tierra, pero alta disponibilidad de mano de obra y capital para los primeros años. Después, la producción "devuelve" la inversión a mediano plazo y proporciona altos beneficios por hectárea.

Sin embargo, el componente económico mayor, el arazá, es un cultivo con elevadas probabilidades de oscilación del precio en el mercado y los índices económicos son muy sensibles ante tales cambios. Por lo tanto, este sistema no es recomendable para finqueros que buscan un sistema de producción como su único o mayor pilar de existencia.

Por los problemas en el mercadeo, sin embargo, el riesgo es actualmente grande y no se puede recomendar la siembra de arazá a gran escala. Hay que esperar hasta que se desarrolle un mercado con canales y precios. Además, solo el mercado internacional puede absorber las grandes cantidades del producto que resultarían de su productividad alta (posiblemente más de 20 ton. de pulpa fresca/ha/año).

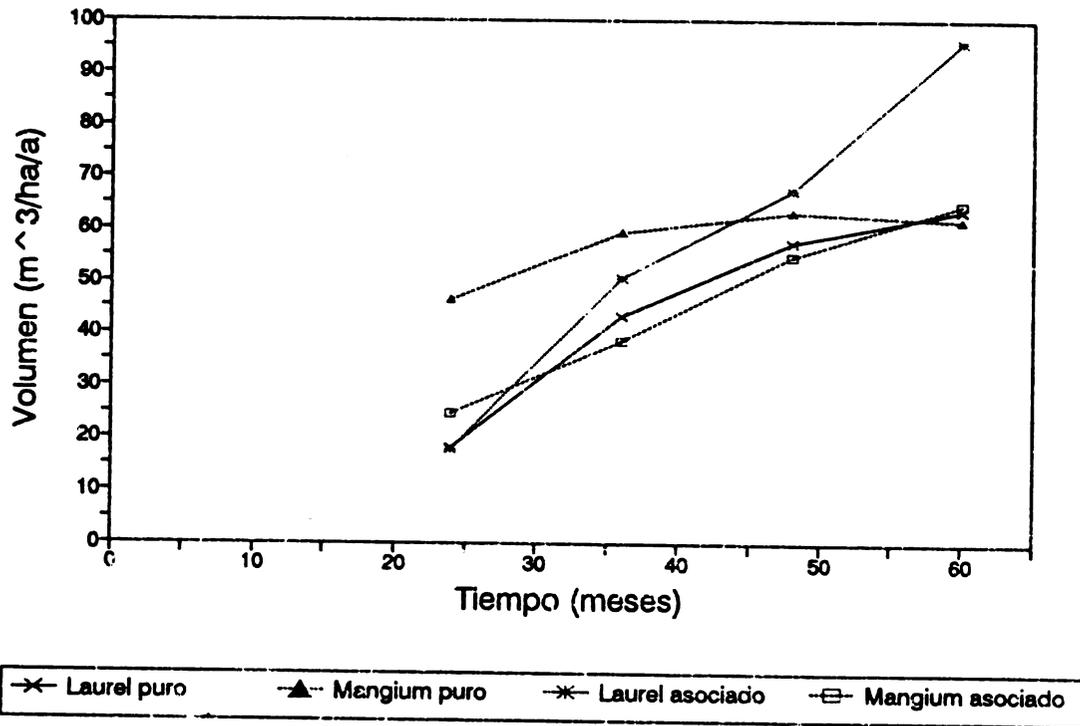
La ventaja del sistema Taungya es que retorna el capital invertido en la reforestación mucho antes de la cosecha de

los árboles, aunque no muestra una rentabilidad elevada de la tierra. Es un sistema recomendable para finqueros con suficiente disponibilidad de tierra y mano de obra en los primeros años, pero con limitantes, o con opciones más lucrativas a largo plazo, para su capital.

Como los beneficios de la parte agrícola son apreciables, la mano de obra en los primeros años puede ser la misma fuerza laboral que se emplearía en otra actividad comercial.

De igual manera, el requerimiento de capital es relativamente alto, sobre todo para un cultivo intensivo como el jengibre, pero es devuelto a corto plazo. Con esta característica, el sistema funciona como cualquier actividad agrícola a corto plazo. Queda al final la cosecha de árboles como un beneficio adicional, debitando solamente el costo de oportunidad de la tierra.

Figura 1. Crecimiento en volumen de laurel y mangium en el Taungya, Oliva.



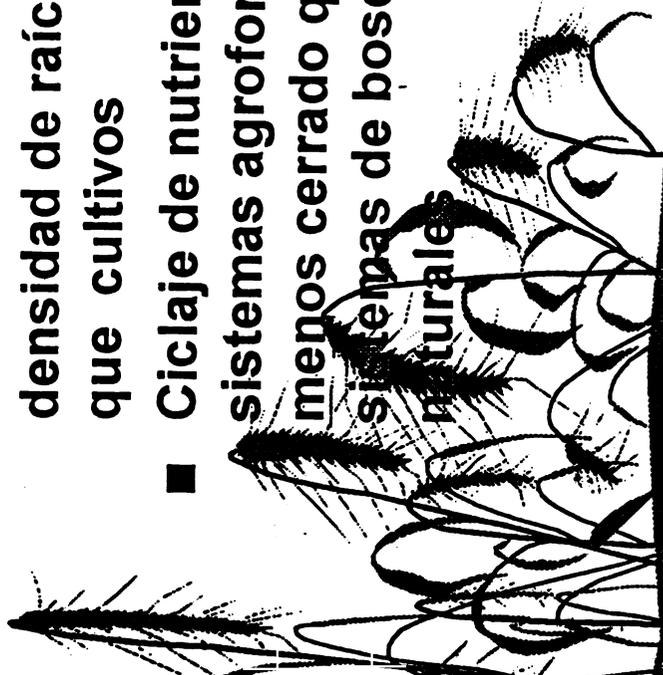
BIBLIOGRAFIA

- BEER, J.; KAPP, G.; LUCAS, C. 1994. Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. Plantaciones puras. Turrialba, Costa/Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 230. 25 p.
- BRANDIS, D. 1884. Über Brandwirtschaft in den Bergen Ostindiens, namentlich in Burma. Allg. Forst - u. Jagd - Zeitung 60:377-386.
- JORDAN, C.F.; GAJASENI, J.; WATANABE, H. (Eds.) 1992. Taungya: forest plantations with agriculture in Southeast Asia. Wallingford, England. CAB International. 153 p.
- KAPP, G. 1987. Agrosilviculture - a system of agroforestry in the 18th and 19th Century in Germany. Plant Research and Development (Alemania) 26:36-45.
- KING, K.F.S. 1968 Agri-silviculture (The Taungya system). Ibadan, Nigeria, Department of Forestry, University of Ibadan. 109 p.
- 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. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 155 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. Serie Técnica. Informe Técnico No. 243. 64 p.
- NAIR, PK. 1991. State of the art. Agroforestry Systems. Forest Ecology and Management 45: 5-29.
- PLATEN, H. von. 1996. Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. plantaciones puras; la economía. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie técnica. Informe técnico No. 250. 55 p.

- SOMARRIBA, E. 1981. Sistema Taungya: Tecnología apropiada de repoblación forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (sin publicar) 25 p.
- SOMARRIBA E, BEER J, BONNEMANN A (1996). Arboles leguminosos y maderables como sombra para cacao: el concepto. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No 274. 51p
- SOMARRIBA, E.; DOMINGUEZ, I.; LUCAS, C. 1994. Cacao-plátano-laurel. Manejo, producción agrícola y crecimiento maderable. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No.233. 63 p.

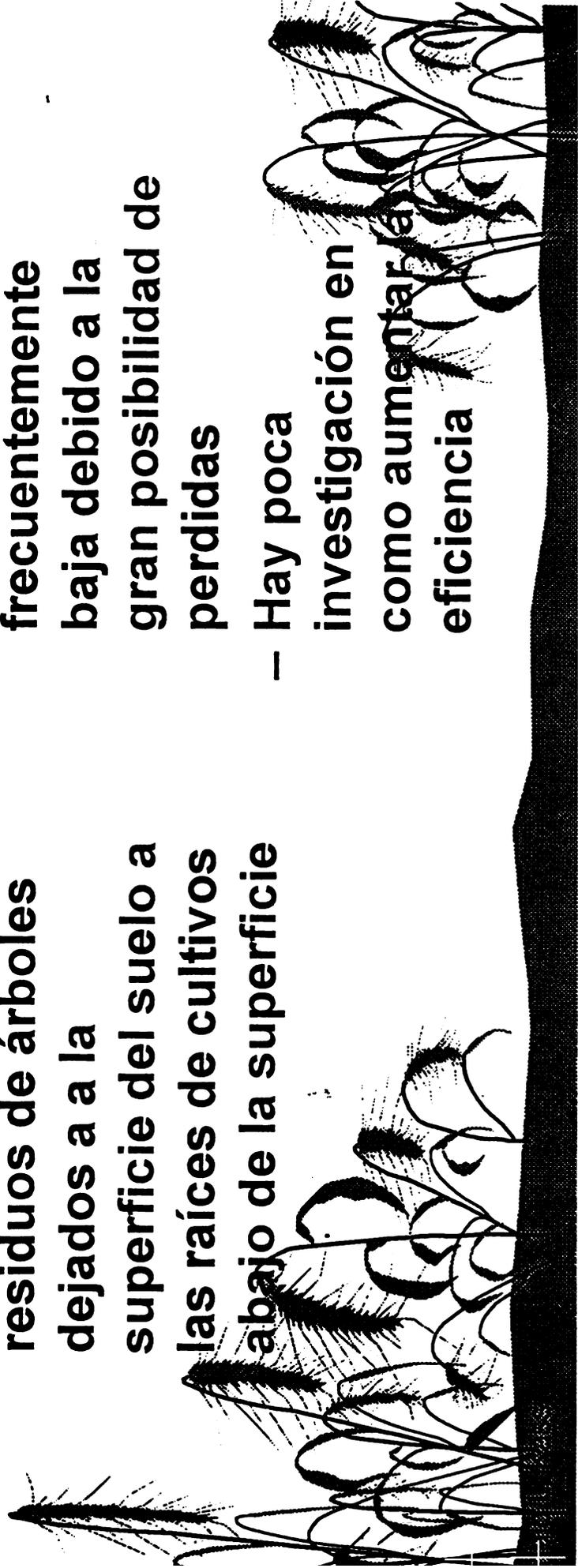
Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales- Consideraciones generales-1

- Árboles explotan mayor volumen de suelo durante más tiempo que los cultivos anuales
- Árboles tienen mayor densidad de raíces finas, que cultivos
- Ciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales es menos cerrado que en sistemas de bosques naturales
- Muchos de los cultivares de cultivos han sido desarrollados para responder a cantidades grandes de elementos muy solubles; la liberación de elementos de la decomposición de residuos de árboles es frecuentemente lenta
- Las podas pueden resultar en muerte de raíces tanto que partes aéreas



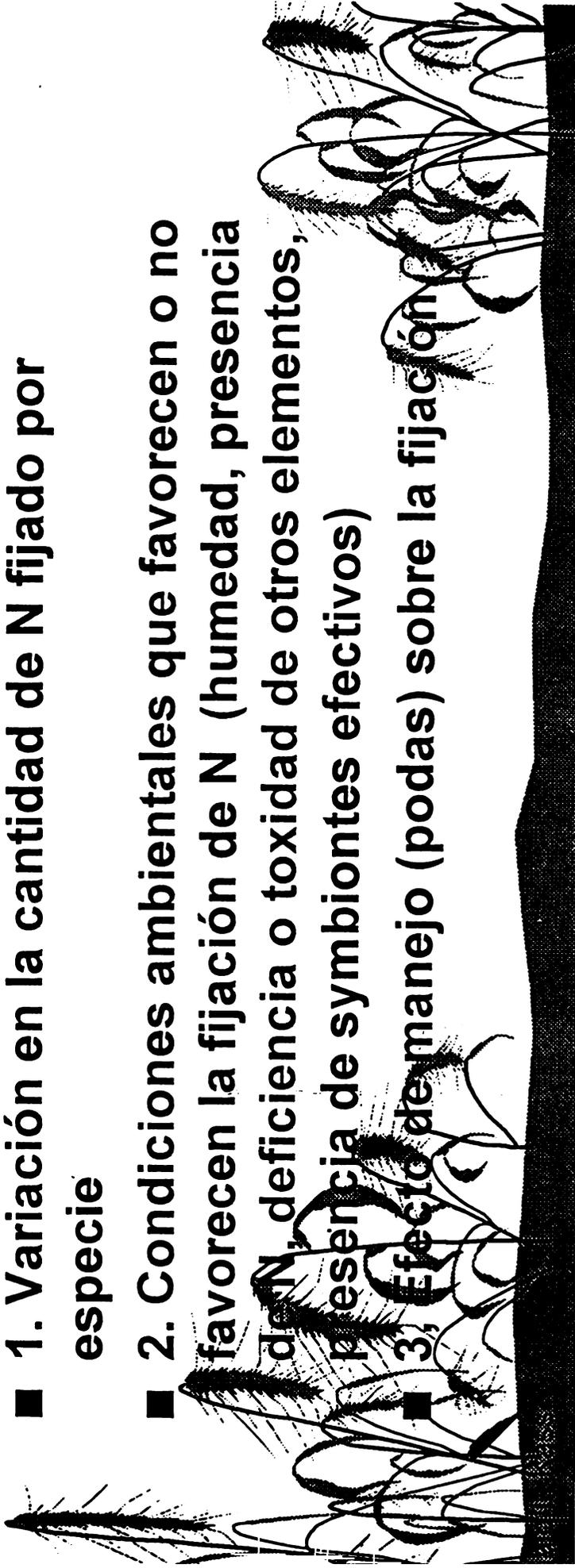
Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales- Consideraciones generales-2

- Se asume en general que la mayor parte de la transferencia de nutrientes es de los residuos de árboles dejados a a la superficie del suelo a las raíces de cultivos abajo de la superficie
- La eficiencia de uso de fertilizantes en sistemas agroforestales es frecuentemente baja debido a la gran posibilidad de perdidas
- Hay poca investigación en como aumentar la eficiencia



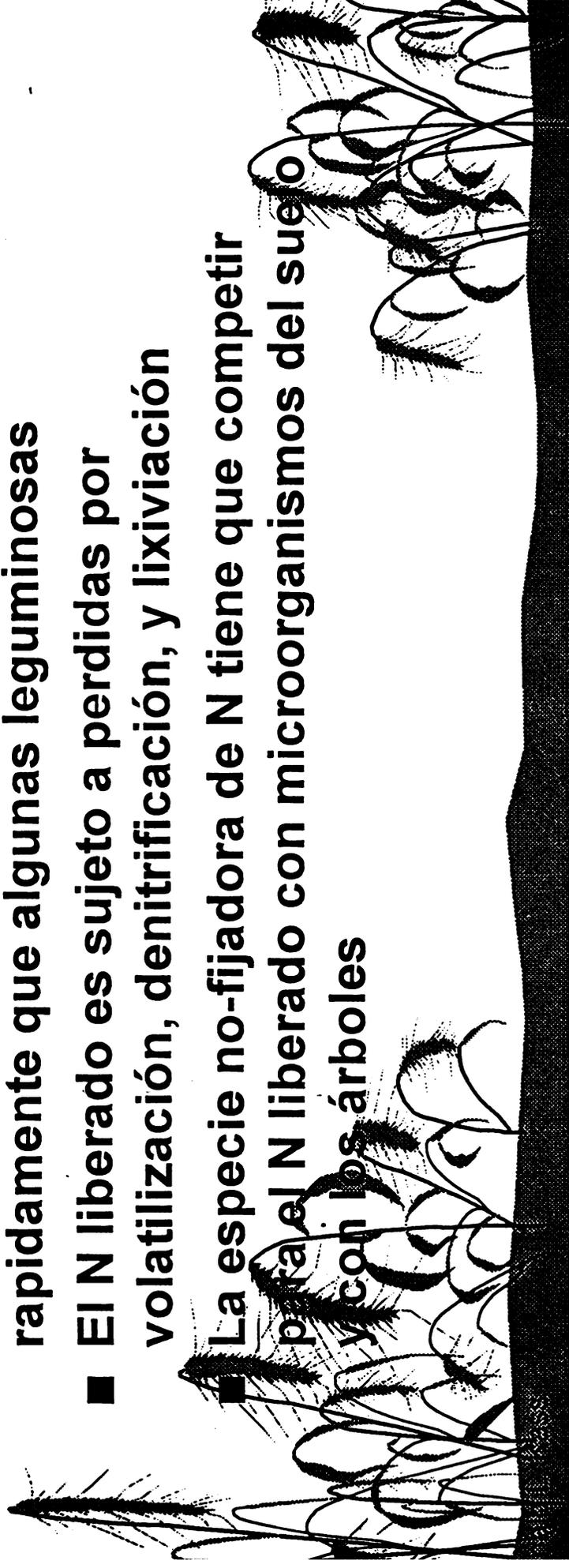
Manejo de Nutrientes en sistemas agroforestales- Nitrogeno-1

- Presencia de árboles fijadores de nitrógeno (leguminosas y no-leguminosas) pueden aumentar las entradas de nitrógeno pero su efectividad puede ser reducida por:
 - 1. Variación en la cantidad de N fijado por especie
 - 2. Condiciones ambientales que favorecen o no favorecen la fijación de N (humedad, presencia de dr-N , deficiencia o toxicidad de otros elementos, presencia de simbiontes efectivos)
 - 3. Efecto de manejo (podas) sobre la fijación



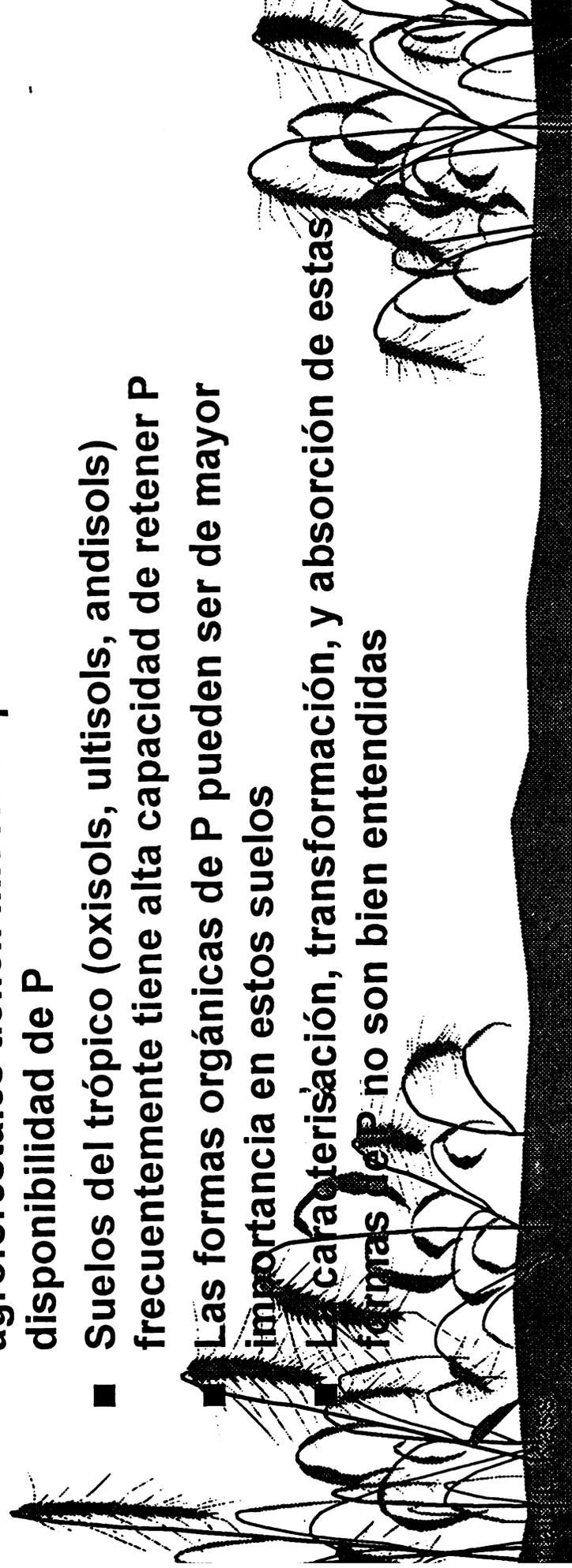
Manejo de Nitrogeno-2

- Características de árboles afectan la liberación de N (contenido de N, relación lignina/N, presencia de polifenoles)
- Algunas no-leguminosas liberan N más rápidamente que algunas leguminosas
- El N liberado es sujeto a pérdidas por volatilización, denitrificación, y lixiviación
- La especie no-fijadora de N tiene que competir para el N liberado con microorganismos del suelo y con los árboles



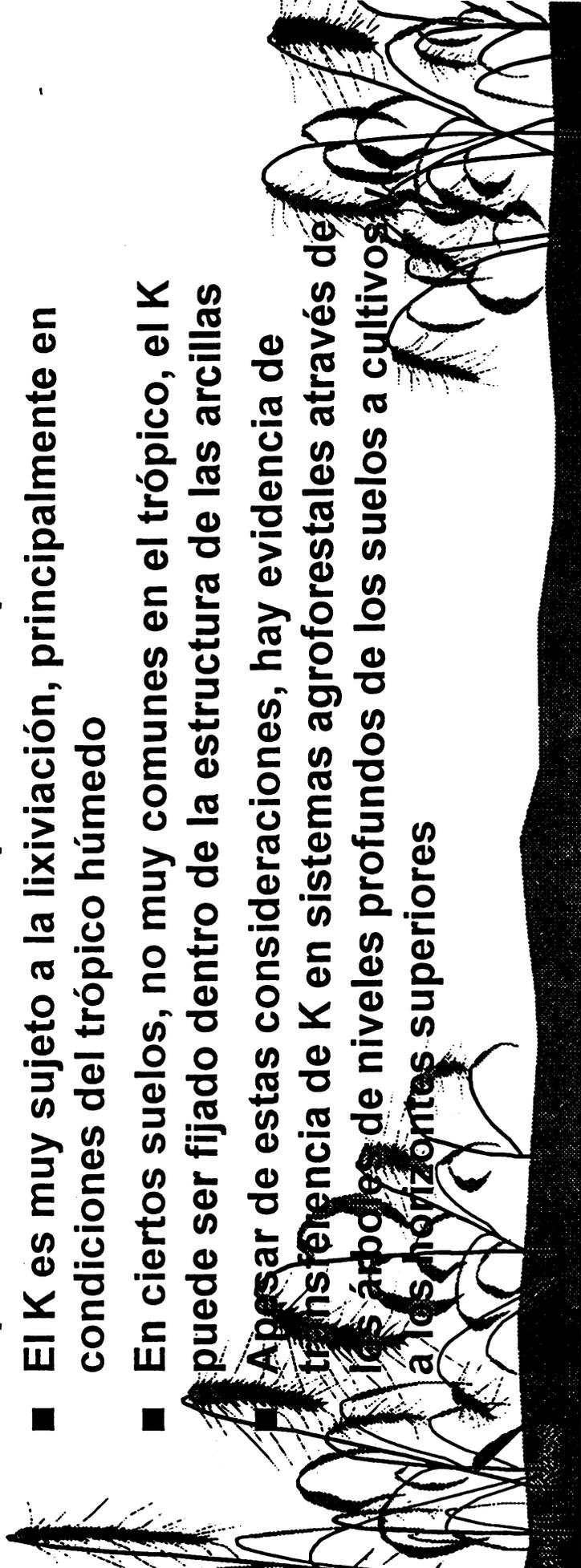
Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales - Fosforo (P)

- Árboles fijadores de N generalmente contiene poco P en sus tejidos, menos que necesitan los cultivos
- El P puede limitar la fijación de N
- Muchos árboles y algunos cultivos utilizados en sistemas agroforestales tienen micoriza que aumenta la disponibilidad de P
- Suelos del trópico (oxisols, ultisols, andisols) frecuentemente tiene alta capacidad de retener P
- Las formas orgánicas de P pueden ser de mayor importancia en estos suelos
- La caracterización, transformación, y absorción de estas formas de P no son bien entendidas



Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales- Potasio (K)

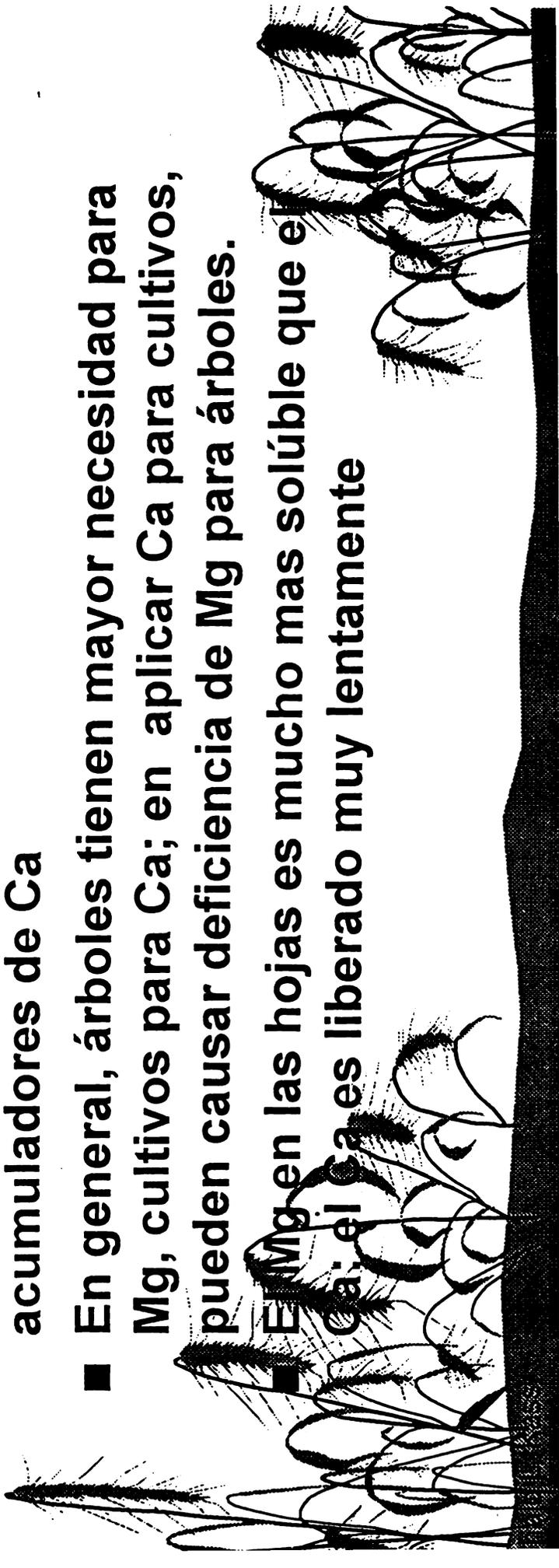
- Las especies arbóreas difieren mucho en su contenido de K, algunas teniendo suficiente para satisfacer las necesidades de la mayor parte de cultivos, otras no.
- El K en el tejido vegetal es muy soluble, siendo rápidamente liberado después de las podas
- El K es muy sujeto a la lixiviación, principalmente en condiciones del trópico húmedo
- En ciertos suelos, no muy comunes en el trópico, el K puede ser fijado dentro de la estructura de las arcillas
- Apesar de estas consideraciones, hay evidencia de transferencia de K en sistemas agroforestales a través de los árboles de niveles profundos de los suelos a cultivos a los horizontes superiores



Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales- Ca y Mg

- Especies de árboles difieren en los contenidos de Ca y Mg en las hojas; en general, las cantidades son adecuadas para cultivos
- Algunas especies como *Gmelina arborea* son acumuladores de Ca
- En general, árboles tienen mayor necesidad para Mg, cultivos para Ca; en aplicar Ca para cultivos, pueden causar deficiencia de Mg para árboles.

■ El Mg en las hojas es mucho mas soluble que el Ca; el Ca es liberado muy lentamente



Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales- Conclusiones-1

- Existe mucho potencial para una transferencia de nutrientes entre árboles y cultivos, pastos, o animales en sistemas agroforestales:
- 1, Fijación de nitrógeno por los árboles
- 2. Relaciones micorizales
- 3. Acceso a reservas de nutrientes no disponibles a cultivos por los árboles
- 4. Posibilidad de ciclaje de nutrientes entre árboles y cultivos, pastos, o animales

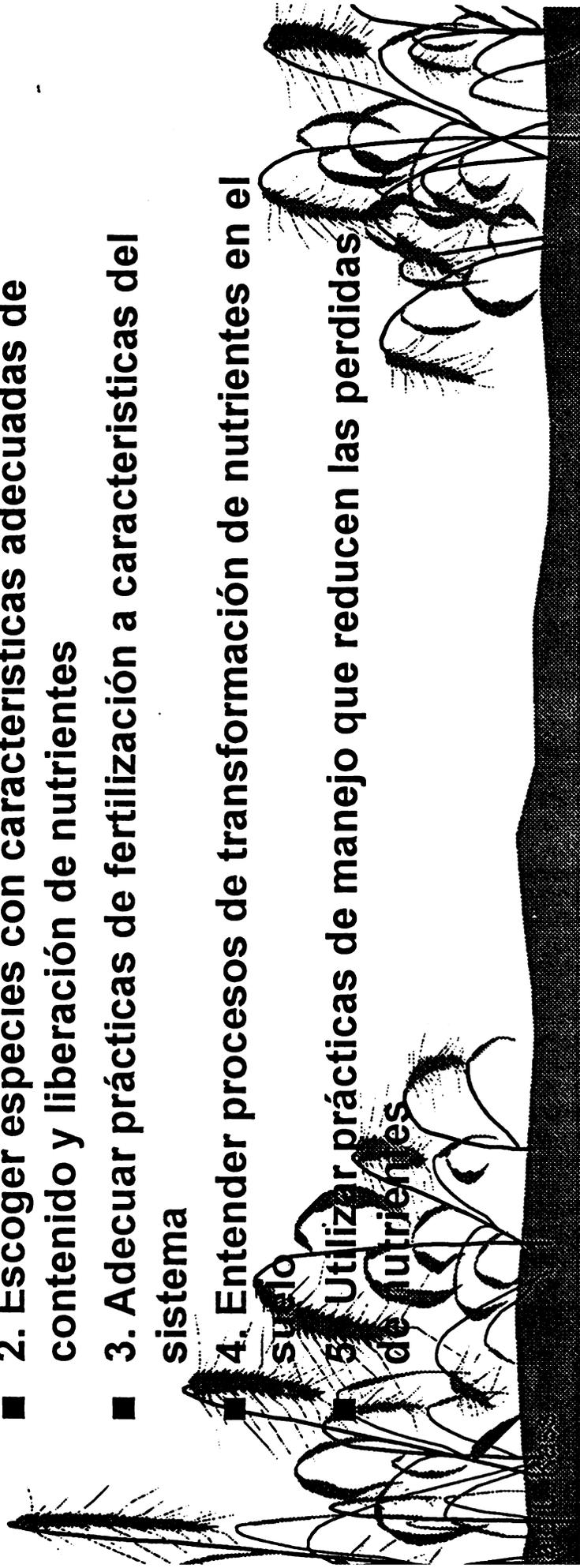


Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales- Conclusiones-2

- El potencial para transferencia de nutrientes entre árboles y otros componentes en sistemas agroforestales no se realizan por causa de:
 - 1. No operación de mecanismos como fijación de N a ciertos tiempos
 - 2. Absorción de nutrientes por la materia orgánica de suelo
 - 3. Competencia entre árboles y cultivos
 - 4. Tasas variables de liberación de nutrientes de residuos de árboles -falta de sincronía con la absorción por cultivos
 - 5. Prácticas de fertilización desarrolladas para monocultivo
 - 6. Otras pérdidas de nutrientes (lixiviación, volatilización)

Manejo de nutrientes en sistemas agroforestales- Conclusiones-3

- Como se puede aumentar la eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agroforestales?
- 1. Reducir la competencia entre árboles y los otros componentes
- 2. Escoger especies con características adecuadas de contenido y liberación de nutrientes
- 3. Adecuar prácticas de fertilización a características del sistema
- 4. Entender procesos de transformación de nutrientes en el suelo
- 5. Utilizar prácticas de manejo que reducen las pérdidas de nutrientes



Evaluación agronómica y económica del sistema de cultivo en callejones

Donald L. Kass, J.A. Aguirre, D. Current, J.C. Dominique,
J. Jimenez, N. Arriaza, J. Quintanilla, C.F. Tavares da Costa

Palabras claves: cultivo en callejones, labranza, análisis económico, *Zea mays*,
Phaseolus vulgaris

ABSTRACT: Agronomic and economic evaluation of alley farming.

Although alley farming has been criticized in the literature for not being a system of wide acceptability to farmers, mostly based on the African experience, the Latin American experience on both the farm and experiment station, has been more positive. A survey of agroforestry projects in Central America and the Caribbean found alley farming to be one of the most widely used and profitable agroforestry technologies. Experimental work at CATIE has shown that proper selection of crops, tree species, and management practices can greatly increase its productivity and profitability.

INTRODUCCION

El cultivo en callejones ha sido criticado en los últimos años como un sistema de producción poco aceptado por agricultores por diversas razones como la baja producción de cultivos, la dificultad en reducir la competencia del componente arbóreo, la alta necesidad de mano de obra, y la indeseabilidad de tener árboles permanentemente en áreas dedicadas a cultivos. Sin embargo, el valor de la practica en la conservación de suelos ha sido generalmente reconocida y la mayor evidencia para el rechazo del sistema viene de Africa y Asia donde se ha trabajado principalmente con plantas C_4 no muy adaptadas al sistema (Carter, 1995). En las Americas, los resultados de investigación ha sido más animadores y la aceptación por agricultores, como ha demostrado una reciente evaluación de proyectos agroforestales en América Central y el Caribe, más positiva (Current y Scherr, 1995). (Cuadro 1)

EXPERIMENTOS EN CATIE

Trabajos experimentales en CATIE también ha demostrado como manejar el sistema para reducir la competencia y aumentar la productividad. El uso de labranza y mejores poblaciones del cultivo pueden aumentar la producción de cultivos (Cuadro 2). La aparente diferencia en los resultados entre la primera y segunda cosecha es probablemente debido a un exceso de lluvia luego despues de la primera siembra que probablemente lixivió mucho nitrato del suelo, dejando las parcelas de labranza en condiciones nutricionales muy inferiores a las parcelas no laboradas. En la segunda cosecha, condiciones nutricionales fueron mejores y el tratamiento con labranza fue mejor. Baja las condiciones de suficiencia nutricional, la competencia de los arboles fue mas significativa, entonces el efecto de la labranza en cortar las raices fue mas importante. Tambien, se nota la mayor producción de frijol con *G. sepium*. que produjo la copa de menor anchura.

En el ensayo que hemos mantenido en San Juan Sur desde 1990, se probó en 1994, el uso de mucuna como un abono verde para comparar su comportamiento con mantillos de arboles y cultivo en callejones. En el cuadro 3, se presenta las producciones de maíz y frijol, la cantidad de suelo erosionado, y el nivel de nitratos en el suelo superficial y a 80 cm. La aparente retención de nitratos por el suelo desnudo a profundidades mayores indica que este suelo tiene carga positiva a esta profundidad. Las parcelas cultivadas recibieron 2.6 t ha^{-1} de Cal en 1990 que aparentemente redujó la carga positiva a pesar que no habia evidencia que el Cal habia llegado a esta profundidad. Se ha realizado un monitoreo del movimiento de cal desde su aplicación. Estos resultados demuestran que a pesar de la infertilidad del suelo, se torna muy productivo con el uso de insumos locales (El cal fué obtenido de la calera de Turrialba.) que son muy menos costosos que los fertilizantes importados.

Un tercer ensayo demuestra el efecto del estado de la vegetación original en los ensayos de cultivo en callejones. Al contráριο de los dos primeros ensayo, el suelo en este ensayo se encontraba bajo bosque al iniciar este experimento. En este caso, el análisis de suelo reveló una gran perdida en carbono y nitrogeno, indicando que los cultivos obtuvieron la mayor parte de sus nutrimentos del suelo y no los árboles fijadores de nitrogeno ni las enmiendas aplicadas. Sin embargo, la perdida de C y N por el suelo fué mucho menor en los sistemas agroforestales (Cuadro 4).

CONCLUSIONES

Estos resultados indican la importancia de acompañar los estudios de sistemas agroforestales con mediciones auxiliares, de propiedades de suelo y de crecimiento de árboles, para entender mejor los procesos que están ocurriendo en estos sistemas. Con la escogencia adecuada de prácticas de manejo, cultivos, y árboles, el cultivo en callejones pueden ser rentable para el pequeño agricultor. Se propone continuar estos experimentos, examinando en mayor detalle las transformaciones de las fracciones orgánicas del suelo, para determinar maneras más eficientes de manejar el fósforo y nitrógeno en estos sistemas. Al mismo tiempo, está colaborando con el área de fitoprotección para evitar aumentos en la población de plagas que pueden limitar la sostenibilidad de estos sistemas a largo plazo.

Literatura citada

Carter, J. 1995. Alley farming: have resource poor farmers benefitted? ODI Perspectives No.3.

4p.

Current, D. y S. Scherr. 1995. Farmer costs and benefits from agroforestry and farm forestry projects in Central America and the Caribbean: implications for policy. *Agroforestry systems* (en prensa)

Dominique, J.R. 1994. Evaluación de la sostenibilidad agronomica, financiera, y económica de un sistema sw cultivos en callejones asociando el mays (*Zea mays* L.) con poro [*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook] plantado en diferentes densidades. Tesis M.Sc. CATIE. 104 p. Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 1. Resultados de análisis económico de 40 proyectos agroforestales en América y el Caribe (de Current y Scherr, 1995)

Sistema agroforestal	Indicador (Valores en US\$ a tasas de cambio de 1992 calculados utilizando una tasa de descuento de 20% si otros unidades no indicadas)									
		Valor presente neta -10% de descuento	Valor presente neta -20% de descuento	relación B/C	Retorno al labor	Salario agrícola ^a	Periodo de repago (años)	hombre-días por año	Comparación con alternativa ^b	Número de observaciones
Intercultivo agrícola	Prom.	2863	1300	1.79			3.4	165	+	6
	Min.	-169	-366	0.89	1.92	2.41	1.0	61		
	Max.	3733	1600	2.59	7.09	3.70	6.0	302		
Cultivo en Callejones	Prom.	1335	847	2.10			1.9	56	++	9
	Min.	127	79	1.38	3.73	2.50	1.0	24		
	Max.	4667	2585	3.87	17.53	4.00	4.0	96		
Siembras en contorno	Prom.	1426	761	1.63			2.0	116	++	4
	Min.	1013	433	1.25	1.87	1.29	1.0	51		
	Max.	2026	996	2.01	7.79	2.30	4.0	153		
Intercultivo con perenes	Prom.	2867	1405	1.75			4.0	139	++	3
	Min.	2324	963	1.71	3.27	1.43	3.0	104		
	Max.	3461	1932	1.80	4.87	2.25	6.0	188		
Tangya	Prom.	6797	2868	2.50			4.9	53	+	8
	Min.	261	-168	0.75	2.04	3.58	2.0	9		
	Max.	22892	9756	5.84	55.55	4.00	10.0	124		
Woodlot	Prom.	764	-33	0.97			9.2	12	-	10
	Min.	-566	-536	0.16	0	2.50	5	5		
	Max.	2433	222	1.43	7.95	3.70	20	29		

a - Salario agrícola reportado en proyecto donde ocurrió valores mínimos y máximos de retorno a labor

b - Comparación a alternativa: ++ -Más que 25% o más; mayor por 10-25%; - menor por 10-25%

Cuadro 2. Efecto de árbol asociado, labranza, y densidad de siembra sobre producción y número de vainas por planta en frijol sembrado en enero y mayo de 1995.

	Rendimiento frijol -1a cosecha (kg ha ⁻¹)	Rendimiento frijol -2a cosecha (kg ha ⁻¹)	Anchura de copa (m)- 1a cosecha - 6 meses despues de podar los árboles	Anchura de copa (m) -2a cosecha (4 meses despues de podar los árboles)	Numero de vainas por planta 1a cosecha	Numero de vainas por planta -2a cosecha
Arbol asociado						
<i>C. calothyrsus</i>	1134 A	1356 A	9.08 A	5.14 A	4.92 A	7.90 A
<i>G. sepium</i>	1182 A	1423 A	3.80 B	2.86 B	4.58 A	7.23 AB
<i>E. poeppigiana</i>	1364 A	1290 A	9.80 A	5.72 A	5.33 A	6.52 AB
Control	595 B	953 B			3.58 A	5.79 B
Con labranza	972 B	1339 A			3.88 B	7.79 A
Sin labranza	1167 A	1172 B			4.83 A	5.93 B
160.000 pl ha ⁻¹	966 B	1173 B			4.50 A	7.35 A
200.000 pl ha ⁻¹	1173 A	1337 A			4.21 A	6.37 B

Valores seguidos por la misma letra no se difieron significativamente al $P < 0.05$

Cuadro 3. Producción de maíz y frijol, suelo erosionado, y acumulación de nitratos en un Acrudoxic Melanudand, encalado con 2.6 t cal/ha, en los tratamientos con cultivos. San Juan Sur, CATIE

Tratamiento	Rendimiento Maíz (kg ha ⁻¹)	Rendimiento frijol (kg ha ⁻¹)	Suelo erosionado (kg ha ⁻¹)	Nitrato a 20 cm (mg/kg)	Nitrato a 80 cm (mg/kg)
Control	1426 b	1209 cd	145	12	8
Cultivo en callejones -4m	1378 b	1208 cd	137	20	13
Cultivo en callejones -6m	1611 b	1331 bc	75	22	10
Mucuna	2489 a	1537 ab	18	30	15
Mantillo de Erythrina	2452 a	1694 a	37	13	10
Suelo desnudo			10891	32	63

Valores seguidos por la misma letra no se difieron a $p < 0.5$ por la prueba de Duncan.

Cuadro 4. Efecto de ocho años de cultivo en callejones (16 cosechas) de maíz asociado con *Erythrina poeppigiana* sobre propiedades de suelo y ingresos (calculado de Dominique, 1994)

Espaciamento de árboles	Rendimiento maíz (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Perdida de C del suelo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Perdida de N del suelo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Ganancia (+) o Perdida (-) de K (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Ingreso Neto (S ha ⁻¹ año ⁻¹)
6m X 1m	3600	1879	375	+17	-124
6m X 2m	4000	1835	250	+ 5	- 6
6m X 3m	4040	2803	250	+ 8	+ 30
6m X 4m	4400	2991	375	+20	+ 92
Sin arboles, fertilizado	5000	3468	525	-15	+ 80
Sin arboles, sin fertilizar	2800	4378	575	-22	-166

Se aplicó 15 kg ha⁻¹año⁻¹ de P a los tratamientos con árboles. A las parcelas sin árboles con fertilización se aplicaba 58 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N y 22 kg ha⁻¹ de P.

Curso Manejo Sostenible de Suelos del Tropicó --Noviembre, 1994

Algunos conceptos de Sostenibilidad y su relación a suelos

Enfoque Principal de la Agricultura Sostenible es el mejoramiento de la Calidad de la Vida en contexto de un enfoque ambiental responsable con el resultado que se mantiene o aumenta la base de recursos para generaciones futuras.

De FAO: La agricultura sostenible debe involucrar el manejo exitoso de recursos para que agricultura satisfecha las necesidades humanas cambiantes mientras que mantiene o aumenta la calidad del ambiente y conserva los recursos naturales

De Agriculture Canada: Sistemas agrícolas sostenibles son aquellos que son económicamente viables y satisfacen las necesidades de la sociedad para alimentación segura y nutritiva mientras que conserva y aumenta los recursos naturales y la calidad del ambiente para generaciones futuras.

Del Comité Consejero Técnico: La agricultura sostenible debe involucrar el manejo exitoso de los recursos para satisfacer las necesidades humanas que cambian mientras que mantiene o aumenta la calidad del ambiente y conserva los recursos humanos

USAID: Agricultura sostenible es un sistema de manejo para los recursos naturales renovables que provee alimentos, ingresos, y las necesidades de la vida a generaciones presentes y futuras y que mantiene o aumenta la productividad económica de estos recursos.

Lynam and Herdt: Un sistema sostenible es uno con una tendencia no-negativa en los egresos determinados

Tres componentes básicos de sostenibilidad de DOUGLAS (1984):

1. Sostenibilidad como suficiencia alimenticia a largo plazo que requiere sistemas agrícolas que tienen bases ecológicas más firmes y que no destruyen los recursos naturales
2. Sostenibilidad como una responsabilidad, i.e., sistemas agrícolas que son basadas en un ético consciente sobre la responsabilidad humana a generaciones futuras
3. Sostenibilidad como una comunidad, i.e. sistemas agrícolas que son equitables.

Valores Institucionales Importantes a la Sostenibilidad

1. Uso discreto de los recursos naturales
2. Conservación y aumento en la calidad ambiental
3. Viabilidad económica
4. Productividad aumentada y estabilizada
5. Aumento en la calidad de la vida
6. Igualdad intergeneracional
7. Amortiguamiento de riesgos

La percepción de sostenibilidad es parcialmente una función de la escala de operaciones, determinada por el esfero de influencia del individuo o grupo.

1. Campo del agricultor
2. Finca
3. Cuenca
4. Ecosistema
5. País
6. Continente
7. Planeta

Hay que apreciar el contexto global para implementar acciones locales

Por ser efectivo, agricultura sostenible tiene que contener un concepto de responsabilidad

Cambios negativos como indicadores de la no-sostenibilidad

Tipos de Cambio	Cambios relacionados a la base de recursos	Cambios relacionados al uso de recursos
Directamente visibles	<p>A u m e n t o s de deslismientos y otros tipos de degradación</p> <p>Abandono de terrazas</p> <p>Reduicción en la disponibilidad de terreno por capita</p> <p>Fragmmentación aumentada de parcelas</p> <p>Cambios en la composición genética de bosques y pastos</p> <p>Reducción en el flujo de agua para riego y uso domestico</p>	<p>Reducción en la intensidad de la rotación de cultivos y otros practicos de manejo</p> <p>Extensión de cultivo a tierras marginales</p> <p>R e m p l a z o de costumbres para el uso de recursos por medidas legales</p>

Cambios en la respuesta a la degradación de recursos

Sustitución de animales grandes por animales pequeños: bovino por cabras
Cambios de cultivos de enraicamiento profundo a cultivos de enraicamiento no profundo
Cambios en el uso de insumos de estiércoles a fertilizantes

Uso intenso y no balanceado de insumos externos
Especialización aumentada en monocultivo

Cambios potencialmente negativos debido a intervenciones de desarrollo

Introducción de nuevos sistemas de producción sin enlaces a otras actividades diversificadas
Promoción de dependencia excesiva en recursos externos, subsidios
Falta de atención a experiencias tradicionales adaptivas
Investigación y enfoque de desarrollo en cultivos más que recursos

Falta de atención a características del ecosistema en el diseño de programas y políticas para el desarrollo
Falta de atención a conocimiento local y dependencia excesiva en expertise externa

Limitaciones y Asuntos Relacionados a Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo

1. Relacionado a Suelos

- a. Erosión y pérdida de suelo - Manejo de Cuencas
- b. Salinidad y Alcalinidad
- c. Suelos saturados con agua
- d. Acidez de suelos
- e. Tierras degradados

2. Plagas y manejo de enfermedades

- a. Equilibrio entre poblaciones de plagas y pérdidas aceptables de cultivos

3. Silvicultura y Agroforestería

- a. Cambios en el ciclo de C debido a deforestación
- b. Biodiversidad y la reversa de genos
- c. Ambientes para animales
- d. Calidad de vida en comunidades en bosques

4. Praderas

- a. Desertificación
- b. Capacidad de sustentar animales

5. Biodiversidad/conservación de recursos biológicos

- a. Nutrición animal
- b. Nutrición humana

6. Capacidad de sustentar poblaciones del tropico semi-arido

- a. Proveedura de alimentos
- b. Seguridad alimentaria

7. Exigencias de recursos hídricos

- a. Calidad de agua
- b. Competencia de agricultura y industria

8. Institucionales

- a. Contexto operacional
- b. Implicaciones legales, sociales, económicos, y políticos
- c. Responsabilidad - decisores, sector privado, familias
- d. Educación y Percepción

9. Tecnológicos

- a. Recursos humanos y físicos
- b. Entrenamiento
- c. Apropriados, aceptables
- d. Bases de datos, monitoreo

10. E Igualdad

- a. Año peor --periodo de sobrevivencia
- b. Año mejor - amortización de beneficios con tiempo
(agricultura de respuesta)

MECANISMOS PARA OBTENER LA SOSTENIBILIDAD

MOTIVACION

SEGURIDAD ALIMENTARIA
CONSERVACION DE RECURSOS
EFICIENCIA ECONOMICA
CALIDAD DE LA VIDA
EGALIDAD INTERGENERACIONAL

CAUSAS

DEGRADACION DE SUELOS
POLUICION
PERDIDA DE BIODIVERSIDAD
REDUCCION EN PRODUCTIVIDAD
DE TERRENOS

RESPONSIBILIDAD

GOBIERNOS
ORGANIZACIONES SOCIALES
FAMILIAS

ASESORAMIENTO

VIABILIDAD TECNICA
VIABILIDAD ECONOMICA
DESEABILIDAD POLITICA
MANEJABILIDAD ADMINISTRATIVA
ACEPTABILIDAD SOCIAL
VIABILIDAD AMBIENTAL

MONITOREO

TECNOLOGIA GIS
LEVANTAMIENTOS DE EXTENSION
DATOS DE CENSOS
INVENTORIO DE RECURSOS
MANTENIMIENTO DE BASES DE DATOS

PROGRAMAS PUBLICAS

PROGRAMAS DE DIVERSIFICACION DE USO DE
TIERRAS
RESERVA DE CONSERVACION
SUBSIDIOS PARA AGRICULTURA
PROGRAMAS DE DRENAJE Y RIEGO
PROGRAMAS DE CONTROL DE PLAGAS Y
ENFERMEDADES
PROGRAMAS DE PLANIFICACION FAMILIAR

TECNOLOGIA

SISTEMAS DE FINCA
CONSERVACION
CALIDAD DE AGUA
SALUD HUMANA
CALIDAD AMBIENTALEI

BASES DE DATOS

BASES DE DATOS DE RECURSOS
BASES DE DATOS DE RECURSOS HUMANOS
BASES DE DATOS ECONOMICOS
CENSOS NACIONALES
INVESTIGACIONES

I. La relación entre calidad del suelo y sostenibilidad

A. Suelos varían en sus calidades y la calidad del suelo puede cambiarse en respuesta a uso y manejo

1. El sistema suelo se caracteriza por atributos que varían entre un ámbito y que son funcionalmente interrelacionados
2. Así, se puede utilizar estos atributos para cuantificar la calidad del suelo
3. El suelo es un sistema abierto, con entradas y salidas, que es limitado por otros sistemas colectivamente llamados el *ambiente*
4. La sostenibilidad, entonces, es multidimensional y enfocado en la calidad del recurso suelo y la relación entre el ambiente y el uso y manejo del suelo

B. Un sistema de manejo es sostenible solamente cuando la calidad del suelo se mantiene o se mejora. Así, un asesoramiento cuantitativo de los cambios en la calidad de suelo ofrece una medida de manejo sostenible

1. Se presenta una definición de calidad de suelo y un enfoque para cuantificar ambos las dimensiones inherentes y dinámicas de la calidad del suelo en términos de datos mínimos necesarios (minimum data sets = MDS) y funciones de transferencia pedológica (PTF) en combinación con procedimientos y modelos utilizados en control calitativo estadístico (statistical quality control = SQC)
2. Se tratará de diseñar sistemas de manejo de tierra inherentemente sostenible combinado con procedimientos de proceso de control de calidad para asegurar desempeño de calidad del diseño del sistema de manejo

II Desde que el sistema de suelo es dinámico, las medidas de manejo sostenible también deben estar dinámicas

A. El método más comúnmente utilizado para evaluar la sostenibilidad de un sistema de manejo es el *asesoramiento comparativo* que no es dinámico

1. En el asesoramiento comparativo, el desempeño del sistema es comparado a alternativas.
2. Se compara las características y salidas de sistemas alternativos a un tiempo dado, con respecto a atributos bióticos y abióticos del suelo
3. Hay limitaciones de este método
 - a.) Si solamente miden las salidas, hay poca información sobre el proceso que resultó en la condición caracterizada
 - b.) No se puede determinar si el sistema que produjo una salida fue mal diseñado o operó en una manera que fue inestable y no podía producir la salida deseada

B. En el enfoque de *asesoramiento dinámico*, se mide los atributos de la calidad del suelo a través del tiempo

1. Se puede también comparar la dinámica de diferentes sistemas de manejo
2. El enfoque de asesoramiento dinámico es basada en principios establecidos en el control de calidad estadística
3. El control de calidad estadística ofrece unos principios que son relevantes

a la evaluación de la dinámica de calidad del suelo y una medida de manejo sostenible:

- a.) No se puede monitorear la calidad del suelo
 - b.) La calidad del suelo se aumenta a través del diseño de control de calidad para asegurar la calidad del suelo y identificar las oportunidades de mejoramiento para refinar estos sistemas
 - c.) *Control de calidad del proceso* requiere la identificación y monitoreo de las variables principales que influye *las características de calidad* del sistema
 - d.) Es importante saber el ciclo de vida o pedigre del proceso que produce una salida para cuantificar la variabilidad del proceso
 - e.) Disminuir la variabilidad de una entrada debe reducir la variabilidad de la salida
 - f.) Debe tener pruebas estadísticas para que una decisión a ajustar el proceso es basado en padrones definidos operacionalmente
 - g.) Conforme se diseña calidad dentro del proceso, la necesidad de monitoreo de la calidad del productos se disminuye
 - h.) En el proceso de *calidad de control estadística*, se puede hacer inferencias sobre la estabilidad del sistema en tiempo, por controlar la colección de datos y por saber la secuencia en tiempo de los datos.
4. El *enfoque de asesoramiento dinámico* debe tener los siguientes pasos:
- a.) Identificación explícita de los productos deseados de manejo
 - b.) Asesoramiento del diseño del sistema para determinar si producirá el producto deseado
 - c.) Identificación de los parámetros de calidad de suelo de importancia y el establecimiento de *padrones de calidad*
 - d.) Establecimiento del punto de iniciar la evaluación de un sistema de manejo. La condición del suelo al inicio de un cambio en manejo es necesario si no hay buenos datos del sitio a través de muchos años
 - e.) Asesoramiento de los productos del sistema para determinar si resultan del diseño del sistema o del desempeño del proceso del sistema o los dos.
 - f.) Estabilización de un proceso del sistema que es *fuera del control*. Un sistema estable de variación es uno en que la variación es un resultado solamente del sistema en su sitio: no hay causas especiales de variación
 - g.) Mejoramiento de la sostenibilidad de un sistema de manejo *estable* por ajustarlo con técnicas apropiadas de diseño experimental. Se debe probar este tipo de mejoramiento solamente si el sistema es estable porque cambios en un sistema estable lo hará menos estable

III. Asesoramiento de la calidad del suelo.

A. Hay dos aspectos del dinámico de calidad de suelo con respecto a manejo sostenible:

1. El primer aspecto trata de la cuantificación de la calidad del suelo en términos de ambas magnitud y dinámico: como cambia la calidad del suelo en respuesta a manejo
2. El segundo aspecto trata del diseño y control del proceso en cual sistemas de manejo afectan la calidad de suelo y por consecuencia la sostenibilidad: la énfasis está en como los componentes de un sistema de manejo y los procesos asociados operando dentro de un sistema de manejo actúan con respecto a sus impactos medidos sobre calidad del suelo

B. Cuantificando el dinámico de calidad del suelo

1. Se puede cuantificar el dinámico de la calidad del suelo por expresar la calidad del suelo, Q , como función de atributos medibles de la calidad del suelo, q_i , medir estas variables sobre el tiempo y evaluar el dinámico de la calidad del suelo, dQ/dt utilizando modelos o procedimientos estadísticos de control de calidad

2. Larson y Pierce (1991) defina la *calidad del suelo* como la capacidad del suelo a funcionar ambos dentro de sus límites de ecosistema (unidades de mapa) y con el ambiente externo a este ecosistema (principalmente en relación a calidad de aire y agua).

a.) La calidad del suelo se refiere principalmente a la capacidad de un suelo a funcionar como medio para el crecimiento de plantas (productividad) en la repartición y regulamiento del flujo del agua en el ambiente, y como un amortiguador ambiental

1. Como una definición operacional, la calidad del suelo quiere decir "aptitud para uso"

2. Se puede definir la calidad del suelo, Q , como el estado de existencia de un suelo relativo a un padrón o en términos de un grado de excelencia

a.) Se expresa como una función de atributos de calidad de suelo, q :

$$Q = f(q_1, \dots, q_n)$$

b.) Es tal vez importante considerar Q como multidimensional, como un vector o superficie más que un punto o valor individual (Es la contribución de todos los valores de q_i que determinan la magnitud de Q)

3. A pesar de la importancia de Q en la evaluación de tierras, manejo sostenible requiere el conocimiento de cambios en la calidad de suelo. Se puede definir el cambio dinámico en la calidad del suelo, dQ/dt como:

$$dQ/dt = \int \left[\frac{(q_{i1} - q_{i0})/q_{i0} \dots (q_{in} - q_{n0})/q_{n0}}{dt} \right]$$

- a.) Un suelo cuyo condición mejora tendrá un valor de dQ/dt positivo
 - b.) un suelo que degrada tendrá un valor negativo de dQ/dt
 - c.) En términos de sostenibilidad, es nuestro interés principal de detectar cambios en la calidad del suelo resultando de un cambio en uso de la tierra o en manejo o en medir el desempeño de un sistema específico de manejo en términos de calidad de suelo
4. Como la relación funcional en la ecuación (2) es difícil de definir y es imposible definir Q en términos de todos los atributos del suelo, Larson y Pierce (1991) propusieron que un conjunto de datos mínimos (MDS) en combinación con funciones de transferencia pedológicas sea diseñada para monitorear cambios en la calidad del suelo.
- a.) Un atributo importante de un MDS es que debe incluir atributos de suelo en que atributos cuantitativos pueden ser medidos en un periodo de tiempo suficiente corto para ser útiles en decisiones de uso de tierra o manejo.
 - b.) Los componentes de un MDS son seleccionados conforme su facilidad de medición, reproducibilidad, y a cual grado ellos representan variables claves que controlan la calidad del suelo
 - c.) Cada MDS representa un conjunto *mínimo* de atributos a ser medido para asesorar la calidad del suelo.
 1. Otros atributos pueden ser parte de un conjunto más grande para investigaciones especiales
 2. Se presenta un ejemplo de un MDS en el Cuadro 1
 3. Se debe padronizar el tipo de medición y el procedimiento de medición, por lo menos dentro de una región geográfica
 - d.) Para propiedades del suelo que son muy difíciles o caras a medir se puede utilizar un PTF
 1. Muchas propiedades de suelo son interrelacionadas y pueden ser predichas de otras propiedades
 2. Bouma (1989) define un PTF como una función matemática que relaciona características y propiedades del suelo con otras para el uso en la evaluación de la calidad del suelo
 3. Así se puede utilizar los PTF para extender la utilidad del MDS para monitorear la calidad del suelo
 4. Ya existen muchos PTF y son de naturaleza empírica o estadística

Referencias

- Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science* 9: 177-213
- Eswaran, H., S.M. Virmani, y L.D. Spivey Jr. 1993. Sustainable agriculture in developing countries: constraints, challenges, and choices. p. 7-24 *In*

Ragland y Lal, eds. Technologies for sustainable agriculture in the tropics
ASA Spec. Pub. 56.

Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality.
In Evaluation for sustainable land management in the developing world.
Vol.2. IBSRAM Proc. 12 (2) Int. Board for Soil Res. and Management.
Bangkok. Thailand

Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1994. Dynamics of soil quality as a measure of
sustainable management. p. 37-52 *in* Doran et. al., eds. Defining soil
quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Pub. 35

**Cuadro 1. Atributos y metodologías padronizadas para ser utilizados en un MDS para
monitorear la calidad de suelo**

Atributo	Metodología
Disponibilidad de nutrimentos para una región	Teste de suelo analítico
C orgánico total	Combustión seca o húmeda
C orgánico labile	digestión con KCl
Textura	Método de pipeta o hidrómetro
Capacidad de agua diponible a plantas	Determinado en el campo o de curvas de desorción
Estructura	Densidad aparente de muestras no disturbadas Permeabilidad medida en el campo o de conductividad hídrica saturada
Fortaleza	Densidad aparente o resistencia de penetrometro
Profundidad máxima de enraicamiento	Específica a cultivos: profundidad de raíces o de un cultivo patrón
pH	Medir de pH con electrodo de vidrio y de calomel
Conductividad eléctrica	Medidor de conductividad

Criterios para seleccionar sitios/pre-seleccionar especies para un ensayo formal (bloques al azar) de maderables como sombra en cafetales

Borrador

John Beer, Jefe Area de Cuencas
y Sistemas Agroforestales
Marzo 1997

Introducción

En una propuesta enviada a la Unión Europea se ha sugerido evaluar hasta 10 especies maderables como sombra para café en varios sitios en América Central. Con excepción de tres especies de referencia (actualmente propuestos *Eucalyptus deglupta*, *Cedrela odorata*, *Grevillea robusta*) las especies podrían variar de un sitio a otro según las condiciones bio-físicas e intereses socioeconómicas locales.

Diseño

El diseño debe ser estándar para todos los sitios. Con base en la experiencia de CATIE con ensayos semejantes con cacao, los cuales han sido estudiados durante 7-8 e inclusive 12 años, se ha propuesto la siguiente metodología:

- 3-4 repeticiones
- 6x6 árboles (36 en total, 16 centrales de medición)
- 6x6m espaciamiento entre árboles (para poder medir competencia en un período corto necesitamos sembrar una alta densidad de árboles maderables con la intención de ralear temprano; además con espaciamientos más amplios las dificultades de localizar sitios experimentales homogéneos aumentan).
- Tamaño de una parcela $36 \times 36 \text{m} = 0.13 \text{ ha}$
- Tamaño de un bloque (10 tratamientos) $= 1.3 \text{ ha}$
- Tamaño de un ensayo (3 repeticiones) $= 3.9 \text{ ha}$

Tomando en cuenta la imposibilidad de localizar un sitio experimental con las dimensiones exactas requeridas, hay que buscar sitios de por lo menos 4 ha donde se podría localizar cada ensayo. Aunque sería preferible tener todos los bloques en un mismo sitio (finca), dadas las dificultades de encontrar sitios apropiados se ha propuesto que como segunda opción se podría distribuir los bloques entre 2 e inclusive 3 sitios (fincas) siempre que se asegure que las condiciones de suelo y climáticas sean semejantes para evitar cualquier interacción tratamiento x bloque.

En cada ensayo se propone medir principalmente producción de café y de madera aunque si hay recursos adicionales (humanos como estudiantes; otros proyectos) se podrían considerar otros estudios ecológicos (p.e. de enfermedades o de raíces con métodos no destructivos).

Criterios para seleccionar sitios

1. Por la naturaleza del estudio (interacción sombra-café) es esencial asegurar que ninguna parte del ensayo está sombreada por terrenos cercanos. Por lo tanto, áreas en cañones, a la par de un bosque natural/plantación forestal deben ser excluidos.
2. Aunque los bloques podrían tener aspectos (N, S, E, O) variados, dentro de cada bloque el aspecto debe ser constante.
3. Cualquier heterogeneidad del sitio (fertilidad, presencia de piedras, estructura física, drenaje) afectaría no solamente el crecimiento de los árboles (producción de maderables) y la producción de café sino también la competencia (p.e. por agua o por nutrientes) entre los árboles y el café. Por lo tanto en la medida de lo posible el suelo debe ser homogéneo dentro de cada bloque y sin grandes diferencias entre bloques (véase sección anterior "Diseño").
4. Cada sitio debe ser representativo de las condiciones bio-físicas (elevación/clima/suelo) de una zona significativa de cafetales en el país. Por lo tanto, a pesar de las ventajas logísticas, es probable que no se debe seleccionar sitios planos los cuales son poco comunes en cafetales de América Central. Trabajar en pendientes indudablemente va a dificultar la selección (sitios heterogéneos) y manejo de los ensayos y por lo tanto no se debe ir al otro extremo seleccionando sitios con pendientes pronunciadas.
5. Sería imposible cubrir los costos del establecimiento del café con los recursos disponibles para este estudio aunque se logre financiamiento de un donante como la EU. Por lo que es necesario identificar fincas experimentales o privadas donde estén dispuestos a establecer cada ensayo en cafetales nuevos. De nuevo, la heterogeneidad dentro de cada bloque es necesaria y el café debe ser de la misma variedad, edad y espaciamiento y manejo. En lo posible, eso debe ser constante para todo el ensayo (otra vez, evitar interacciones bloque x tratamiento).

6. Dentro del contexto de un estudio regional colaborativo, es deseable que haya diferencias en las condiciones bio-físicas entre los ensayos, es decir, representar diferentes condiciones típicas de zonas cafetaleras de América Central, incluyendo diferentes clases de suelo, elevación, precipitación, etc. No va poder cubrir todas las combinaciones de interés pero se debe evitar que dos ensayos se establezcan en condiciones idénticas.
7. Hay una opinión de muchos técnicos (pero valen sugerencias opuestas!) que la combinación de maderables con café sería más exitosa en la parte inferior del rango de elevaciones donde se cultiva café. No hay definiciones precisas pero si la expectativa que a menor altitud el interés en la diversificación con maderables sería mayor (cafetales menos rentables) el crecimiento de los maderables sería más rápido (tiempo de retorno de la inversión reducido) y los problemas con por lo menos una plaga importante serían menores (p.e. *Mycena citricolor*, veáse más adelante). Además, los estudios recientes del CIRAD y otros demuestran que la sombra tiene efectos positivos en la calidad del café semejantes a los que se obtienen produciendo en altitudes mayores.

Por lo tanto se sugiere buscar sitios bajos pero siempre dentro del rango recomendado para café (talvez entre 600-1200 m.s.n.m.?)

También se ha sugerido que la combinación maderable-café va a dar resultados (madera) más rápidamente en zonas húmedas comparada con las estacionalmente secas, y además la competencia por agua, que podría reducir la producción de café, sería menos limitante. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que con mayor humedad (y nubosidad) algunas enfermedades fungosas podrían ser peores. En algunas zonas húmedas de mayor elevación (p.e. >1200 m.s.n.m Grecia, Costa Rica, y Cobán, Guatemala) no se puede incorporar maderables en café debido al aumento en la incidencia de *M. citricolor* cuando se aumenta la sombra. Por otro lado, algunos técnicos han sugerido que las enfermedades fungosas del café son un problema mayor en zonas húmedas más calientes; es decir, de menor elevación. Hay enfermedades que dan respuestas completamente opuestas a cambios en las condiciones; p.e. *Cercospora coffeicola* vs. *M. citricolor* cuando se elimina o se aumenta la sombra. Dado que la severidad de tales enfermedades, lo cual depende de tantos factores ambientales y de manejo, es probable que no haya una respuesta definitiva a la pregunta "Cuál zona ecológica es más apta para incorporar maderables en cafetales"; la respuesta va a variar de país a país y de región a región.

8. Hay criterios "socio-económicos" en el proceso de selección de sitios experimentales, los cuales resultan muy importantes para la investigación de maderables con cultivos perennes, lo cual es a largo plazo (mínimo 6 años).

8.1. Obviamente la voluntad del dueño del sitio en colaborar a largo plazo, inclusive permitir investigación que desfavorece al cultivo (p.e. estudios destructivos de raíces) y proporcionar información con respecto a la finca/sitio u otro, es fundamental para asegurar llevar el estudio a su conclusión. En este contexto es importante asegurar que el dueño actual tiene título para el sitio y tratar de seleccionar sitios donde es poco probable que se venda. Se recomienda preparar una ayuda memoria (no es un documento legal y nadie tiene que firmar) que indique el compromiso de las dos partes incluyendo el derecho del dueño de la finca a toda la producción (café más madera) menos algunas muestras menores, y el derecho del equipo de investigación de tener acceso al sitio para sus estudios y además para eventos de capacitación. Una cuidadosa selección del sitio, "palabra de caballero", y el desempeño del equipo investigador aseguran el éxito de la colaboración. Aunque exista un documento legal, sería imposible completar la investigación en condiciones de desacuerdo y por lo tanto no es recomendable preocupar al dueño con una solicitud de esta índole.

8.2. La seguridad del sitio es otro factor a considerar, tomando en cuenta el riesgo de interferencia humana con las unidades experimentales e instrumentación (vandalismo) y daños por animales que podrían entrar al sitio.

Criterios para seleccionar maderables para sombra para café (incluyen la consideración de que estos maderables tienen que desarrollarse en condiciones de crecimiento abiertas)

Las propuestas desarrolladas en 1996 contemplan estudios comparativos de hasta 10 especies maderables para sombra para café en cada país. Algunas de las especies pueden variar de país a país. Hay que hacer una pre-selección con base en el conocimiento existente para decidir cuáles incluir en cada ensayo. También está contemplado recopilar información existente sobre las características de especies deseables para este propósito, pero tales estudios del conocimiento "tradicional" no van a estar completos en 1-2 años mientras que la nueva investigación aplicada debe ser establecida lo más pronto posible. A continuación se sugiere una lista provisional de criterios para escoger maderables que podrían también servir como sombra para café. En el anexo se presenta una lista más amplia de características deseables en árboles de sombra, la cual contempla tanto maderables como los árboles de "servicio" (*Inga* spp., *Erythrina* spp.) los cuales no generan productos comerciales (o si los hay son de poco valor

como la leña) y cuyo manejo está hecho con el único propósito de proveer mejores condiciones micro-ambientales para el café.

Características deseables de maderables que podrían ser utilizados como sombra para cafetales

1. Auto-poda de ramas
2. Copa rala de hoja pequeña (poca competencia por luz y menor gotea)
3. Copa pequeña (permite altas densidades sin reducir la luz disponible para el café por debajo de los niveles críticos y provoca menos daños cuando es cosechado)
4. Formación de tronco recto no bifurcado
5. Rápido crecimiento apical
6. No quebradiza
7. Si es deciduo durante la estación seca, rápida regeneración de nuevas hojas
8. No susceptible a enfermedades/plagas que provocan defoliación súbita
9. No hospedero de enfermedades/plagas de café
10. Ausencia de efectos alelopáticos negativos
11. Enraizamiento profundo (menos competencia; resistencia a caída debido a vientos)
12. Sin capacidad de convertirse en maleza
13. Fácil reproducción en vivero, semillas de fácil germinación y manipulación.

Las principales especies que se propone incluir en todos los sitios, como especies de referencia, son *Eucalyptus deglupta*, *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta*. Fueron seleccionadas por su amplio uso actual en cafetales en la región o fuera (último -*G. robusta* en Africa), por tener un rango de adaptabilidad que cubre la mayoría de las condiciones climáticas de los cafetales de América Central y por tener características diferentes en cuanto a su arquitectura y fenología (por lo menos la parte de arriba del suelo; muy poco se sabe de las características y "fenología" de las raíces gruesas y finas). Todos son maderables de valor moderado (*G. robusta*) a alto (*C. odorata*). Como sugerencias de otras especies a considerar tenemos: *Inga spp.*, *Eucalyptus grandis*, *Pinus caribaea*, *Mimosa scabrella*, *Bactris gasipaes*, *Juglans olanchana*, *Cordia alliodora*, *Albizzia saman*, *Albizzia guachapele*, *Vochysia ferruginea*, *Alnus acuminaða*, *Terminalia spp.*, *Jacaranda copaia*, *Colubrina ferruginosa*, *Cassia grandis*..

No hay duda de que esta lista provisional es incompleta y se solicita sugerencias con notas de porqué tal especie debe ser considerada. También se reconoce que las listas anteriores de criterios de selección de sitios y especies son provisionales, que algunos criterios no van a aplicar en una circunstancia dada y que es poco probable que se vaya a poder cumplir con todos los criterios en cada caso (sitio y/o especie). Se pretende revisar y mejorar estas listas durante los eventos de capacitación y el desarrollo de los proyectos colaborativos.

SOMBRA O SOL PARA UN CAFETAL SOSTENIBLE?: UN NUEVO ENFOQUE DE UNA VIEJA DISCUSION¹

Reinhold G. Muschler, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ
Apdo 126, 7170 CATIE, Costa Rica
FAX (506)-556-1533 E-mail: muschler@catie.ac.cr

Palabras claves: sombra, sostenibilidad, café, *Coffea arabica*

Resumen

En la discusión sobre beneficios de sombra o sol para una producción ecológicamente sostenible de café, los papeles de las condiciones ambientales específicos han sido muchas veces subestimados. Los factores claves para la decisión sombra o sol se pueden dividir en tres grupos: (1) los objetivos de producción, (2) factores ambientales, y (3) el nivel y la calidad de insumos para mejorar las condiciones ambientales para EL café. Después de presentar el papel de cada factor clave, se propone un modelo hipotético que podría permitir reunir información contradictoria sobre efectos de sombra de diferentes zonas cafetaleras del mundo en una teoría unida.

¹ Presentado en el 18^{vo} Simposio Latinoamericano de Caficultura, San José, Costa Rica. Setiembre 1997

SOMBRA O SOL PARA UN CAFETAL SOSTENIBLE?: UN NUEVO ENFOQUE DE UNA VIEJA DISCUSION¹

Reinhold G. Muschler, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ
Apdo 126, 7170 CATIE, Costa Rica
FAX (506)-556-1533 E-mail: muschler@catie.ac.cr

1. Introducción

La discusión si cafetos se benefician o no de árboles asociados es tan vieja como la historia de cultivar café. Trabajos pioneros (p.e. Lock 1888; Cook 1901) hasta revisiones recientes (p.e. Fournier 1988; Beer *et al.* 1997; Fernandez y Muschler 1997) presentan evidencia contradictoria sobre el valor de sombra para diferentes zonas cafetaleras. Aunque todas estas obras dan muchas razones en favor o en contra de sombra, hay pocos intentos de proponer un marco conceptual que permita unificar esta información para ambientes diferentes. Este artículo propone una hipótesis gráfica que podría unir las posiciones contradictorias a través de la evaluación de factores claves para la decisión sombra o sol para café en un sistema ecológicamente sostenible.

2. Factores claves para la decisión sombra o sol

Los factores claves se pueden organizar en tres grupos (Fig.1)(Muschler 1997). Si los objetivos de producción y protección incluyen la conservación de los recursos naturales, sobre todo suelos, aguas y biodiversidad, se optaría por el sistema sombreado de mayor diversidad biológica; así, también, si el caficultor se interesa por la producción de café orgánico y/o productos adicionales de los árboles (grupo uno). Aunque el debate académico sigue sobre la relación entre biodiversidad y estabilidad de ecosistemas (p.e. Schulze and Mooney 1994) parece que la mayoría de los trabajos sobre café concuerdan que la producción de cafetales diversificados y sombreados es típicamente más estable. El segundo grupo, los factores ambientales, enfoca en las condiciones ecológicas de una finca y sus limitaciones. Suelos pobres, deficiencia de agua, estrés

¹ Presentado en el 18^{vo} Simposio Latinoamericano de Caficultura, San José, Costa Rica. Setiembre 1997

microclimático a elevaciones menores y vientos fuertes favorecen el uso de sombra, o al menos de árboles para rompevientos. El tercer y último grupo de factores determinantes consiste en insumos que pueden ser utilizados para reducir las limitaciones ambientales. En la mayoría de los casos, el monocultivo sin sombra puede ser sostenido solamente mientras que haya financiamiento y agroquímicos. Este último sistema típicamente incluye variedades modernas de alta productividad, mientras que las variedades tradicionales parecen ser más adaptadas a ambientes con sombra (Wrigley 1988; Fernandez y Muschler 1997).

3. Producción de café en función de fertilidad de suelo y elevación

Para la siguiente discusión, la sombra de árboles asociados sea definido como un promedio de 50% de la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) al pleno sol. En cualquier suelo, la relación hipotética entre la producción de café y la elevación como determinante principal del microclima, mostrará típicamente un máximo de producción en un rango que representa las elevaciones "ideales" para café. (Fig 2A y B). Para muchos países Centroamericanos este rango ideal se encuentra entre los 900 y 1400 msnm.

En suelos sin limitaciones de nutrientes, humedad y sin barreras para enraizamiento (Fig 2A), el máximo de producción es más pronunciado para café al sol que para café bajo sombra. Fuera de la zona óptima, a elevaciones menores la producción de café al sol baja fuertemente debido al estrés por altas temperaturas. En elevaciones mayores la producción al sol baja debido a temperaturas mínimas y posiblemente daños por viento. En estas condiciones sub-óptimas, la asociación con árboles para proyectar una sombra intermedia y moderar los extremos microclimáticos puede aumentar la producción con respecto al cafetal al sol, siempre y cuando la competencia por nutrientes o agua no sea seria. Este efecto positivo es marcado como "shade contribution" en la Fig 2. En contraste, el sombreado de café en las zonas óptimas, reduciría la producción con respecto al cafetal sin sombra ("excessive shade").

Comparado con estos suelos "buenos", la producción de ambos sistemas es reducida en suelos con limitaciones de fertilidad (Fig 2B). Sin embargo, los beneficios ecológicos de los árboles asociados, sobre todo a través del reciclaje de nutrientes y la adición de materia orgánica, causarían que la reducción en el sistema arbolado sería relativamente menor que en un cafetal al sol. Así, la proporción relativa del aporte ecológico de los árboles aumentaría en dichos suelos con limitaciones. Por ende, los árboles asumirían un rol más importante en ambientes limitados.

4. Discusión

El modelo de la fig 2 acomoda bien los efectos de un experimento comparativo de sol y sombra que fue repetido en diferentes elevaciones en Costa Rica. En Turrialba, un zona cafetalera de baja elevación, la producción promedio de 8 años de parcelas que no fueron fertilizadas pero que tenían sombra (estimado a menos de 30%) y biomasa de *Erythrina poeppigiana* superó la producción de parcelas al sol en un 65% (650 msnm; Ramirez 1993). A elevaciones mayores como en Grecia a 950 msnm y en San Isidro a 1350 masl, con temperaturas mas bajas, esta ventaja de las parcelas sombreadas también ha sido marcada, pero reducida a 37% y 17%, respectivamente (ICAFE-MAG 1989; ICAFE 1996). Fertilización de ambos sistemas, con y sin sombra, aparentemente redujó las limitaciones nutricionales y permitió que la producción al sol superó la producción bajo sombra a la elevación "ideal" de 1350 msnm. Sin embargo, en concordancia con Fig 2, este no fue el caso para los dos experimentos a elevaciones menores donde los tratamientos al sol probablemente fueron más limitados por estrés de altas temperaturas que por nutrición. Efectos positivos de sombra de 40 a 60% en elevaciones bajas también han sido reportados por Muschler (1995).

5. Conclusiones

Utilizando elevación y condición de suelo para separar las respuestas de café a sombreado en ambientes óptimos y subóptimos puede presentar un concepto útil para reunir información contradictoria sobre producción. Sin embargo, la concordancia aparente entre los datos de diferentes elevaciones en Costa Rica con el modelo presentado tiene que ser verificado con información de otras áreas cafetaleras.

6. References

- Beer J W, Muschler R G, Somariba E, Kass D, 1997. Shade management in coffee and cacao plantations - a review. *Agroforestry Systems* (in print)
- Cook OF 1901. *Shade in Coffee Culture*. Washington: USDA, Division of Botany. Bulletin No.25. 79pp.
- Fernandez C E, Muschler R G, 1997. Los sistemas de cultivo del café frente al desafío del ecodesarrollo. In: Bertrand B, Dufour B, Sallée B (eds). *Desafíos de la Caficultura Centroamericana*. CIRAD/IICA/PROMECAFE. 30 pp manuscript (in review)
- Fournier LA 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense* 12:131-46
- ICAFE-MAG 1989. Informe Anual de Labores 1989. San José, Costa Rica: Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) - Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 147 pp.
- ICAFE 1996. Informe Anual de Labores 1995. Heredia, Costa Rica: Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). 203 pp.
- Lock CGW 1888. *Coffee: its Culture and Commerce in all Countries*. London: E & FN Spon. 264 pp.
- Muschler RG 1995. Efectos de diferentes niveles de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. pp 158-160 en: CATIE. II Semana Científica. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Muschler R G 1997. *Arboles en Cafetales*. Módulo de Enseñanza Agroforestal. CATIE, Costa Rica: Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 150 pp manuscript (in review)
- Ramirez LG 1993. Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. pp 121-24 in: Westley SB and Powell MH (eds.) *Erythrina in the New and Old Worlds*. Paia, Hawaii: Nitrogen Fixing Tree Association.
- Schulze E-D, Mooney HA (eds.) 1994. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Berlin: Springer. 525 pp.
- Wrigley G 1988. *Coffee*. New York: Longman. 639 pp.

1. El objetivo de producción/protección es

<--- no	CONSERV. REC. NAT.	si --->
<--- no	ESTABILIDAD ?	si --->
<--- no	BIODIVERSIDAD	si --->
<--- no	PROD. ORGANICA	si --->
<--- no	PRODUCTOS ADDIC.	si --->

2. Los factores ambientales son

<--- bueno	SUELO	malo --->
<--- alta	HUMEDAD	baja --->
<--- alta	ELEVACION	baja --->
<--- no	VIENTO	si --->

3. Los insumos son

<--- si	FINANCIAMIENTO	no --->
<--- si	AGROQUIMICOS	no --->
<--- VAR. DE ALTA PRODUCTIVIDAD	VARIEDAD TRADICIONAL --->	

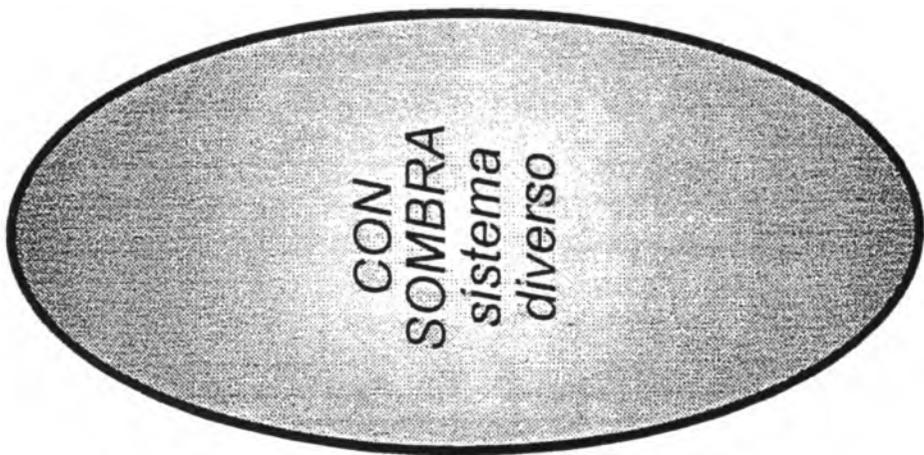


Fig 1. Los tres grupos principales de factores que determinan la decisión si se cultiva café con o sin sombra. La combinación de factores determina la densidad y diversidad de los árboles asociados (Muschler 1997a).

A: "good" soil

B: "bad" soil

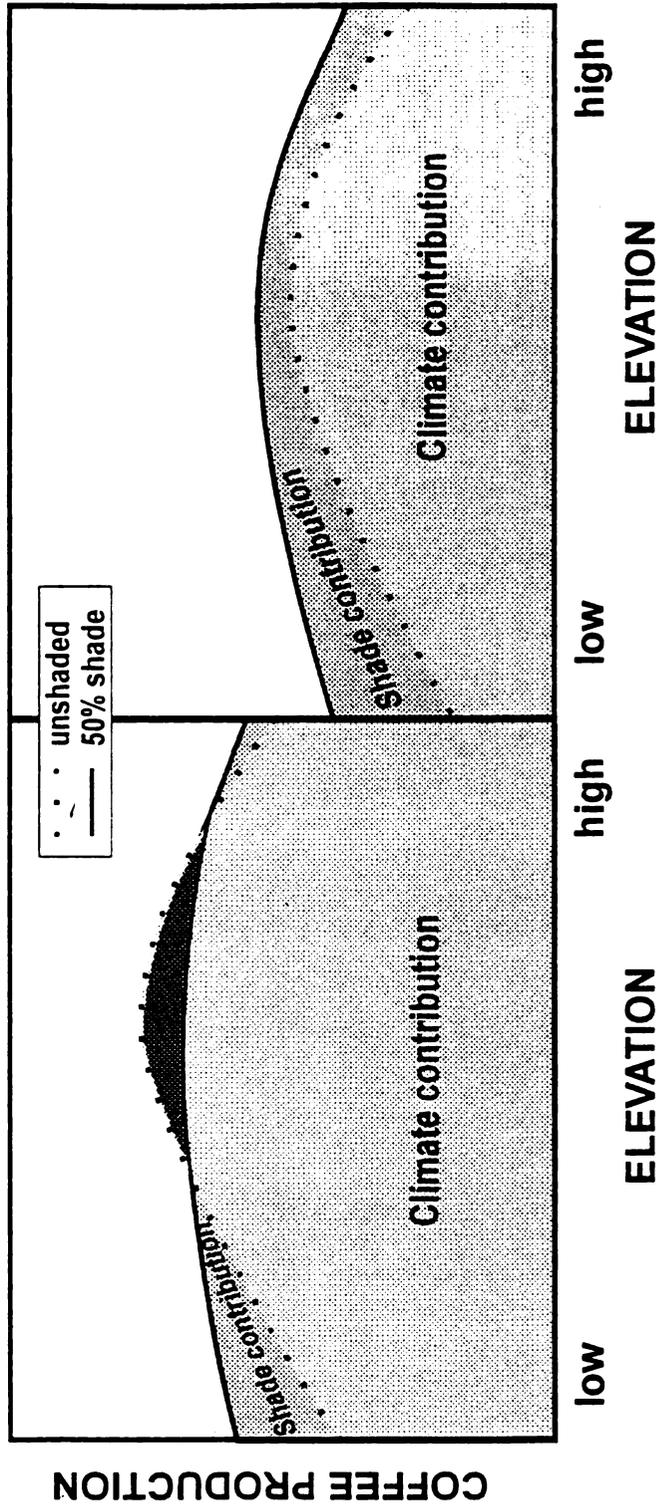


Fig 2 : Idealized hypothetical coffee production without shade and under trees giving 50% shade as a function of elevation for soils without (A) or with (B) limitations of rooting depth, nutrients or moisture. While production of unshaded coffee for given soil conditions and elevation depends primarily on climatic conditions ("Climatic contrib."), shade may improve production ("Shade contribution") in marginal conditions. At ideal coffee elevations and on soils without limitations shading may reduce production (dark area) (modified from Muschler 1997).

Evaluación agronómica y económica del sistema de cultivo en callejones

Donald L. Kass, J.A. Aguirre, D. Current, J.C. Dominique,
J. Jimenez, N. Arriaza, J. Quintanilla, C.F. Tavares da Costa

Palabras claves: cultivo en callejones, labranza, análisis económico, *Zea mays*,
Phaseolus vulgaris

ABSTRACT: Agronomic and economic evaluation of alley farming.

Although alley farming has been criticized in the literature for not being a system of wide acceptability to farmers, mostly based on the African experience, the Latin American experience on both the farm and experiment station, has been more positive. A survey of agroforestry projects in Central America and the Caribbean found alley farming to be one of the most widely used and profitable agroforestry technologies. Experimental work at CATIE has shown that proper selection of crops, tree species, and management practices can greatly increase its productivity and profitability.

INTRODUCCION

El cultivo en callejones ha sido criticado en los últimos años como un sistema de producción poco aceptado por agricultores por diversas razones como la baja producción de cultivos, la dificultad en reducir la competencia del componente arbóreo, la alta necesidad de mano de obra, y la indeseabilidad de tener árboles permanentemente en áreas dedicadas a cultivos. Sin embargo, el valor de la practica en la conservación de suelos ha sido generalmente reconocida y la mayor evidencia para el rechazo del sistema viene de Africa y Asia donde se ha trabajado principalmente con plantas C₄ no muy adaptadas al sistema (Carter, 1995). En las Americas, los resultados de investigación ha sido más animadores y la aceptación por agricultores, como ha demostrado una reciente evaluación de proyectos agroforestales en América Central y el Caribe, más positiva (Current y Scherr, 1995). (Cuadro 1)

EXPERIMENTOS EN CATIE

Trabajos experimentales en CATIE también ha demostrado como manejar el sistema para reducir la competencia y aumentar la productividad. El uso de labranza y mejores poblaciones del cultivo pueden aumentar la producción de cultivos (Cuadro 2). La aparente diferencia en los resultados entre la primera y segunda cosecha es probablemente debido a un exceso de lluvia luego despues de la primera siembra que probablemente lixivió mucho nitrato del suelo, dejando las parcelas de labranza en condiciones nutricionales muy inferiores a las parcelas no laboradas. En la segunda cosecha, condiciones nutricionales fueron mejores y el tratamiento con labranza fue mejor. Baja las condiciones de suficiencia nutricional, la competencia de los arboles fue mas significativa, entonces el efecto de la labranza en cortar las raices fue mas importante. Tambien, se nota la mayor producción de frijol con *G. sepium*. que produjo la copa de menor anchura.

En el ensayo que hemos mantenido en San Juan Sur desde 1990, se probó en 1994, el uso de mucuna como un abono verde para comparar su comportamiento con mantillos de arboles y cultivo en callejones. En el cuadro 3, se presenta las producciones de maíz y frijol, la cantidad de suelo erosionado, y el nivel de nitratos en el suelo superficial y a 80 cm. La aparente retención de nitratos por el suelo desnudo a profundidades mayores indica que este suelo tiene carga positiva a esta profundidad. Las parcelas cultivadas recibieron 2.6 t ha⁻¹ de Cal en 1990 que aparentemente redujó la carga positiva a pesar que no habia evidencia que el Cal habia llegado a esta profundidad. Se ha realizado un monitoreo del movimiento de cal desde su aplicación. Estos resultados demuestran que a pesar de la infertilidad del suelo, se torna muy productivo con el uso de insumos locales (El cal fué obtenido de la calera de Turrialba.) que son muy menos costosos que los fertilizantes importados.

Un tercer ensayo demuestra el efecto del estado de la vegetación original en los ensayos de cultivo en callejones. Al contrario de los dos primeros ensayo, el suelo en este ensayo se encontraba bajo bosque al iniciar este experimento. En este caso, el análisis de suelo reveló una gran perdida en carbono y nitrogeno, indicando que los cultivos obtuvieron la mayor parte de sus nutrientes del suelo y no los árboles fijadores de nitrogeno ni las enmiendas aplicadas. Sin embargo, la perdida de C y N por el suelo fué mucho menor en los sistemas agroforestales (Cuadro 4).

CONCLUSIONES

Estos resultados indican la importancia de acompañar los estudios de sistemas agroforestales con mediciones auxiliares, de propiedades de suelo y de crecimiento de árboles, para entender mejor los procesos que están ocurriendo en estos sistemas. Con la escogencia adecuada de prácticas de manejo, cultivos, y árboles, el cultivo en callejones pueden ser rentable para el pequeño agricultor. Se propone continuar estos experimentos, examinando en mayor detalle las transformaciones de las fracciones orgánicas del suelo, para determinar maneras más eficientes de manejar el fósforo y nitrógeno en estos sistemas. Al mismo tiempo, está colaborando con el área de fitoprotección para evitar aumentos en la población de plagas que pueden limitar la sostenibilidad de estos sistemas a largo plazo.

Literatura citada

Carter, J. 1995. Alley farming: have resource poor farmers benefitted? ODI Perspectives No.3. 4p.

Current, D. y S. Scherr. 1995. Farmer costs and benefits from agroforestry and farm forestry projects in Central America and the Caribbean: implications for policy. *Agroforestry systems* (en prensa)

Dominique, J.R. 1994. Evaluación de la sostenibilidad agronomica, financiera, y económica de un sistema sw cultivos en callejones asociando el maiz (*Zea mays* L.) con poro [*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook] plantado en diferentes densidades. Tesis M.Sc. CATIE. 104 p. Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 1. Resultados de análisis económico de 40 proyectos agroforestales en América y el Caribe (de Current y Scherr, 1995)

Sistema agroforestal	Indicador (Valores en US\$ a tasas de cambio de 1992 calculados utilizando una tasa de descuento de 20% si otros unidades no indicadas)									
		Valor presente neta -10% de descuento	Valor presente neta -20% de descuento	relación B/C	Retorno al labor	Salario agrícola ^a	Periodo de repago (años)	hombre-días por año	Comparación con alternativa	Número de observaciones
Intercultivo agrícola	Prom.	2863	1300	1.79			3.4	165	+	6
	Min.	-169	-366	0.89	1.92	2.41	1.0	61		
	Max.	3733	1600	2.59	7.09	3.70	6.0	302		
Cultivo en Callejones	Prom.	1335	847	2.10			1.9	56	++	9
	Min.	127	79	1.38	3.73	2.50	1.0	24		
	Max.	4667	2585	3.87	17.53	4.00	4.0	96		
Siembras en contorno	Prom.	1426	761	1.63			2.0	116	++	4
	Min.	1013	433	1.25	1.87	1.29	1.0	51		
	Max.	2026	996	2.01	7.79	2.30	4.0	153		
Intercultivo con perenes	Prom.	2867	1405	1.75			4.0	139	++	3
	Min.	2324	963	1.71	3.27	1.43	3.0	104		
	Max.	3461	1932	1.80	4.87	2.25	6.0	188		
Taungya	Prom.	6797	2868	2.50			4.9	53	+	8
	Min.	261	-168	0.75	2.04	3.58	2.0	9		
	Max.	22892	9756	5.84	55.55	4.00	10.0	124		
Woodlot	Prom.	764	-33	0.97			9.2	12	-	10
	Min.	-566	-536	0.16	0	2.50	5	5		
	Max.	2433	222	1.43	7.95	3.70	20	29		

a - Salario agrícola reportado en proyecto donde ocurrió valores mínimos y máximos de retorno a labor

b - Comparación a alternativa: ++ - Más que 25% o más; mayor por 10-25%; - menor por 10-25%

Cuadro 2. Efecto de árbol asociado, labranza, y densidad de siembra sobre producción y número de vainas por planta en frijol sembrado en enero y mayo de 1995.

	Rendimiento frijol -1a cosecha (kg ha ⁻¹)	Rendimiento frijol -2a cosecha (kg ha ⁻¹)	Anchura de copa (m)- 1a cosecha - 6 meses después de podar los árboles	Anchura de copa (m) -2a cosecha (4 meses después de podar los árboles)	Numero de vainas por planta 1a cosecha	Numero de vainas por planta -2a cosecha
Arbol asociado						
<i>C. calothyrsus</i>	1134 A	1356 A	9.08 A	5.14 A	4.92 A	7.90 A
<i>G. sepium</i>	1182 A	1423 A	3.80 B	2.86 B	4.58 A	7.23 AB
<i>E. poeppigiana</i>	1364 A	1290 A	9.80 A	5.72 A	5.33 A	6.52 AB
Control	595 B	953 B			3.58 A	5.79 B
Con labranza	972 B	1339 A			3.88 B	7.79 A
Sin labranza	1167 A	1172 B			4.83 A	5.93 B
160,000 pl ha ⁻¹	966 B	1173 B			4.50 A	7.35 A
200,000 pl ha ⁻¹	1173 A	1337 A			4.21 A	6.37 B

Valores seguidos por la misma letra no se difieron significativamente al P<0.05

Cuadro 3. Producción de maíz y frijol, suelo erosionado, y acumulación de nitratos en un Acrudoxic Melanudand, encalado con 2.6 t cal/ha, en los tratamientos con cultivos. San Juan Sur, CATIE

Tratamiento	Rendimiento Maíz (kg ha ⁻¹)	Rendimiento frijol (kg ha ⁻¹)	Suelo erosionado (kg ha ⁻¹)	Nitrato a 20 cm (mg/kg)	Nitrato a 80 cm (mg/kg)
Control	1426 b	1209 cd	145	12	8
Cultivo en callejones -4m	1378 b	1208 cd	137	20	13
Cultivo en callejones -6m	1611 b	1331 bc	75	22	10
Mucuna	2489 a	1537 ab	18	30	15
Mantillo de Erythrina	2452 a	1694 a	37	13	10
Suelo desnudo			10891	32	63

Valores seguidos por la misma letra no se difieron a p <0.5 por la prueba de Duncan.

Cuadro 4. Efecto de ocho años de cultivo en callejones (16 cosechas) de maíz asociado con *Erythrina poeppigiana* sobre propiedades de suelo y ingresos (calculado de Dominique, 1994)

Espaciamento de árboles	Rendimiento maíz (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Perdida de C del suelo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Perdida de N del suelo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Ganancia (+) o Perdida (-) de K (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Ingreso Neto (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)
6m X 1m	3600	1879	375	+17	-124
6m X 2m	4000	1835	250	+ 5	- 6
6m X 3m	4040	2803	250	+ 8	+ 30
6m X 4m	4400	2991	375	+20	+ 92
Sin arboles, fertilizado	5000	3468	525	-15	+ 80
Sin arboles, sin fertilizar	2800	4378	575	-22	+166

Se aplicó 15 kg ha⁻¹año⁻¹ de P a los tratamientos con árboles. A las parcelas sin árboles con fertilización se aplicaba 58 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N y 22 kg ha⁻¹ año⁻¹ de P.

Curso Manejo Sostenible de Suelos del Tropicó --Noviembre, 1994

Algunos conceptos de Sostenibilidad y su relación a suelos

Enfoque Principal de la Agricultura Sostenible es el mejoramiento de la Calidad de la Vida en contexto de un enfoque ambiental responsable con el resultado que se mantiene o aumenta la base de recursos para generaciones futuras.

De FAO: La agricultura sostenible debe involucrar el manejo exitoso de recursos para que agricultura satisfecha las necesidades humanas cambiantes mientras que mantiene o aumenta la calidad del ambiente y conserva los recursos naturales

De Agriculture Canada: Sistemas agrícolas sostenibles son aquellos que son económicamente viables y satisfacen las necesidades de la sociedad para alimentación segura y nutritiva mientras que conserva y aumenta los recursos naturales y la calidad del ambiente para generaciones futuras.

Del Comité Consejero Técnico: La agricultura sostenible debe involucrar el manejo exitoso de los recursos para satisfacer las necesidades humanas que cambian mientras que mantiene o aumenta la calidad del ambiente y conserva los recursos humanos

USAID: Agricultura sostenible es un sistema de manejo para los recursos naturales renovables que provee alimentos, ingresos, y las necesidades de la vida a generaciones presentes y futuras y que mantiene o aumenta la productividad económica de estos recursos.

Lynam and Herdt: Un sistema sostenible es uno con una tendencia no-negativa en los egresos determinados

Tres componentes básicos de sostenibilidad de DOUGLAS (1984):

1. Sostenibilidad como suficiencia alimenticia a largo plazo que requiere sistemas agrícolas que tienen bases ecológicas más firmes y que no destruyen los recursos naturales
2. Sostenibilidad como una responsabilidad, i.e., sistemas agrícolas que son basadas en un ético consciente sobre la responsabilidad humana a generaciones futuras
3. Sostenibilidad como una comunidad, i.e. sistemas agrícolas que son equitables.

Valores Institucionales Importantes a la Sostenibilidad

1. Uso discreto de los recursos naturales
2. Conservación y aumento en la calidad ambiental
3. Viabilidad económica
4. Productividad aumentada y estabilizada
5. Aumento en la calidad de la vida
6. Igualdad intergeneracional
7. Amortiguamiento de riesgos

La percepción de sostenibilidad es parcialmente una función de la escala de operaciones, determinada por el esfero de influencia del individuo o grupo.

- 1. Campo del agricultor**
- 2. Finca**
- 3. Cuenca**
- 4. Ecosistema**
- 5. País**
- 6. Continente**
- 7. Planeta**

Hay que apreciar el contexto global para implementar acciones locales

Por ser efectivo, agricultura sostenible tiene que contener un concepto de responsabilidad

Cambios negativos como indicadores de la no-sostenibilidad

Tipos de Cambio	Cambios relacionados a la base de recursos	Cambios relacionados al uso de recursos
Directamente visibles	<p>A u m e n t o s de deslismientos y otros tipos de degradación</p> <p>Abandono de terrazas</p> <p>Reduicción en la disponibilidad de terreno por capita</p> <p>Fragmmentación aumentada de parcelas</p> <p>Cambios en la composición genética de bosques y pastos</p> <p>Reducción en el flujo de agua para riego y uso domestico</p>	<p>Reducción en la intensidad de la rotación de cultivos y otros practicos de manejo</p> <p>Extensión de cultivo a tierras marginales</p> <p>R e m p l a z o de costumbres para el uso de recursos por medidas legales</p>

Cambios en la respuesta a la degradación de recursos

Sustitución de animales grandes por animales pequeños: bovino por cabras
Cambios de cultivos de enraicamiento profundo a cultivos de enraicamiento no profundo
Cambios en el uso de insumos de estiercoles a fertilizantes

Uso intenso y no balanceado de insumos externos
Especialización aumentada en monocultivo

Cambios potencialmente negativos debido a intervenciones de desarrollo

Introducción de nuevos sistemas de producción sin enlaces a otras actividades diversificadas
Promoción de dependencia excesiva en recursos externos, subsidios
Falta de atención a experiencias tradicionales adaptivas
Investigación y enfoque de desarrollo en cultivos más que recursos

Falta de atención a características del ecosistema en el diseño de programas y políticas para el desarrollo
Falta de atención a conocimiento local y dependencia excesiva en expertise externa

Limitaciones y Asuntos Relacionados a Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo

1. Relacionado a Suelos

- a. Erosión y pérdida de suelo - Manejo de Cuencas
- b. Salinidad y Alcalinidad
- c. Suelos saturados con agua
- d. Acidez de suelos
- e. Tierras degradadas

2. Plagas y manejo de enfermedades

- a. Equilibrio entre poblaciones de plagas y pérdidas aceptables de cultivos

3. Silvicultura y Agroforestería

- a. Cambios en el ciclo de C debido a deforestación
- b. Biodiversidad y la reversa de genes
- c. Ambientes para animales
- d. Calidad de vida en comunidades en bosques

4. Praderas

- a. Desertificación
- b. Capacidad de sustentar animales

5. Biodiversidad/conservación de recursos biológicos

- a. Nutrición animal
- b. Nutrición humana

6. Capacidad de sustentar poblaciones del tropico semi-arido

- a. Proveedura de alimentos
- b. Seguridad alimentaria

7. Exigencias de recursos hídricos

- a. Calidad de agua
- b. Competencia de agricultura y industria

8. Institucionales

- a. Contexto operacional
- b. Implicaciones legales, sociales, económicos, y políticos
- c. Responsabilidad - decisores, sector privado, familias
- d. Educación y Percepción

9. Tecnológicos

- a. Recursos humanos y físicos
- b. Entrenamiento
- c. Apropriados, aceptables
- d. Bases de datos, monitoreo

10. Igualdad

- a. Año peor --periodo de sobrevivencia
- b. Año mejor - amortización de beneficios con tiempo
(agricultura de respuesta)

MECANISMOS PARA OBTENER LA SOSTENIBILIDAD

MOTIVACION

SEGURIDAD ALIMENTARIA
CONSERVACION DE RECURSOS
EFICIENCIA ECONOMICA
CALIDAD DE LA VIDA
EGALIDAD INTERGENERACIONAL

CAUSAS

DEGRADACION DE SUELOS
POLUICION
PERDIDA DE BIODIVERSIDAD
REDUCCION EN PRODUCTIVIDAD
DE TERRENOS

RESPONSIBILIDAD

GOBIERNOS
ORGANIZACIONES SOCIALES
FAMILIAS

ASESORAMIENTO

VIABILIDAD TECNICA
VIABILIDAD ECONOMICA
DESEABILIDAD POLITICA
MANEJABILIDAD ADMINISTRATIVA
ACEPTABILIDAD SOCIAL
VIABILIDAD AMBIENTAL

MONITOREO

TECNOLOGIA GIS
LEVANTAMIENTOS DE EXTENSION
DATOS DE CENSOS
INVENTORIO DE RECURSOS
MANTENIMIENTO DE BASES DE DATOS

PROGRAMAS PUBLICAS

PROGRAMAS DE DIVERSIFICACION DE USO DE
TIERRAS
RESERVA DE CONSERVACION
SUBSIDIOS PARA AGRICULTURA
PROGRAMAS DE DRENAJE Y RIEGO
PROGRAMAS DE CONTROL DE PLAGAS Y
ENFERMEDADES
PROGRAMAS DE PLANIFICACION FAMILIAR

TECNOLOGIA

SISTEMAS DE FINCA
CONSERVACION
CALIDAD DE AGUA
SALUD HUMANA
CALIDAD AMBIENTALEI

BASES DE DATOS

BASES DE DATOS DE RECURSOS
BASES DE DATOS DE RECURSOS HUMANOS
BASES DE DATOS ECONOMICOS
CENSOS NACIONALES
INVESTIGACIONES

I. La relación entre calidad del suelo y sostenibilidad

A. Suelos varían en sus calidades y la calidad del suelo puede cambiarse en respuesta a uso y manejo

1. El sistema suelo se caracteriza por atributos que varían entre un ámbito y que son funcionalmente interrelacionados
2. Así, se puede utilizar estos atributos para cuantificar la calidad del suelo
3. El suelo es un sistema abierto, con entradas y salidas, que es limitado por otros sistemas colectivamente llamados el *ambiente*
4. La sostenibilidad, entonces, es multidimensional y enfocado en la calidad del recurso suelo y la relación entre el ambiente y el uso y manejo del suelo

B. Un sistema de manejo es sostenible solamente cuando la calidad del suelo se mantiene o se mejora. Así, un asesoramiento cuantitativo de los cambios en la calidad de suelo ofrece una medida de manejo sostenible

1. Se presenta una definición de calidad de suelo y un enfoque para cuantificar ambos las dimensiones inherentes y dinámicas de la calidad del suelo en términos de datos mínimos necesarios (minimum data sets = MDS) y funciones de transferencia pedológica (PTF) en combinación con procedimientos y modelos utilizados en control cualitativo estadístico (statistical quality control = SQC)
2. Se tratará de diseñar sistemas de manejo de tierra inherentemente sostenible combinado con procedimientos de proceso de control de calidad para asegurar desempeño de calidad del diseño del sistema de manejo

II Desde que el sistema de suelo es dinámico, las medidas de manejo sostenible también deben estar dinámicas

A. El método más comúnmente utilizado para evaluar la sostenibilidad de un sistema de manejo es el *asesoramiento comparativo* que no es dinámico

1. En el asesoramiento comparativo, el desempeño del sistema es comparado a alternativas.
2. Se compara las características y salidas de sistemas alternativos a un tiempo dado, con respecto a atributos bióticos y abióticos del suelo
3. Hay limitaciones de este método
 - a.) Si solamente miden las salidas, hay poca información sobre el proceso que resultó en la condición caracterizada
 - b.) No se puede determinar si el sistema que produjo una salida fue mal diseñado o operó en una manera que fue inestable y no podía producir la salida deseada

B. En el enfoque de *asesoramiento dinámico*, se mide los atributos de la calidad del suelo a través del tiempo

1. Se puede también comparar la dinámica de diferentes sistemas de manejo
2. El enfoque de asesoramiento dinámico es basada en principios establecidos en el control de calidad estadística
3. El control de calidad estadística ofrece unos principios que son relevantes

a la evaluación de la dinámica de calidad del suelo y una medida de manejo sostenible:

- a.) No se puede monitorear la calidad del suelo
 - b.) La calidad del suelo se aumenta a través del diseño de control de calidad para asegurar la calidad del suelo y identificar las oportunidades de mejoramiento para refinar estos sistemas
 - c.) *Control de calidad del proceso* requiere la identificación y monitoreo de las variables principales que influye *las características de calidad* del sistema
 - d.) Es importante saber el ciclo de vida o pedigre del proceso que produce una salida para cuantificar la variabilidad del proceso
 - e. Disminuir la variabilidad de una entrada debe reducir la variabilidad de la salida
 - f.) Debe tener pruebas estadísticas para que una decisión a ajustar el proceso es basado en padrones definidos operacionalmente
 - g.) Conforme se diseña calidad dentro del proceso, la necesidad de monitoreo de la calidad del productos se disminuye
 - h.) En el proceso de *calidad de control estadística*, se puede hacer inferencias sobre la estabilidad del sistema en tiempo, por controlar la colección de datos y por saber la secuencia en tiempo de los datos.
4. El *enfoque de asesoramiento dinámico* debe tener los siguientes pasos:
- a.) Identificación explícita de los productos deseados de manejo
 - b.) Asesoramiento del diseño del sistema para determinar si producirá el producto deseado
 - c.) Identificación de los parametros de calidad de suelo de importancia y el establecimiento de *padrones de calidad*
 - d.) Establecimiento del punto de iniciar la evaluación de un sistema de manejo. La condición del suelo al inicio de un cambio en manejo es necesario si no hay buenos datos del sitio através de muchos años
 - e.) Asesoramiento de los productos del sistema para determinar si resultan del diseño del sistema o del desempeño del proceso del sistema o los dos.
 - f.) Establización de un proceso del sistema que es *fuera del control*. Un sistema estable de variación es uno en que la variación es un resultado solamente del sistema en su sitio: no hay causas especiales de variación
 - g.) Mejoramiento de la sostenibilidad de un sistema de manejo *estable* por ajustarlo con técnicas apropiados de diseño experimental. Se debe probar este tipo de mejoramiento solamente si el sistema es estable porque cambios en un sistema estable lo hará meno estable

III. Asesoramiento de la calidad del suelo.

A. Hay dos aspectos del dinámico de calidad de suelo con respecto a manejo sostenible:

1. El primer aspecto trata de la cantificación de la calidad del suelo en terminos de ambos magnitud y dinámico: como cambia la calidad del suelo en respuesta a manejo
2. El segundo aspecto trata del diseño y control del proceso en cual sistemas de manejo afectan la calidad de suelo y por consecuencia la sostenibilidad: la énfasis está en como los componentes de un sistema de manejo y los procesos asociados operando dentro de un sistema de manejo actuan con respecto a sus impactos medidos sobre calidad del suelo

B. Cantificando el dinámico de calidad del suelo

1. Se puede cantificar el dinámico de la calidad del suelo por expresar la calidad del suelo, Q , como función de atributos medibles de la calidad del suelo, q_i , medir estas variables sobre el tiempo y evaluar el dinámico de la calidad del suelo, dQ/dt utilizando modelos o procedimientos estadísticos de control de calidad

2. Larson y Pierce (1931) defina la *calidad del suelo* como la capacidad del suelo a funcionar ambos dentro de sus limites de ecosistema (unidades de mapa) y con el ambiente externo a este ecosistema (principalmente en relación a calidad de aire y agua).

a.) La calidad del suelo se refiere principalmente a la capacidad de un suelo a funcionar como medio para el crecimiento de plantas (productividad) en la repartición y regulamiento del flujo del agua en el ambiente, y como un amortiguador ambiental

1. Como una definición operacional, la calidad del suelo quiere decir "aptitud para uso"

2. Se puede definir la calidad del suelo, Q , como el estado de existencia de un suelo relativo a un padrón o en terminos de un grado de excelencia

a.) Se expresa como una función de atributos de calidad de suelo, q :

$$Q = f(q_1, \dots, q_n)$$

b.) Es talvéz importante considerar Q como multidimensional, como un vector o superficie más que un punto o valor individual (Es la contribución de todos los valores de q_i que determinan la magnitud de Q)

3. A pesar de la importancia de Q en la evaluación de tierras, manejo sostenible requiere el conocimiento de cambios en la calidad de suelo. Se puede definir el cambio dinámico en la calidad del suelo, dQ/dt como:

$$dQ/dt = f \left[\frac{(q_{i1} - q_{i10})/q_{i10} \dots (q_{in} - q_{in0})/q_{in0}}{dt} \right]$$

- a.) Un suelo cuyo condición mejora tendrá un valor de dQ/dt positivo
 - b.) un suelo que degrada tendrá un valor negativo de dQ/dt
 - c.) En términos de sostenibilidad, es nuestro interés principal de detectar cambios en la calidad del suelo resultando de un cambio en uso de la tierra o en manejo o en medir el desempeño de un sistema específico de manejo en términos de calidad de suelo
4. Como la relación funcional en la ecuación (2) es difícil de definir y es imposible definir Q en términos de todos los atributos del suelo, Larson y Pierce (1991) propusó que un conjunto de datos mínimos (MDS) en combinación con funciones de transferencia pedológicas sea diseñada para monitorear cambios en la calidad del suelo.
- a.) Un atributo importante de un MDS es que debe incluir atributos de suelo en que atributos cuantitativos pueden ser medidos en un periodo de tiempo suficiente corto para ser útiles en decisiones de uso de tierra o manejo.
 - b.) Los componentes de un MDS son seleccionados conforme su facilidad de medición, reproducibilidad, y a cual grado ellos representan variables claves que controlan la calidad del suelo
 - c.) Cada MDS representa un conjunto *mínimo* de atributos a ser medido para asesorar la calidad del suelo.
 1. Otros atributos pueden ser parte de un conjunto más grande para investigaciones especiales
 2. Se presenta un ejemplo de un MDS en el Cuadro 1
 3. Se debe padronizar el tipo de medición y el procedimiento de medición, por lo menos dentro de una región geográfica
 - d.) Para propiedades del suelo que son muy difíciles o caras a medir se puede utilizar un PTF
 1. Muchas propiedades de suelo son interrelacionadas y pueden ser predichos de otras propiedades
 2. Bouma (1989) define un PTF como una función matemática que relaciona características y propiedades del suelo con otras para el uso en la evaluación de la calidad del suelo
 3. Así se puede utilizar los PTF para extender la utilidad del MDS para monitorear la calidad del suelo
 4. Ya existen muchos PTF y son de naturaleza empírica o estadística

Referencias

- Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science* 9: 177-213
- Eswaran, H., S.M. Virmani, y L.D. Spivey Jr. 1993. Sustainable agriculture in developing countries: constraints, challenges, and choices. p. 7-24 *In*

Ragland y Lal, eds. Technologies for sustainable agriculture in the tropics
ASA Spec. Pub. 56.

Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality.
In Evaluation for sustainable land management in the developing world.
Vol.2. IBSRAM Proc. 12 (2) Int. Board for Soil Res. and Management.
Bangkok. Thailand

Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1994. Dynamics of soil quality as a measure of
sustainable management. p. 37-52 *in* Doran et. al., eds. Defining soil
quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Pub. 35

Cuadro 1. Atributos y metodologías padronizadas para ser utilizados en un MDS para
monitorear la calidad de suelo

Atributo	Metodología
Disponibilidad de nutrimentos para una región	Teste de suelo analítico
C orgánico total	Combustión seca o húmeda
C orgánico labile	digestión con KCl
Textura	Método de pipeta o hidrómetro
Capacidad de agua diponible a plantas	Determinado en el campo o de curvas de desorción
Estructura	Densidad aparente de muestras no disturbadas Permeabilidad medida en el campo o de conductividad hídraulica saturada
Fortaleza	Densidad aparente o resistencia de penetrometro
Profundidad máxima de enraicamiento	Específica a cultivos: profundidad de raíces o de un cultivo padron
pH	Medir de pH con electrodo de vidrio y de calomel
Conductividad eléctrica	Medidor de conductividad

INFORME INTERNO

**MANUAL PRACTICO DE MEDICION
DE ESPECIES DE
ARBOLES DE USO MULTIPLE**

**P. Camacho
R. Salazar**

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido
Area de Producción Forestal y Agroforestal
Turrialba, Costa Rica 1991**

Entre otras cosas, la dasometría permite:

- Estudiar la supervivencia.
- Evaluar la calidad del sitio.
- Estimar el valor de los productos para la venta.
- Planificar las intervenciones silviculturales.

B. SISTEMAS DE MEDIDAS

Sistema Internacional de Medidas (SI)

El sistema internacional de pesos y medidas busca facilitar, a nivel mundial, la comprensión del desarrollo científico y tecnológico de las distintas ciencias, a través del uso de unidades estándares de pesos y medidas. El Anexo 1 resume algunas de las equivalencias lineales más utilizadas para simplificar la relación del SI y la dasometría. Aquí solamente se hará mención a cuatro de las unidades básicas de uso más frecuente en dasometría.

Longitud:	metro (m)
Area:	metro cuadrado (m ²)
Volumen:	metro cúbico (m ³)
Peso:	kilogramo (kg)

Unidades de medición en dasometría y símbolos

Las recomendaciones sobre la normalización de unidades y símbolos en dasometría, fueron preparadas por un grupo de trabajo de la Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO) en 1953. Estas fueron aprobadas en un congreso de IUFRO, celebrado en Oxford, Reino Unido, en 1956.

La normalización de unidades y símbolos pretende que éstos sean lo más sencillo posible, para que el lector pueda entender lo que el autor quiere expresar, particularmente cuando se trata de publicaciones en idioma no conocido por el lector. (Cuadro 1)

Las letras mayúsculas son utilizadas para indicar totales por unidad de superficie, por ejemplo: V = volumen por ha, o para indicar totales de la población en programas de muestreo.

El Cuadro 2 muestra otra lista de símbolos compuestos y que son también, de uso común. Si se desea ampliar esta lista debe consultar el documento original de IUFRO (1969).

Cuadro 2. Continuación.

DEFINICION	SIMBOLO	EXPLICACION
Diámetro a 6 desde el suelo	d_6	
Volumen del fuste hasta 7 cm de diámetro.	v_7	Los volúmenes medios, a menos que se especifi que, se obtienen siempre del volumen total, por unidad de superficie, dividido por el número de árboles, ejemplo: $v = \frac{\sum v}{n}$
Volumen maderable	v_m	El método medición/determinación del volumen debe explicarse siempre.
Coefficiente mórlico artificial	f	$f = \frac{v}{gh}$
Crecimiento por unidad de superficie en un año	l	
Crecimiento medio anual (aritmético) de un número de árboles	\bar{l}	La línea <- > debe emplearse para significar el promedio de los árboles, pero no el de los años. Este último se indica simplemente por subíndices que muestran las edades o períodos a los cuales se refiere el crecimiento periódico anual.
El crecimiento periódico anual de un árbol se indica por subíndices, por ejemplo: el crecimiento periódico anual de un árbol entre los 21 y 30 años de edad	l_{21-30}	
El crecimiento total durante un período se indica añadiendo el símbolo sigma, por ejemplo: el crecimiento total de un árbol entre los 21 y 30 años de edad	Σl_{21-30}	
Los subíndices se emplean también para indicar la dimensión a que se refiere el crecimiento, por ejemplo: crecimiento del diámetro de un año	l_d	
Crecimiento anual en volumen	l_v	

1/ Se recomienda hacer uso de estas unidades en todos los documentos técnicos y científicos que se elaboren.

Fuente: IUFRO (1969)

1.2 Diámetro cuadrático (d_g): algunas especies de uso múltiple como la *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* tienen la tendencia a bifurcarse a diferentes alturas; en estos casos para tener un valor más representativo del diámetro, hay que medir el dap de cada eje que salga por debajo de 1,3 m y aplicar la fórmula siguiente para obtener el diámetro cuadrático (Figura 2).

$$d_g = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}$$

Por ejemplo si el árbol tiene tres ejes con diámetros de 11, 13, y 9 cm, que salen por debajo de 1,3 m de altura, no es apropiado medir un solo diámetro, ni sacar un diámetro promedio, que en este caso sería de 11 cm. Lo aconsejable es determinar el diámetro cuadrático con la fórmula anterior.

$$d_g = \sqrt{\frac{11^2 + 13^2 + 9^2}{3}} = \sqrt{\frac{121 + 169 + 81}{3}} = \sqrt{\frac{371}{3}} = \frac{19.26}{3} = 11.12$$

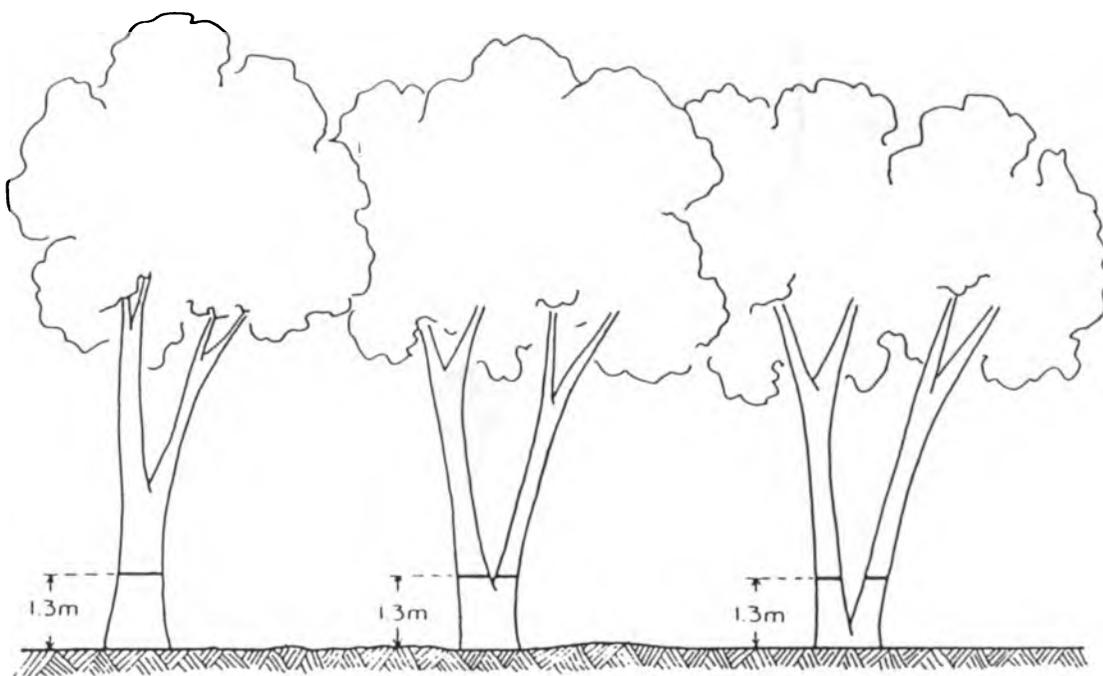


Figura 2. Medición del dap en árboles bifurcados.

1.3 Diámetro basal (d_b): se refiere al diámetro que se mide en la base del árbol. Normalmente se mide a 10 cm del suelo, pero puede variar según el trabajo que se realice (Figura 3).

En trabajos en viveros y en plantaciones recién establecidas, usualmente se mide el d_b a ras del suelo; como el árbol no tiene la altura suficiente, el dap no se puede medir a esa edad. Si hay varios ejes desde el nivel del suelo hay que medir cada uno y hacer el cálculo en forma similar al diámetro cuadrático

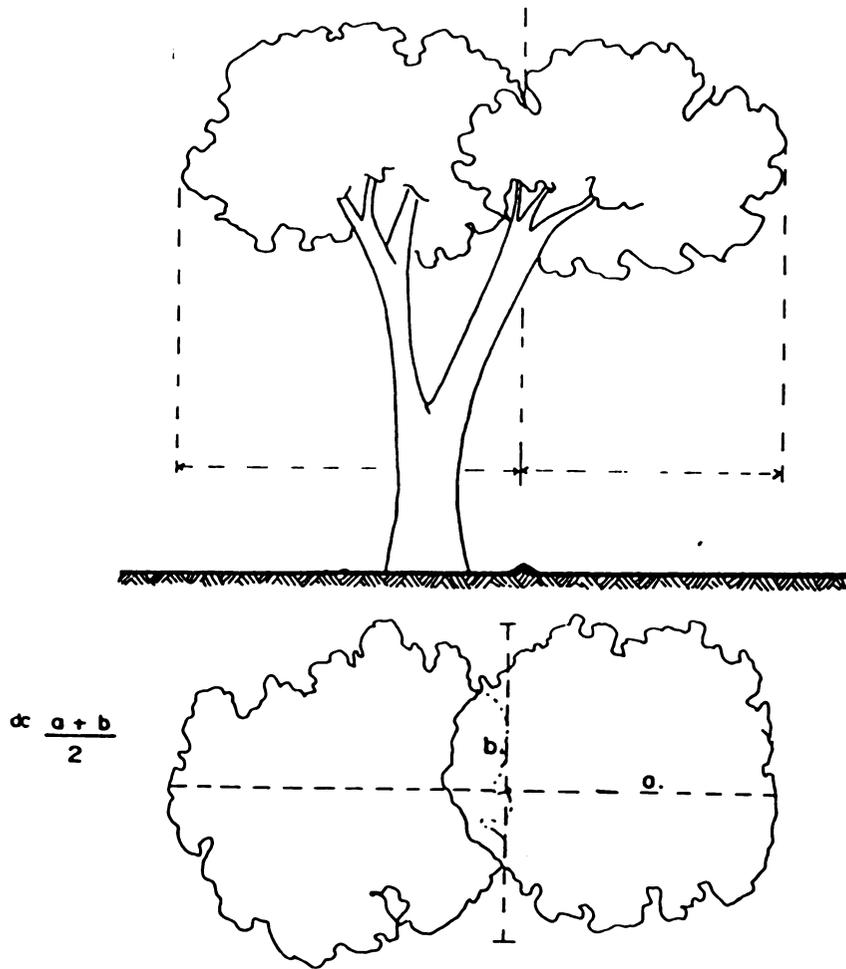


Figura 5. Medición del diámetro de copa.

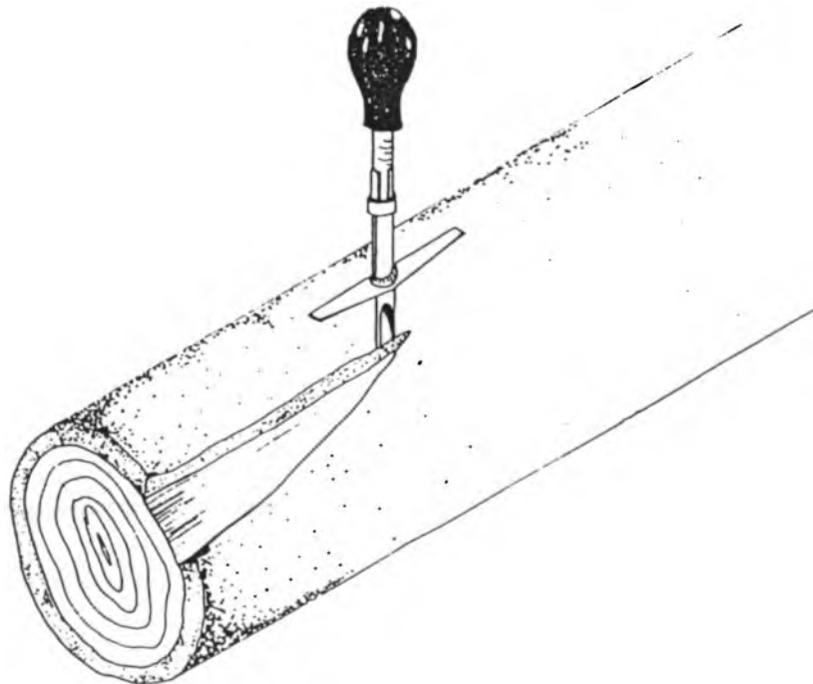


Figura 6. Medición del espesor de la corteza.

C. USO DE LOS INSTRUMENTOS PARA MEDIR DIAMETROS

Aunque los instrumentos utilizados para medir diámetros son sencillos y prácticos, el técnico siempre debe de tomar en consideración una serie de aspectos, tanto en lo que se refiere a la posición del instrumento, como a la forma del fuste y topografía del terreno, para dar la mayor confiabilidad a las mediciones. A continuación se describen algunos aspectos que siempre deben ser tomados en consideración.

- Asegúrese que la persona que va a realizar las mediciones sepa utilizar el equipo. Esto se aplica para el uso de cualquier instrumento.
- Antes de hacer la lectura de diámetros, asegúrese que el punto donde va a colocar el instrumento, esté libre de lianas u otro material, porque alterarían la lectura (Figura 12 A y B).
- Cuando mide dap, el instrumento lo coloca exactamente a 1,3 m de altura. Para esto es aconsejable utilizar una vara auxiliar o una marca en el pecho. Si se van a realizar mediciones periódicas, es apropiado colocar un anillo de pintura amarilla a 1.3 m para asegurar que la medición se realizará en el árbol siempre sobre la misma altura.
- Si el terreno donde está el árbol es plano, el técnico puede colocarse en cualquier punto para hacer la lectura.
- Si el terreno es inclinado debe colocarse en la parte superior de la pendiente, y a partir de esta posición fijar la altura de 1,3 m (Figura 1).

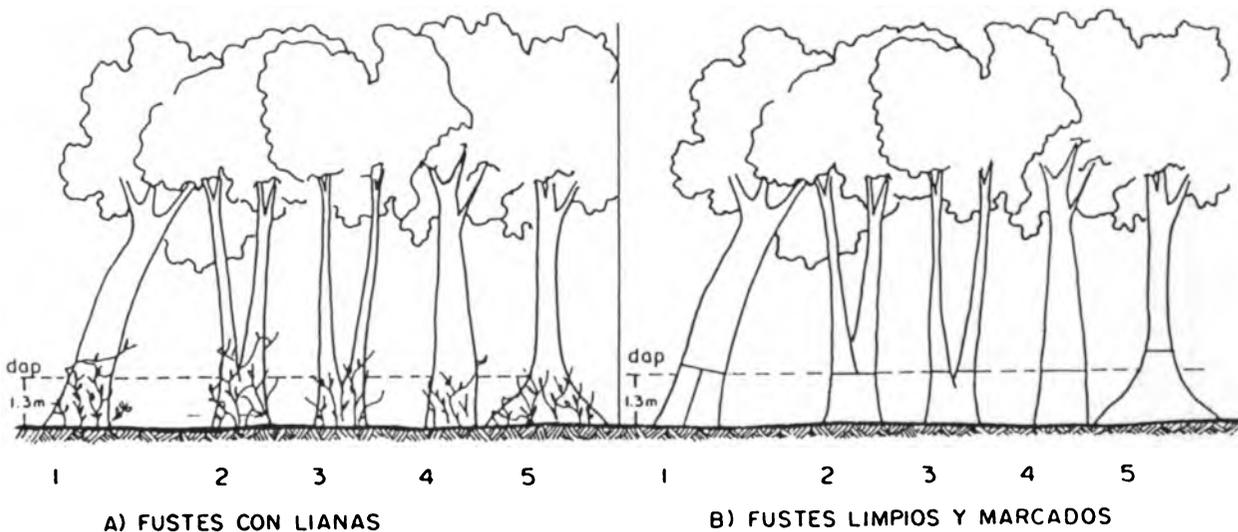


Figura 12. Los fustes deben estar libres de lianas, antes de hacer la lectura.

D. ERRORES MAS FRECUENTES EN LA MEDICION

En general la medición del dap es bastante sencilla y la posibilidad de error es mínima; no sucede lo mismo cuando se quieren medir diámetros a alturas mayores estando el árbol en pie; aquí si puede aumentar la imprecisión por la dificultad de acceso. Algunos de los errores más comunes al medir el dap y otros diámetros en árboles en pie son:

- Ubicación incorrecta del técnico con respecto a la pendiente del terreno, lo que provoca error en la definición exacta de las alturas.
- Es necesario asegurarse que la cinta no esté doblada cuando se coloque alrededor del fuste.
- Si se coloca la cinta o forcípula en una protuberancia de un nudo, también se comete error.
- Si usa una cinta métrica y no hace la conversión a centímetros diamétricos, se comete error.

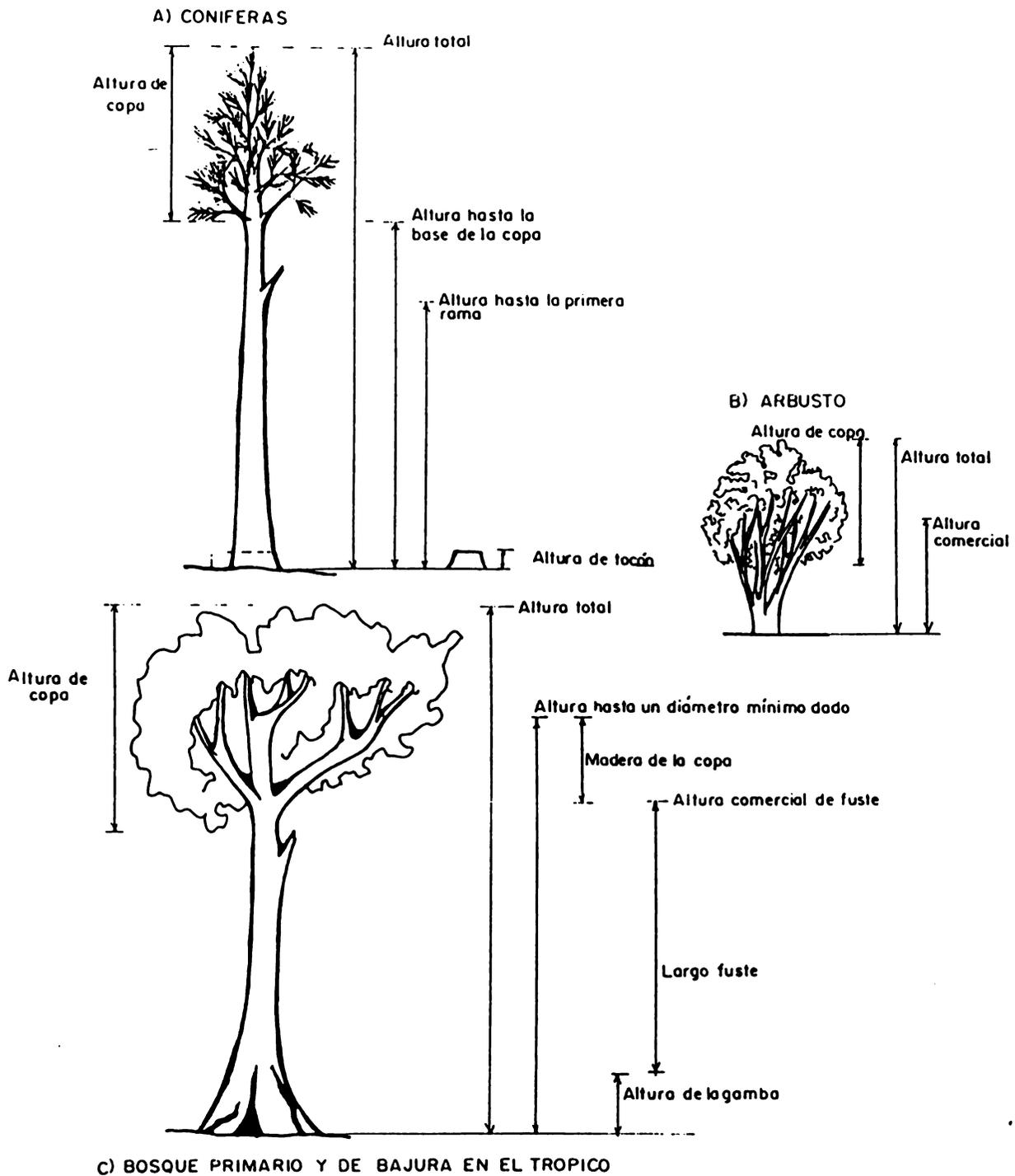


Figura 14. Distintas alturas medibles en distintos tipos de árboles (coníferas y arbustos). (Fuente Phillip, 1983).

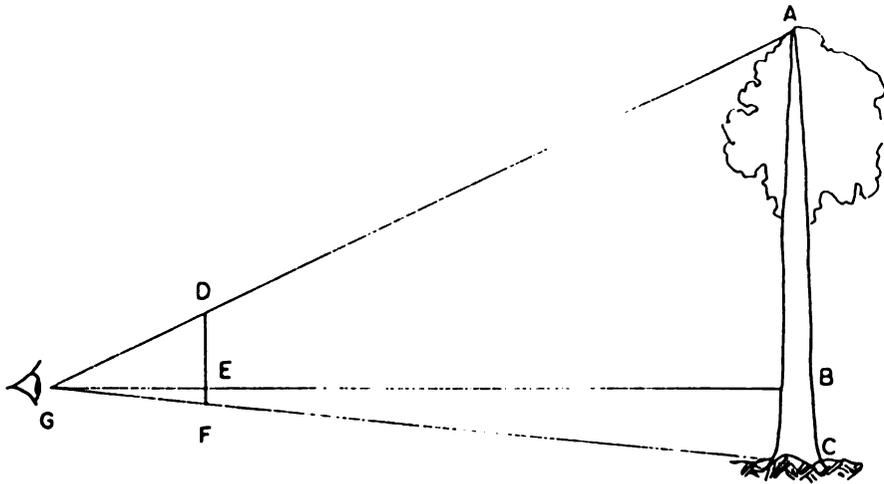


Figura 18. Método geométrico. Ilustración del uso de triángulos semejantes para determinar la altura total del árbol

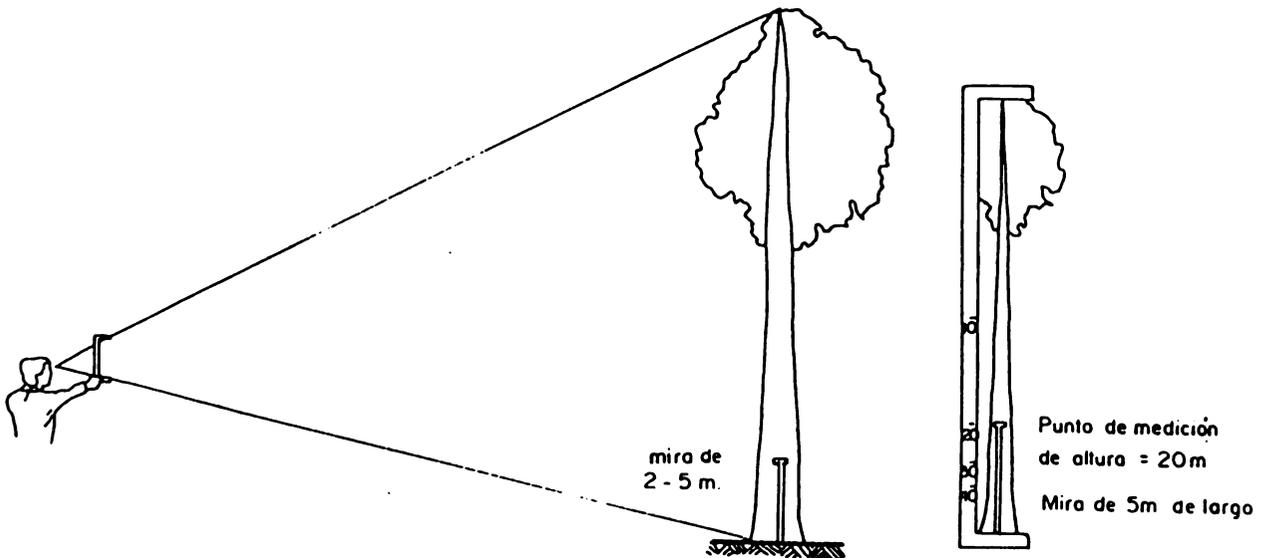


Figura 19. Uso del hipsómetro de Christen para medir la altura del árbol.
Fuente: Phillips, 1983.

- La suma de AB + BC es igual a la altura del árbol, siempre y cuando el observador y la base del árbol estén al mismo nivel (terreno plano), o que el observador esté ubicado a un nivel más alto que la base del árbol (Figuras 22a y 22b). Si el observador está a un nivel inferior a la base del árbol (Figura 22c) la altura del árbol es igual a AC - BC.

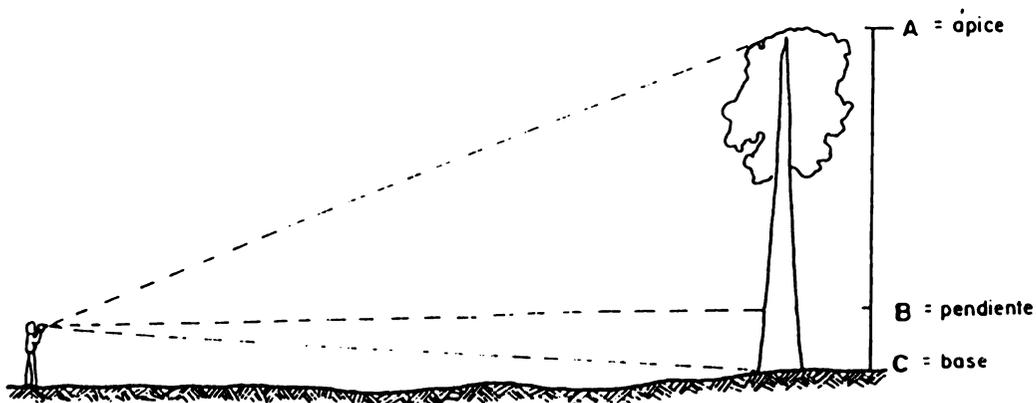


Figura 21. Medición de la altura total del árbol con hipsómetro Haga, Suunto a Blumeliss.

A continuación se desarrollan tres ejemplos sobre el uso de un hipsómetro que utiliza el método trigonométrico.

Es importante hacer notar que algunos de estos instrumentos vienen calibrados en porcentaje y grados de declinación en el horizonte. Si por ejemplo, desea determinar la altura de un árbol que está en terreno plano ($B=0\%$), seleccione primero la escala o distancia a que debe ubicarse de la base del árbol, para este ejemplo use 25 m. Dirija el visor del hipsómetro al ápice del árbol, este da una lectura de 68 por ciento; cuando la dirija a la base, la lectura es de 6 por ciento. Por estar en terreno plano hay que sumar las dos lecturas y luego multiplicar por la distancia para obtener la altura del árbol (Figura 22a).

$$h = 68\% + 6\% \times 25$$

$$h = 74\% \times 25 \text{ m} = 18,5 \text{ m}$$

$$h = 18,5 \text{ m.}$$

h = 13 x 25 = 325

*A P C
A B D
10 + 6*

Si el hipsómetro viene calibrado en m (lectura directa) y se ubica siempre a 25 m del árbol, cuando dirija el visor a la terminal de la copa se obtiene un valor de 17,5 m, y cuando lo dirija a la base la lectura es de 1,0 m. En este caso la altura total es simplemente la suma de las dos lecturas.

EFFECTOS DE SOMBRA DE *ERYTHRINA POEPPIGIANA* SOBRE *COFFEA ARABICA* VARS. CATURRA Y CATIMOR¹

Reinhold G. Muschler, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ², 7170 CATIE,
Ramón A. Ramírez A., Cafetalera Lindo S.A., Turrialba, Costa Rica
Caroline G. Baker, Apdo 53, 7170 CATIE, Costa Rica

Palabras claves: sombra, sostenibilidad, café, *Coffea arabica*, poró, *Erythrina*, Caturra, Catimor, producción, calidad

Resumen

En 1993 se iniciaron experimentos con diferentes niveles de sombra (0% a más del 80% de sombra) de *Erythrina poeppigiana* en plantaciones comerciales de *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor en la zona de Turrialba, Costa Rica (700 msnm, 2300 mm/año). Los diferentes tratamientos de sombra se establecieron por medio de poda de árboles grandes. Según las evaluaciones de tres cosechas (2 reportados aquí) hay un máximo de producción de grano de calidad (PGC) bajo sombra intermedia y permanente. Para la cosecha 95/96 la ventana de sombra óptima era entre el 20 y 60% de sombra. Niveles de sombra más altos redujeron la PGC significativamente. Sin embargo, aún 80 % de sombra permitió producir hasta 70% (40 fan/ha) de la producción en sol demostrando, para ambas variedades, una alta capacidad de adaptación a sombra en las condiciones de Turrialba. Los cafetos al sol sufrieron de temperaturas excesivas causando altos porcentajes de frutos chasparreados, quemados o momificados y una reducción del vestido foliar. Los frutos de las parcelas sombreadas fueron más grandes y sanos. El estado vegetativo de los cafetos bajo poró alto era mejor durante todo el año que en las parcelas al sol y con poró pequeño. La incidencia de malezas fue alta solamente en las parcelas al sol y con poró pequeño después de la poda. Se recomienda una poda selectiva de poró alto, para generar una sombra homogénea alrededor del 40% a través del año.

¹ Presentado en el 18^{vo} Simposio Latinoamericano de Caficultura, San José, Costa Rica. Setiembre 1997

² Apdo 126, 7170 CATIE, Costa Rica, FAX (506)-556-1533 E-mail: muschler@catie.ac.cr

EFECTOS DE SOMBRA DE *ERYTHRINA POEPPIGIANA* SOBRE *COFFEA ARABICA* VARS. CATURRA Y CATIMOR¹

Reinhold G. Muschler, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ², 7170 CATIE,
Ramón A. Ramírez A., Cafetalera Lindo S.A., Turrialba, Costa Rica
Caroline G. Baker, Apdo 53, 7170 CATIE, Costa Rica

1. Introducción

En la zona de Turrialba, Costa Rica, la mayoría de los cafetales tienen poró gigante (*Erythrina poeppigiana*) como árbol de servicio y sombra. Típicamente, los árboles se podan 2 o 3 veces por año para, sobre todo, estimular la floración y, luego, la maduración del fruto. En muchos casos es una poda total donde se cortan todas las ramas causando cambios microclimáticos muy drásticos. En otros casos se dejan ramas selectas para proporcionar un tipo de sombra permanente. Hay una gran discusión sobre los niveles adecuados de sombra (p.e., Fournier 1988; Beer *et al.* 1997; Fernandez y Muschler 1997). Sin embargo, la información científica sobre los mejores niveles de sombra para café en función del ambiente (cf. Muschler 1997, este vol.) es limitada. Por ende, este estudio se desarrolló con el fin de cuantificar el sombrero e investigar el comportamiento de *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor bajo diferentes niveles de sombra de poró.

2. Materiales y métodos

Los experimentos se establecieron al final de 1993 en 15 sitios en fincas cafetaleras en la zona de Turrialba. Los sitios fueron escogidos por homogeneidad de suelos, relieve, exposición, población de cafetos y por densidad y sombreado uniforme de poró. Este artículo presenta datos de cuatro sitios en "El Cañal" de la "Cafetalera Lindo S.A." de Turrialba, Costa Rica. El suelo fue clasificado como Typic Eutropept con pH(agua) de 4.6 a 4.8 y niveles de nutrientes intermedios a altos. Los sitios están a 700 msnm con una

¹ Presentado en el 18^{vo} Simposio Latinoamericano de Caficultura, San José, Costa Rica. Setiembre 1997

² Apdo 126, 7170 CATIE, Costa Rica, FAX (506)-556-1533 E-mail: muschler@catie.ac.cr

precipitación anual de 2300 mm. La edad de los cafetos varió entre 6 y 10 años, y la de los poró entre 10 y 20. El manejo del café era intensivo con dos fertilizaciones de 300 kg por ha y año de formula completa (18-5-15-6-2) y una de 250 kg por ha y año de Nutrán. Malezas y enfermedades se controlaron con un mínimo de herbicidas y fungicidas según necesidad. En cada sitio se establecieron 4 tratamientos de diferentes niveles de sombra de poró y en dos se estableció una parcela adicional con sombra artificial. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Los tratamientos de sombra y su manejo

<i>Codigo</i>	<i>Tratamiento</i>	<i>Manejo</i>
T1	Sol	poda permanente de poró ("poró sin ramas")
T2	Poda total	poda total (descumbra) de poró 3 veces al año
T3	Sombra abierta	poda selectiva de poró alto para abrir el dosel
T4	Sombra densa	libre crecimiento de poró
T5	Sarán	sombra artificial de 50%

Estos tratamientos de sombra produjeron condiciones microclimáticas muy diferentes. De T1 a T4 el nivel de sombreamiento aumentó del 0% a > 80%. T5 redujó la radiación fotosinteticamente activa (PAR) en más del 50% (Fig 1). T2 y, en menor grado, T3 exponían los cafetos a cambios fuertes en los tiempos de poda (Fig 1).

Se evaluaron las siguientes variables de 25 plantas por parcela: sombreamiento (con "hemispherical densiometer" y "Sunfleck Ceptometer"), humedad relativa, temperatura del aire, suelo y follaje, dimensiones y estado vegetativo de los cafetos, producción y calidad de café, incidencia de malezas y cobertura del suelo.

3. Resultados

En este artículo se presentan datos de producción y tamaño de grano en función del sombreamiento. Los resultados resumidos son:

1. Solamente el tratamiento "sombra densa" con > 80% de sombra redujó la producción significativamente (Fig 2).
2. Cafetales bajo sombra abierta y sarán, i.e. bajo sombra permanente e intermedia (T3 y T5), produjeron la misma cantidad de fruto de calidad (fruto sano) que las parcelas al sol (Fig 2). Al mismo tiempo los cafetos bajo poró alto (T3 y T4) mantenían un buen estado vegetativo mientras que los cafetos en T1 y T2 mostraron deficiencias foliares, defoliación fuerte y niveles de enfermedades más altos.
3. La reducción de "Poda total" con respecto a "Sol" podría ser causado por trastornos fisiológicos de los cafetos como consecuencia de los cambios ambientales extremos en el momento de la poda de los porós (Fig 2).
4. La producción no diferió entre Caturra y Catimor 5175 (Fig 2).
5. Hay una "ventana óptima" de sombra a 40 ± 20 % de sombra (Fig 3) para las condiciones de Turrialba.
6. La incidencia de frutos quemados, momificados y chasparreados (*Cercospora coffeicola*) bajó de más del 15% al sol a un 10% con poda total y a < el 1% bajo poró alto (T3 y T4).
7. El porcentaje de granos grandes (> 17/64 de pulgada) aumentó fuertemente con los niveles de sombra (Fig 4).
8. La cantidad de café producido bajo sarán fue similar al café expuesto al sol (Fig. 2) indicando que la reducción de PAR en más del 50% no inhibió la floración.
9. Las diferencias en el rendimiento de beneficio no fueron significativas entre Caturra y Catimor.
10. El crecimiento de malezas fue fuerte solamente en las parcelas al sol y con poda total despues de la poda. Por ende, no había necesidad de aplicar herbicidas en las parcelas de poró alto (T3 y T4).

4. Discusión

Los datos de producción de este estudio refuerzan los argumentos a favor de manejar sombra en la zona de Turrialba. Por las contribuciones ecológicos de

los árboles (cf. Nair and Muschler 1993) es probable que un sistema agroforestal de este tipo sea más sostenible a largo plazo que un cafetal en plena exposición. Aunque el experimento es relativamente joven para evaluar efectos a largo plazo, el agotamiento de las plantas y la calidad inferior del fruto a plena exposición hace probable que la producción a largo plazo se reducirá en estas parcelas. En contraste, árboles asociados al café pueden ayudar a mantener tanto la cantidad como la calidad de producción. Así, en un estudio a largo plazo en Turrialba se encontró que la producción promedia de 8 cosechas de parcelas que no fueron fertilizadas pero que tenían sombra (estimado a menos de 30%) y biomasa de *Erythrina poeppigiana* superó la producción de parcelas al sol en un 65% (650 msnm; Ramirez 1993). Aparte de un mayor tamaño de grano también otros atributos de la calidad de grano pueden ser favorecido por la sombra (Barboza 1991).

5. Conclusiones y recomendaciones

Dado que la sombra homogénea y intermedia (T3 y T5) mejoró las condiciones vegetativas y productivos de los cafetos en comparación con los otros tratamientos, y que este sombreo ayudó a suprimir malezas, se recomienda un manejo de poró alto y abierto. Los porós se pueden manejar con podas selectivas para dar formación a los árboles y lograr una sombra homogénea y permanente del 20 al 60%. Este manejo es extensivo y no requiere de mucha mano de obra; además permite que los arboles entren a su ciclo fenológico con una defoliación corta que puede coincidir con la floración del café. El ahorro financiero por la supresión de malezas y la mejor calidad del grano bajo sombra permanente hace este sistema todavía más atractivo.

6. References

- Barboza O, G A, 1991. Calidad de la bebida y beneficiado en función de la fertilización del café (*Coffea arabica* L.) cultivado bajo sombra regulada y a plena exposición solar. Tesis Lic. Universidad de Costa Rica, Sede de occidente. 96 pp.
- Beer J W, Muschler R G, Somarriba E, Kass D, 1997. Shade management in coffee and cacao plantations - a review. *Agroforestry Systems* (in print)

- Fernandez C E, Muschler R G, 1997. Los sistemas de cultivo del café frente al desafío del ecodesarrollo. In: Bertrand B, Dufour B, Sallée B (eds). Desafíos de la Caficultura Centroamericana. CIRAD/IICA/PROMECAFE. 30 pp manuscript (in review)
- Fournier LA 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense* 12:131-46
- Nair PKR, Muschler RG 1993. Agroforestry. Pp. 987-1057 En: Pancel L (ed.). *Tropical Forestry Handbook Vol 2*. Berlin: Springer.
- Ramirez LG 1993. Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. pp 121-24 in: Westley SB and Powell MH (eds.) *Erythrina in the New and Old Worlds*. Paia, Hawaii: Nitrogen Fixing Tree Association.

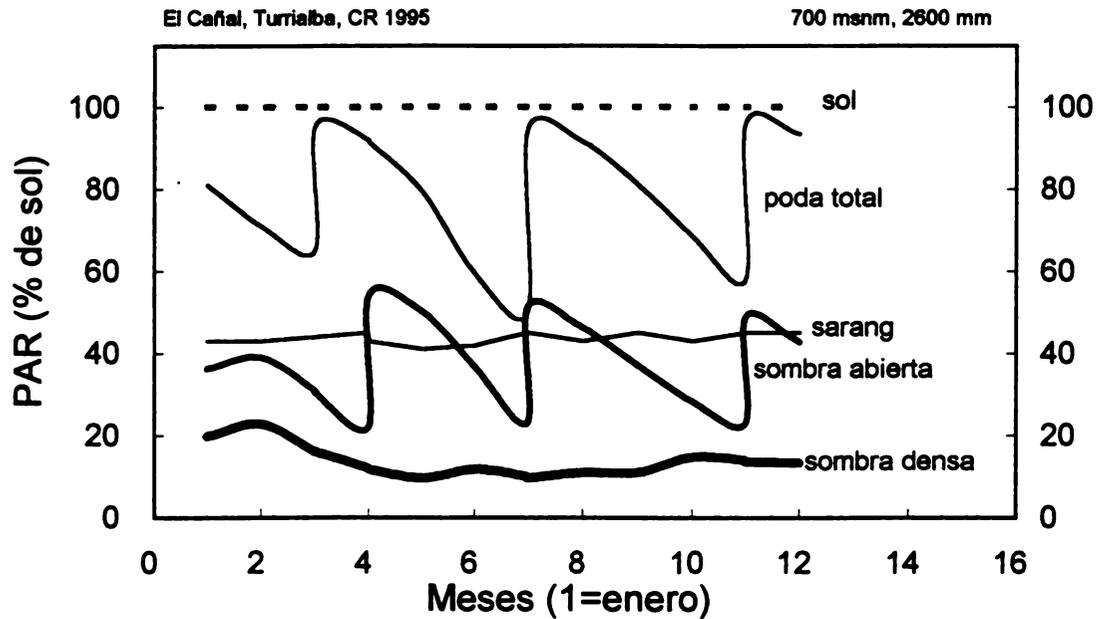


Fig 1. Niveles de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en los tratamientos con poró (*Erythrina poeppigiana*) y sarang de 50% a través de un año típico (promedios de cuatro bloques). Las oscilaciones en "poda total" y "sombra abierta" indican podas.

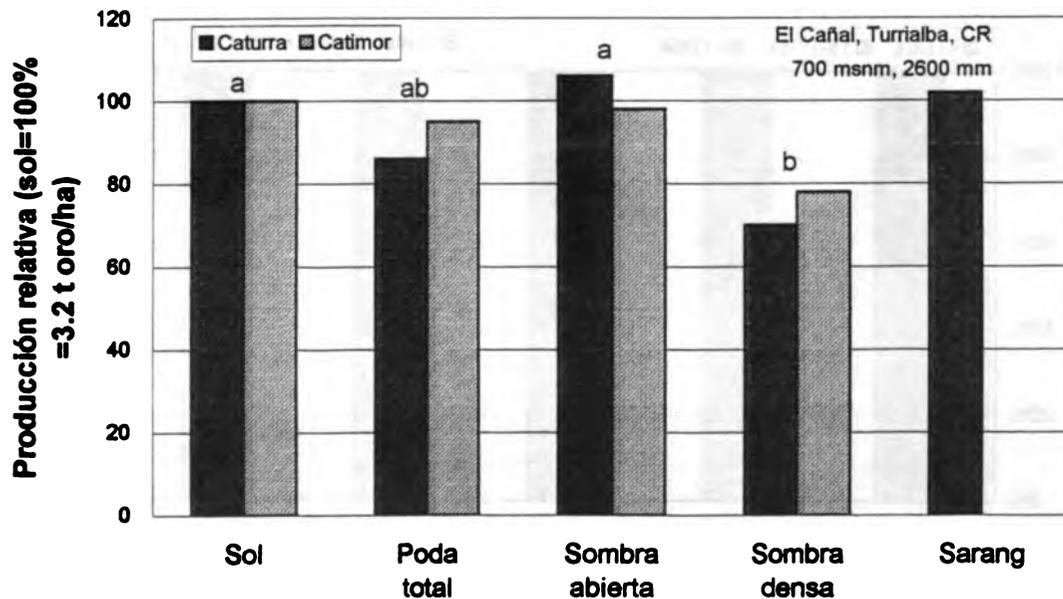


Fig 2. Producción de frutos de calidad de cafetos de 7 años de Caturra y Catimor 5175 bajo cinco niveles de sombra (cosechas 94/95 y 95/96). Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente (LSD @ $\alpha = 0.05$)

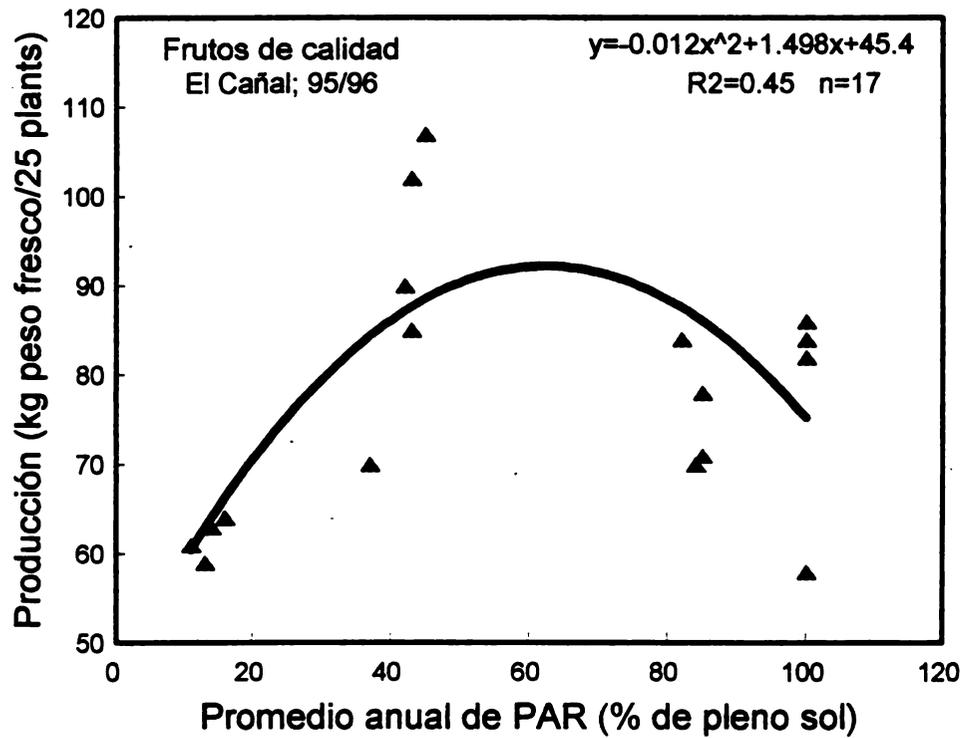


Fig 3. Producción de granos de calidad en función de la radiación fotosintéticamente activa (PAR)(promedio anual) disponible bajo *Erythrina poeppigiana* podada con diferentes intensidades.

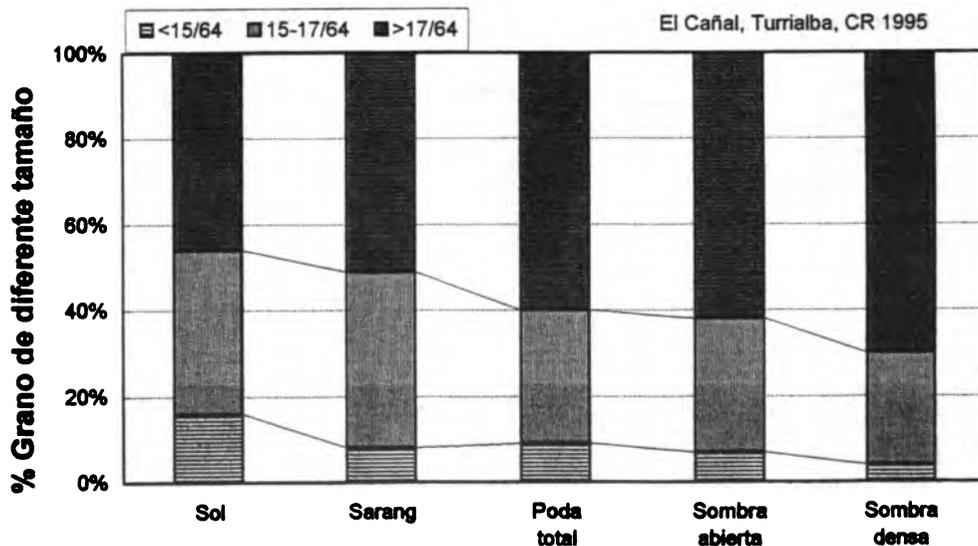


Fig 4. Distribución de tamaño de grano para café producido bajo diferentes niveles de sombra. Sombra aumenta el porcentaje de granos grandes drásticamente (diámetros en sesentaicuavros de pulgada).