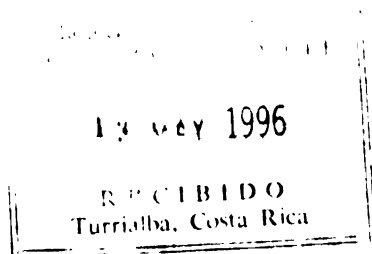


**Serie Técnica
Informe Técnico N° 275**

**Colección Manejo Forestal en
la Reserva de la Biosfera Maya
Petén, Guatemala
Publicación N° 3**



**// GUIA PARA LA PLANIFICACION DE INVENTARIOS
FORESTALES EN LA ZONA DE USOS MULTIPLES DE LA
RESERVA DE LA BIOSFERA MAYA, PETEN, GUATEMALA.**

FERNANDO CARRERA

CONSEJO NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS

**Publicación patrocinada por
USAID/Guatemala**

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE
INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**

**Turrialba, Costa Rica
1996**

CONTENIDO

	Página
PRESENTACION.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vii
INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES.....	3
Inventarios forestales en Petén.....	3
1. Inventarios de reconocimiento.....	3
2. Inventarios para la elaboración de planes de manejo.....	3
3. Censos comerciales.....	4
Modelo simplificado de planes de manejo.....	4
ELEMENTOS DE ESTADISTICA PARA INVENTARIOS FORESTALES.....	5
Media aritmética.....	6
Desviación estándar.....	6
Coeficiente de variación.....	7
Error estándar.....	7
Límites de confianza y error de muestreo.....	8
Cálculo del número de muestras.....	10
DISEÑOS BASICOS DE MUESTREO.....	12
Al azar.....	12
Sistemático.....	12
Estratificado.....	13
PLANIFICACION DE INVENTARIOS FORESTALES.....	15
Definición de objetivos.....	15
Descripción y estratificación del área del inventario.....	15
Diseño del inventario.....	16
1. Tamaño de las parcelas.....	16
2. Forma de las parcelas.....	19
3. Tamaño de la muestra.....	19
4. Distribución de la muestra.....	22
Registro y recolección de datos de campo.....	26
Procesamiento de la información.....	31
Interpretación de los resultados.....	32
1. Error de muestreo.....	32
2. Distribución por clase diamétrica.....	33
3. Abundancia de regeneración natural.....	33
RECOMENDACIONES.....	34
LITERATURA CONSULTADA.....	35

Lista de Cuadros

1. Intensidades mínimas y número de parcelas de muestreo (1 ha) en función de la superficie del bosque bajo manejo para el levantamiento de inventarios forestales en la RBM.22
2. Formulario de campo para árboles.29
3. Formulario de campo para la regeneración natural.....30

Lista de Figuras

1. Curva área-especie para el bosque primario en Uaxactún, Petén, Guatemala.....17
2. Curva área-coeficiente de variación respecto del volumen comercial de todas las especies ($dap \geq 25$ cm) para el bosque primario en Arroyo Colorado, Petén, Guatemala.....18
3. Variación del error de muestreo en relación con el número de parcelas.20
4. Ejemplo de distribución de las parcelas en un inventario sistemático estratificado25
5. Distribución de las subunidades de muestreo para la evaluación de los árboles y regeneración natural27

Anexos

1. Valores de t37
2. Lista de personas que contribuyeron en la elaboración de la guía38
3. Siglas utilizadas39

PRESENTACION

En 1990, en Guatemala se creó la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en el norte del departamento de Petén, con una extensión aproximada de 1,5 millones de hectáreas. Desde esa fecha, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) ha estado aplicando la experiencia adquirida en América Latina, al manejo de los recursos forestales en esta zona de tanta importancia ecológica y económica.

El supuesto principal de la estrategia conservacionista actual es que áreas boscosas no sujetas a la protección estricta (como en biotopos y parques nacionales), serán desforestadas si no brindan beneficios económicos a los habitantes locales; esto fomentará la protección y manejo del bosque por ellos mismos, con el fin de garantizar su propio bienestar económico.

Siguiendo esta filosofía, el CATIE ha apoyado las iniciativas de manejo sostenible de los recursos naturales en la RBM y en diferentes comunidades, comprobando que la estrategia mencionada es válida. El CATIE tiene el orgullo de haber contribuido a establecer el marco legal y político para efectuar el sistema de concesiones forestales comunitarias en la RBM. Como resultado de estos pioneros esfuerzos, es satisfactorio notar el creciente interés en el manejo forestal comunitario por parte de los habitantes del Petén.

Para concretizar el esquema de concesiones comunitarias, el CATIE ofreció dar asesoría técnica al Estado Guatemalteco, representado en este caso por el Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP). Por lo tanto, en octubre de 1995, se inició el Proyecto CATIE/CONAP, patrocinado por USAID/Guatemala como parte de su Proyecto de la Biosfera Maya. Este esfuerzo colaborativo propone fomentar, a una escala masiva, un patrón de manejo forestal sostenible en la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) fundamentado en:

1. Lineamientos técnicos claros y realistas, de bajo impacto en el manejo de los recursos naturales.
2. Principios científicos probados con base en investigación en el bosque petenero.
3. Capacitación local.

Para lograr lo anterior, el Proyecto elaborará una serie de documentos técnicos sobre el manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Ma-

ya, que tratarán varios temas relacionados al caso. En el presente documento, se propone una metodología para la planificación de los inventarios forestales en la RBM.

El autor ha tratado de unir experiencias y metodologías adquiridas mediante la realización de inventarios en Petén y otros bosques tropicales extensivos de América Latina.

El documento se discutió y analizó con un grupo de forestales de Petén y se elaboró con base en sus sugerencias y aportes. Por lo tanto, se confía en que la metodología propuesta ayudará tanto al concesionario a obtener datos confiables a menor costo, como al Estado Guatemalteco en asegurar un buen control de las concesiones.

Esta obra representa un paso importante para lograr los objetivos del Proyecto CATIE/CONAP y, a la vez, se espera dejar una huella importante en el proceso dinámico de la conservación y manejo forestal en Petén.

Steven Gretzinger
Líder Proyecto CATIE/CONAP

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a las personas que con su amplia experiencia contribuyeron a la elaboración de la presente guía. En especial deseo destacar la participación de Steven Gretzinger, Gustavo Pinelo, Julio Morales, Scott Stanley, Mauro Salazar, Erick Arellano, Horacio Valle Dawson, Oscar Vallejos, Daniel Marmillod y Erhard Dauber.

F.Carrera

INTRODUCCION

En la Zona de Usos Múltiples (ZUM) de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en Petén, Guatemala, se está promoviendo el manejo forestal, mediante un proceso ordenado de otorgamiento de concesiones (comunitarias, industriales y mixtas), como estrategia para reducir la conversión del bosque a otros usos no sostenibles de la tierra, conservar la biodiversidad y contribuir al desarrollo socioeconómico de la región.

El manejo sostenible del bosque exige del conocimiento adecuado del área y los elementos que lo conforman. La técnica que permite dar respuesta a estas interrogantes se conoce como *inventario forestal*. Malleux (1982) define a los inventarios forestales como un *"sistema de recolección y registro cuali-cuantitativo de los árboles y de las características del área sobre la cual se desarrolla el bosque, de acuerdo con objetivos previstos y con base en métodos apropiados y confiables"*.

Los inventarios forestales han evolucionado en el tiempo, el uso de fotografías aéreas, imágenes de satélites y la introducción de computadoras han revolucionado su metodología, facilitando la planificación, el registro y el proceso de la información. Sin embargo, hay que aclarar que por más avanzado que sea el sistema de procesamiento que se utilice, los resultados dependerán, en gran medida, de la calidad de información que se registre.

Si bien en Petén existe una amplia experiencia en la ejecución de inventarios forestales, no existe una metodología estandarizada que permita comparar sus resultados. Además, persisten muchas dudas sobre los diseños más apropiados que permitan obtener resultados más precisos con costos razonables.

El presente documento tiene como objetivo presentar los aspectos más relevantes en el diseño y planificación de inventarios forestales para la elaboración de planes de manejo en el sistema de concesiones de la RBM. Se analizan los conceptos teóricos y prácticos llegando a propuestas concretas basadas en la experiencia generada en Petén y otras regiones del trópico con características similares.

Es necesario aclarar que el documento sólo se refiere a inventarios de productos maderables en áreas grandes (mayores de cinco mil hectáreas). Los inventarios de productos no maderables obedecen a otro tipo de diseños debido a sus características especiales.

ANTECEDENTES

Inventarios forestales en Petén

En Petén se han realizado varios estudios y evaluaciones de la masa forestal. Una de las primeras investigaciones sobre el particular la realizó Lundell en 1937, mientras que el primer estudio con respecto a la estratificación y cuantificación de la masa forestal lo realizaron Holdridge, Lamb y Mason en 1950 (UNEPET, 1992).

Respecto de los inventarios, es necesario diferenciar tres tipos en Petén: los de reconocimiento para la planificación macro (regional), los inventarios para la elaboración de planes de manejo en áreas específicas dentro y fuera de la RBM, y los censos comerciales o "monteos".

1. Inventarios de reconocimiento

Inventario de la FAO. Entre 1963 y 1969 la FAO realizó un estudio de pre-inversión sobre el desarrollo forestal (FAO, 1981). Para ello se hizo una fotointerpretación y mapeo de los bosques y un inventario en dos etapas, una de reconocimiento de baja intensidad (menos de 0,002 %) sobre toda la región y una segunda con mayor intensidad para un plan de manejo en el sureste de Petén. En 1983 el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) realizó un estudio complementario al anterior en el cual, por medio de fotografías aéreas y chequeos en el campo, se recalculó el área con cobertura forestal en el departamento.

Inventario de UNEPET. Este inventario fue realizado en 1991 en el marco del Proyecto Plan de Desarrollo Integrado de Petén (UNEPET). El objetivo principal fue proporcionar datos cualitativos y cuantitativos actualizados sobre el área y la masa boscosa que ayude a definir los programas y directrices del sector forestal a nivel regional. El inventario partió de un trabajo de estratificación con imágenes de satélite, lo que permitió realizar un inventario estratificado al azar, con una intensidad de muestreo del 0,05 por ciento. Como resultado de la estratificación y del inventario se elaboró un mapa de la cobertura forestal de Petén.

2. Inventarios para la elaboración de planes de manejo

Es necesario diferenciar los inventarios realizados con fines de elaboración de planes de manejo en áreas específicas dentro y fuera de la Reserva de la Biosfera Maya.

Inventarios en la RBM. Estos han sido elaborados con el apoyo de ONG locales e internacionales y, a pesar de ser áreas relativamente grandes, sus resultados tienen mayor confiabilidad para el manejo forestal que los inventarios comerciales fuera de estas áreas. Así, por ejemplo, están los inventarios de Arroyo Colorado, San Miguel La Palotada, Cooperativa Bethel, San José, La Técnica, La Lucha, y Monte Sinaí, entre otros.

Inventarios fuera de la RBM. En la mayoría de los casos estos inventarios se realizan con el único objetivo de lograr el permiso de extracción por exigencia legal, más que por convencimiento propio de manejar el bosque sosteniblemente. Casi siempre es el maderero quien solicita los servicios de un profesional para realizar el inventario y elaborar el "plan de manejo".

3. Censos comerciales

Tradicionalmente los madereros han venido realizando "monteos", que es en buena cuenta la expresión más simple del censo comercial. En los últimos años este tipo de inventario ha sido tecnificado, permitiendo presentar la ubicación de los árboles aprovechables y las características del terreno en mapas o croquis, para planificar mejor las operaciones extractivas. Ejemplos de censos comerciales, para la elaboración de Planes Operativos Anuales (POA) en Petén, son los realizados por la Cooperativa Bethel, La Quetzal y San Miguel La Palotada, entre otros lugares.

Modelo simplificado de planes de manejo

Una de las principales preocupaciones surgidas en el Primer Congreso Forestal Centroamericano, realizado en Petén en agosto de 1993, fue la diversificación de criterios referentes a la elaboración y presentación de planes de manejo para bosques naturales.

El CATIE, por solicitud del Plan de Acción Forestal Tropical para Centro América (PAFT-CA) y el Consejo Centroamericano de Bosques y Áreas Protegidas (CCAB-AP), elaboró una Guía Simplificada para Planes de Manejo, con base en una serie de consultas con miembros de diferentes sectores involucrados (público y privado), tanto a nivel nacional como internacional.

El "modelo" propone clasificar el bosque según fines de protección y producción, y sobre éstas últimas realizar un inventario por muestreo a partir de 25 cm dap. Los árboles entre 10 y 24,9 cm dap también deben ser muestreados, pero con una intensidad menor.

ELEMENTOS DE ESTADISTICA PARA INVENTARIOS FORESTALES

Las áreas propuestas bajo el sistema de concesiones forestales en la RBM son grandes, lo cual condiciona y limita el proceso, permitiendo trabajar con sólo una pequeña parte de la población, para luego, inferir necesariamente los resultados al bosque bajo manejo. En el presente capítulo se abordarán algunos elementos básicos de estadística, con el fin de permitir un mejor entendimiento sobre el diseño de inventarios forestales.

La metodología estadística se divide en dos componentes principales: la descriptiva y la inferencial. La *estadística descriptiva* incluye la presentación de datos en gráficos y cuadros, así como el cálculo de resúmenes numéricos tales como frecuencia, promedios, porcentajes, etc. La *estadística inferencial* proporciona una metodología para llegar a tomar decisiones respecto a una población, siguiendo un razonamiento derivado de la evidencia de datos numéricos observados en una muestra de la población.

De manera general, cualquier conjunto de datos observados forma parte de un conglomerado más amplio de datos potenciales, aunque no observados. El conjunto de los datos observados se denomina *muestra*, en tanto que el grupo más general se llama *población*. Las poblaciones se describen mediante características denominadas *parámetros*. Los parámetros son valores fijos, aunque raramente se saben cuáles son. Las muestras se describen por las mismas características, pero cuando éstas se aplican a las muestras se llaman *estadígrafos*. La media de una muestra es un estadígrafo. Se calculan los estadígrafos de las muestras para estimar los parámetros de la población.

Los parámetros poblacionales son desconocidos y su estimación permite una aproximación a los valores reales, la cual no está exenta de errores. Estos pueden ser errores muestrales o de medición. La aplicación de un adecuado muestreo tiende a minimizar el error muestral, mientras que la reducción de los errores de medición depende de la calidad de los datos recolectados en el campo.

Para comprender mejor los estadísticos se presenta un ejemplo teórico de un muestreo al azar, en el cual se tomó una muestra de diez parcelas de 1 ha, reportando los siguientes volúmenes: 64, 47, 39, 67, 54, 33, 49, 85, 72, 90 m³/ha.

Media aritmética

Es una medida de tendencia central, y se define como:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

donde:

X_i = valor observado de la unidad i -ésima de la muestra.

n = número de unidades de la muestra (tamaño de muestra).

Reemplazando los datos en la fórmula se tiene:

$$\bar{X} = \frac{64+47+39+67+54+33+49+85+72+90}{10} = 60 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Si la superficie total del bosque inventariado es de 1000 ha, el valor total sería $60 * 1000 = 60000 \text{ m}^3$

Desviación estándar

Es una medida que caracteriza la dispersión de los individuos con respecto a la media. Da una idea de los individuos en una muestra si están próximos a la media o están diseminados. Se define como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2/n}{n - 1}}$$

El denominador indica el número de grados de libertad.

Para nuestro ejemplo calculamos:

$$S = \sqrt{\frac{64^2 + 47^2 + \dots + 72^2 + 90^2 - \frac{600^2}{10}}{10-1}} = 18,9 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Para nuestro ejemplo se puede decir que el promedio de las desviaciones de los datos muestreados es de 18,9 m³/ha, con respecto a la media muestral.

Coefficiente de variación

Es una medida que expresa la desviación estándar como un porcentaje de la media.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

$$CV = \frac{18,9}{60} * 100 = 31,5 \%$$

Se puede interpretar este resultado afirmando que la desviación promedio de los datos muestreados es de 31,5 % con respecto al promedio.

Una de las ventajas del coeficiente de variación, es que permite comparar la variabilidad de poblaciones que tienen diferentes unidades de medida.

Error estándar

Lo que más interesa en un muestreo, aparte de la media, es su exactitud. Se sabe que cada media estimada con base en un muestreo, tiene un error estadístico, el cual también hay que calcular.

A diferencia de la desviación estándar que mide el promedio de las desviaciones de las observaciones individuales respecto de la media muestral, el error estándar mide el desvío de las medias muestrales respecto de la media poblacional. Esta se calcula con la fórmula:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \frac{n}{N}}$$

donde: S = desviación estándar
 n = tamaño de la muestra (número de unidades muestrales)
 N = tamaño de la población (expresada en parcelas)

Cuando n es muy pequeño con respecto a N, la fracción n/N se hace despreciable, y el factor (1-n/N) se aproxima a la unidad (1). En la práctica, cuando n/N es menor que 0,01, lo que comúnmente ocurre en los inventarios forestales en grandes extensiones, se puede considerar la población como infinita y la fórmula queda como:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

En este ejemplo sería:

$$\frac{18,9}{\sqrt{10}} = 5,98$$

Límites de confianza y error de muestreo

La media obtenida a partir de una muestra difiere de la verdadera media poblacional. La media poblacional está comprendida entre un límite inferior dado por $\bar{X} - t(S_{\bar{x}})$ y un límite superior con $\bar{X} + t(S_{\bar{x}})$. Es decir:

$$\bar{X} - t(S_{\bar{x}}) \leq \mu \leq \bar{X} + t(S_{\bar{x}})$$

donde:

μ = media poblacional
 \bar{X} = media muestral
 $t(S_{\bar{x}})$ = error de muestreo

El error de muestreo permite determinar los límites del intervalo de confianza al sumarlo y restarlo de la media muestral. El valor de t depende del nivel de confianza requerido y de los grados de libertad.

Para 9 grados de libertad (nuestro ejemplo) y un nivel de confianza del 95 %, el valor de t es 2,26, los límites de confianza a ambos lados de la media serían:

$$\text{Límites de confianza: } 60 \pm 2,26(5,98) = 60 \pm 13,51$$

$$\text{Límite superior: } 60 + 13,51 = 73,51$$

$$\text{Límite inferior: } 60 - 13,51 = 46,49$$

Se puede decir con una probabilidad del 95% que la media real de la población no es menor a 46,49 m³/ha ni mayor a 77,51 m³/ha. Hay que tomar en cuenta que el 5%, en este caso de dos límites (inferior y superior), están a ambos lados de la distribución t, o sea 2,5% a cada lado. En la tabla el valor de t corresponde al 2,5% (0,025) de probabilidad de sobrepasar los límites de confianza.

Si solamente interesa un lado, por ejemplo, el límite inferior, tendría que considerarse solamente el lado izquierdo de la distribución t, buscando el límite que corresponde al 5 % de probabilidad de sobrepasar este límite al lado izquierdo de la distribución t. En este caso se habla de la estimación mínima confiable (EMC).

El volumen mínimo por que se puede esperar por hectárea a un 95% de confianza es:

$$\text{EMC} = \bar{X} - t (S_{\bar{x}}) = 60 - 1,83 (5,98) = 49,01 \text{ m}^3/\text{ha}$$

El error de muestreo absoluto, se puede expresar como error de muestreo relativo, expresado en porcentaje (E), utilizando la relación siguiente:

$$E = \frac{t (S_{\bar{x}})}{\bar{X}} * 100$$

Para el ejemplo anterior el error de muestreo relativo (E) será:

$$E = \frac{2,26 (5,98)}{60} * 100 = 22,5 \%$$

Se puede interpretar este resultado afirmando, con un 95% de seguridad, que el valor de la media poblacional está en un rango de más o menos 22,5 % con respecto de la media muestral.

El error de muestreo es diferente para cada parámetro forestal (N/ha, G/ha, V/ha) y también difiere de especie a especie. Generalmente, el error para una sola especie es mayor, para un grupo de especies se reduce el error y más todavía si se trata del total de especies.

Cálculo del número de muestras

A partir de la fórmula del error de muestreo relativo (E), se puede despejar una fórmula que permita calcular el tamaño de muestra necesario, para una precisión deseada.

Reemplazando S_x por su equivalente (S/\sqrt{n}) , se tiene:

$$E = \frac{t(S/\sqrt{n})}{\bar{X}} * 100$$

Se conoce que: $CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$

Reemplazando en la expresión anterior, se tiene:

$$E = \frac{t(CV)}{\sqrt{n}}$$

Elevando al cuadrado, ambos miembros de la expresión, y haciendo una transposición de términos, se tiene:

$$n = \frac{t^2(CV)^2}{E^2}$$

Esta fórmula es la más utilizada cuando se va a realizar un muestreo al azar o sistemático.

En los cálculos del ejemplo anterior, el coeficiente de variación fue de 31,5%, con un error de muestreo de 22,5 por ciento. Si se quiere alcanzar un error del 15%, a un nivel de confianza de 95%, se va probando con diferentes grados de libertad hasta que los resultados de las "n" sean iguales. Así, para 19 grados de libertad, $t = 2,09$. Reemplazando los valores se tiene:

$$n = \frac{t^2 (CV)^2}{E^2} = \frac{(2,09)^2 (31,5)^2}{15^2} = 19,3$$

Se necesitaría un mínimo de 20 muestras para alcanzar el error deseado. Ahora, si se desea un error del 10% al mismo nivel de probabilidad se prueba así:

Para 40 grados de libertad $t = 2,021$

$$n = \frac{(2,021)^2 (31,5)^2}{10^2} = 40,5$$

Nótese como para reducir el error de 15 a 10 % se tuvo que duplicar el número de muestras ha tomar. De la fórmula se deduce que el tamaño de la muestra está en función de la variabilidad del bosque (CV) y de la precisión requerida (E), y no del tamaño de la superficie del bosque a inventariar.

El problema normalmente es que de antemano no se conoce el valor del coeficiente de variación. Este valor depende de la homogeneidad del bosque y del tamaño de las unidades de muestreo. Unidades más pequeñas normalmente corresponden a un mayor coeficiente de variación. Por otro lado, es lógico suponer que la heterogeneidad del bosque aumenta con su tamaño, puesto que es más probable encontrar tipos de bosques o estratos diferentes.

La estimación del coeficiente de variación puede basarse en valores de bosques cercanos, anteriormente inventariados o mediante la realización de un pre-muestreo o muestreo piloto, aunque este último método ha mostrado ser poco práctico por motivos que se explicarán más adelante.

DISEÑOS BASICOS DE MUESTREO

Los principales diseños utilizados en la ejecución de inventarios forestales son el muestreo al azar y el sistemático, ambos pueden o no estratificarse.



Al azar

Este tipo de muestreo es el que cumple más fielmente las condiciones teóricas señaladas a la muestra. Las unidades muestreadas son seleccionadas aleatoriamente, sin que la elección de una influya en las otras. Este diseño es una aplicación exacta de las leyes de la probabilidad y sus resultados tienen una alta confiabilidad, son imparciales y consistentes.

Entre las desventajas de este diseño de muestreo está la inseguridad para establecer la ubicación exacta de las muestras en el bosque (especialmente cuando no se cuenta con un geoposicionador o GPS), los altos costos por accesibilidad, y el hecho de no proporcionar datos confiables acerca de la configuración y topografía del bosque.

En caso de inventarios de reconocimiento en áreas muy grandes, se recomienda utilizar el muestreo al azar, pero estratificado, tal como lo realizó FAO y UNEPET en Petén.

Sistemático

El muestreo sistemático es el método más aplicado en los inventarios para la elaboración de planes de manejo en bosques tropicales, y el que se recomienda utilizar para las concesiones forestales en la RBM. El diseño implica una distribución regular, con distancias igualmente distribuidas entre las unidades de muestreo.

Estrictamente hablando, los diseños sistemáticos no pueden computar un error exacto de muestreo, porque no se cumple con los requisitos de aleatorización. No obstante, brinda resultados suficientemente confiables, cuando se procesa como si fuera al azar. Al respecto, Ferreira (1994) cita la tesis de Mucha, quien realizó una comprobación estadística entre el muestreo al azar y sistemático mediante las pruebas de Chi-cuadrado y los índices de asimetría, y encontró que en ninguno de los dos sistemas de muestreo hay diferencias significativas con la distribución normal o curva de Gauss, concluyendo que es permitido realizar el análisis estadístico de un muestreo sistemático utilizando las fórmulas del muestreo al azar.

Una de las ventajas del diseño sistemático es que puede proporcionar datos suficientes y seguros para la construcción de mapas en la zona, al mismo tiempo que se realiza el inventario. Esta ventaja se incrementa cuando se trata de fajas que atraviesan todo el bosque y, la exactitud de los mapas aumenta conforme se reduce la distancia entre fajas. Además, facilitan el trabajo de campo y reducen la incertidumbre de errores personales en la medición de distancias entre unidades debido a su valor constante.

En el caso de inventarios de reconocimiento, este método no es el más apropiado, debido a que involucraría el establecimiento de una cantidad exagerada de carriles, lo cual tiene repercusión en los costos del trabajo de campo.

Estratificado

La estratificación es la zonificación del bosque con el objetivo de definir estratos más homogéneos. Este puede obedecer a criterios fisiográficos ("bajos" o "serranía"), florísticos (bosque bajo, medio o alto, estos pueden ser densos o ralos) o por antecedentes de intervención (bosque aprovechado, "guamil", etc.).

La estratificación puede producir una ganancia en la precisión de los estimados de la población, al reducir la influencia de los valores extremos (Malleux, 1982). La estratificación es eficiente si la variación dentro de los estratos es pequeña y entre los estratos es grande.

En la práctica la estratificación generalmente se realiza con base en una fotointerpretación estereoscópica. Si hay asentamientos humanos es aconsejable usar imágenes recientes de satélite para determinar las áreas ocupadas. El resultado de la fotointerpretación es un mapa con los diferentes estratos forestales o tipos de bosque.

El número de unidades de muestreo en cada estrato forestal puede ser proporcional a la superficie o variabilidad del mismo. En el primer caso, que recomendamos por cuestiones prácticas, la intensidad de muestreo es

igual en cada estrato, aunque puede reducirse la intensidad de muestreo en aquellos estratos de menor interés. En el caso de trabajar en forma proporcional a la variabilidad, es requisito indispensable conocer el coeficiente de variación de cada estrato, antes de realizar la recolección de datos.

PLANIFICACION DE INVENTARIOS FORESTALES

A continuación se presentan los principales aspectos que se deben tener en cuenta al momento de iniciar la planificación y diseño de los inventarios forestales en la RBM.

Definición de objetivos

La definición de objetivos constituye la parte más importante de un inventario. Pero no basta justificar el inventario en general, es necesario justificar cada uno de los datos que se recogen. Si no se sabe exactamente para qué se recolectan unos datos, lo mejor es no obtenerlos.

Existe la tendencia generalizada de recolectar innecesariamente un número mayor de datos, lo que demanda mayores recursos. Por ejemplo, si se necesita determinar el volumen comercial, además del dap y la altura comercial, se mide la altura total. Según John y otros (1971), se actúa de esta manera porque se piensa que con un esfuerzo un poco mayor es posible recoger datos que puedan ser utilizados más tarde; no obstante, en la mayoría de los casos esta información no es tomada en cuenta.

En el caso de las concesiones forestales en la RBM el objetivo del inventario es recabar información confiable y al menor costo, de las características del área, así como información dasométrica que permita la elaboración del plan de manejo. Por lo tanto, se requiere la estimación de:

- Distribución y características de los principales estratos forestales.
- Volumen comercial para todas las especies del bosque productivo bajo manejo ($dap \geq 25$ cm), con un error máximo de muestreo del 15% al 95% de confianza para el conjunto de estratos.
- Distribución por clase diamétrica del número de árboles, área basal y volumen comercial de todas las especies por grupo comercial.
- Abundancia de regeneración natural

Descripción y estratificación del área del inventario

Antes de realizar el inventario es necesario obtener una idea bastante precisa del área. Esto se puede lograr mediante revisión de material bibliográfico y cartográfico y un reconocimiento del sitio.

Es necesario señalar claramente en un mapa las áreas con y sin bosque. Dentro de las primeras se deben diferenciar, cuando sea posible, los bosques de producción y los de protección. Una vez identificadas las áreas de bosque de producción (área efectiva de manejo), éstas deben clasificarse por tipo de bosque o estratos, si es que hay diferencias marcadas que así lo ameriten. Se hace notar que pueden haber casos en que exista un sólo tipo de bosque. En general, no es conveniente diferenciar más de cuatro o cinco estratos ya que su diferencia no sería pronunciada (Dauber, 1995).

El inventario forestal de reconocimiento de Petén (UNEPET, 1992), dio como resultado mapas con diferentes tipos de bosque con base en imágenes de satélites, comprobación aérea y terrestre. Esta información puede utilizarse para la planificación y diseño de los inventarios en el sistema de concesiones en la RBM. Aunque es necesario acotar que la baja intensidad utilizada en el inventario de reconocimiento regional (0,02 %) puede no haber considerado estratos intermedios.

Diseño del inventario

El mejor diseño es aquel que reporta resultados más precisos a un costo más bajo. Dadas las características de las áreas en concesión, el diseño sistemático estratificado es el que cumple mejor estas dos condiciones, por lo que se recomienda su uso.

En los inventarios forestales la unidad de muestreo es la parcela. Es muy importante definir su tamaño, forma, número y distribución, puesto que tiene mucha influencia sobre la calidad de los resultados y los costos del inventario.

1. Tamaño de las parcelas

En Petén, como en la mayoría de las regiones ó zonas que aún cuentan con grandes superficies de bosque tropical latifoliado, es costumbre utilizar unidades de muestreo de una hectárea durante el levantamiento de inventarios forestales. Vale la pena preguntarse si es éste un tamaño adecuado y cuál es el fundamento teórico y práctico para tal afirmación.

Se sabe que la unidad de muestreo debe ser lo suficientemente grande como para abarcar la representatividad florística de la población, pero también lo suficientemente pequeña, dentro del rango permisible, con el objetivo de minimizar los costos en su medición. Una forma para determinar el tamaño de las parcelas, con base en la representatividad florística,

es mediante la curva "área-especie". En la Figura 1 se presenta una curva típica de distribución área especie para un bosque primario en Uaxactún, Petén, Guatemala.

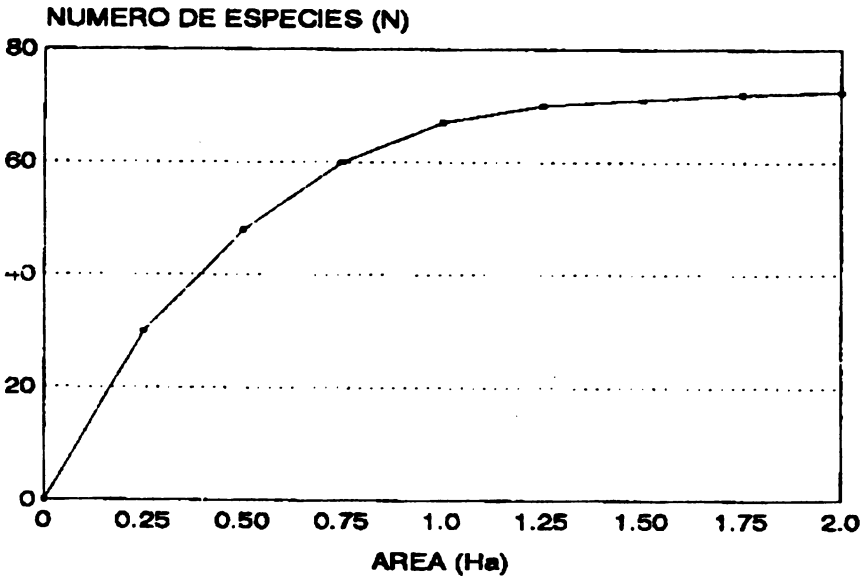


Figura 1. Curva área-especie para el bosque primario en Uaxactún, Petén, Guatemala. Fuente: Gretzinger (1994).

Resultados similares fueron reportados por Gálvez (1996) en el bosque de Yarché, quien tomó diferentes límites diamétricos inferiores. Ambos trabajos muestran que si bien en Petén existe una gran variabilidad florística, la mayoría de las especies están representadas en parcelas de una hectárea.

Estadísticamente también se puede determinar el tamaño óptimo de parcelas mediante la agregación de áreas, lo que permite obtener distintos tamaños de parcelas y así determinar el área óptima de la unidad muestral. La idea es tener parcelas del menor tamaño posible, que permitan obtener un coeficiente de variación relativamente bajo. Se utiliza el coeficiente de variación ya que este estadístico permite comparar variables cuantitativas expresadas en tamaños diferentes.

La Figura 2 presenta una gráfica de cómo cambia el coeficiente de variación respecto del tamaño de la unidad de muestreo. La gráfica muestra que mientras mayor sea el tamaño de las unidades de muestreo, menor será la variabilidad entre las mismas. Sin embargo, llega a un punto donde mayores incrementos en la superficie de la unidad de muestreo no tiene mayor relevancia en la disminución del coeficiente de variación.

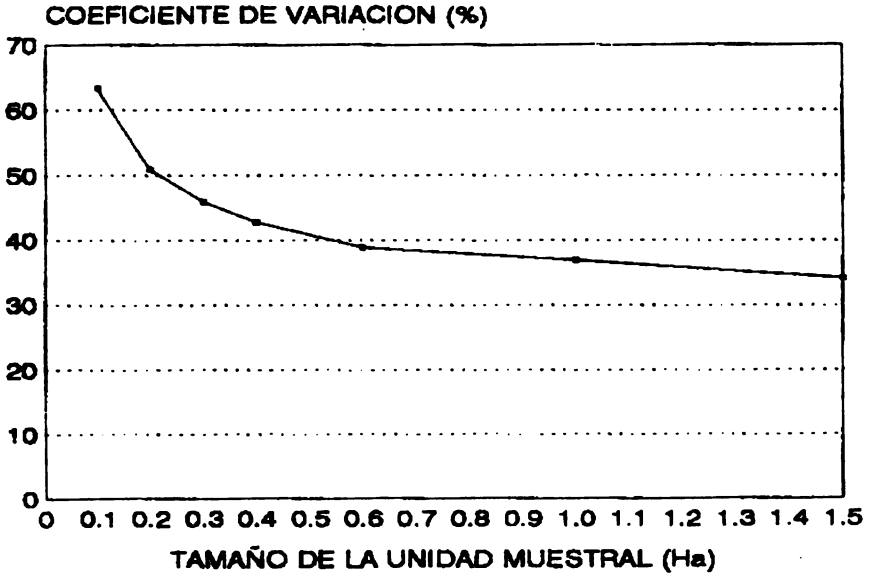


Figura 2. Curva área-coeficiente de variación respecto del volumen comercial de todas las especies ($dap \geq 25$ cm) para el bosque primario en Arroyo Colorado, Petén, Guatemala.

Para la elaboración de la gráfica se utilizaron datos de un total de 56 ha del inventario de Arroyo Colorado elaborado por Stanley (1994). Una conclusión de esta gráfica es que a partir de unidades de muestreo de 0,6 ha se tienen buenos resultados. No obstante, la mayoría de personas que realizan inventarios en Petén están acostumbradas a utilizar parcelas de una hectárea, lo cual es bueno si se quiere tener una mayor precisión a nivel de volumen por especie.

Del análisis de ambas gráficas se puede concluir que el tamaño de las unidades de muestreo de una hectárea reportarán resultados confiables. En bosques de la amazonía peruana y brasileña, encontraron resultados similares, que concluyen que parcelas de una hectárea han logrado ser eficientes, tanto para el control del volumen total como para el volumen a nivel de especies; sin embargo, a partir de 0,6 ha pueden tener una representación confiable de la población a nivel del volumen comercial para to-

das las especies (Malleux, 1982; Oliveira y Castro, citado por CIMAR, 1995).

Es necesario enfatizar que el tamaño de la parcela está en función de la población que se quiere inventariar. Así por ejemplo, si el objetivo es determinar solamente la población de especies valiosas a partir de un cierto diámetro, es probable que convenga utilizar parcelas de mayor tamaño. Cualquiera que sea el tamaño de la unidad de muestreo escogida, ésta no debe variar en el mismo inventario.

Por otro lado, hay que tener presente que el tamaño de las unidades de muestreo siempre se refieren al plano horizontal. En terrenos inclinados hay que hacer la corrección de pendiente ya sea por resaltos horizontales o utilizando una tabla de compensación de distancias.

2. Forma de las parcelas

La decisión de cual es la forma de la unidad muestral debe basarse en lograr máxima eficiencia y minimizar el sesgo. Se recomienda que las parcelas sean de 20 x 500 m, debido a las siguientes razones:

- Baja relación perímetro/área, lo que permite disminuir la posibilidad de incluir árboles fuera de la parcela.
- Adecuado control de distancia desde el eje central hasta 10 m.
- Disminuye el riesgo de que una unidad abarque dos estratos diferentes, en contraposición con parcelas más largas.
- Menores costos, debido a que se necesita abrir sólo 500 metros de brecha por cada unidad de muestreo.

No se recomienda utilizar parcelas circulares en bosques tropicales de latifoliadas, debido a su mala visibilidad. Por otro lado, parcelas cuadrangulares demandan un mayor tiempo para su levantamiento.

3. Tamaño de la muestra

El tamaño total de la muestra está compuesto por la suma de las áreas de todas las unidades muestrales. En la Figura 3 se presenta un ejemplo de cómo varía el error respecto del tamaño de la muestra.

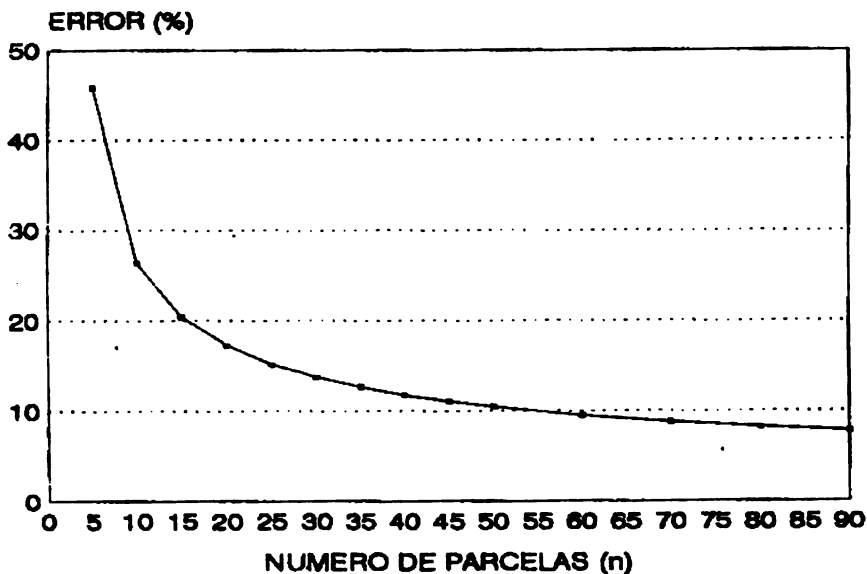


Figura 3. Variación del error de muestreo en relación con el número de parcelas. Los datos corresponden al inventario de Arroyo Colorado, Petén, Guatemala (CV=36,9%).

En la gráfica se puede observar que el tamaño de muestra tiene un límite máximo a partir del cual pierden eficiencia. Considerando una población dada de tamaño fijo, llega un límite donde la muestra aumenta en relación cuadrática, mientras que el error de muestreo disminuye sólo en proporción aritmética. Esto significa que el reducir a la mitad el error de muestreo, se aumenta el tamaño de la muestra en una proporción mayor, lo cual significa un aumento en los costos en casi esa misma proporción.

La relación porcentual entre el tamaño del área muestreada y el área total de la población nos da la intensidad de muestreo (i), la cual está definida por la siguiente fórmula:

$$i = \frac{\text{Superficie de la muestra}}{\text{Superficie de la población}} * 100$$

Como se dijo anteriormente, para la determinación del número de unidades de muestreo es necesario conocer el coeficiente de variabilidad de los diferentes estratos. Este coeficiente puede determinarse mediante un muestreo piloto o por información de otros inventarios cercanos al área. Realizar un muestreo piloto tiene algunas inconveniencias de orden práctico, por lo que se ha descartado su uso en la mayoría de países con bosques tropicales. Entre los principales inconvenientes se reconocen:

- Regresar al bosque en dos ocasiones para recolectar información, lo que definitivamente tiene repercusión en los costos del inventario.
- Se necesitan por lo menos diez unidades de muestreo por estrato para tener un coeficiente de variación confiable. Utilizar un menor número de muestras puede llevarnos a serios errores de estimación.
- Si bien se argumenta que se puede hacer el muestreo piloto y después completar el número de parcelas faltantes, esto no permite hacer una buena distribución sistemática de las parcelas.

Una forma de salvar estos inconvenientes es trabajar con intensidades de muestreo. Desde el punto de vista estadístico no es lo más conveniente, pero la práctica ha demostrado ser lo contrario. Sin embargo, no se descarta el trabajar con base en el conocimiento de la variabilidad del bosque, si es que se conoce de antemano esta información.

La experiencia en Petén señala que 40 parcelas son capaces de brindar información confiable para bosques de 5 000 hectáreas. Sin embargo, existe evidencia en otros países con bosques similares, que 100 parcelas es un tamaño adecuado para superficies de 50 000 hectáreas.

En el Cuadro 1 se presenta una propuesta de intensidades mínimas de muestreo aplicables al bosque de la RBM para superficies mayores a 5 000 hectáreas. El número de parcelas propuestas obedece al análisis de resultados de inventarios en Petén y en otros países del trópico americano.



Cuadro 1. Intensidades mínimas y número de parcelas de muestreo (1 ha) en función de la superficie del bosque bajo manejo para el levantamiento de inventarios forestales en la RBM.

Superficie del bosque a inv. (ha)	Intensidad mínima (%)	Número de parcelas muestreadas
5,000	0,80	40
10,000	0,50	50
15,000	0,40	60
20,000	0,35	70
30,000	0,27	80
40,000	0,23	90
50,000	0,20	100
100,000	0,15	150

Nótese que si bien el número de parcelas se incrementa con respecto a la superficie, la intensidad de muestreo disminuye. En todos los casos se debe trabajar con parcelas o unidades de muestreo de una hectárea. Los valores intermedios pueden ser calculados por interpolación.

Las intensidades propuestas están basadas en el mínimo necesario para alcanzar un error de 15 % respecto del volumen comercial para todas las especies en conjunto para el bosque bajo manejo (es posible que por estrato el error sea mayor). En todo caso, después de realizar el inventario este debe incluir el error obtenido cualquiera que sea su valor. Si existiera un caso que este sea mayor al 15% este debe ser aceptado.

El hecho de trabajar con intensidades de muestreo permite simplificar el proceso de diseño y planificación por parte de los responsables en su ejecución y, por otro lado, un mejor control por parte del Estado.

4. Distribución de la muestra

La representatividad de la muestra es fundamental para lograr resultados fidedignos. Una muestra pequeña bien distribuida es mucho más eficiente que muestras de gran tamaño mal distribuidas. Las fórmulas estadísticas parten del hecho de que las muestras son representativas, lo cual se logra con una buena distribución.

Aunque nunca se ha normado sobre la distribución de la muestra, Dauber (1995) recomienda que ésta sea distribuida sistemáticamente en la

superficie a inventariar en líneas de levantamiento paralelas equidistantes (generalmente en dirección este-oeste o norte-sur). Los puntos centrales de las unidades de esta manera estarán distribuidas en forma de una cuadrícula.

La distancia entre los puntos de la cuadrícula se puede calcular según la fórmula:

$$d = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{n}}$$

donde:

- d = Distancia entre los puntos centrales (km)
- A = Superficie total del bosque a inventariar (Km²)
- n = Número de unidades de muestreo

Para reducir las líneas de levantamiento y los costos, se puede aumentar la distancia entre ellas, multiplicando "d" por un factor entre 1 y 1,5, y reducir al mismo tiempo, la distancia entre los puntos centrales de las unidades sobre las líneas, dividiendo "d" con el mismo factor. En todo caso, el trecho sin inventariar entre las unidades de muestreo sobre una línea de levantamiento no debe ser menor al largo de la unidad.

Las distancias entre las líneas de levantamiento y entre los puntos centrales de las unidades sobre las líneas deben ser valores definidos en Km y redondeados al primer decimal. Los valores resultantes son de carácter estimativo y, en caso necesario, deben ser modificados para poder distribuir el número requerido de unidades.

Una vez definidas las distancias anteriormente mencionadas, se distribuyen las unidades de muestreo en el mapa forestal, enumerándolas en forma correlativa y tratando de conseguir la mejor forma de cuadrícula para evitar así coincidencias en las líneas de levantamiento con ciertos rasgos sistemáticos del terreno (por ejemplo ríos o cadenas de colinas). Lo último es importante para evitar errores sistemáticos (sesgos).

Pequeñas modificaciones del diseño sistemático puro en la fase de planificación solamente se justifican en zonas de geografía accidentada o para obviar obstáculos insuperables. En este caso, se puede aumentar o disminuir debidamente la distancia entre las unidades de muestreo sobre una línea de levantamiento.

Si una unidad de muestreo cae en dos diferentes estratos, según el mapa forestal, es conveniente recorrerla sobre la línea de levantamiento en dirección al estrato que contiene la mayor parte de la unidad.

Si la intensidad de muestreo no es igual para todos los estratos, la distancia entre los puntos centrales de las unidades sobre las líneas de levantamiento debe ser ajustado de acuerdo con la intensidad de muestreo en cada estrato.

Para entender mejor la distribución de las parcelas de inventario se cita un ejemplo práctico. Supóngase que se desea distribuir 100 parcelas en un bosque de 50 mil hectáreas (500 km²).

De acuerdo con la fórmula:

$$d = \frac{\sqrt{500}}{\sqrt{100}} = 2,2 \text{ km}$$

Para ahorrar costos, se puede aumentar la distancia entre las picadas a 3 km, y reducir la distancia entre las parcelas a lo largo de las picadas a 1,5 km. Es necesario tener en claro que este cálculo solamente es una ayuda para el diseño de muestreo, que su versión final es el resultado de un procedimiento empírico.

La ubicación de las unidades de muestreo debe realizarse primero en el mapa, haciendo las modificaciones del caso antes de tomar los datos en el campo. El inconveniente de esta técnica es que la distribución del número de parcelas está en forma proporcional a la superficie del estrato y no con base en su variabilidad.

En la Figura 4 se presenta un ejemplo de la distribución de parcelas en un inventario sistemático estratificado.

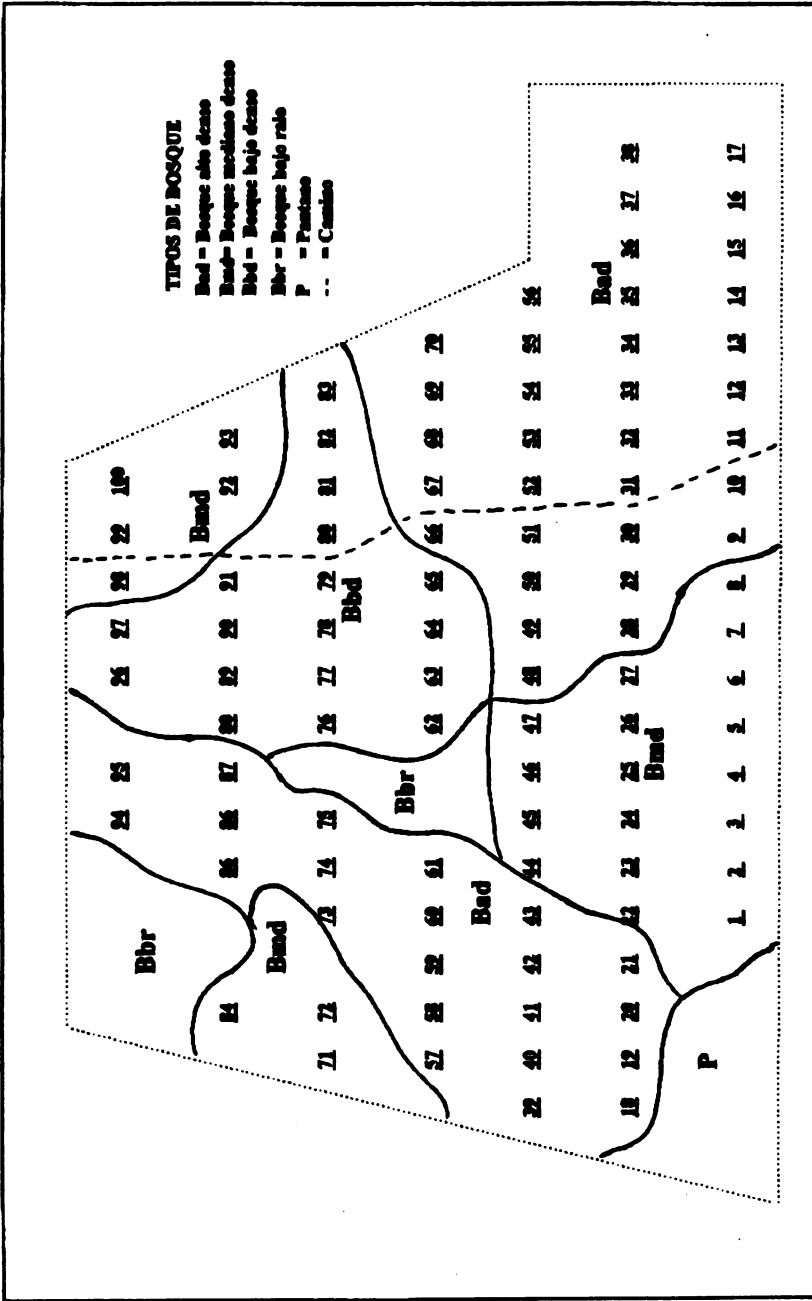


Figura 4. Ejemplo de la distribución de parcelas en un inventario sistemático estratificado.
Fuente: Dauber (1995).

Registro y recolección de datos de campo

Es importante contar con un formulario claro y sencillo para recolectar datos durante el inventario. Este formulario debe incluir los árboles, a partir de 25 cm dap, fustales (árboles entre 10 y 25 cm dap), latizales (regeneración entre 5 y 9,9 cm dap) y brinzales (plántulas mayores a 30 cm de altura pero menores 5 cm dap), las cuales tendrán diferentes intensidades de muestreo.

a) Para los árboles. Deben ser medidos en todas las subparcelas de 10 x 50 metros. Una parcela o unidad de muestreo está dividida en 20 subparcelas. Para cada individuo se debe registrar el número correspondiente, nombre común, diámetro y altura comercial.

- Número del árbol. Es un número correlativo ascendente para cada árbol en una parcela. El promedio del número de árboles, a partir de 25 cm dap, varía entre 60 y 120/ha, dependiendo del tipo de bosque; puede haber casos que sobrepasen este rango.
- Nombre común. Se debe anotar el nombre común proporcionado por el "baqueano". Si se va a contar con más de un "baqueano", es conveniente realizar un corto adiestramiento para uniformizar los nombres comunes.
- Diámetro. Debe ser medido con cinta diamétrica a la altura del pecho o estimado por encima de las gambas. En caso de que el árbol se encuentre sobre una pendiente, se medirá desde la parte más alta de la pendiente.
- Altura comercial. Está dada por el largo de fuste aprovechable sin defectos, estimada en metros. Si bien, el uso de instrumentos para su medición da resultados más precisos, implica un mayor tiempo por lo que es poco práctico. No obstante, es conveniente contar con un hipsómetro para hacer algunas comprobaciones y así calibrar mejor la estimación ocular.
- Defectos. En caso de que el árbol inventariado presente defectos visibles en el fuste, debe ser cuantificado en forma porcentual.
- Observaciones. En este espacio puede anotarse cualquier característica importante del árbol o del terreno que no haya sido considerada anteriormente.

b) Para la regeneración natural. La regeneración natural sólo debe ser evaluada sistemáticamente en las subparcelas 1, 7, 11 y 17 (Figura 5).

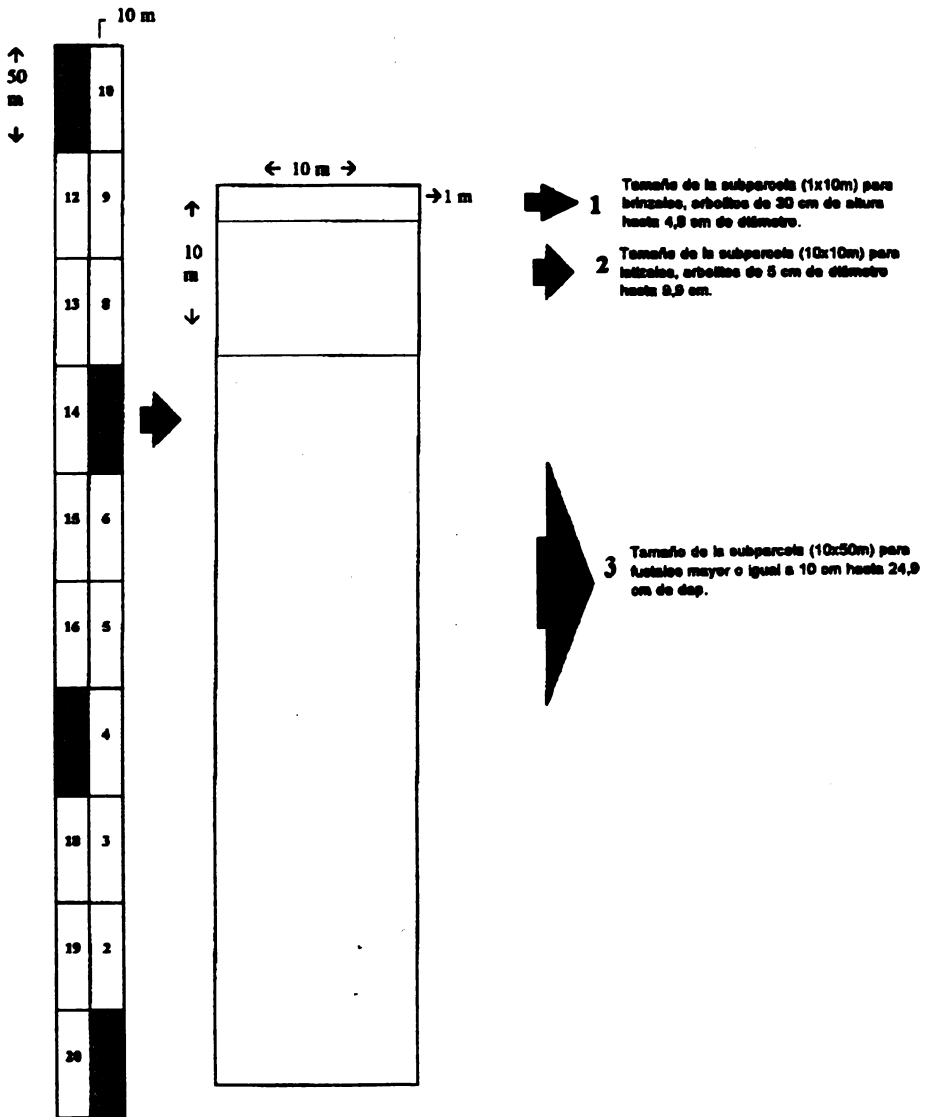


Figura 5. Distribución de las subunidades de muestreo para la evaluación de los árboles y regeneración natural. Fuente: Stanley (1994)

- **Fustales.** Árboles entre 10 y 25 cm dap son evaluados en estas cuatro subparcelas. Se debe anotar nombre común y dap.
- **Latizales.** La información de la regeneración entre 5 y 9,9 cm dap se registra en subparcelas de 10x10 m al inicio de las mismas subparcela del caso anterior. Aquí sólo interesa nombre común y número de individuos.
- **Brinzales.** Plantulas mayores a 30 cm de altura y menores a 5 cm dap se registra igual que en el caso anterior, pero en subparcelas de 1x10 m.

En los Cuadros 2 y 3 se presentan modelos de formularios de campo para recolectar información de los árboles y regeneración natural. Las características utilizadas en estos formularios son los siguientes:

-	Topografía		
-	-	Plana	1
-	-	Ondulada	2
-	-	Accidentada	3
-	Drenaje		
-	-	Excesivo	1
-	-	Bueno	2
-	-	Pobre	3
-	-	Nulo	4
-	Tipo de bosque		
-	-	Alto denso	1
-	-	Alto ralo	2
-	-	Medio denso	3
-	-	Medio ralo	4
-	-	Bajo denso	5
-	-	Bajo ralo	6
-	Estado del bosque		
-	-	Intervenido	1
-	-	No intervenido	2
-	-	Sin bosque	3
-	Sitios arqueológicos		
-	-	Existe	1
-	-	No existe	2

Se asignan valores de 1 a 6 según las características de cada categoría. En el espacio asignado para observaciones se debe especificar el tipo de intervención o resto arqueológico encontrado.

Procesamiento de la información

Existen diversas fórmulas para determinar el volumen comercial. La FAO, en los años sesenta, realizó en Petén la medición de 336 árboles sin gambas y 465 árboles con gambas, calculando separadamente los dos grupos utilizando 15 ecuaciones de regresión (UNEPET/APESA, 1992). Si bien las ecuaciones logarítmicas dieron mejores resultados éstas son muy complejas, por lo que en el inventario realizado por UNEPET se sugirió utilizar la fórmula siguiente:

$$V = 0,0567 + 0,5074 \text{ dap}^2 * Hc (1-D/100)$$

donde:

V = Volumen comercial (m³)
dap = diámetro a la altura del pecho (cm)
Hc = altura comercial (m)
D = defecto (%)

Si bien, esta fórmula, en opinión de muchos está descontinuada, se recomienda su utilización hasta la propuesta de alguna otra que se ajuste mejor a las necesidades.

Vale la pena recalcar que más importante que el tipo de fórmula a utilizar es medir o estimar adecuadamente el diámetro, altura comercial y el descuento por defectos. En otras regiones se han dado casos en los que se utilizan fórmulas más sofisticadas para medir con mayor precisión el volumen, pero, muchas veces no se percatan de que el árbol medido está defectuoso, hueco o podrido.

Los resultados pueden ser procesados mediante el uso de cualquier hoja electrónica, sin embargo, existen programas computadorizados especialmente diseñados para procesar la información de inventarios, tales como el Sistema de Entrada de Datos (SED) del CATIE, la cual ser.

Los formularios de campo deben ser revisados antes de ser digitados. La digitación debe ser realizada por una persona capacitada y responsable, con el propósito de evitar errores de transcripción. Concluida esta etapa, se debe realizar una verificación intensiva de los datos.

Interpretación de los resultados

En general, los resultados de los inventarios se presentan en cuadros y tablas, pero casi nunca son interpretados. A continuación se analizará brevemente el significado y uso del error de muestreo, la distribución por clase diamétrica y la abundancia de la regeneración natural.

1. Error de muestreo

Si el inventario fue diseñado con el objetivo de estimar el volumen comercial de madera, para todas las especies a partir de 25 cm dap, el error se refiere exclusivamente a este volumen y no al volumen de cada una de las especies en forma individual. Este punto no ha sido suficientemente comprendido por los usuarios, quienes creen que el error se refiere al volumen de cada una de las especies por separado.

Por ejemplo, si el error fue del 15% al 95% de confianza, significa que existe una probabilidad del 95% de que la media del volumen de la población, para todas las especies inventariadas, esté en un rango de más o menos 15% respecto de la media muestral.

Si el interés es estimar el volumen comercial de caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*), a partir del diámetro mínimo de corta (DMC), debe analizarse la información del volumen de estas dos especies, y determinar el error a que están sujetos los resultados. Por lo general, este error es mayor, puesto que tienen un coeficiente de variación más alto.

Es necesario tener claro que un área boscosa puede ser muy homogénea respecto del volumen total para todas las especies, pero a la vez muy heterogénea respecto del volumen comercial, especialmente si éste ha sido anteriormente aprovechado.

En consecuencia, cabe la pregunta sobre *¿qué es lo que interesa evaluar en un inventario con fines de manejo?, ¿el volumen de todas las especies o solamente el de las especies comerciales?*. En realidad, los dos aspectos son importantes; sin embargo, si fuera sólo un plan de aprovechamiento, definitivamente sólo interesarían las especies comerciales, pero para fines de manejo, además del volumen comercial, interesa conocer la distribución del volumen en comparación con las otras especies, su potencial futuro además de otras variables.

Es conveniente presentar, además del volumen de las especies comerciales, el error a que están sujetas, lo que permite tener mayor confiabilidad en los resultados. El tener más parcelas de lo estrictamente necesario para el volumen comercial de todas las especies inventariadas, permite tener resultados más precisos del volumen de las especies comerciales de interés.

2. Distribución por clase diamétrica

De la distribución por clase diamétrica se pueden sacar importantes recomendaciones:

- **Diámetro Mínimo de Corta (DMC).** Si bien el DMC está normado, se puede justificar la necesidad de subirlo o bajarlo para determinadas especies, con base en su distribución diamétrica. Existen muchas especies que no llegan a un diámetro determinado en áreas específicas, como es el caso de la caoba en sabanas u otras especies secundarias. Es necesario aclarar que el DMC también está en función del sistema de manejo que se quiera dar y tipo de bosque a manejar.
- **Arboles semilleros.** Si una especie está bien distribuida en todas las clases diamétricas se puede justificar su aprovechamiento a partir de un DMC, sin tener que dejar árboles semilleros. Contrariamente, como en el caso de caoba, es necesario tomar precauciones y dejar individuos fenotípicamente bien conformados, capaces de aportar semillas en cantidad y calidad suficiente para garantizar su producción en forma permanente y continua.

3. Abundancia de regeneración natural

La abundancia de regeneración natural de especies valiosas, de la clase fustal, latizal o brinzal, es un buen indicador del potencial futuro del bosque y el tipo de manejo a realizar. En caso de que sea escasa, se puede pensar en métodos para incentivarla o en plantaciones de enriquecimiento. Este parámetro tiene también influencia en la determinación de la necesidad de dejar fuentes semilleras.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo discutido en este documento se plantean las siguientes recomendaciones para la ejecución de inventarios con fines de elaboración de planes de manejo en la RBM:

- Elaborar un mapa forestal con la distribución de las unidades de muestreo y la estratificación del bosque a escala apropiada en relación con el tamaño del área a inventariar.
- Utilizar el diseño sistemático estratificado.
- Se recomienda utilizar intensidades mínimas de muestreo en función de la superficie total a inventariar propuesta en el Cuadro 1.
- Distribuir las parcelas de muestreo en proporción a la superficie, sin embargo, estratos de mayor interés pueden tener una mayor intensidad de muestreo.
- El tamaño de las unidades de muestreo para los árboles a partir de 25 cm dap debe ser de una hectárea en parcelas de 20x500 m. Para los fustales, latizales y brinzales, se deben utilizar cuatro subparcelas de 10x50 m, 10x10 m y 1x10 m, respectivamente.
- Utilizar los formularios de campo para árboles y regeneración natural (fustales, latizales y brinzales), de acuerdo con lo propuesto en los Cuadros 2 y 3.
- Utilizar, para el cálculo de volúmenes, la fórmula de la FAO para árboles sin gambas, descontando defectos.
- Presentar el cálculo de los resultados para cada estrato y el total de estos en forma estandarizada, de acuerdo con el modelo simplificado para la presentación de planes de manejo para Guatemala.

LITERATURA CONSULTADA

- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. PROYECTO PRODUCCION EN BOSQUES NATURALES. 1994. Diseño y planificación de inventarios forestales. In: Curso Intensivo de Inventarios Forestales para el Bosque Petenero. Tema II.(11 al 21 de julio de 1994). Flores, Gua. s.p.**
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1994. Plan de manejo forestal unidad de manejo San Miguel, San Andrés, Petén, Gua. 56 p.**
- CATIE. PROYECTO PRODUCCION EN BOSQUES NATURALES. 1995. Guía modelo para la presentación de planes de manejo para bosques latifoliados en Guatemala: Plan general. Petén, Gua. 15 p.**
- CENTRO DE INVESTIGACION Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1994. Levantamiento forestal de la faja de amortiguamiento de la reserva forestal El Chore. Santa Cruz, Bol. 195 p.**
- DAUBER, E. 1995. Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Santa Cruz, Bol, Proyecto BOLFOR. s.p.**
- FAO (GUA). 1981. Estudio de preinversión sobre desarrollo forestal. Inventario forestal. Guatemala, Gua. v2,164 p.**
- FERREIRA, O. 1994. Manual de inventarios forestales. 2 ed. s.l., Hond, ESNACIFOR-COHDEFOR. 103 p.**
- GALVEZ, J. 1996. Elementos técnicos para el manejo forestal diversificado en bosques naturales tropicales en San Miguel, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 163 p.**
- GRETZINGER, S. 1994. Response to disturbance, community associations and successional processes on upland forest in the Maya Biosphere Reserve, Peten, Guatemala. Thesis M.Sc. North Carolina State University. 94 p.**
- GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. 1978. Guía para la elaboración de inventarios y planes de manejo forestales. Guatemala, Gua. INAFOR. Unidad de Evaluación y Promoción. 16 p.**
- HERNANDEZ, M. 1995. Inventario forestal de la unidad de manejo La Pasadita, San Andrés, Petén. Guat. Thesis Tec.For.. CUDEP. 96 p.**

- JOHN, H; MORENO, R; ECHEVERRI, R. 1971. Cursillo de inventarios forestales. Medellín, Col., Universidad Nacional. 75 p.**
- JUNKOV, M; BOYER, P. 1994. Computación de datos de inventarios forestales. Guía de campo para extensionistas. San José, C.R., UICN. Programa Forestal Tropical. PRO-FOR II. 54 p.**
- MALLEUX, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima, Per. Universidad Nacional Agraria "La Molina". 441 p.**
- MOLLINEDO, A; MANZANERO, M; GUZMAN, N; RUBALLOS, E. 1991. Inventario forestal del biotopo "El Zotz", San Miguel La Palotada, Petén. Tesis Tec.For. Petén, Gua, CUDEP. 96 p.**
- PINELO, G; MORALES, R. 1993. Plan de manejo forestal de la Cooperativa "Bethel", La Libertad, Petén. Tesis Tec.For. Petén, Gua., CUDEP. 96 p.**
- VALLE, H. sf. Guía para elaborar inventarios forestales. Gua., s.n. 21 p.**
- STANLEY, S. 1994. Plan de manejo forestal unidad de manejo Arroyo Colorado. Petén, Gua., CATIE. 64 p.**
- UNIDAD DE EJECUCION DEL PLAN DE DESARROLLO INTEGRAL DEL PETEN. 1992. Inventario forestal del Departamento de Petén, Guatemala, C.A. Guatemala, Gua. 98 p.**

Anexo 1. Valores de t

gl	Probabilidad de un valor más alto de t								
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291
gl	Probabilidad de un valor positivo más alto de t								
	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005

Anexo 2. Lista de personas que contribuyeron en la elaboración de la guía

Nombre	Institución
Arellano, Erick	CONAP
Arévalo, Mynor	PROPETEN
Auleu, Rodolfo	AGROFORESTAL S.A.
Carrera, Román	CATIE/CONAP
Castillo, Donaldo	PROPETEN
Ceballos, Rafael	MAGA/GTZ
Contreras, José	PROPETEN
Cruz, José	CONAP
Gálvez, Juventino	CATIE
Girón, Antonio	PROFIGSA
Gómez, Carlos	CATIE/CONAP
Gretzinger, Steven	CATIE/CONAP
Hoil, Justo	CONAP
Juarez, Jorge	DIGEBOS
Manzanero, Manuel Antonio	PROPETEN
Marmillod, Daniel	CATIE/OLAFO
Mas, Carlos Enrique	TECA
Milián, Byron	CARE
Mollinedo, Ana del Carmen	CENTRO MAYA
Monroy, Héctor	CATIE/OLAFO
Morales, Jorge Ariel	CUNOROC/USAC
Morales, Julio	CENTRO MAYA
Morales, Ramón Francisco	CUDEP
Morales, Reyneer	CENTRO MAYA
Ordóñez, Willian	GTZ
Ortiz, Spencer	ARCAS
Pacheco, Francisco	CATIE/CONAP
Pineda, Pedro	CATIE
Pinelo, Gustavo	CATIE/CONAP
Salazar, Mauro	CENTRO MAYA
Sandoval, César	PROPETEN
Stanley, Scott	CONSULTOR
Tineo, Alex	CONSULTOR
Valle Dawson, Horacio	DIGEBOS
Vallejos, Oscar	CATIE
Villatoro, Moisés	CONSULTOR

Anexo 3. Índice de siglas

APESA	Asesoría y Promoción Económica, S.A.
CARE	Cooperación Americana de Remesas al Exterior.
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
CCAB-AP	Consejo Centroamericano de Bosques y Areas Protegidas.
CONAP	Consejo Nacional de Areas Protegidas.
CUDEP	Centro Universitario de El Petén.
DIGEBOS	Dirección General de Bosques y Vida Silvestre.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
PAFT-CA	Plan de Acción Forestal Tropical para Centro América.
PGM	Plan General de Manejo
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
POA	Plan Operativo Anual.
RBM	Reserva de la Biosfera Maya.
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación Económica.
UNEPET	Unidad Ejecutora del Plan de Desarrollo Integrado de Petén.
ZUM	Zona de Usos Múltiples.