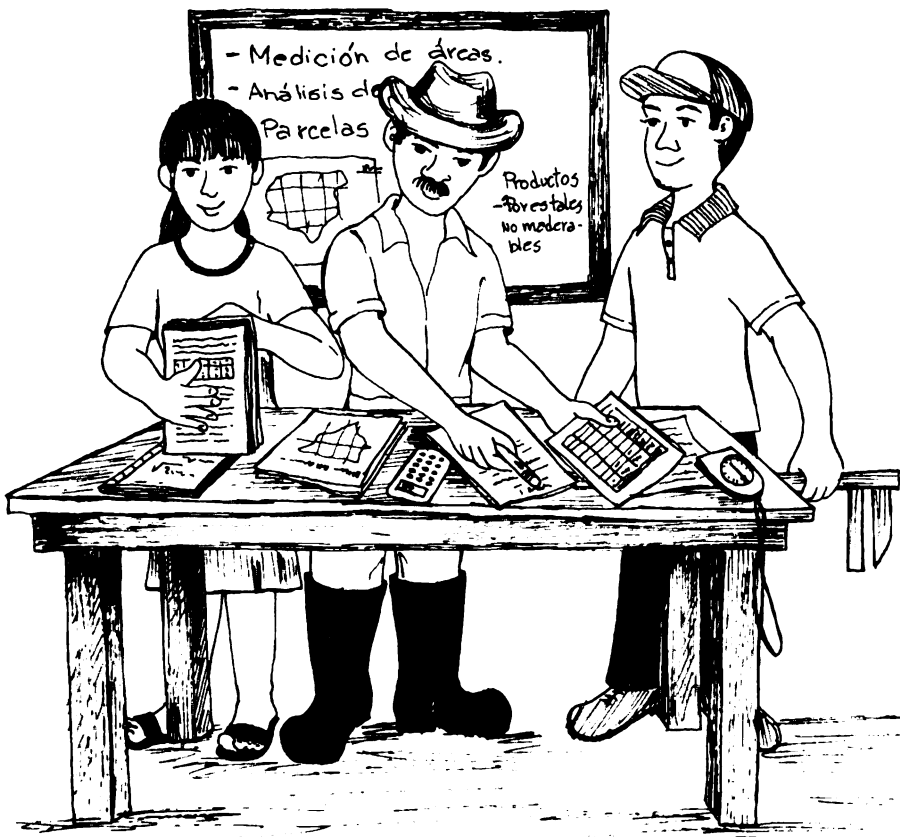


Capítulo 9

Análisis e interpretación de resultados de inventarios forestales

- 9.1 Introducción
- 9.2 Análisis del error de muestreo
- 9.3 Análisis de resultados básicos
- 9.4 Abundancia y frecuencia de especies comerciales al nivel de brinzales
- 9.5 Grupos ecológicos
- 9.6 Selección de sistema silvicultural
- 9.7 Determinación de parámetros silviculturales para la planificación del manejo del bosque
- 9.8 Bibliografía recomendada



Bastiaan Louman
Scott Stanley

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos en un inventario forestal son fundamentales para una buena planificación del manejo
Dibujo: Rocío Jiménez



Análisis e interpretación de resultados de inventarios forestales

9.1 Introducción

La mayoría de los textos de inventarios forestales en bosques tropicales hacen énfasis en el diseño y la planificación, la forma cómo coleccionar y presentar la información, los aspectos estadísticos, pero descuidan lo más importante, el análisis e interpretación de los resultados. Dada esta carencia de información, se decidió adicionar a este manual un capítulo relacionado con el análisis e interpretación de inventarios forestales. Para su elaboración se tomó como base la *Guía para la interpretación de resultados de un inventario forestal* de Scott Stanley (1997) y parte del Capítulo 6 del libro *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (Louman *et al.* 2001).

En un curso sobre manejo forestal celebrado en el CATIE, se discutió el sentido de los inventarios y por qué deberían tener un buen diseño, implementación y procesamiento de datos. Algunas observaciones interesantes tuvieron que ver con **el error de muestreo**; por ejemplo, un participante preguntó por qué el Estado exige un error de muestreo máximo si este dato no sirve de nada al estimar el volumen de caoba a extraer cada año; por qué un año sí tenía suficiente, y otro año no. Los participantes llegaron a la conclusión de que su interpretación del error de muestreo es incompleta, y en el subcapítulo 9.2 explicaremos por qué.

Otra persona mostró un plan de manejo realizado en su país a inicios de los años noventa. Explicó que el cálculo de la corta anual se hizo dividiendo el volumen existente de todas las especies comerciales entre el ciclo de corta. Este método se basa en la fórmula de von Mantel y es el método más sencillo para interpretar los datos de un inventario. Hasta hace poco tiempo, era muy útil cuando los únicos datos disponibles sobre los bosques tropicales eran los de inventarios forestales. La pregunta que surgió fue: *¿Es este método suficiente para asegurar la permanencia y el uso del bosque?* Ahora, varios años después, podemos afirmar que no es suficiente. Sí es una buena base para empezar, pero ahora sabemos suficiente sobre la dinámica de los bosques naturales tropicales en América Central y su silvicultura (ver por ejemplo Louman *et al.* 2001) y tenemos suficiente acceso a tecnología de información moderna, para aplicar una metodología un poco más compleja. En el subcapítulo 9.6 se presentará una metodología que se basa en el mismo principio pero considera además aspectos ecológicos y de producción. Para información detallada se recomienda leer a Vanclay (1994) y Alder (1995) sobre diferentes modelos de crecimiento y producción.

Además de explicar como interpretar el error de muestreo y la aplicación de un modelo simplificado de crecimiento como herramienta para determinar el marco silvicultural del manejo, en este capítulo estudiaremos otros aspectos relevantes para el análisis e interpretación de los inventarios forestales en bosques tropicales, tales como: el significado de las variables abundancia, área basal y volumen (subcapítulo 9.3), la importancia de los brinzales (subcapítulo 9.4) y la agrupación de especies según grupo ecológico (subcapítulo 9.5).



9.2 Análisis del error de muestreo

Antes de interpretar los resultados dasométricos procedentes de un inventario, es necesario calcular el error de muestreo para saber la confiabilidad de los mismos. En la mayoría de los países centroamericanos, la Administración Forestal del Estado (AFE) exige un error máximo permisible para el volumen total o área basal entre 15% y 20% a un nivel de 95% de confianza. Pero vale la pena preguntarse **¿Qué nos dice el error de muestreo?**

Para entender mejor el significado práctico del error de muestreo vamos a analizar un ejemplo de un inventario forestal real; se trata del sitio conocido como Arroyo Colorado en Petén, donde se inventarió una superficie de 5 000 ha con una intensidad de 1%, utilizando parcelas de 2 ha y un error de muestreo del 15%, al 95% de confianza (Cuadro 9.1 y Fig.9.1).

El error de muestreo establece el intervalo de confianza en el que se encuentra el promedio de la población, a una probabilidad deseada previamente definida

Cuadro 9.1 Resultados generales del inventario de Arroyo Colorado			
Parámetro	Todas las especies mayor a 25 cm dap	Especies comerciales mayor a 25 cm dap	Símbolo
Tamaño de parcela	2 ha	2 ha	
Número de parcelas	26	26	$T_{0.95} = 2,06$
Intensidad de muestreo	1%	1%	
Volumen promedio	64,2 m ³ /ha	11,7 m ³ /ha	μ
Varianza	534,12	61,78	S^2
Desviación estándar	23,11	7,86	S
Coefficiente de variación	36%	67,2%	$S/\mu * 100$
Límites de confianza	Inf. 54,9 Sup. 73,5	Inf. 8,5 Sup. 14,8	$\mu \pm t * S/\sqrt{n}$
Error de muestreo	14,5%	27,1%	$\frac{t * S/\sqrt{n} * 100}{\mu}$
Fuente: adaptado de Stanley (1994)			

De los resultados del inventario podemos interpretar que existe una alta probabilidad (95% de confianza) de que el volumen promedio verdadero de madera, **para toda la población**, se encuentre en un rango de 15% respecto a la media muestral; o sea, entre 54,9 y 73,5 m³/ha [64,2 ± (64,2 x 0,145)]. En otras palabras, el error de muestreo nos dice el intervalo de confianza en el que se encuentra el promedio de la población a una probabilidad deseada previamente definida.

Este rango fue planteado para todas las especies inventariadas, tanto comerciales como no comerciales. Si se considera sólo el volumen para especies comerciales, el error de muestreo sería mucho mayor y consecuentemente el rango entre el límite inferior y superior sería más amplio. En Arroyo Colorado, el error de muestreo para 13 especies comerciales mayores que el diámetro mínimo de corta (DMC) fue de 27%, casi el doble del error para todas las especies. Esto muestra que un área boscosa puede ser muy homogénea en cuanto al volumen total por unidad de superficie para todas las especies, pero a la vez heterogénea en cuanto al volumen comercial de determinadas especies, especialmente si ha sido aprovechada anteriormente.

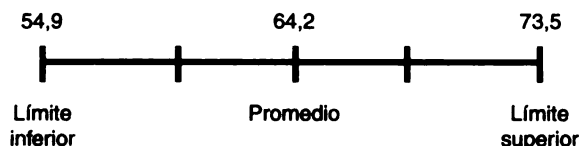


Figura 9.1 Promedio del volumen calculado en m^3 y límites de confianza al nivel de 95% para el inventario de Arroyo Colorado, Guatemala (≥ 25 cm dap, todas las especies)
Fuente: Stanley 1994

Muchas veces, los resultados del error de muestreo se interpretan en forma equivocada al considerar que el error encontrado corresponde a cada una de las especies y no al total en su conjunto. Esto ha traído como consecuencia una pérdida de credibilidad en los inventarios por parte de algunos usuarios e inclusive técnicos que interpretaron su cabal significado incorrectamente. Es por eso que, aunque no sea una exigencia de tipo legal, es conveniente señalar el error de muestreo de las especies comerciales a partir del DMC, lo que permitirá tener una mayor certeza del rango de los volúmenes reales que esperamos encontrar en el bosque y así evitar sorpresas desagradables. Implica también que los encargados de evaluar los planes de manejo deben ser flexibles y no exigir un error máximo basado en el volumen comercial, ya que para obtener errores menores de poblaciones limitadas se necesita un número mucho mayor de muestras lo cual encarecería el inventario. Lo importante es que se sepa **interpretar los resultados del inventario de acuerdo con el objetivo deseado**, y que se obtenga la mayor información posible que permita planificar adecuadamente el manejo.

En consecuencia, cabe la pregunta **¿Qué es lo que interesa evaluar en un inventario con fines de manejo: el volumen de todas las especies, solamente el de especies comerciales, o aspectos de estructura y composición florística de todas las especies?**. En realidad, los tres aspectos son importantes. Si fuera sólo un plan de aprovechamiento, definitivamente sólo interesaría el volumen de las especies comerciales, pero para fines de manejo, además del volumen comercial, interesa conocer la distribución por clase diamétrica del número de árboles, área basal y volumen por hectárea para cada una de las especies y grupos de especies, lo cual como veremos más adelante es muy útil para la toma de decisiones silviculturales.

9.3 Análisis de resultados básicos

9.3.1 Agrupamiento de especies según su importancia comercial

El primer paso en la interpretación de los resultados es agrupar las especies según su grado de aceptabilidad en el mercado. Dada la variabilidad en la demanda del mercado y los diversos productos finales, **el agrupamiento de las especies varía entre regiones y en el tiempo**. Por eso, es recomendable que se haga un estudio del mercado antes que se inicie la interpretación de los resultados, para saber cuáles especies se pueden vender actualmente y también en cuáles especies se van a enfocar los tratamientos silviculturales.



Además de proporcionar una idea del volumen aprovechable ahora y en el futuro, el agrupamiento de las especies en clases comerciales facilita la toma de decisiones silviculturales. Existen muchas clasificaciones para agrupar especies, algunas relacionadas con el pago del impuesto por el valor de la madera en pie. El "*Modelo de simplificación de planes de manejo para bosques naturales latifoliados en la región centroamericana*" (CATIE 1994) sugiere agrupar las especies en comerciales, potenciales y sin valor comercial, pero deja a cada país la opción de agruparlas de acuerdo a su conveniencia.

En Guatemala, la mayoría de planes de manejo de bosques latifoliados agrupan las especies en cinco grupos económicos:

- **AAACOM:** Especies altamente aceptables tanto en el mercado nacional como internacional, con un precio plenamente superior a las demás especies comerciales (caoba y cedro).
- **ACTCOM:** Especies que se pueden vender en el mercado nacional.
- **POTCOM:** Especies potencialmente comerciales por sus propiedades físico mecánicas o aprovechadas en otros países.
- **SINVAL:** Especies que no se prevé que tengan un valor económico de corto a mediano plazo.
- **VEDADO:** Especies que no se pueden cortar por prohibición legal.

En otros países se mantienen grupos similares, aunque los nombres y acrónimos pueden variar. En Honduras, por ejemplo, el grupo de AAACOM se llama "tradicional" e incluye, aparte de cedro y caoba, la especie valiosa redondo (*Magnolia yoroconte*).

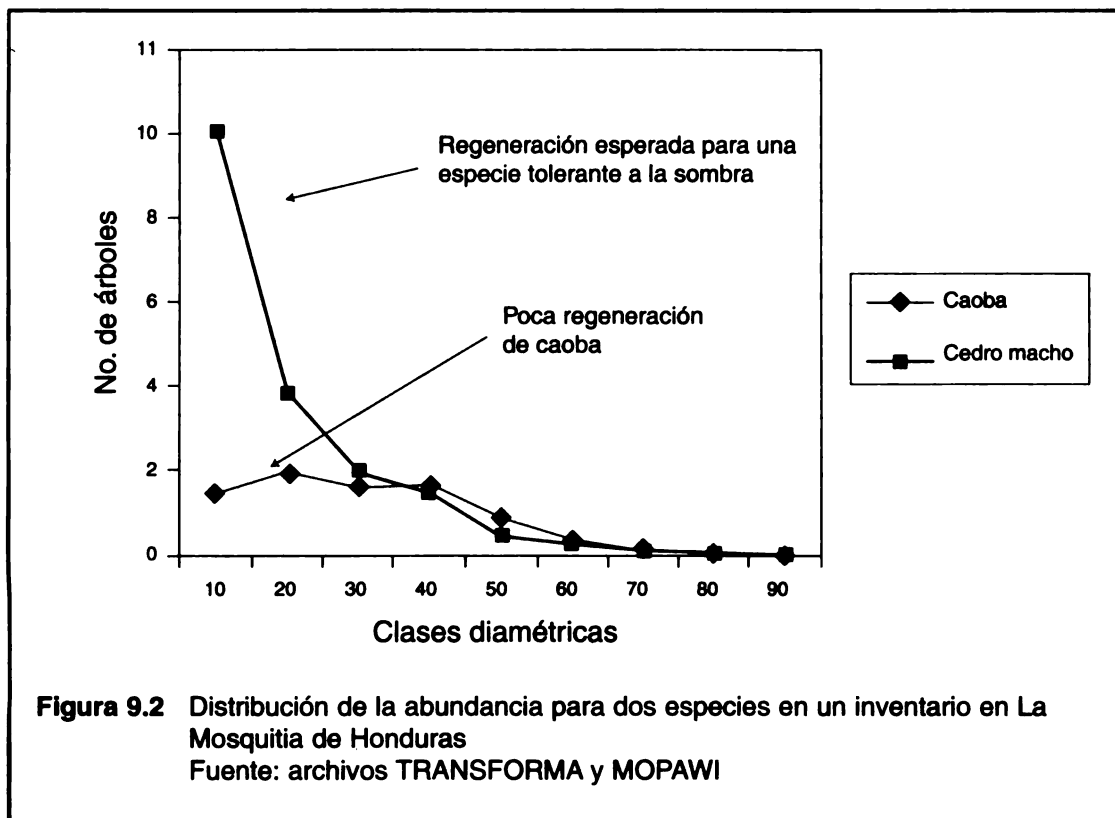
9.3.2 Abundancia

El análisis de la abundancia por especie, por grupo comercial y por clase diamétrica, proporciona información vital sobre la factibilidad de realizar un aprovechamiento comercial, la futura composición del rodal y además nos permite tener una idea sobre el grupo ecológico a que pertenece una determinada especie de interés.

Por ejemplo, si en un bosque primario no muy intervenido se encuentran más individuos de una especie en diámetros grandes en comparación con diámetros pequeños, esto implica que la especie no se regenera bien bajo sombra y es probable que sea una especie heliófita. La Fig. 9.2 muestra esta reacción usando la abundancia de una especie esciófita, cedro macho o caobilla (*Carapa guianensis*) y una heliófita durable, caoba (*Swietenia macrophylla*).

Cedro macho exhibe una distribución en forma de "**J invertida**", o sea una distribución normal para su grupo, mientras que caoba no tiene una pendiente pronunciada. Cabe mencionar que la clasificación de las especies en grupos ecológicos es compleja y, aparte de la abundancia, se necesita más información para agruparlas correctamente. Sin embargo, este método puede ser un indicador sencillo para tener una idea preliminar; más adelante, en el acápite 9.7, veremos cómo utilizarlo en casos con poca disponibilidad de información, para determinar los parámetros silviculturales más importantes (DMC, ciclo de corta, intensidad de corta, volumen de corta anual permisible) de los diferentes grupos de especies.

La abundancia de una especie, por grupo comercial y por clase diamétrica, permite tomar decisiones de manejo bien fundamentadas



9.3.3 Área basal

Para tener una mejor idea sobre la competencia que ocurre entre individuos en un rodal, lo ideal sería medir el ancho, la altura y la ubicación de todas las copas de los árboles en parcelas permanentes de muestreo. Dada la complejidad del bosque húmedo tropical, hacerlo resultaría demasiado costoso y estaría sujeto a muchos errores de medición. Sin embargo, hay una correlación lineal relativamente alta entre el diámetro de la copa y el del fuste. Al respecto, Dawkins (1963) mostró que para árboles que están en el dosel superior o mediano, la relación entre copa y dap es aproximadamente 20:1. Esta relación concuerda con datos de caoba en los bosques de Quintana Roo (Snook 1993). Dicha relación permite usar el parámetro del área basal como un indicador del nivel de competencia en el dosel. Si una especie ocupa el mayor porcentaje de área basal relativa (área basal de especie x 100/área basal total), significa que está dominando el sitio, aún si no es la más abundante. Esto implica que las copas de esta especie dominante están ocupando mucha área y probablemente estén bien iluminadas.

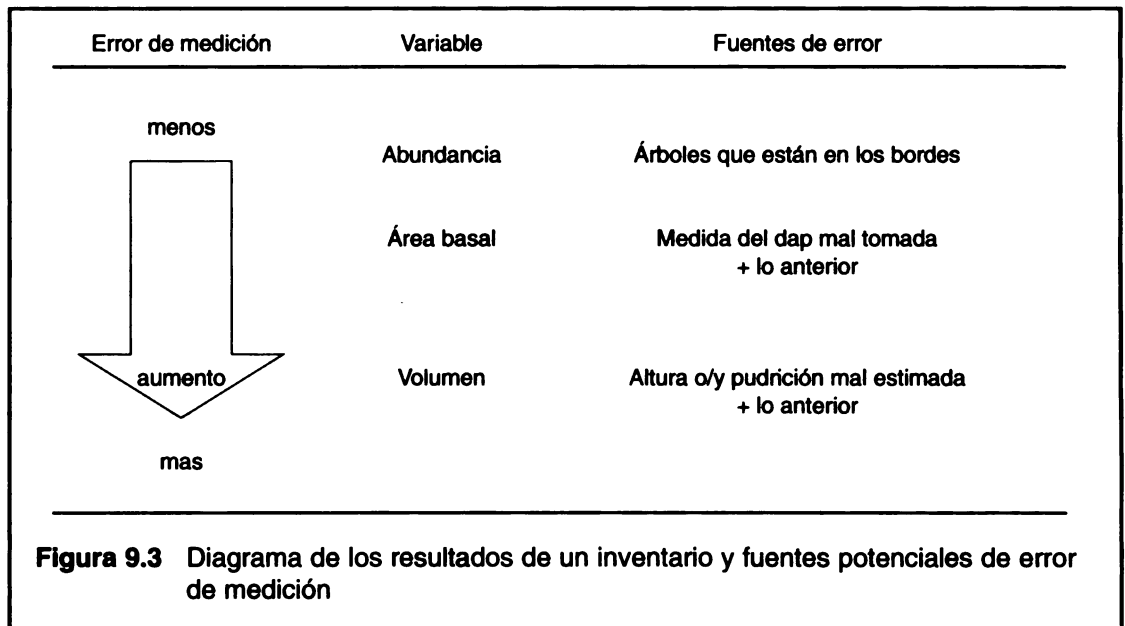
El área basal puede servir como un indicador del nivel de competencia en el dosel

El área basal total de un bosque primario no intervenido es un indicador de la calidad del sitio: **a mayor área basal, mejor calidad de sitio**. Para los bosques húmedos tropicales de bajura en Centroamérica, el área basal varía entre 10 y 35 m²/ha a partir de 10 cm dap. Esta variación se debe principalmente a factores del sitio, tales como la profundidad del suelo, drenaje y fertilidad, entre otros. Si para calidades de sitio conocidas, un bosque se acerca al área basal máxima encontrada en sitios de calidades similares, es muy probable que la competencia entre individuos en este sitio sea alta, y que un tratamiento silvicultural que elimine parte del área basal (no más del 40%) ayudaría a eliminar la competencia y mejorar el crecimiento de individuos de especies deseadas. Me-



diante un muestreo diagnóstico o muestreo silvicultural se puede determinar qué tipo de tratamiento se debe aplicar y con qué intensidad; tales metodologías se describen en detalle en Louman *et al.* (2001).

La distribución del área basal por grupos de especies y clases diamétricas también es útil para estimar el potencial que el bosque tiene de recuperar el volumen perdido por el aprovechamiento de madera. Esa metodología se discutirá en el subcapítulo 9.6. El área basal es una medida que toma en cuenta la cantidad y el tamaño de los árboles; por eso ofrece más información que sólo el número de árboles, e información más exacta que el volumen, porque este último se basa en una combinación de la medición del área basal y la estimación de la altura del árbol (ver Fig. 9.3).



9.3.4 Volumen de madera

La medición del volumen es obviamente el resultado más importante del inventario, pero -como se señaló en el acápite anterior y la Fig. 9.3- está sujeto a errores de medición. Un chequeo de calidad permite saber si se han cometido errores de medición; por ello, lo ideal es volver a medir algunas parcelas utilizadas durante el inventario (por ejemplo, 5%). Por razones de costo, raramente se puede hacer la revisión de calidad; entonces, el inventario debe ser ejecutado cuidadosamente y los resultados de volumen deben servir para decidir sobre el orden cronológico de áreas de aprovechamiento anual (AAA) y para dar una idea del volumen aprovechable en el presente.

Existen varios **programas de computadoras** para el procesamiento de los datos de inventarios. Uno de estos es el Inventario para Bosques Latifoliados (IBL), desarrollado con base en experiencias en los bosques de pino en Honduras, y luego adaptado para su uso con inventarios en bosques latifoliados centroamericanos. Este programa permite ingresar modelos de volumen diferentes para cada especie y, si la información existiera, por sitio. Con este tipo de programas es importante verificar que los modelos utilizados sean los más apropiados para los bosques a inventariar. En Honduras, por ejemplo, se utilizan

Los modelos de volumen que se utilicen deben ser los más apropiados para los bosques a inventariar

Análisis e interpretación de resultados de inventarios forestales



los modelos o fórmulas de Roper; en Guatemala, modelos elaborados con el apoyo de la FAO; en Costa Rica, la fórmula de Loján (1966), además de un modelo específico para gavián (*Pentaclethra macroloba*) y existen recomendaciones para modelos de especies de bosques de altura (Segura y Venegas 1999). En Nicaragua se utiliza un modelo general, también elaborado con el apoyo de la FAO (Cuadro 9.2). En el caso de que no existan estudios locales que den información sobre la relación área basal – volumen, se puede utilizar el modelo general:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \text{área basal (m}^2\text{)} * \text{factor de forma} * \text{altura (m)}.$$

Cuadro 9.2 Ejemplos de modelos de volumen utilizados en algunos países de América Central*			
País	Modelo (volumen comercial total)	Especies	Fuente
Costa Rica	$V = 0,000248 (\text{dap})^{1,81847} (\text{h})^{0,64862}$	<i>Pentaclethra macroloba</i>	MIRENEM 1994
	$\text{Log } V = 2,03986 (\text{log } \text{dap}) + 0,779 (\text{log } \text{h}) - 4,07682$	Otras especies	Loján 1966
	$\text{Ln}V = -8,9485 + 1,9093 (\text{Lndap}) + 0,8379 (\text{Lnh})$	<i>Quercus costaricensis</i>	Segura y Venegas 1999
	$\text{Ln}V = -9,4697 + 2,0369 (\text{Lndap}) + 0,8285 (\text{Lnh})$	<i>Quercus copeyensis</i>	
	$\text{Ln}V = -9,4393 + 2,0742 (\text{Lndap}) + 0,8132 (\text{Lnh})$	Otras especies	
Guatemala	$V = 0,0567 + 0,5074 \text{dap}^2 * \text{h} (1-D/100)$	General	UNEPET 1992 citado en Carrera 1996
Honduras	$a*(\text{dap}^2*\text{h})\text{b}$	<i>Brosimum alicastrum</i> <i>Calophyllum brasiliense</i> <i>Dialium guianense</i> <i>Swietenia macrophylla</i> <i>Terminalia amazonia</i> <i>Tetragastris panamensis</i> <i>Virola</i> spp. <i>Vochysia hondurensis</i>	Programa IBL
	$a+b*\text{dap}^2*\text{h}+c(\text{dap}^2*\text{h})^2$ $0,5*(\text{dap}/100)^2*0,7854*\text{h}$	otras especies	modelo general, factor de forma 0,5
Nicaragua	$V = a*(\text{dap}^2*\text{h})^b$	<i>S. macrophylla</i> , <i>T. amazonia</i> , <i>T. panamensis</i> , <i>D. guianense</i> , <i>Virola koschnyi</i> , <i>Brosimum</i> sp.	UCA Proyecto Madera – Silvicultura 1995
	$V = a*\text{dap}^b*\text{h}^c$	<i>C. brasiliense</i> , <i>Pouteria</i> sp. <i>Hyeronima</i> <i>alchorneoides</i> , <i>Lonchocarpus</i> <i>latifolius</i> , <i>Sacoglottis</i> <i>trichogyna</i>	
	$V = 1,10834 + (0,0000465*\text{dap}^2*\text{h}) - 3,7885*10^{-12} * (\text{dap}^2*\text{h})\text{N}^2$	Todas las otras especies	
Donde: V = volumen comercial total, dap = diámetro altura de pecho, h = altura comercial, e = 2,718, a,b, y c son constantes, D = % defecto. * A los interesados en la teoría de los modelos de volumen se recomienda leer el libro Prodan et al. (1997)			



En la determinación del volumen es importante indicar si se trata del volumen comercial total o **volumen comercial neto**. El último es el volumen comercial total menos un factor que refleja el porcentaje de defectos que se estima que tengan los individuos de las especies inventariadas. En inventarios regionales a menudo se hace un estudio anterior al inventario para determinar este factor, por lo menos para las especies más importantes.

Una vez que esté claro qué significan los volúmenes calculados en el inventario, podemos hacer una primera interpretación de los datos. Lo más importante para el manejo, desde el punto de vista financiero, es si hay suficiente volumen en total y por hectárea como para hacer un aprovechamiento de madera. Aunque este no solamente depende de las existencias actuales, como veremos en el subcapítulo 9.7, sí podemos tener una primera impresión con la cantidad de volumen existente por grupos de especies comerciales y por hectárea, suponiendo un DMC preliminar de 50 o 60 cm, según la costumbre en el país.

El plan de manejo de La Mónica, municipio de El Castillo, sur de Nicaragua, por ejemplo, presenta un cuadro con la información general del volumen distribuido en tres clases diámétricas (Cuadro 9.3). En este cuadro se puede observar que para las especies comerciales hay 16 m³/ha de madera en individuos con dap mayor a 60 cm y otros 5 m³/ha en los individuos con dap entre 40 y 60 cm. Sólo hay unos 8 m³/ha en las clases menores. Suponemos que se aplicaron las fórmulas más apropiadas para calcular el volumen y que el diseño y la implementación del inventario fueron también apropiados; podemos, entonces, decir en forma preliminar que se va a poder sacar un volumen de entre 10 y 15 m³/ha aplicando un DMC de 40 cm (el DMC común en Nicaragua en los años 90). Si este volumen es económicamente viable, vale la pena continuar con la interpretación de los datos del inventario y elaborar el plan de manejo para el aprovechamiento comercial. En caso contrario, hay que buscar otras alternativas de manejo u otros sistemas de aprovechamiento que sí sean beneficiosos económicamente. En el subcapítulo 9.7 veremos cuánto realmente se puede extraer del bosque, tomando en cuenta el potencial productivo y otros factores ecológicos y económicos.

El beneficio económico esperado determina la viabilidad del aprovechamiento. El aprovechamiento no se justifica si el volumen de madera es reducido

Cuadro 9.3 Volumen por clases diamétricas y grupo comercial del bosque La Mónica, Municipio El Castillo, Río San Juan, Nicaragua								
Grupo	Clases diamétricas						Total	
	10-39,9 cm		40-59,9 cm		>60 cm		m ³ /ha	%
	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
Comerciales	8	19	5	29	16	24	29	23
Potencialmente comerciales	6	15	5	29	29	46	41	33
No comerciales	27	66	8	42	19	30	54	44
Total	41	100	18	100	64	100	124	100

Fuente: Tomado de UCA Proyecto Madera – Silvicultura (1995)



9.4 Abundancia y frecuencia de especies comerciales al nivel de brinzales

En general, las esciófitas tienen una abundancia mayor que las heliófitas al nivel de brinzal y latizal. En ese sentido, y considerando los requisitos ecológicos para dicho gremio, un **sistema policíclico** no perjudicará la regeneración de este gremio.

Para estimar el número recomendado de brinzales podemos considerar, como punto de partida, la cantidad que normalmente se siembra en plantaciones (1 100 brinzales/ha). La competencia entre los árboles y otras especies arbóreas no existe en una plantación, lo cual no es el caso de los brinzales en bosques naturales; por eso el número recomendado de brinzales comerciales debe ser más de 1 100 por ha. Dada la alta tasa de mortalidad bajo condiciones naturales, se recomiendan 2 000 brinzales/ha como una cantidad adecuada. Dawkins (1958) para los bosques de Uganda, África consideró que 2 000 brinzales/ha era una cifra adecuada, mientras otros investigadores han propuesto rangos aceptables de 988 a 2 470 brinzales/ha (Barnard 1950, Wyatt-Smith 1961). La definición de brinzal ha cambiado entre investigadores y con el tiempo; por lo tanto, hay que tener cuidado al comparar entre sitios.

La **medida de frecuencia**, o sea, la distribución espacial para el conjunto de especies comerciales a veces es más importante que la abundancia; especialmente para las heliófitas. Estas especies con frecuencia aparecen en manchas (grupos) y no bien distribuidas en el bosque. Por lo tanto, su regeneración juvenil también tiende a ser muy dispersa (Hubbell 1979). Un muestreo forestal normalmente pone poco énfasis en, precisamente, determinar la abundancia de brinzales; por lo tanto, se instalan pocas parcelas de regeneración. Puede ser posible que durante el inventario se encuentre un alto número de brinzales para una especie, pero sólo en unos pocos lugares, lo que resulta en un promedio de abundancia que proporcionará una idea errónea de su distribución. Por eso, se recomienda usar la frecuencia también como un indicador del nivel de ocupación. En Malasia se consideró que un área estaba adecuadamente regenerada cuando el 40% de las parcelas (4 m²) estaban ocupadas por un brinzal de especie comercial (Barnard 1950).

En el caso de Malasia, se aplicó el muestreo de regeneración dentro del marco de un sistema silvicultural monocíclico, con cosechas intensivas para sacar todo el dosel superior en una sola vez. Como consecuencia, las futuras cosechas dependen directamente de los brinzales que quedan después de la cosecha. En América Central, los sistemas son policíclicos, y las cosechas son mucho menos intensivas, ya que se cortan en casos extremos hasta 12 árboles/ha. El bosque se mantiene relativamente cerrado y, por ende, la oportunidad de reclutamiento de brinzales se mantiene aún después del aprovechamiento. Por esta razón es menos importante que haya ya una cierta cantidad de brinzales presentes antes del manejo, en el momento del primer inventario del bosque. El aprovechamiento, y luego los tratamientos silviculturales, afectarán directamente las oportunidades de reclutamiento y supervivencia de los brinzales. Por ello, los datos sobre brinzales obtenidos en el primer inventario en realidad sólo brindarán información sobre la posibilidad de ciertas especies de regenerar en el bosque no intervenido. Además, cuesta conseguir personal capacitado en la identificación de las especies al nivel de brinzales.



Datos más confiables y orientados a las condiciones del manejo pueden obtenerse de estudios especiales o muestreos después del aprovechamiento; por esta razón hay que tener mucho cuidado al interpretar la información de inventarios generales. En general, se recomienda no gastar mucho esfuerzo en tomar datos de brinzales en inventarios antes del aprovechamiento. Más bien, recomendamos aplicar muestreos orientados a la regeneración después del aprovechamiento y varias veces durante cada ciclo de corta, ya sea aplicando la metodología propuesta por Sáenz y Finegan (2000), o por medio de muestreos diagnósticos descritos por Hutchinson (1993), Quirós (1998) o Stanley (1998).

9.5 Grupos ecológicos

Idealmente, las especies deben agruparse por grupo ecológico antes del análisis e interpretación de la información de los inventarios. Esta agrupación se puede hacer con base en el comportamiento de las especies bajo las condiciones prevalecientes en el bosque inventariado. El comportamiento es determinado por las estrategias de reproducción y desarrollo de las especies, y generalmente se relaciona con las exigencias de luz de la especie en las diferentes fases de su desarrollo (Clark y Clark 1987, Finegan 1993), aunque no es el único factor que determina esas estrategias (Clark 1994, Asquith 2002). Es importante distinguir entre **especies exigentes** en la cantidad de luz durante las primeras fases de desarrollo (pioneras según Whitmore 1984, o heliófitas según Lamprecht 1990 y Finegan 1993) y **especies tolerantes** a la sombra que pueden reaccionar con mayor crecimiento cuando reciben mayor cantidad de luz (clímax o esciófitas según Whitmore 1984, Lamprecht 1990, Finegan 1993). El grupo de las esciófitas es grande, hasta 75% de las especies arbóreas de un bosque, aunque dentro del grupo existen muchas diferencias en cuanto a estrategias de desarrollo y reproducción que no se puede explicar sólo por diferencias en exigencias por luz (Asquith 2002). Finegan (1993) señala además un tercer grupo importante para el manejo forestal: las **heliófitas durables**, que se portan como heliófitas, pero difieren en semillas (menos durables y más grandes) y tienen una duración de vida mucho más larga; varias de las especies más valiosas de la región forman parte de este grupo (cedro, caoba, redondo).

En líneas generales, los tres grupos se caracterizan por sus distribuciones diamétricas en inventarios de bosques primarios no intervenidos o poco intervenidos. Las especies heliófitas tienen una frecuencia baja y aparecen sólo en las clases diamétricas menores (hasta 40 cm dap). Las heliófitas durables presentan una distribución diamétrica en forma de campana o bimodales (con dos o más picos), generalmente con un pico en las clases diamétricas mayores. Muchas de las esciófitas presentan, por lo general, una distribución con muchos individuos en las clases diamétricas menores y menos en las clases superiores (J invertida), aunque muchas especies tienen una distribución irregular o nunca llegan a diámetros mayores, ya sea por la baja frecuencia con que ocurren en el bosque, por efectos de sitio, o por ser especies del sotobosque.

Para el manejo, vale la pena distinguir cuatro grupos de distribuciones diamétricas: especies con muy pocos individuos (son escasas), especies sin árboles grandes (pueden ser heliófitas, pero también árboles del sotobosque o especies que no se ajustan a las condiciones de sitio), especies sin regeneración (la mayoría de ellas heliófitas durables) y especies con una distribución diamétrica continua, en forma de J invertida (probablemente esciófitas sin problemas de regeneración bajo dosel o en claros pequeños). Estos cuatro grupos no cubren todas las especies en el bosque, pero son los que más claramente requieren de diferentes sistemas silviculturales. El manejo que se vaya a aplicar debe

El comportamiento de una especie es determinado por sus estrategias de reproducción y desarrollo, y generalmente se relaciona con las exigencias de luz en las diferentes fases de su desarrollo

Un buen sistema de manejo debe tomar en cuenta la importancia relativa de cada grupo de especies en términos comerciales y ecológicos



tomar en cuenta la importancia relativa de cada grupo en términos comerciales y ecológicos. El Cuadro 9.4 muestra ejemplos de la distribución diamétrica de cada grupo.

Cuadro 9.4 Ejemplos de distribuciones diamétricas típicas para especies de diferentes grupos ecológicos										
Especie	Clases diamétricas (cm)									Observaciones
	10-19,9	20-29,9	30-39,9	40-49,9	50-59,9	60-69,9	70-79,9	80-89,9	90+	
<i>Simarouba glauca</i>						0,1				Escasa
<i>Miconia sp.</i>	7,4	2,0								Sotobosque
<i>Cecropia peltata</i>	9,5	6,1	3,4							Heliófito
<i>Magnolia yoroconte</i>		0,7			0,1	0,4	0,5	0,3	0,3	Heliófito durable
<i>Vochysia cf jefensis*</i>	19,6	15,5	7,4	2,0	1,9	0,9	1,2	1,2	0,5	Adaptado a disturbios
<i>Dialium guianense</i>	2,0	0,7	0,7	1,4	0,7	0,5		0,1		Esciófito

Fuente: Inventario de Toncontín, archivos del proyecto CATIE/TRANSFORMA
 * No es una típica esciófito; su distribución de J invertida probablemente se deba a que se adapta bien a la dinámica de disturbios (huracanes frecuentes) en la zona (Ferrando *et al.* 2001).

Esta agrupación ayuda mucho a **interpretar los datos** de los inventarios y a **planificar la silvicultura** del bosque, pero hay que tener cuidado y utilizar información ecológica adicional de las especies de mayor interés, ya que no hay dos especies que se comporten igual, a pesar de tener distribuciones diamétricas iguales. Por ejemplo, *Vochysia cf jefensis* se adapta muy bien a condiciones locales difíciles, con huracanes frecuentes. En Guatemala, Gálvez (1996) clasifica a canxán (*Terminalia amazonia*) y cedro como heliófitas durables, pero canxán puede mantenerse como brinzal sin crecer en el sotobosque por muchos años, mientras que el cedro se muere usualmente en un año. En ambos ejemplos, utilizar sólo la distribución diamétrica como insumo de planificación podría llevar a propuestas silviculturales que no responden a las necesidades ecológicas de las especies.

9.6 Selección de sistema silvicultural

Una vez procesados los datos de un inventario, los resultados pueden dar una buena idea del sistema silvicultural más apropiado para el bosque a manejar. El sistema más apropiado obedece al concepto de sostenibilidad. Para definir la **sostenibilidad en el manejo forestal**, este manual se acoge a la definición de la OIMT (1992): "...es el proceso de manejar la tierra boscosa en forma permanente para lograr uno o más objetivos claramente especificados en relación con un flujo continuo de productos forestales y servicios, sin una reducción indebida de productividad futura y sin efectos no deseados significativos en el ambiente físico y social."

Es importante separar acciones de manejo dirigidas a mantener la sostenibilidad a mediano y largo plazo. La **sostenibilidad a mediano plazo** se refiere a una serie de aprovechamientos, en donde se vuelven a cosechar las mismas especies en cantidades semejantes a las que se tenían al principio; o sea que entre un ciclo de corta y otro en la misma



área, el rendimiento no debe disminuir sustancialmente. El raleo de liberación, el cual tiene el propósito de aumentar la tasa de crecimiento de ciertas especies seleccionadas, es una acción dirigida hacia la producción sostenible a mediano plazo. Si este tratamiento logra aumentar la tasa de crecimiento de los individuos inmaduros, se podría reducir el ciclo de corta, con lo que se logra un área anual de aprovechamiento más grande y mayor volumen por año.

La **sostenibilidad a largo plazo** tiene que ver con los esfuerzos dirigidos, al nivel de especie, para asegurar una regeneración adecuada; este es el principio fundamental de un sistema silvícola. Aquí aportaremos algunas consideraciones para responder a la pregunta, *¿Qué esquema de manejo sería más exitoso para regenerar las especies comerciales: el monocíclico o el policíclico?*. Dado que en la actualidad se aprovechan relativamente pocas especies forestales en Centroamérica, y que varias de estas especies tienen requisitos ecológicos diferentes para su regeneración, el contestar la pregunta anterior no es tan fácil; se necesita como mínimo la siguiente información:

- Agrupamiento ecológico de las especies comerciales
- Abundancia y frecuencia de las especies comerciales a nivel de brinzales
- Distribución diamétrica de los árboles individuales por grupos de especie

Los primeros dos puntos se analizaron en los subcapítulos 9.4 (abundancia de brinzales) y 9.5 (grupos ecológicos). En el siguiente acápite hablaremos del uso de la distribución diamétrica de los árboles individuales por grupos de especie para proponer un sistema silvicultural.

9.6.1 Análisis de la distribución diamétrica de los árboles individuales

Para el análisis de la distribución diamétrica de los fustales por grupo de especie se determina, en primera instancia, la distribución diamétrica de los árboles a partir de 10 cm (o 25 o 30 cm, dependiendo del diámetro mínimo inventariado) de todas las especies. La Fig. 9.4 muestra un ejemplo de la distribución diamétrica de todas las especies de un bosque en Honduras. En general, los bosques latifoliados húmedos tropicales presentan una distribución en forma de J invertida: hay muchos individuos en las clases diamétricas pequeñas, pero a medida que el diámetro aumenta, disminuye el número de individuos, casi en forma logarítmica. Por lo general, esto quiere decir que el bosque es dinámico y no requiere intervenciones específicas para mantener la estructura existente. Si también la composición se mantuviera, un sistema policíclico sería muy apropiado, entrando al bosque dos o más veces para cosechar árboles maduros durante la vida de un árbol.

J Invertida: hay muchos individuos en las clases diamétricas pequeñas, pero a medida que el diámetro aumenta, disminuye el número de individuos

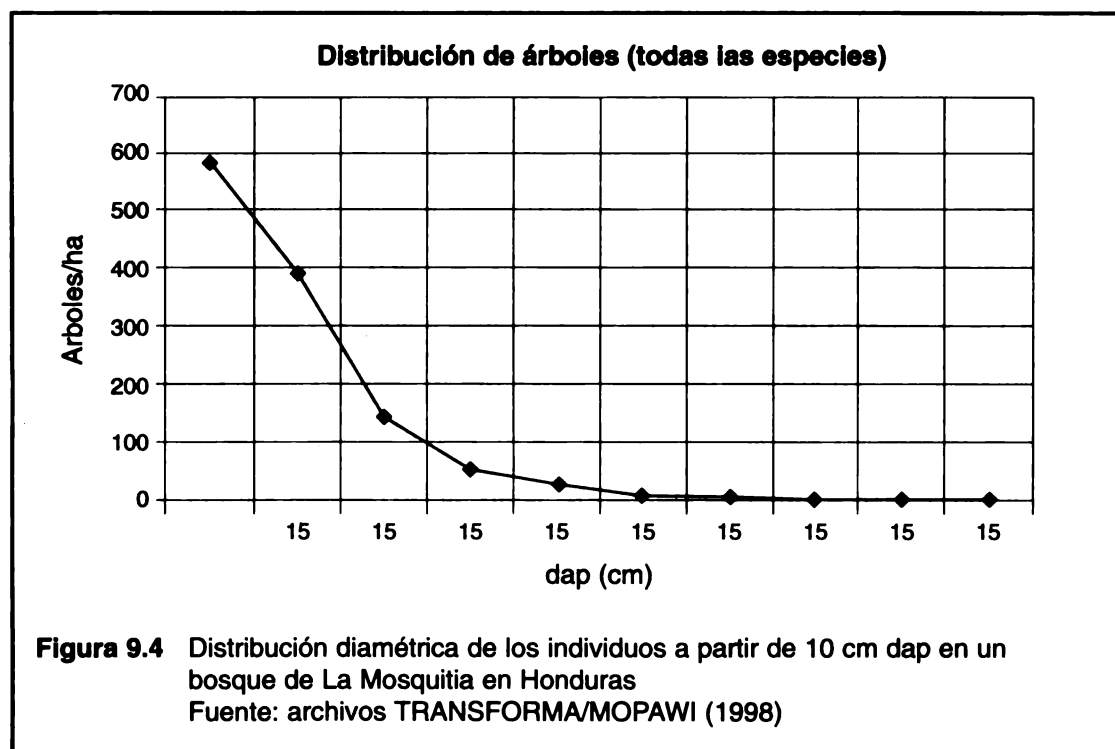
Sin embargo, esta distribución no es igual para todas las especies. Como se aprecia en la Fig. 9.2, mientras que *Carapa guianensis* sigue una distribución similar, y entonces podría ser manejada con un sistema policíclico, *Swietenia macrophylla* muestra regeneración deficiente, lo que sugiere la necesidad de un sistema que deje suficiente tiempo para que la especie se recupere; o sea un sistema monocíclico, que remueve el dosel superior y la próxima cosecha será cuando la nueva regeneración haya crecido (60 o más años). En Louman *et al.* (2001) encontrará una descripción más detallada de los sistemas silviculturales con ejemplos de América Central. En la práctica, es importante reconocer las especies que requieren de un **tratamiento diferenciado**. Sin embargo, no se pueden aplicar diferentes sistemas al mismo tiempo. Entonces, al tomar decisiones sobre el sistema por aplicar hay que establecer prioridades: cuáles son las especies más importantes, cómo mantener el bosque como ecosistema de la mejor manera, y qué aspectos de



conservación de la biodiversidad y protección de suelos y fuentes de agua hay que cuidar. Para los bosques latifoliados húmedos de América Central, un sistema policíclico parece ser la mejor opción, aunque en algunos sitios hay que ajustarlo para permitir la regeneración de especies heliófitas durables, como la caoba (*S. macrophylla*). En la Fig. 9.2 se observa que hay pocas caobas en las clases diamétricas inferiores, y entonces es necesario tomar medidas para disminuir su mortalidad natural (por ejemplo, eliminando sus competidores) y propiciar la instalación de la regeneración en claros más grandes para sostener la especie a largo plazo.

Hay que tomar en cuenta que los datos de los inventarios para especies individuales son menos confiables que los promedios para todas las especies (ver análisis sobre el error de muestreo en subcapítulo 9.2). Por esta razón se recomienda analizar la distribución diamétrica de los árboles individuales por grupos de especie, preferiblemente por grupo ecológico.

Al decidir sobre el mejor sistema silvicultural se debe dar prioridad a aspectos como: especies más importantes, conservación del ecosistema y de la biodiversidad, protección del suelo y de fuentes de agua



9.7 Determinación de parámetros silviculturales para la planificación del manejo del bosque

El marco de sistemas silviculturales policíclicos en bosques con poca disponibilidad de información sobre su dinámica está determinado por cuatro parámetros que, por un lado, limitan el aprovechamiento, y por otro, buscan mantener la estructura, composición y dinámica del bosque dentro de márgenes ecológicos aceptables. En la práctica significa que, si se aplican bien el marco silvicultural y el aprovechamiento de impacto reducido, el bosque se recuperará en el siguiente ciclo de corta.



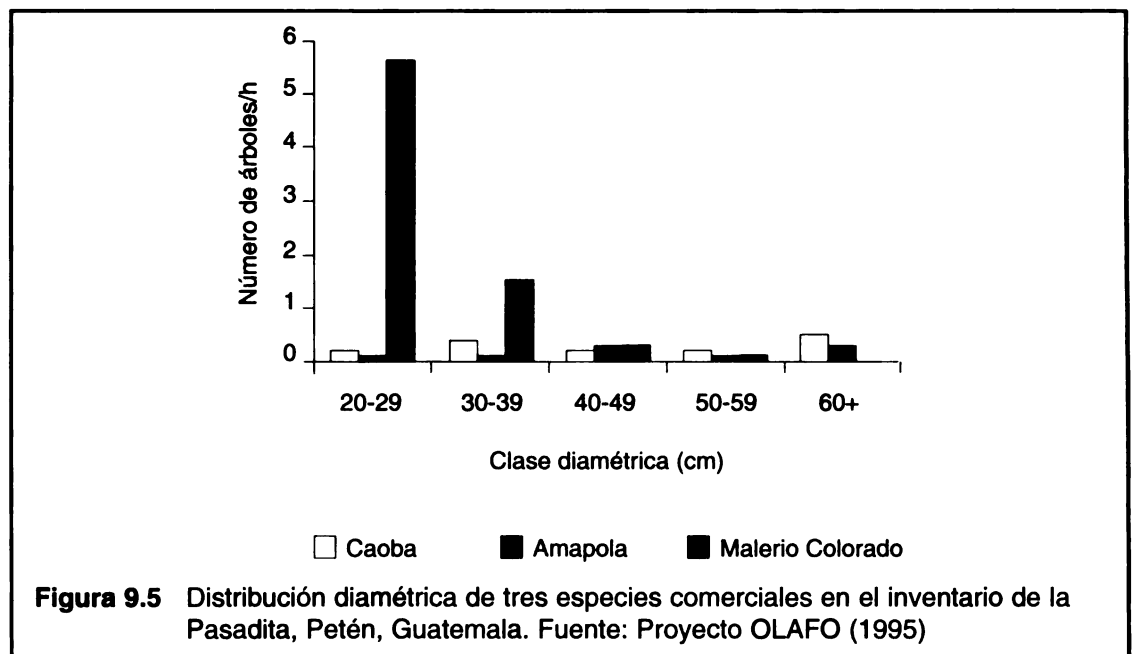
Los parámetros más importantes del **marco silvicultural** son el diámetro mínimo de corta, el ciclo de corta, la intensidad de corta y, derivado de estos, el volumen anual de corta permisible. En muchos de los bosques naturales tropicales no existe información detallada sobre el potencial productivo del bosque, por especie y por tamaño del individuo; entonces, estos parámetros se suelen determinar con base en datos del inventario general, o de PPM en bosques similares. En este proceso se toman en cuenta aspectos ecológicos, técnicos, sociales y económicos. En esta sección se presenta un método simplificado para determinar los cuatro parámetros, utilizando la información de inventarios forestales.

9.7.1 El diámetro mínimo de corta (DMC)

Es importante que el técnico que elabora el plan de manejo entienda cómo justificar la determinación del DMC según los datos del inventario y datos aceptables sobre la dinámica del bosque o bosques similares en la región. Si bien las normas legales de los países de Centroamérica tienen diámetros de corta predefinidos, estas mismas normas dejan abierta la posibilidad de proponer DMC diferentes, previa justificación técnica. En este acápite se muestra un método sencillo para definir el DMC y se mencionan otras consideraciones a tomar en cuenta en la determinación del DMC.

Distribución diamétrica

El método más sencillo para definir el DMC es mediante un análisis de la distribución diamétrica de la especie de interés. No tiene sentido fijar un DMC de, por ejemplo, 60 cm si la distribución diamétrica muestra que muy pocos individuos alcanzan este diámetro. La Fig. 9.5 ilustra dicha situación para malerio colorado (*Aspidosperma megalocarpon*). Como se ve, hay individuos de caoba (*S. macrophylla*) y amapola (*Pseudobombax ellipticum*) mayores de 60 cm, pero no se encontraron árboles de malerio en esta clase. Si estamos seguros de que la falta de individuos grandes de esta especie no se debe a un aprovechamiento anterior, entonces, el DMC para malerio tiene que ser menor de 60 cm dap, y muy probablemente menor de 50 cm, dados los pocos individuos en la clase 50-59 cm.





Otras **consideraciones** que hay que tomar en cuenta en la decisión sobre el DMC son:

- El DMC tiene que ser inferior al diámetro de la mayoría de los individuos que se encuentran podridos. Estos aspectos se pueden conocer mediante el control de registros durante el aprovechamiento por especie y diámetro.
- Entre menor sea el DMC, mayor será el porcentaje de desperdicios del aserrío, especialmente con equipo rústico; esto dificulta el aprovechamiento de diámetros menores de 40 cm.
- Los costos por m³ de madera extraída aumentan con diámetros menores.

Balance entre uso y conservación

Las consideraciones anteriores son las que más se han aplicado, sea de forma conciente o por sentido común. Sin embargo, los efectos negativos del aprovechamiento en la capacidad del bosque para producir y reproducir han llevado a reconocer la importancia de buscar un balance entre el uso y la conservación del bosque. La determinación del DMC puede jugar un papel en la búsqueda de este balance, si se toman en cuenta **consideraciones ecológicas**, relacionadas con el potencial de crecimiento de las especies en el bosque y la conservación de un alto nivel de capacidad reproductiva.

Las siguientes son algunas de las consideraciones que se debe tomar en cuenta en la determinación del DMC para lograr un **balance entre uso y conservación**:

- El DMC debe permitir un equilibrio entre el área basal aprovechada y el potencial del bosque para recuperar esa pérdida dentro del ciclo de corta prevista.
- El DMC preferiblemente debe ser mayor al rango de dap en el que la especie tiene su máxima producción de semillas (entre 40 y 60 cm para muchas especies; ver por ejemplo Guariguata 1998). Esto es aún más importante cuando la especie es una heliófita durable, como caoba y cedro, debido a que no hay un "banco" de brinzales típico de las esciófitas y la permanencia de la especie depende directamente de la disponibilidad de semillas al momento de la creación de claros. Además, algunas de estas especies heliófitas durables, como la caoba en Bolivia (Gullison 1995), empiezan a aumentar su producción de semillas a partir de 80 cm dap y alcanzan la producción máxima a 110 cm dap. En Centroamérica este diámetro debe ser semejante; por tanto, es aconsejable que se dejen individuos de buena forma de al menos 60 cm dap tanto para caoba como para cedro, dadas sus características parecidas.

Dap óptimo financiero para cortar el árbol

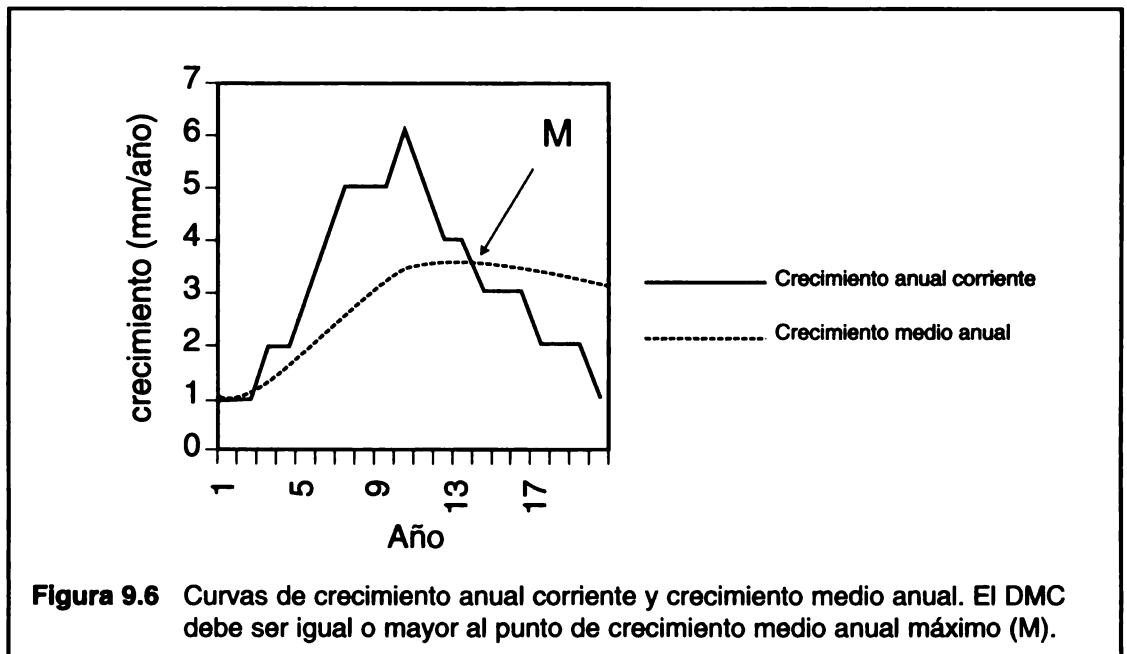
Desde el punto de vista financiero, el dap óptimo para cortar un árbol es cuando el valor del aumento en madera del siguiente año equivale a un porcentaje predeterminado del valor total del árbol en este año. Esto se llama determinar la "**madurez financiera**" del árbol. Este método nos ayuda a determinar con mayor exactitud donde está el dap óptimo en el tramo entre el dap con el crecimiento medio anual máximo y a partir del cual el árbol ya no crece.

Para entender esto, pensemos en el árbol como si fuera un banco donde usted ha guardado un monto equivalente al valor del árbol en pie (p.ej., US\$ 50). Si este árbol ahora tiene 1 m³ de madera (40 cm de dap y 11 m de altura de fuste comercial), y en el siguiente año crece 1 cm de diámetro, el volumen aumentaría a 1,05 m³, o $0,05/1 \times 100 = 5\%$. Si el valor de la madera por metro cúbico es independiente del tamaño del árbol, entonces también el valor de este árbol crecería un 5%. Si usted tuviera la posibilidad de invertir su plata de manera segura en una actividad que le rindiera 10%, sería mejor cortar el ár-



bol ahora e invertir su dinero en la otra actividad. Pero si la alternativa es ahorrar el dinero en un banco a una tasa de interés real de 4%, es mejor dejar el árbol en pie, porque así su inversión (el árbol) aumentará más en valor que su depósito en el banco.

Generalmente, el dap óptimo para cortar el árbol según el método de madurez financiera se encuentra entre el dap que me dé el crecimiento medio anual máximo y el dap a partir del cual el árbol ya no crece. La Fig. 9.6 muestra un ejemplo. El DMC, entonces, se podría fijar en el dap menor de este rango. Bajo ninguna circunstancia (desde el punto de vista financiero) debe cortarse el árbol antes de llegar a este dap.



Entonces, para estimar el DMC debemos usar los datos de incrementos de PPM, calculando el incremento volumétrico medio anual y su relación con el dap, y determinar el momento en que esta relación llega a su punto máximo. Alder (1992) describió un método simple usando una hoja electrónica para calcular el DMC maximizado, para lo cual se debe contar con datos de crecimiento de por lo menos 20 individuos por especie y por clase diamétrica. Para la caoba en Bolivia, un estudio mostró que el incremento volumétrico anual maximiza a 62 cm dap (Gullison y Hubbell 1992). En este caso, cortarlo antes de que obtenga este diámetro sería una pérdida del mayor potencial de crecimiento del árbol. No obstante, aunque este podría ser el DMC, el diámetro óptimo para cortar el árbol podría ser mayor, y se puede determinar por medio del análisis de madurez financiera.

Aunque en algunas circunstancias se aplica el método de incremento medio anual máximo para determinar el DMC (p.ej. FUNDECOR en Costa Rica aplica el método de incremento medio anual del volumen), el método de madurez financiera no se aplica en bosques latifoliados naturales de los trópicos, principalmente por el costo de obtener la información necesaria para hacerlo, y por la falta de experiencia con este tipo de análisis por parte de los responsables del manejo de los bosques. Además, las expectativas sobre variaciones en los precios de madera afectarían mucho el punto de madurez: será

más temprano si se espera una baja en precios, y más tarde si se espera un aumento en precios. Sólo cuando se logra controlar mejor el ambiente (densidad del rodal, composición florística, acceso a los recursos agua, luz y nutrimentos) valdría la pena determinar la madurez financiera para las especies deseadas.



Consideraciones netamente silviculturales

Para complicar el tema aún más, determinar el DMC desde el punto de vista silvicultural implica que sólo se cortarían árboles ecológica y financieramente maduros. Sin embargo, para asegurar que se mantenga un bosque vital y de máximo crecimiento, puede ser necesario eliminar árboles más jóvenes que compiten con sus vecinos, a veces de las mismas especies. También es atractivo mantener la distribución relativa de los individuos por clase diamétrica para conservar la diversidad de hábitats en el bosque y asegurar una producción frecuente de árboles maduros. En ambos casos, se podría decidir cortar árboles sin tomar en cuenta un DMC. La decisión de cortar un árbol dependería de su **vitalidad** en el momento de la cosecha y del **grado de competencia** que ejerce sobre vecinos de especies comerciales y de buena vitalidad.

Entonces, ¿qué tengo que hacer para determinar el mejor DMC?

Como se ve, hay que tomar en cuenta varios aspectos en la decisión sobre cuál debe ser el DMC. En el caso idóneo, se tomarían en cuenta todos, y se aplicaría un DMC que me da el **mejor balance entre uso y conservación**. Cuales son las consideraciones más importantes depende del objetivo del manejo de cada bosque en particular. En el resto del capítulo tomaremos en cuenta, en primera instancia, las consideraciones de índole silvicultural y empresarial, lo que significa que determinamos un DMC aproximado con base en la demanda del mercado y las leyes nacionales, y lo ajustamos al potencial del bosque para recuperar el área basal o volumen aprovechado en el ciclo de corta propuesto. La información básica proviene del inventario forestal y de PPM en bosques semejantes.

En general, el DMC depende de los tamaños máximos encontrados en el bosque, de la distribución diamétrica de los individuos por grupos de especies, del ciclo de corta y del crecimiento estimado para estas especies. La ocurrencia de árboles grandes permitirá establecer DMC mayores, por arriba de 60 cm. Para una especie que tenga poca regeneración, el DMC tiene que ser mayor, o hay que dejar árboles semilleros, lo que podría bajar la intensidad de corta considerablemente. Un **ciclo de corta largo** permite tener DMC más bajos porque hay más tiempo para recuperar lo que se va a cortar. En este caso, generalmente hay que tener cuidado de dejar suficientes árboles semilleros y bajar la intensidad de corta. Otra posibilidad es mantener un DMC razonable y una intensidad de corta más alta. Un **ciclo de corta corto** generalmente requiere de un DMC mayor (60 cm) y una intensidad de corta baja. Los árboles de rápido crecimiento generalmente influyen de manera positiva en la intensidad de corta, en el DMC y en el ciclo de corta, ya que permiten una intensidad mayor, un DMC menor, y/o un ciclo más corto.

El DMC depende de los tamaños máximos encontrados en el bosque, de la distribución diamétrica de los individuos por grupos de especies, del ciclo de corta y del crecimiento estimado para estas especies

9.7.2 El uso de la tabla de rodal y proporción de movimiento para estimar parámetros silviculturales¹

Para entender este método vamos a utilizar los resultados de un inventario realizado por el proyecto CATIE/TRANSFORMA en Toncontín, Atlántico Norte de Honduras. Para el análisis usaremos los principios de modelos de tablas de rodales, aplicando el método

¹ Adaptado de Louman *et al.* (2001)

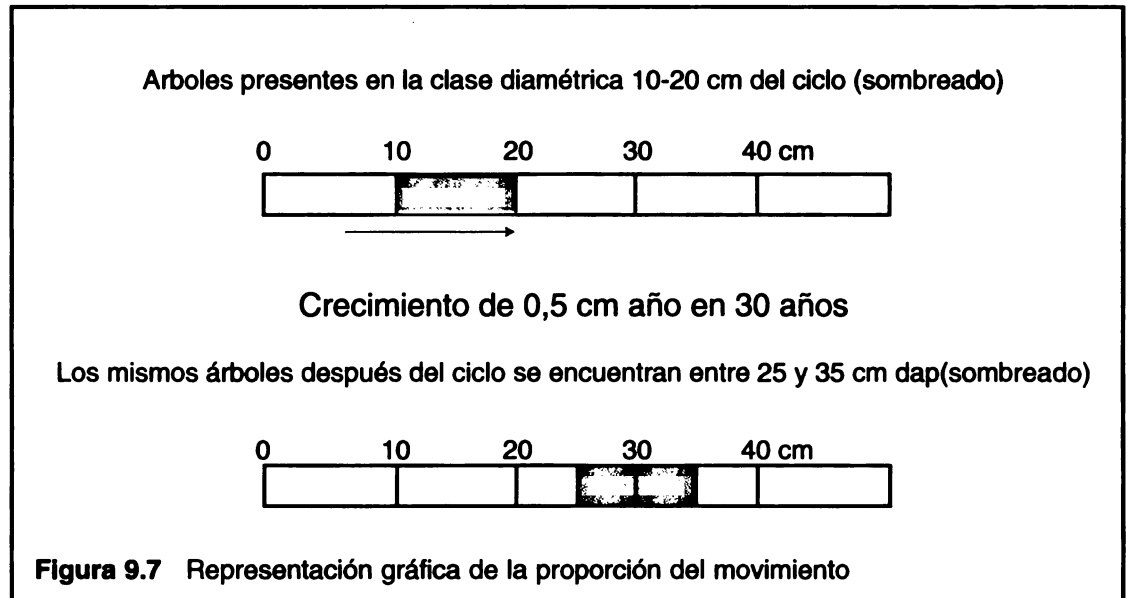


de proporción de movimiento (Vanclay 1994), e información de otras zonas de Honduras (Louman *et al.* 2001).

Este modelo supone que los árboles dentro de una clase diamétrica están **distribuidos de manera uniforme** en toda la clase y crecen con una tasa de **crecimiento promedio**. La proporción de movimiento refleja el tiempo que necesita un árbol para pasar de una clase diamétrica a la siguiente; este se determina dividiendo el crecimiento durante el período de análisis por el tamaño de una clase diamétrica. Por ejemplo, si el crecimiento promedio de los árboles de diferentes tamaños y diferentes especies es de 0,5 cm/año, el ciclo de corta es de 30 años y el tamaño de la clase diamétrica es de 10 cm; entonces:

$$\text{Proporción movimiento} = (0,5 * 30)/10 * 100 = 150\%$$

Todos los árboles en una determinada clase pasarían a la siguiente, pero la mitad pasarían, además, a una clase mayor. Así, de los árboles en la clase de 20 a 29,9 cm dap al inicio del ciclo, la mitad tendrá un diámetro entre 40 y 49,9 cm al final del ciclo y la otra mitad entre 30 y 39,9 cm. Con una proporción de movimiento de, por ejemplo, 75%, tendríamos que el 75% de los árboles existentes en la clase 20 – 29,9 cm pasarían a la clase 30 – 39,9 cm, y 25% se quedarían en la misma clase.



Este modelo se puede usar para hacer una proyección hacia el futuro de la estructura del bosque o de una población de ciertas especies. Se necesita incorporar una tasa anual de mortalidad en los cálculos para obtener mejores resultados. Por el momento, no existen estimaciones confiables de mortalidad por clase diamétrica, por lo que aplicamos una estimación general de 1,5% por año para todas las clases y todas las especies.

El Cuadro 9.5 muestra la aplicación del modelo a la distribución del número de árboles de siete especies comerciales² y potencialmente comerciales³ en Toncontín. El aprove-

² *Calophyllum brasiliense*, *Ilex tectonica*, *Symphonia globulifera*, *Tapirira guianensis*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi* y *Vochysia cf jefensis*

³ Potencialmente comerciales son las especies que sí tienen un mercado, pero el precio es demasiado bajo como para aprovecharlas y comercializarlas en forma rentable en el sitio de estudio.



chamamiento eliminó un poco más de 8 árboles por hectárea distribuidos proporcionalmente según la abundancia en cada clase diamétrica. Se cortaron 2,7 árb/ha en la clase 50,0-59,9 cm, dejando en promedio 0,9 árb/ha. Al final del ciclo de 30 años, los árboles no cortados habrán crecido 15 cm en diámetro, lo cual quiere decir que los árboles que ahora tienen entre 35,0 y 39,9 cm (la mitad de la clase 30,0-39,9 cm o 7,75 árb/ha), tendrán un dap entre 50,0-54,9 cm; los que antes del aprovechamiento tenían entre 40,0 y 44,9 cm (4,05 árb/ha) tendrán entre 55,0 y 59,9 cm. En conjunto, formarán la nueva clase de 50,0-59,9 cm con 11,8 árb/ha. Sin embargo, durante estos 30 años habrá una mortalidad de 1,5% por año; entonces, de los 11,8 árb/ha, solo 64%⁴ sobrevivirán el ciclo de 30 años, por lo que la clase diamétrica 50,0-59,9 consistirá de:

$$64\% * 11,8 = 7,6 \text{ árb/ha}$$

Nótese que en ejemplo del Cuadro 9.5 se aplicó un crecimiento promedio sin distinguir entre los diferentes tamaños de árboles. Actualmente no se dispone de datos confiables que justifiquen la aplicación de diferentes tasas de crecimiento en diferentes clases diamétricas. Pero, tomando en cuenta que los árboles más grandes tienden a crecer a menor velocidad (Louman y Carrera 1997), la presencia de árboles en las clases mayores hay que interpretarla con mucho cuidado. Para las clases intermedias, sin embargo, este modelo es muy útil, y nos ayuda a estimar los criterios silvícolas que nos llevan a un manejo ajustado al potencial productivo del bosque.

Los árboles más grandes tienden a crecer a menor velocidad, por eso hay que interpretar con mucho cuidado la información de árboles en las clases mayores

Cuadro 9.5 Distribución diamétrica del número de árboles de siete especies comerciales y potencialmente comerciales en Toncontín, Honduras antes y después del aprovechamiento del 75% de los árboles ≥ 50 cm dap y proyectada hacia el final de un ciclo de corta de 30 años. Se aplicó un modelo de proyección de tablas de rodales, suponiendo una tasa de crecimiento de 0,5 cm/año y una mortalidad de 1,5% por año, que resultó en una proporción de movimiento del 150%

Clases diamétricas	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	+ 90
Antes del aprovechamiento	33,1	23,6	15,5	8,1	3,6	1,6	2,2	1,9	1,9
Después del aprovechamiento	33,1	23,6	15,5	8,1	0,9	0,4	0,55	0,48	0,48
Final del ciclo sin mortalidad	*	16,6 ⁺	16,6	11,8	7,75	4,05	0,45	0,2	0,28
			+11,8	+7,75	+4,05	+0,45	+0,2	+0,28	+0,96
Supervivencia		*	18,2 ^{**}	12,5	7,6	2,9	0,4	0,3	0,8

* no hubo información sobre reclumiento en este bosque, entonces no se incorporó en el cuadro.
 ** supervivencia en esta clase diamétrica = $0,64 * (16,6+11,8) = 18,2$
 Fuente: Archivos de CATIE/TRANSFORMA

El modelo también se puede usar para analizar la distribución del área basal por clase diamétrica. En este caso, podemos simplificarlo. Se supone que crecimiento y mortalidad, en términos de área basal, están en equilibrio, de tal manera que los árboles que ahora están en una clase diamétrica crecen y pasan a la clase siguiente; así, se reduce la cantidad (por mortalidad) pero se mantiene el área basal. Este es un supuesto aceptable

⁴ Se calcula por medio de la fórmula $(1 - \text{mortalidad anual})^{\text{período de análisis}}$, aquí: $(1 - 0,015)^{30} * 100 = 64\%$



para las clases diamétricas intermedias y tiempos intermedios. Entonces, para proyectar la distribución del área basal hacia el futuro, seguimos un procedimiento similar al del cálculo realizado para el Cuadro 9.5, pero se elimina el último paso; es decir, que el área basal total de las siete especies comerciales después del aprovechamiento se mantiene, pero varía la distribución entre las diferentes clases diamétricas.

Los pasos a seguir

A continuación presentamos los pasos necesarios para interpretar los datos y hacer los cálculos que apoyan la planificación de la silvicultura. Utilizamos el mismo ejemplo de Toncontín, Honduras.

- 1) **Establecer un ciclo de corta y diámetro mínimo de corta.** Generalmente se usan los CC y DMC establecidos por normas técnicas de la zona de trabajo. En el caso de nuestro ejemplo, el DMC de referencia es 50 cm y el CC es 30 años.
- 2) **Establecer la tasa de crecimiento diamétrico y la tasa de mortalidad.** Resultados de mediciones en las PPM supervisadas por CATIE en América Central (Sitoe 1992) y datos de Liebermann *et al.* (1985) indican que una estimación del crecimiento en 0,5 cm/año es razonable, aunque en algunos sitios como Petén parece ser menor (Pine-lo 1997). La mortalidad se puede estimar en 1,5% por año para todas las clases diamétricas a partir de 10 cm dap (Swaine *et al.* 1987). La regeneración es un parámetro que en este momento no se puede estimar. Sin embargo, se puede asumir que lo que ocurrió en el pasado, también va a ocurrir en el futuro cercano, y que por lo tanto, el número de individuos en la clase diamétrica menor se mantiene.
- 3) **Seleccionar las especies por aprovechar y manejar.** Esto se realiza con base en información del mercado, tipo de producto, restricciones legales (especies vedadas) y distribución diamétrica de las especies.
- 4) **Agrupar las especies según valor comercial y distribución diamétrica.** Por ejemplo, el Cuadro 9.6 muestra el número de árboles por hectárea y por especies del bosque estudiado en Toncontín. Las especies se dividen en grupos:
 - a) Especies de alto valor comercial (*Magnolia yoroconte*)
 - b) Especies comerciales y potencialmente comerciales, subdivididas por clases diamétricas:
 - distribución diamétrica relativamente buena (*Calophyllum brasiliense*, *Ilex tectonica*, *Symphonia globulifera*, *Tapirira guianensis*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi* y *Vochysia cf jefensis*)
 - buena regeneración establecida pero muy pocos árboles grandes (*Nectandra* sp.)
 - distribución irregular (*Guarea grandiflora*, *Hyeronima alchorneoides*, *Macrohasseltia macroterantha*, *Mosquitoxylum jamaicense*)

Los datos son promedios para todo el bosque. Aunque las distribuciones diamétricas de las especies pueden diferir por estrato, utilizamos en primera instancia la distribución promedio en todo el bosque. Solo en casos donde los diferentes estratos representan realmente diferentes tipos de bosque vale la pena hacer las estimaciones por estrato.

- 5) **Calcular la intensidad de corta (IC).** Esto se realiza con base en la distribución diamétrica del área basal por especie o grupo de especies y por estrato, tomando como referencia los DMC (50 cm) y CC (30 años) establecidos en el punto 1. Para esto se necesita:



- a) *Determinar el área basal de los individuos que durante el primer ciclo pasarán a clases diamétricas mayores al DMC.* Para este cálculo, primero se determina el crecimiento diamétrico durante el ciclo de corta (por ejemplo, para un ciclo de 30 años y un crecimiento de 0,5 cm/año, este crecimiento es de 15 cm) y se divide por el ancho de la clase diamétrica (generalmente 10 cm): $15/10 = 1,5$ (nótese que es igual a la proporción de movimiento discutido antes, Fig. 9.7). Este es el número de clases diamétricas que contienen árboles para la segunda cosecha. Estas clases se encuentran desde el DMC hacia abajo; entonces, si el DMC es 50 cm, los árboles de futura cosecha tendrían diámetros de 35 a 50 cm.

Cuadro 9.6 Número de individuos por hectárea encontrados para diferentes grupos de especies										
Especie	Clases diamétricas									Total
	10	20	30	40	50	60	70	80	≥90	
Subtotal alto valor	-	0,68	-	-	0,14	0,41	0,54	0,27	0,27	2,3
Subtotal comercial, nor	33,1	23,6	15,5	8,1	3,6	1,6	2,2	1,9	1,9	91,5
Subtotal comercial, sig	6,08	1,35	0,68	-	0,14	-	-	-	-	8,3
e.g. <i>Hyeronima alchorneoides</i>	2,70	0,68	-	-	-	-	0,14	0,27	0,27	4,05
Subtotal comercial, irr	7,4	4,7	1,4	1,4	0,5	0,5	0,9	0,5	0,7	18,0
Total/ha todas especies	234,5	104,7	54,7	21,6	9,2	4,2	5,5	4,5	5,5	444,4
<p>Nota: La agrupación se hizo con base en el valor comercial actual (alto valor, comercial, potencialmente comercial) y en la distribución del número de árboles por clase diamétrica en todo el bosque. nor = buena distribución diamétrica; sig = sin árboles grandes; irr = distribución irregular (por la agrupación de las especies, el subtotal no muestra la irregularidad de la distribución)</p> <p>Fuente: Archivos de CATIE/TRANSFORMA para el fin del ejemplo y el área relativamente pequeña inventariada (74 parcelas de 0,1 ha cada una para árboles >50 cm dap) no se realizó una estratificación de los datos. Ver texto para las especies que pertenecen a cada grupo.</p>										

En el ejemplo del Cuadro 9.7 aplicamos un DMC de 50 cm y un crecimiento de 0,5 cm/año. En este caso, el área basal disponible para la **recuperación del área basal aprovechada** (áreas sombreadas) en el primer grupo es cero, 1,98 m²/ha en el segundo grupo y 0,28 m²/ha para las especies con una distribución irregular (área basal de la mitad de la clase de 30 cm y toda la clase de 40 cm); ver también Cuadro 9.8.

El primer grupo (*Magnolia yoroconte*) muestra una distribución típica para una especie heliófita durable en un bosque primario no intervenido o disturbado por mucho tiempo: pocos árboles con diámetros en las clases inferiores y relativamente muchos en las clases superiores. Esto indica la necesidad de realizar actividades dirigidas a fomentar la regeneración de la especie, si se quiere mantener-



la como componente del bosque. Por ejemplo, se podría subir el DMC a 80 cm dap, dejando semilleros sanos y productivos, y cortar todos o parte de los árboles mayores⁵. Para asegurar la siguiente cosecha deben seguir los pasos siguientes para calcular la cosecha actual, reemplazando el DMC de 50 cm por uno de 80 cm.

Cuadro 9.7 Distribución del área basal (m ² /ha) por especie, grupo de especies y clases diamétricas en el bosque estudiado										
Especie/clase diamétrica	Área basal en m ² /ha									
	10	20	30	40	50	60	70	80	> 90	TOTAL
Subtotal especies alto valor	-	0,02	-	-	0,03	0,13	0,23	0,16	0,29	0,86
Subtota comercial, nor	0,54	1,08	1,43	1,26	0,84	0,53	0,94	1,06	1,49	9,17
Subtotal comercial, sig	0,09	0,05	0,05	-	0,03	-	-	-	-	0,22
e.g. <i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,05	0,03	-	-	-	-	0,05	0,15	0,18	0,46
Subtota comercial, irr	0,14	0,21	0,10	0,23	0,12	0,18	0,39	0,31	0,58	2,26
Total/ha	3,81	4,67	4,82	3,34	2,09	1,35	2,36	2,50	4,93	29,87
nor = buena distribución diamétrica sig = sin árboles grandes irr = distribución irregular										
Fuente: Archivos de CATIE-TRANSFORMA, para el fin del ejemplo y el área relativamente pequeña inventariada (74 parcelas de 0,1 ha cada una para árboles >50 cm dap) no se realizó una estratificación de los datos										

En el grupo 'irregular', las especies pueden mostrar distribuciones diamétricas muy diferentes. Es importante analizar por qué una especie tiene una distribución irregular. Puede ser que su abundancia sea relativamente baja, o que el inventario no captó una muestra representativa de toda la población. En este caso es aceptable agrupar las especies y aprovecharlas con base en las existencias y el potencial de todo el grupo, ya que la corta se limitará a muy pocos individuos por especie.

Como en el ejemplo de *Hyeronima*, pudiera ser que la distribución es irregular por la ecología y/o la estrategia reproductiva de la especie. *Hyeronima* es una especie dioica, y posiblemente heliófita durable. Su reproducción se da en buenas condiciones de luz y donde coincidan árboles hembras y machos. Si en un área dada de ser su hábitat natural la distribución de la especie es irregular, hay que tener mucho cuidado con el aprovechamiento. En el caso de Toncontín, por ejemplo, se ha empezado a identificar los árboles hembras (con regeneración alrededor) para evitar su corta, y el aprovechamiento se ha restringido a algunos de los árboles machos.

⁵ En Toncontín se decidió subir el DMC a 70 cm porque la albura ocupa una parte proporcionalmente grande antes de llegar a este dap; además, se están dejando árboles semilleros mayores al DMC.



El grupo comercial sin árboles grandes (sig) del Cuadro 9.7 no se considera para el aprovechamiento, ya que no hay árboles aprovechables. Se debe estudiar la razón por la cual no existen árboles aprovechables de este grupo (en el ejemplo, *Nectandra* sp). Puede ser que el sitio no sea muy apto para el crecimiento de la especie, lo que podría justificar el uso de un DMC menor. Otra razón podría ser que la especie haya sido aprovechada anteriormente; si así fuera, habría que esperar hasta que la población de la especie se haya recuperado y que de nuevo haya árboles aprovechables.

- b) *Determinar el área basal (G) de la clase mayor*; si esta es mucho más grande que el G de la clase anterior, quiere decir que hay muchos árboles sobremaduros, que contribuyen poco a la producción de madera y mucho a la competencia. Sin embargo, todos estos árboles no se pueden cortar porque pueden tener una función ecológica muy importante (nidos para aves y murciélagos, fuente de alimento para la vida silvestre). La intensidad de corta en estas clases diamétricas depende principalmente de la necesidad de mantener árboles grandes, y no del potencial del bosque para recuperar estos árboles. Recomendamos siempre mantener una intensidad conservadora; por ejemplo, no cortar más de la mitad de los árboles grandes. Para algunas especies con alto valor ecológico puede ser necesario determinar un diámetro máximo aprovechable. Por ejemplo, en Costa Rica se determinó un diámetro máximo de aprovechamiento de 120 cm para el almenadro (*Dipteryx panamensis*), fuente de alimento de la lapa verde (*Ara ambigua*).

En el mismo ejemplo de los cuadros 9.7 y 9.8 existen árboles en la clase >90 cm; sin embargo, sólo para el grupo de especies comerciales con una buena distribución diamétrica podríamos considerar que existe un cierto exceso de árboles sobremaduros (un área basal (G) de 1,49 m²/ha). En ese caso, se decidió aprovechar el 50% del G (Cuadro 9.8).

Para los otros grupos (alto valor y comercial irregular), no se justifica seguir el procedimiento del paso b), sino que los árboles >90 cm se incluyen en los cálculos del paso c). Con esto se pretende mantener más o menos el área basal existente en la clase, buscando un equilibrio entre corta y recuperación, por lo menos para el siguiente ciclo.

- c) *Determinar G de los árboles en las clases entre el DMC y 90 cm*, o a partir del DMC para los grupos de valor alto y los comerciales con una distribución diamétrica irregular. El Cuadro 9.8 presenta las sumas de las áreas basales disponibles para la primera cosecha para los grupos de especies del Cuadro 9.7.
- d) *Calcular la intensidad de corta*. La IC es igual a la proporción del área basal disponible para la segunda cosecha sobre el área basal de los árboles disponibles para la primera cosecha y multiplicado por 100, o sea:

$$(\text{el resultado de paso a}) / (\text{el resultado de paso c}) * 100$$

En nuestro ejemplo, el IC para el grupo de especies de alto valor es, entonces:

$$\frac{0,30 \text{ m}^2/\text{ha}}{0,45 \text{ m}^2/\text{ha}} * 100 = 67\%$$



Cuadro 9.8 Área basal disponible para la recuperación del área basal por aprovechar y para el aprovechamiento

Grupo de especies	G disponible (m ² /ha)	G>DMC (m ² /ha)	IC (%)
<i>M. yoroconte</i> **	0,30	0,45	67
Act. comercial, nor*	1,98	3,37 + 1,49#	60 + 50#
Sin árboles grandes	0,03	0,00	0
Act. comercial irr**	0,48	0,89	50
Total	2,79	6,20	
G a cortar		3,51	57

* = DMC 50 cm, ** = DMC de 80 cm, # = para individuos entre DMC y 90 cm + mayor a 90 cm
Fuente: Archivos de CATIE/TRANSFORMA

La intensidad de corta es influenciada por la cantidad de árboles semilleros que deben quedar y los defectos de la madera. Ambos aspectos pueden variar por especie y por sitio

A veces la IC puede ser mayor a 100%, por lo que hay que ajustarla considerando la disponibilidad de área basal, la existencia de defectos no registrados durante el inventario (estimados en un 10% del área basal total) y la necesidad de dejar árboles semilleros (estimados en un 15% del total). Por ejemplo, si la intensidad de corta calculada para un grupo de especies es 138% se la reduce primero a 100% (no se puede cortar más de lo que hay) y luego se reserva un 15% del área basal como árboles semilleros y se estima un 10% de pérdida por defectos. La intensidad de corta final sería entonces del 75%. Los porcentajes de semilleros y defectos pueden variar por especie y por sitio, pero mientras no se cuente con datos confiables se puede utilizar las estimaciones conservadoras presentadas aquí.

A veces la IC es muy alta, mientras que el área basal disponible para la primera cosecha es muy baja. En estos casos se podría considerar bajar el DMC, siempre tomando en cuenta criterios fenológicos y de mercado. En nuestro ejemplo no ocurre. Sin embargo, cuando ocurre, también se debe considerar la historia de uso del bosque, como ya indicamos en la discusión del Cuadro 9.7.

Aunque en principio el DMC se puede bajar para las especies comerciales actuales, siempre hay que tener mucho cuidado al hacerlo, ya que de muchas especies no se sabe lo suficiente sobre su dinámica en diferentes tipos de bosque como para asegurarnos su regeneración. Mientras no exista información confiable sobre la capacidad de regeneración a partir de tamaños relativamente pequeños, recomendamos mantener un DMC de por lo menos 50 cm.

- 6) **Calcular la intensidad de corta con base en la distribución diamétrica del número de árboles.** La distribución diamétrica del área basal de las especies comerciales es mejor indicador para determinar la IC que la distribución del número de árboles, principalmente porque considera no sólo la abundancia, sino además el tamaño de los árboles, lo que se relaciona directamente con el producto que se va a extraer del bosque. Sin embargo, a veces este cálculo sobrestima el área al final del ciclo de corta, en especial con ciclos largos y clases diamétricas mayores. Para estos casos se necesita confirmar la IC calculada en el paso 5, con un cálculo basado en la distribución diamétrica del número de árboles. Además, para hacer una proyección de la estruc-



tura y la cosecha del bosque en el futuro es mejor partir de la distribución diamétrica del número de los árboles por hectárea, como veremos en paso 9. El cálculo de la IC con base en el número de árboles se realiza siguiendo los pasos del punto 5, con la diferencia de que se aplica una tasa de mortalidad a los árboles en las clases menores al DMC (paso 5a). No es necesario aplicar una tasa de mortalidad a todas las clases diamétricas, porque para este cálculo sólo estamos interesados en los árboles de las clases que formarán la segunda cosecha. El Cuadro 9.9 presenta un resumen de los resultados.

Especies	Clases diamétricas									< DMC	Super-vivencia	Aprovechables	IC% máx.
	10	20	30	40	50	60	70	80	>90				
<i>M. yoroconte</i>	-	0,7	-	-	0,14	0,41	0,54	0,27	0,27	0,75	0,48	0,54	89
Subtotal comercial nor	33,1	23,6	15,5	8,1	3,6	1,6	2,2	1,9	1,9	15,9	10,1	9,3*	100
Subtotal comercial irr	7,4	4,7	1,4	1,4	0,54	0,54	0,95	0,54	0,68	1,2	0,8	1,2	75

* Para árboles de 50 a 90 cm dap. De los árboles mayores a 90 cm dap se propone aprovechar 50%
Fuente: Archivos de CATIE/TRANSFORMA

- De *M. yoroconte* están disponibles para la recuperación 0,21 árb/ha en la clase de 60 cm y 0,54 árb/ha en la clase de 70 cm (0,75 árb/ha en total). De estos árboles sobrevivirán⁶ probablemente $(0,985)^{30} \times 0,75 = 0,48$ árb/ha. De manera semejante, se calcula que hay 10,1 árb/ha disponibles para la recuperación en el grupo comercial con buena distribución diamétrica.
- Se separan los árboles >90 cm dap para el grupo comerciales "bd". De estos 1,9 árboles se podrá cortar el 50%.
- En las clases diamétricas de más de 80 cm hay 0,54 árb/ha de redondo y 1,2 de los 'irregulares', mientras que entre 50 y 90 cm dap hay 9,3 árb/ha de especies actualmente comerciales con buena distribución diamétrica.
- Para los tres grupos, la IC calculada mediante este método supera la calculada con base en el área basal.

7) Evaluación de las intensidades de corta calculadas en los puntos 5 y 6. Aplicando el principio de precaución, la menor IC calculada en los puntos 5 y 6 será la que se debe aplicar para evitar problemas de sostenibilidad productiva. En nuestro ejemplo se aplicaría para *M. yoroconte* una IC de 67% (2 de cada 3 árboles); para los árboles comerciales 'nor' una IC de 60% (más práctico que variarla según dap y la diferencia no es mucha), y para los comerciales 'irr' 50%. Con fines prácticos se podría decidir una IC de 60% para todas estas especies, sin mayores problemas, lo que además facilitaría el control del aprovechamiento.

⁶ Con una mortalidad de 1,5% por año, la supervivencia es de 98,5% por año. Para un período de 30 años sobrevivirán entonces $(0,985)^{30} = 64\%$ de los árboles presentes al inicio del ciclo.



Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central

Si la IC calculada para todas las especies fuera menor a 60%, se recomienda aumentar el DMC o el CC y seguir los pasos 4 y 6 hasta encontrar una IC apropiada. Si la IC es mayor a 100%, y hay suficiente regeneración establecida, se puede bajar el DMC o el CC hasta reducir la IC a un valor entre 80-100%.

- 8) Se calcula el volumen aprovechable por hectárea, aplicando la IC calculada en el punto 7, al cuadro de la distribución diamétrica del volumen (Cuadro 9.10).

Cuadro 9.10 Volumen por hectárea por clase diamétrica (m ³ /ha) por especie y grupo de especies del Cuadro 9.5 y volumen de corta permisible aplicando la IC de 60% del Cuadro 9.8								
Especie	Clases diamétricas							Permisible
	40	50	80	70	80	>90	>DMC	
<i>M. yoroconte</i>	-	0,2	1,9	2,3	1,7	3,5	5,2	3
Subtotal comercial, nor	14,4	6,4	5,1	9,1	11,3	17,0	48,9	29
Subtotal comercial, irr	1,9	1,1	1,6	3,2	2,5	5,6	8,1	5
Total/ha	16,3	7,7	8,6	14,6	15,5	26,1	62,2	37
Fuente: Archivos de CATIE/TRANSFORMA								

Los datos del cuadro muestran un volumen permisible de 3 m³/ha para *M. yoroconte*, 29 m³/ha para el grupo comercial con buena distribución diamétrica y 5 m³/ha para los irregulares. El volumen de corta anual permisible (VCAP) = (volumen permisible/ha x área productiva de bosque)/ciclo de corta para un área de 1 000 ha será:

M yoroconte (3 m³/ha * 1 000 ha)/30 años = 100 m³/año
 Comercial nor (29 m³/ha * 1 000 ha)/30 años = 967 m³/año
 Comercial irr (5 m³/ha * 1 000 ha)/30 años = 167 m³/año

El volumen permisible no necesariamente es el volumen que se recomienda cortar.

El volumen a cortar depende del precio ofrecido por la madera de las especies presentes (en La Mosquitia hondureña sólo el precio de la caoba es lo bastante alto para cubrir los gastos de extracción y transporte), de la capacidad de los operadores para cortar y transportar todo el volumen en el tiempo disponible (por ejemplo, en Río San Juan, Nicaragua se dispone sólo de 2 a 3 meses para realizar estas actividades, pues las lluvias imposibilitan el acceso al bosque), y de la capacidad de transformación.

Es importante observar que los cálculos de los criterios silvícolas (CC = 30 años, DMC = 50 y 80 cm, IC = 60%, VCAP=100; 967 o 167) se basan en el inventario para todo el bosque. Para verificar el CC y establecer los DMC por especie o grupos de especies es recomendable usar estos datos generales. Sin embargo, en bosques donde existe una buena estratificación que toma en cuenta diferencias en abundancia de las especies más importantes (en términos económicos y ecológicos), recomendamos calcular la IC y el volumen permisible aprovechable por hectárea para cada estrato por aparte.

Los cálculos presentados sirven como una herramienta o guía para la planificación silvicultural. Sin embargo, no se deben interpretar como una camisa de fuerza, sino



que más bien se debe poner atención a la detección de desviaciones de los datos promedio en el bosque bajo aprovechamiento en un año determinado. Por ejemplo, para especies específicas que ocurren en parches, se podría justificar un reajuste de la IC, del volumen aprovechable y aún del DMC (en ocasiones muy excepcionales) en cada POA, siempre y cuando el censo para elaborar este POA haya sido acompañado por un muestreo de la regeneración establecida (por lo menos a partir de 30 cm) de estas especies.

Recomendamos aplicar la intensidad de corta por clase diamétrica y por especie. Solo en casos donde la distribución del área basal por especie y clase diamétrica es muy irregular se puede justificar el aumento de la intensidad de corta de una especie en una clase donde haya muchos individuos, compensando el área basal adicional removida en esa clase con una reducción de la intensidad de corta de la misma especie en otra clase diamétrica.

- 9) **Proyección de la futura cosecha.** Una vez calculado el volumen de corta anual permisible se procede a verificar si cortando este volumen ahora se tendría un volumen similar del grupo de especies al final del primer ciclo. Para esto existen programas electrónicos, como el **programa Sirena** desarrollado por Alder en Costa Rica⁷. Ahora mostraremos cómo se puede usar el mismo modelo de rodal para lograr una buena proyección de la futura cosecha. Para este cálculo partiremos de la distribución diamétrica de los individuos, y aplicaremos una tasa de crecimiento y una tasa de mortalidad.

Veamos los cálculos del Cuadro 9.5 sobre la distribución diamétrica antes y después del aprovechamiento y la proyección de la estructura hacia el final del ciclo de corta. Los datos corresponden al grupo de especies comerciales con buena distribución diamétrica de los cuadros 9.6 a 9.10. Consideremos ahora los datos de volúmenes por clase diamétrica antes del aprovechamiento y calculemos el volumen promedio por árbol por clase (Cuadro 9.11), el cual utilizaremos para calcular el volumen por clase diamétrica al final del ciclo, multiplicando el número de árboles por clase en la estructura proyectada por el volumen promedio por árbol. El resultado se ve en la última fila del Cuadro 9.11. Si aplicamos la IC calculada en el punto 7 (60%) al volumen de los árboles encima del DMC (50 cm), tendremos el volumen aprovechable por hectárea del futuro, que debería ser similar al volumen aprovechable por hectárea del aprovechamiento inicial (29 m³/ha para este grupo de especies). Una divergencia de 10% es aceptable; si fuera superior habría que rehacer la estimación del DMC y IC hasta llegar a un volumen aprovechable por hectárea inicial que se mantenga por lo menos para el siguiente ciclo de corta.

En nuestro ejemplo, el primer aprovechamiento fue demasiado fuerte para poder mantenerlo; el volumen aprovechable por hectárea de este grupo de especies al final del ciclo será de 20 m³/ha, 31% menos que el aprovechamiento inicial. Esto se debe a la decisión de no tomar en cuenta el volumen de la clase mayor en el cálculo de la intensidad de corta, para poder transformar el bosque en un uno más productivo y sano. Esto permitió una corta de 10 m³/ha más, lo que explica la diferencia en volúmenes aprovechables.

⁷ J Méndez. Febrero 1998. Director técnico de CODEFORSA, San Carlos, Costa Rica. Comunicación personal.



Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central

Cuadro 9.11 Proyección de la estructura y cosecha hacia el fin del ciclo de corta con base en los datos de los cuadros 9.5 a 9.9 y aplicando el modelo de la tabla de rodal

Clases diamétricas	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	+ 90
Número de individuos antes del aprovechamiento	33,1	23,6	15,5	8,1	3,6	1,6	2,2	1,9	1,9
Volumen (m ³ /ha)				14,4	6,4	5,1	9,1	11,3	17,0
Volumen/árbol				1,8	1,8	3,2	4,1	5,9	8,9
Número de individuos después del aprovechamiento	33,1	23,6	15,5	8,1	0,9	0,4	0,55	0,48	0,48
Final del ciclo sin mortalidad	¿?	16,6+?	16,6 +11,8	11,8 +7,75	7,75 +4,05	4,05 +0,45	0,45 +0,2	0,2 +0,28	0,28 +0,96
Supervivencia			18,2	12,5	7,6	2,9	0,4	0,3	0,8
Volumen después del ciclo (m ³ /ha)				22,5	13,7	9,3	1,6	1,8	7,1
Volumen aprovechable (m ³ /ha) con IC 60%					8,2	5,6	1,0	1,1	4,3

Observación final

Hemos presentado un método relativamente sencillo para el análisis e interpretación de inventarios forestales. Su uso, sin embargo, sólo es uno de los instrumentos para el buen manejo. Además, es importante realizar un buen diseño y una buena ejecución del inventario para que los datos que entran en el proceso de análisis e interpretación sean confiables y, sobre todo, representativos. Este significa que hay que tener mucho cuidado en la interpretación de datos de pocas especies o muestras pequeñas, ya que la confiabilidad disminuye al bajar la cantidad de datos para el análisis e interpretación. Generalmente, el modelo es más adecuado para las especies con una buena distribución diamétrica, ya que claramente identifica las especies escasas, las sin regeneración y las sin árboles grandes. Recuerde, sin embargo, que, como en todos los casos de análisis e interpretación de datos, aquí también aplica la ecuación: entra basura = sale basura.

Un buen diseño y ejecución del inventario permiten obtener datos confiables y representativos

En este capítulo hemos:

- Señalado la importancia del análisis e interpretación de los resultados de inventarios forestales.
- Interpretado el significado práctico del error de muestreo.
- Analizado los resultados básicos de un inventario forestal:
 - agrupamiento de especies según su importancia comercial;
 - abundancia;
 - área basal;
 - volumen de madera.
- Analizado la abundancia y frecuencia de especies comerciales al nivel de brinzales.
- Resaltado la importancia de agrupar las especies por grupo ecológico para una correcta interpretación de los datos de inventario y una buena planificación silvicultural.
- Dado los elementos esenciales para la selección de un sistema silvicultural.
- Determinado los parámetros silviculturales para la planificación del manejo del bosque.



9. 8 Bibliografía recomendada

- Alder, D. 1992. Simple methods for calculating minimum diameter and sustainable yield in mixed tropical forests. In *Wise Management of Tropical Forests. Proceedings of the Oxford Conference on Tropical Forests*. Ed. By F.R. Miller, K.L. Adam. Oxford Forestry Institute, University of Oxford. P. 189-199.
- Alder, D. 1995. Growth modelling for mixed tropical forests. *Tropical Forestry Papers* no. 30. Oxford Forestry Institute. 231 p.
- Asquith NM. 2002. La dinámica del bosque y la diversidad arbórea. En: Guariguata MR y GH Kattan (eds), *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Ediciones Libro Universitario Regional, Cartago, Costa Rica. pp 377-406.
- Barnard, CR. 1950. The elements of Malayan silviculture. *The Malayan Forester* 13(3): 122-136.
- Carrera, F. 1996. Guía para la planificación de inventarios forestales en la zona de usos múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. *Colección Manejo Forestal en la Reserva de la Biosfera Maya* no. 3. Turrialba, Costa Rica. 40 p.
- Clark, D. 1994. Plant demography. In *La Selva: ecology and natural history of a Neotropical Rainforest*. Ed. By L.A. Mcdade, S.B. Kamaljit, H.A. Hespeneide, and G.S. Hartshorn, Chicago: University of Chicago Press, pp 90-105.
- Clark, DA; Clark DB. 1987. Análisis de la regeneración de árboles del dosel en bosque muy húmedo tropical: aspectos teóricos y prácticos. In Clark, D.; Dirzo, R.; Fetcher, N. (eds). *Ecología y ecofisiología de plantas en los bosques mesoamericanos*. *Revista de Biología Tropical (C.R.)* 35 (supl. 1):40'45.
- Dawkins, HC. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. *Imperial Forestry Institute (G.B.) Paper* no. 34.
- Dawkins, HC. 1963. Crown diameters: Their relation to bole diameter in tropical forest trees. *Commonwealth Forestry Review*, 2 (2): 318-333.
- Ferrando, JJ; Louman, B; Finegan, B; Guariguata, M. 2001. Pautas ecológicas para el manejo de bosques naturales afectados por huracanes en la costa norte de Honduras. *Revista Forestal Centroamericana* 34: 28-34.
- Finegan, B. 1993. Los gremios de especies forestales. Documento del Curso de Bases Ecológicas para la Producción Sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 24 p.
- Guariguata, MR. 1998. Consideraciones ecológicas sobre la regeneración natural aplicada al manejo forestal. Serie técnica. Informe Técnico no. 304. *Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales* no. 14. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 27 p.
- Gullison, RE. 1995. Conservation of tropical forests through the sustainable production of forest products: The case of mahogany (*Swietenia macrophylla* King in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. Ph.D. dissertation, Princeton 172 p.
- _____; HUBBELL, S.P. 1992. Regeneración natural de la mara (*Swietenia macrophylla*) en el bosque Chimanes, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 19:43-56.
- Hubbell, SP. 1979. Tree dispersion, abundance and diversity in a tropical dry forest. *Science* 203:1299-1309.
- Hutchinson, ID. 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques naturales del trópico húmedo. Serie técnica. Informe Técnico no. 204. *Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales* no. 7. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 31 p.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos*. Rossdorf. Alemania, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). 335 p.
- Liebermann, D; Liebermann, M; Hartshorn, G; Peralta, R. 1985. Growth rates and age size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* 1:97-109.
- Lojan L 1966. Una fórmula para estimar volúmenes en un bosque tropical húmedo. Turrialba, Costa Rica. 16 (1): 67-72.
- Louman, B; Carrera, F. 1997. Pautas para el manejo del bosque secundario Florencia Sur, Turrialba, Costa Rica. In *Actas de la III semana científica celebrada de 3 al 5 de febrero 1997*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 235 -239.
- Louman B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Serie técnica. Manual Técnico no. 46. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 265 p.
- Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM). 1994. *Manual de procedimientos para el manejo y aprovechamiento forestal en Costa Rica*. MIRENEM, San José, Costa Rica. 105 p.
- MOPAWI, Fundación VIDA, FINZMOS, WWF, y CATIE-TRANSFORMA. *Plan de manejo forestal bosque latifoliado en usufructo: Layasicsa-Siksatingni-Wisplini*. Puerto Lempira, Honduras, AFE-COH-DEFOR. 61 p.



Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central

- Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT). 1992. Criteria for the measurement of sustainable tropical forest management. ITTO . Policy Development Series no.3. Yokohama, Japan. 5 p.
- Pinelo, G. 1997. Dinámica del Bosque Petenero: Avances de Investigación en Petén, Guatemala. CATIE. Turrialba, Costa Rica 46 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible no. 1. IICA/GTZ, San José, Costa Rica. 561 p.
- Quirós, D. 1998. Muestreos para la prescripción de tratamientos silviculturales en bosques naturales latifoliados. –guía de campo-. Manejo Forestal Tropical no. 4. 8 p.
- Sáenz, G; Finegan, B. 2000. Monitoreo de la regeneración natural con fines de manejo forestal. Manejo Forestal Tropical no. 15. 8 p.
- Segura, M; Venegas, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Serie técnica. Informe Técnico no. 306. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 15. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 45 p.
- Sitoe, AA. 1992. Crecimiento diamétrico de especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención. Tesis Mag Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 119 p.
- Snook, L. 1993. Stand dynamics of mahogany (*Swietenia macrophylla*) and associated species after fire and hurricane in the tropical forests of the Yucatan Peninsula, Mexico. Ph.D. dissertation, Yale University, New Haven. 254 p.
- Stanley, S. 1994. Plan de manejo forestal, unidad de manejo Arroyo Colorado, Petén, Guatemala CATIE-/CONAP. Turrialba, C.R. 64 p + anexos.
- Stanley, S. 1997. Guía para la interpretación de resultados de un inventario forestal para concesiones en la Reserva de la Biósfera Maya, Guatemala. Colección Manejo Forestal en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala no. 8. Turrialba, Costa Rica. 38 p.
- Stanley, S. 1998. Muestreo diagnóstico: una herramienta útil en la toma de decisiones silvícolas. Serie Técnica. Informe Técnico no. 300. Colección Manejo Forestal en la Reserva de la Biosfera Maya no. 9. Turrialba, Costa Rica. 41 p.
- Swaine, MD; Liebermann, D; Putz, F. 1987. The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. Journal of tropical forest ecology 3: 359-366.
- UCA-Proyecto Madera – Silvicultura. 1995. Plan general de manejo La Mónica. Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua. 28 p.
- Vanclay, JK. 1994. Modelling forest growth and yield; Applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, Inglaterra. 312 p
- Whitmore, TC. 1984. Tropical Rain Forest of the Far East. Oxford, R.U. Clarendon Press. 341 p.
- Wyatt-Smith, J. 1961. "A Review of Malayan Silviculture Today". The Malayan Forester 24:5-18.