

**PROYECTO PROTECCION DEL BOSQUE LATIFOLIADO NANDAROLA
(MARENA - DED)**

**PROYECTO RENARM/PRODUCCION EN BOSQUES NATURALES
(CATIE - USAID)**

CURSO

INVENTARIOS FORESTALES EN BOSQUES SECOS

Fernando Carrera Gambetta
Alex Tineo Bermúdez

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CATIE

Turrialba, Junio de 1994

INSTITUTO TECNOLÓGICO
ORGANIZACIÓN C.A.T.I.E

3 JUN 1994

RECEBIDO
Turrialba, Costa Rica

PRESENTACION

El presente documento fue preparado teniendo como base el libro "Inventarios Forestales en Bosques Tropicales" del Ing Jorge Malleux.

El objetivo de este material es servir de referencia a los participantes del Curso de Inventarios Forestales en Bosques Secos, realizado en Granada del 6 al 11 de junio de 1994, en el marco del Proyecto Nandarola. No obstante, por su forma y contenido puede emplearse como material de consulta para diseñar inventarios en otros tipos de bosque.

INDICE DE CONTENIDO

Prólogo

P.

1. INTRODUCCION A LA PLANIFICACION
2. LOS BOSQUES TROPICALES EN AMERICA CENTRAL
 - 2.1 Situación actual
 - 2.2 Principales características
3. CLASIFICACION DE LOS INVENTARIOS FORESTALES
 - 3.1 De acuerdo al método estadístico
 - 3.2 De acuerdo al grado de detalle
 - 3.3 De acuerdo al objetivo
4. MUESTREO FORESTAL
 - 4.1 Número y unidades de muestreo
 - 4.2 Forma de la muestra
 - 4.3 La precisión de la muestra
 - 4.4 El costo
5. ESQUEMAS Y DISEÑOS BASICOS DE MUESTREO
 - 5.1 Muestreo al Azar sin Estratificar
 - 5.2 Muestreo al Azar Estratificado
 - 5.3 Muestreo Sistemático al Azar
 - 5.4 Muestreo Sistemático Estratificado
6. FOTOINTERPRETACION FORESTAL
 - 6.1 Metodología de la fotointerpretación
 - 6.1.1 Consideraciones generales
 - 6.1.2 El material fotográfico
 - 6.1.3 El proceso de fotointerpretación
 - 6.2 Las unidades diferenciales
7. PLANEAMIENTOS DE INVENTARIOS
 - 7.1 Motivación y objetivos del inventario
 - 7.2 Tiempo y fondos necesarios disponibles
 - 7.3 Descripción del área del inventario
 - 7.4 Disponibilidad de personal capacitado
 - 7.5 Necesidades de equipo y materiales
 - 7.6 Uso de fotografías aéreas y detalles cartográficos
 - 7.7 Diseño del inventario y del muestreo
 - 7.8 Posibilidad de estandarización o combinación de datos de otros inventarios
 - 7.9 Soporte logístico
 - 7.10 Forma de registro y toma de datos en el campo
 - 7.11 Forma de procesamiento y cómputo de datos
 - 7.12 Preparación del informe final
8. BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

1. ELEMENTOS DE DASOMETRIA
2. ELEMENTOS ESTADISTICOS
3. INSTRUCTIVO DEL INVENTARIO EN NANDAIME

1. INTRODUCCION A LA PLANIFICACION

La conservación de los bosques tropicales ocupa actualmente un lugar de preponderancia en la política internacional, la cual fue puesta de manifiesto durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Brasil en 1992.

Parte del interés y de los esfuerzos se han dirigido hacia medidas proteccionistas que fomentan la intangibilidad del recurso. Esta alternativa, sin embargo, no es por sí sólo suficiente y con frecuencia incompatible con la realidad de una creciente población con necesidades reales de utilizar los recursos naturales disponibles.

En ese sentido, organismos conservacionistas como la WWF y UICN reconocen que, el manejo de los bosques tropicales, que no estén clasificados como áreas protegidas, es el mejor instrumento para su conservación.

La FAO reconoce que uno de los mejores medios de proteger los bosques es, indudablemente, trabajar con ellos, pero es sobre todo aplicando medidas de ordenación continuas y permanentes como se alcanzan los principales frutos de conservación, y con mayor motivo si, además, estas medidas pueden dar lugar a beneficios económicos, ecológicos, sociales y científicos.

"Ordenar un bosque es decir qué es lo que se quiere hacer, tener en cuenta qué es lo que se puede hacer, y deducir de todo ello qué es lo se debe hacer" (FAO, 1993).

Esta definición subraya la necesidad de alcanzar un compromiso entre lo que es deseable y lo que es posible hacer; ello requiere que los objetivos estén claramente definidos y que sean realistas; presupone también que puedan ser modificados en función de las exigencias de orden biológico, económico y político, y determina, finalmente, que debe hacerse el mejor uso posible de los recursos existentes.

Un ordenamiento eficaz sugiere el conocimiento adecuado del área boscosa y los elementos que lo conforman. Para esto debemos saber, por lo menos ¿ Con qué contamos ?, ¿ Cuánto se tiene ? y ¿Cómo está distribuida ?

La técnica que permite dar respuesta a estas interrogantes se conoce como Inventario Forestal, siendo la base que sustenta todo Plan de Manejo.

Podemos definir 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 a un objetivo previsto y en base a métodos apropiados y confiables".

Los inventarios forestales han ido evolucionando en el tiempo. El uso de fotografías aéreas y la introducción de computadoras han revolucionado su metodología, facilitando la toma de datos y el proceso de la información.

¿ Por que hacer inventarios forestales ?. Es conveniente hablar de esto, pues es frecuente encontrar forestales que no saben por qué están haciendo un inventario. En muchas ocasiones se recogen gratuitamente grandes cantidades de datos y se hacen archivos con los análisis correspondientes. Posiblemente, una de las razones por las cuales se obra de esta manera es que los inventarios son una de las pocas actividades del forestal que le permiten mostrar inmediatamente resultados en cifras presentadas en tablas (John, 1971).

Otra tendencia muy común es la de recoger un número de datos mayor que el necesario. Por ejemplo si se necesita determinar el volumen comercial además del dap y la altura comercial, se mide la altura total. Se obra de esta manera porque se piensa que con un esfuerzo un poco mayor es posible recoger datos que puedan ser utilizados más tarde. En gran mayoría de los casos, estos datos extras nunca son utilizados empleándose para su colección mayor tiempo, esfuerzo y dinero.

Pero es necesario regresar a la pregunta original ¿ Por que hacer inventarios forestales ?. La respuesta puede encontrarse a través de otra pregunta ¿ Cómo puede justificarse el costo de un inventario ?. Una inversión puede hacerse cuando rinde una cantidad igual o mayor que el capital. Esta norma económica es válida para el sector forestal. No siempre es fácil hacer evaluaciones de este tipo, pues muchas veces las utilidades se materializan mucho tiempo después de la inversión o se trata de bienes intangibles solo evaluables por análisis de tipo económico.

Durante el planeamiento de un inventario es necesario preguntarse si la información que se obtiene es necesaria para tomar las decisiones del caso, si algunas de ellas puede conseguirse indirectamente; así mismo, estudiar diferentes alternativas a fin de encontrar la que daría una información igual o similar a el costo más bajo.

La planeación tiene sentido cuando se han definido claramente los objetivos, por ésto la definición de objetivos constituye el paso más importante de un inventario.

La definición clara de los objetivos es muy fácil cuando se sabe porqué se está haciendo el inventario y para que se necesitan los datos. Pero no basta justificar el inventario en general, es necesario justificar cada uno de los datos que se recogen. Si no sabe exactamente para que se recogen unos datos, lo mejor es no obtenerlos.

En el Capítulo 7 del presente documento se discute con mayor amplitud los puntos a considerar durante el planeamiento de un inventario.

2. LOS BOSQUES TROPICALES EN AMERICA CENTRAL

2.1 Situación actual

En Centro América se aprecia una repartición muy clara de los bosques densos húmedos perennifolios en el lado atlántico y los bosques subcaducifolios y caducifolios en el lado del Pacífico, separados estos últimos por las cadenas montañosas centrales, en las que se encuentran formaciones ombrófilas, masas de pinos hasta Nicaragua o de encinos (*Quercus* spp.) hasta Costa Rica (FAO, 1993).

A título estrictamente indicativo, las superficies forestales estimadas en 1980 fueron las siguientes (en millones de hectáreas):

	Bosque de latifoliadas	Bosque de coníferas	Total
Costa Rica	1.64	- -	1.64
El Salvador	0.10	0.04	0.14
Guatemala	3.78	0.66	4.44
Honduras	1.86	1.94	3.80
Nicaragua	4.17	0.33	4.50
Panamá	4.16	- -	4.16
TOTAL	15.17	2.97	18.68

Actualmente, las superficies correspondientes son inferiores; lamentablemente, las informaciones recientes a este respecto son puntuales e imprecisas, como consecuencia de la falta de inventarios forestales nacionales actualizados.

La falta de manejo es una constante en estos bosques, los que están desapareciendo aceleradamente debido a la presión por tierras.

Los bosques secos de la zona del pacífico tienen una mayor presión social en comparación con los bosques húmedos del atlántico. La sobre explotación de madera y leña, a un ritmo mayor que su capacidad de reposición natural, los ha llevado, en la mayoría de los casos, a su degradación.

2.2 Principales características

Antes de realizar inventarios forestales es muy importante conocer algunos aspectos ecológicos relevantes y comunes en estos ecosistemas, cuyo entendimiento es relevante para su manejo en forma natural:

1) Una alta diversidad florística. La gran variabilidad florística por unidad de superficie que presentan los bosques tropicales y las interacciones que ocurren en ella, han motivado que muchos investigadores lo consideren como el ecosistema terrestre más rico y complicado del planeta. No obstante, esta gran diversidad no necesariamente complica su manejo si las especies son agrupadas convenientemente por grupos comerciales. Además, la diversidad se ve simplificada si tenemos en cuenta que un bajo porcentaje de especies aportan la mayor parte del volumen.

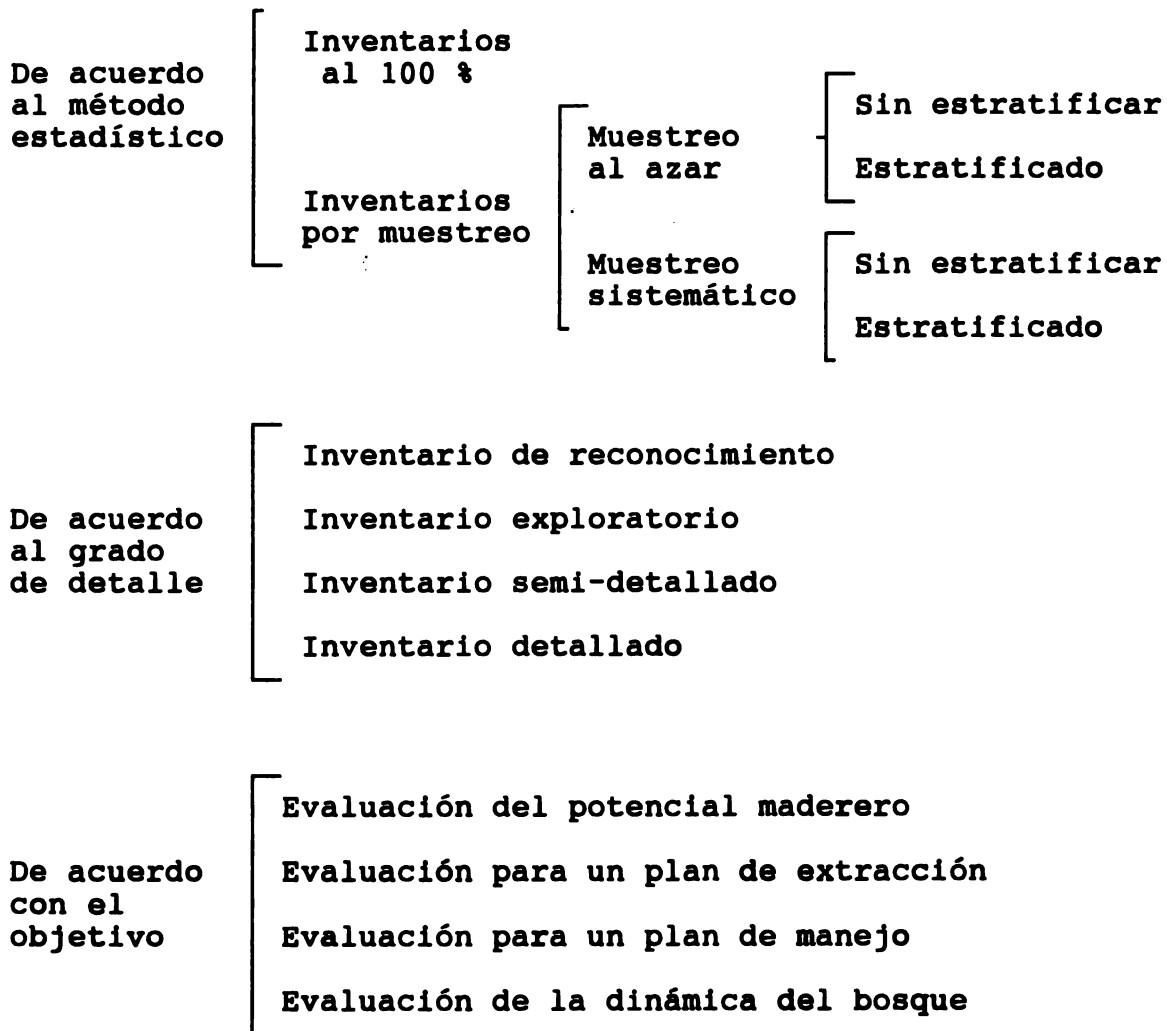
2) Estructura similar. Si bien las especies varían de región en región, la estructura del bosque es similar. La distribución del número de árboles por clase diamétrica en un bosque primario tiene una forma de "J" invertida, lo que es una resultante de la competencia entre las especies. La "J" invertida indica también una predominancia de árboles de sotobosque y regeneración natural

Otro aspecto que merece resaltarse es el concepto de área basal limitante que no es otra cosa que la capacidad de carga del bosque. EL área basal de un bosque es un buen indicador de su capacidad de producción.

3) Estado de equilibrio dinámico. Los bosques del trópico son muy dinámicos pero su tasa de crecimiento neto es cero. Esto es debido a que las perturbaciones son frecuentes y que la mayoría de las especies se adaptan a estas, aprovechando los recursos que se liberan, siendo esta la clave para establecer su manejo en forma natural.

3. CLASIFICACION DE LOS INVENTARIOS FORESTALES

Los inventarios forestales pueden clasificarse de acuerdo a varios criterios en:



3.1 De acuerdo al método estadístico

Inventarios al cien por ciento.

Este tipo de inventario recibe también el nombre de censo o inventario pie a pie. Se utiliza comúnmente en bosques naturales tropicales en la planificación del aprovechamiento.

Como producto de este tipo de inventario se obtiene un mapa con la distribución espacial de las especies en el área y las características del terreno. Estos dos factores son importantes para la planificación optimizada de caminos, lo que redundará en una reducción de los costos por debido a un mayor rendimiento de la maquinaria. Además, una buena planificación de caminos implica un desarrollo mínimo, lo que se traduce en una disminución en la intensidad de daños al bosque residual.

Inventarios por muestreo

La ciencia de la estadística permite obtener información correcta, precisa y a bajo costo de una población, en base a procedimientos de muestreo. Lógicamente que, cuanto más grande sea la muestra habrá mayor estrechez entre los datos del muestreo con la población, sin embargo, existen métodos o diseños de muestreo que permiten obtener un buen resultado utilizando muestras pequeñas con una baja intensidad de muestreo.

Los inventarios por muestreo, permiten un considerable ahorro monetario, ofreciendo información que permite realizar inferencias correctas pero afectadas por un error de muestreo que indica el grado de diferencia existente entre los valores de la muestra con los valores reales de la población. Es recomendable utilizar un cálculo conservador, llamado promedio mínimo, es decir el promedio hallado en base a la muestra, menos el error de muestreo obtenido a un cierto nivel de probabilidades.

Uno de los problemas fundamentales del muestreo forestal es la forma de distribución de las muestras. Se puede decir que, una gran parte del éxito del inventario forestal en base al muestreo, está en función de la adecuada ubicación de las muestras.

3.2 De acuerdo al grado de detalle

La clasificación por el nivel o grado de detalle establece fundamentalmente un grado de precisión de la información tomada, más no así del tipo de información o énfasis sobre ésta. Este grado de precisión se refleja en términos de error de muestreo con relación al promedio de volumen por unidad de superficie.

Inventario de Reconocimiento. Consiste en una evaluación rápida del potencial forestal de una determinada superficie, con el fin de clasificarla "a priori" apta o no apta para una cierta actividad económica. No requiere de datos cuantitativos precisos sino de órdenes de magnitud, tampoco es importante el error estadístico.

Su ejecución se basa en el juzgamiento rápido del área, en el que la experiencia profesional juega un papel muy importante. Metodológicamente se puede realizar mediante un reconocimiento aéreo de la zona o un simple recorrido o sondeo por el área.

Inventario Exploratorio. Este tipo de inventario requiere de un muestreo de campo con el fin de obtener información cuali-cuantitativa del recurso forestal. La información proporcionada debe servir para tomar una decisión sobre el uso o forma más apropiada de aprovechar el área, pudiéndose utilizar los datos para la elaboración de planes de manejo. Es error de muestreo no debe ser mayor a un 20 % con respecto a la media del volumen total, a un 95 % de confianza.

Inventario Semi-detallado. Este tipo de inventario permite tener más información y de mayor confiabilidad, como para garantizar la instalación de un complejo industrial. Se ajusta a estudios de pre-factibilidad, siendo el error de muestreo permisible de hasta un 15 % sobre la media del volumen.

Inventario Detallado. Es el de mayor nivel de confiabilidad estadística y se ajusta a estudios de factibilidad. El error de muestreo no debe ser mayor al 10 %.

3.3 De acuerdo al objetivo

Al definirse el Inventario Forestal este debe tener necesariamente un objetivo suficientemente claro que permita su planeamiento y diseño más adecuado con el fin de recabar el tipo, cantidad y calidad de información requerida.

El objetivo del inventario es también una indicación del nivel de detalle que se requiere en cada caso, es decir, el grado de precisión que debe tener el muestreo y la cantidad de información requerida.

El objetivo o los objetivos de un inventario forestal, son variados; sin embargo pueden dividirse en sus usos más frecuentes o comunes en:

Evaluación del potencial maderero. Tiene como objetivo hacer una evaluación rápida del bosque con el fin de conocer la disponibilidad volumétrica actual, puede ser sobre el volumen total de todas las especies o sobre determinadas especies de acuerdo a su uso.

Evaluación para un plan de extracción. Es más complejo que el primero, pues además de conocer el stock volumétrico, exige el conocimiento de las características del área con fines de extracción.

Evaluación para un plan de manejo. Este tipo de inventario no solo importa el stock sino también su distribución por clase diamétrica y la capacidad de regeneración del bosque.

Evaluación de la dinámica del bosque. Este tipo de inventario se realiza en parcelas permanentes de muestreo (PMPs), donde el objetivo es evaluar los procesos dinámicos que ocurren en el bosque; es decir, el crecimiento, la mortalidad natural y el reclutamiento de nuevas especies, a partir de un diámetro establecido.

Las parcelas son, por lo general son cuadradas, de una hectárea de superficie (100x100 m), divididas en sub-parcelas de 20 x 20 m. Dentro de cada sub-parcela, cada árbol es codificado y evaluado periódicamente en intervalos definidos.

4. MUESTREO FORESTAL

El inventario forestal es el método para obtener información verdadera y satisfactoria del bosque con una finalidad determinada. En otras palabras, un inventario busca conocer la población boscosa con el objeto de aplicar este conocimiento en la solución de diversos problemas forestales, y por lo tanto, la profundidad y variedad de la información obtenida en el bosque estarán en función de las necesidades que estos problemas plantean y de la posibilidad de satisfacerlas.

El bosque tropical presenta un problema de magnitud que condiciona y limita el proceso, permitiendo trabajar con sólo una pequeña parte de la población y luego, inferir necesariamente los conocimientos adquiridos al bosque en su conjunto.

La inferencia estadística se define como el método en el que conociendo los valores numéricos de las características, de lo singular es posible estimar los valores numéricos de las características de lo general.

La muestra es una parte representativa de un agregado mayor, con la cual, pueden hacerse inferencias correctas acerca de la población. En los inventarios forestales, generalmente la muestra es una superficie areal, que debe de cumplir con ciertas condiciones.

La primera condición, o sea la elección de una muestra representativa de la población, significa la elección de una muestra en la cual toda la variabilidad de la población se encuentre representada en la muestra.

Al ser la muestra de menor tamaño que la población (% de muestreo), siempre existirán diferencias entre lo expresado en la muestra y la existencia de la población. Estas diferencias pueden juntarse en dos grupos:

- a) Diferencias entre los valores reales de la población y los valores medidos de la muestra.
- b) Diferencias entre los valores de la muestra y los valores que tendría la población en caso de ser totalmente medida

La segunda condición de las muestras, es que sirvan para hacer inferencias correctas de la población, lo cual se logra cuando son escogidas siguiendo los procedimientos siguientes:

- Que la selección sea un proceso inconsciente.
- Que inconveniencias individuales no sean sustituidas por conveniencias personales.
- Que todas las unidades sean iguales, es decir, que tengan el mismo tamaño.

4.1 Número y Unidades de Muestreo

Las muestras están formadas por dos variables que son: las unidades de muestreo y el número de unidades de muestreo.

Las unidades de muestreo son los valores de las características de un elemento de la población o de un grupo de ellos. Este concepto lleva a la conclusión de que las unidades de muestreo poseen un tamaño determinado, el cual puede ser expresado en diversas formas, pero que en inventarios forestales, generalmente, se expresa en función al área; así tenemos unidades de muestreo del tamaño de una hectárea, una manzana, etc.

El tamaño total de la muestra está compuesto por la suma de las áreas de todas las unidades elementales de muestreo que integran la muestra. El área de estas unidades varía considerablemente de acuerdo al tipo de bosque y los objetivos del muestreo. De esta forma, las muestras pueden ser desde unidades tan pequeñas como de 100 m² o tan grandes como 10,000 m² o más, en razón del tipo de información que se requiere y de las características propias de la población que es motivo del muestreo.

Unidades pequeñas de muestreo, incluyen dentro de ellas sitios pequeños y muy específicos, de tal forma que la variabilidad incluida dentro de cada unidad de muestra es muy pequeña, ya que la mayor fuente de variabilidad está entre las unidades de muestreo, debido a que habrá gran diferencia entre una y otra por lo específico de los sitios que representan. Unidades grandes incluyen dentro de ellas, sitios mayores que representan varios sitios específicos y, por lo tanto, alta variabilidad, lo cual significa que hay alta variabilidad dentro de las unidades de muestreo y baja variabilidad entre las unidades.

De acuerdo a estos conceptos, las unidades pequeñas son más aptas para bosques homogéneos y las unidades grandes para bosques heterogéneos; con unidades grandes, además, se puede asegurar una mayor representatividad de las especies del bosque.

Un aspecto importante y poco discutido es sobre el tamaño de cada unidad elemental de muestreo. Se ha dicho que la unidad de muestreo debe ser lo suficientemente grande como para abarcar la representatividad florística de la población. Una forma para determinar el tamaño de estas unidades es mediante la curva "área-especie", que nos muestra a partir de que superficie no se incrementa significativamente nuevas especies en relación al tamaño de las parcelas.

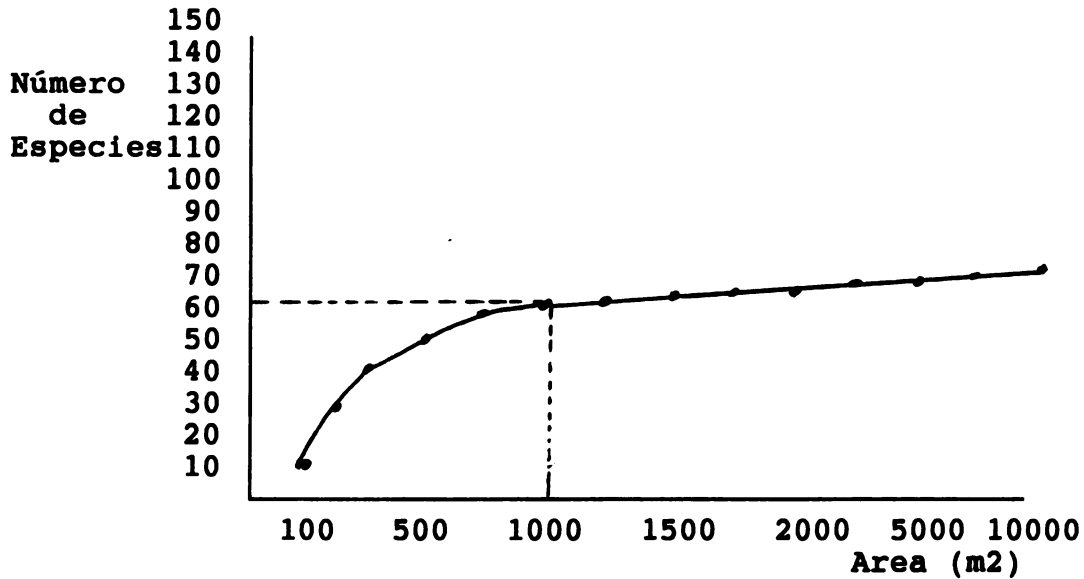


Figura 1. Curva area-especie

El número de unidades de muestreo es la cantidad de unidades que conforman la muestra. Es así que, cuando se habla de tamaño de muestra se entiende como el total del número de unidades de muestreo de un tamaño determinado, formando el conjunto de estas unidades una fracción específica de la población.

Generalmente, las fórmulas para determinar el tamaño de la muestra, unen estas dos variables en una sola, quedando a criterio del inventariador, determinar si las unidades van a ser grandes y pocas o pequeñas y numerosas.

Las dos posibilidades anteriores tienen fundamentos teóricos; en la primera, considera que cuánto más grande sean las unidades, dentro de cada una de ellas va a existir mayor variabilidad y, por lo tanto, se reduce la variabilidad entre las unidades de muestreo; y la segunda, considera que cuanto más pequeña sean las unidades, se puede escoger mayor número de ellas y, en consecuencia, el número de grados de libertad es alto y se pueden obtener resultados con un bajo error de muestreo.

Ambas posibilidades tienen aspectos válidos, pero en ambas se descuida el aspecto que resalta la otra. A simple vista, puede pensarse en la solución de guardar un equilibrio entre estas dos variables (tamaño y número) y, de ese modo, obtener el máximo número de unidades con un tamaño máximo, pero es realmente imposible llegar a soluciones correctas sólo con estas dos variables, sin tener en cuenta la variabilidad de la población. Esto lleva necesariamente al análisis de la representatividad de la muestra, como único camino para encontrar soluciones correctas al problema del tamaño y número óptimo de unidades de muestreo, donde la pregunta ¿cuándo una muestra es representativa? debe ser satisfactoriamente resuelta para cada población que se estudie.

4.2 Forma de la muestra

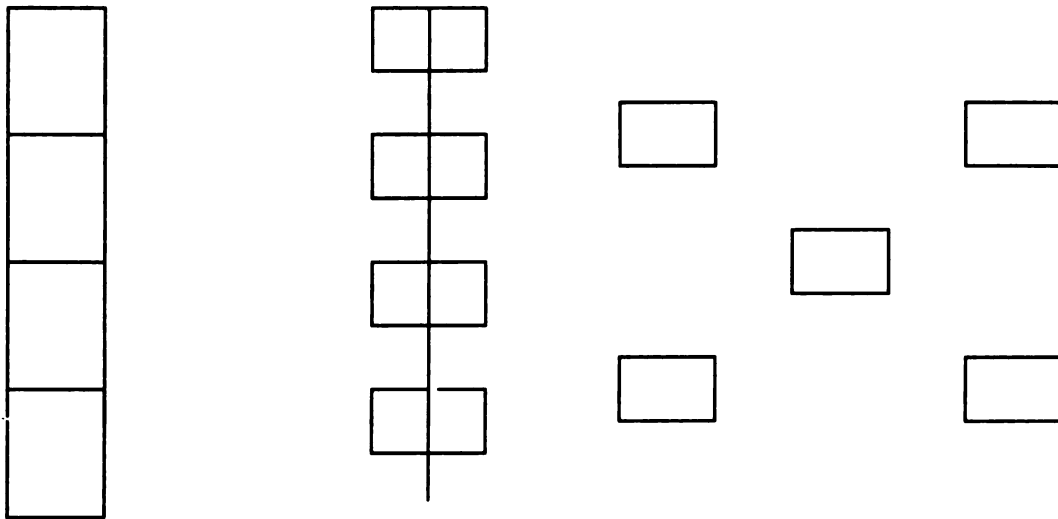
Otro aspecto importante en la determinación de la muestra, es lo referente a la forma que estas deben tener. Como en los inventarios forestales se usan unidades areales, estas unidades tienen necesariamente una forma. La decisión de cuál es la forma que deben tener las unidades de muestreo queda a criterio del inventariador, el cual lo escoge generalmente en base a su experiencia o costumbre, y también al grado de preparación del personal y al equipo e instrumentos que posee. Sin embargo, algunos investigadores consideran que la forma de las parcelas incide fuertemente en la precisión de los inventarios y, por lo tanto, deben ser estudiadas y aplicadas desde este punto de vista.

Existe una gran variabilidad de formas de unidades de muestreo, por lo cual, se hace necesario agruparlas para poder realizar comparaciones equivalentes. Inicialmente se puede dividir las en dos grupos principales:

- a) Unidades continuas, y
- b) Unidades discontinuas

Unidades continuas son aquellas que aún teniendo subunidades, estas se encuentran unas a continuación de otras, sin que exista un espacio que las separe. Un ejemplo de esto son las líneas de muestreo.

Unidades discontinuas son aquellas que están formadas por subunidades, que se encuentran separadas unas de otras por un intervalo. Estas pueden estar en líneas o en grupos ("Cluster").



Parcelas continuas Parcelas discontinuas Parcelas agrupadas

Figura 2. Parcelas continuas, discontinuas y agrupadas.

Las fajas son unidades cuadráticas que se caracterizan por su longitud, la que generalmente es de la misma magnitud que la población. El ancho de las fajas se ha estandarizado en muchos países y, por lo común, se encuentran entre 10 y 20 metros.

Las parcelas son unidades que se caracterizan por su poca extensión, generalmente menor a una hectárea. Estas unidades pueden dividirse a su vez en:

**Parcelas de dimensiones variables, y
Parcelas de dimensiones fijas**

Las de dimensiones variables, como lo indica su nombre, son parcelas de diferentes tamaños en que se basa la teoría de Bitterlich. Básicamente el método consiste en contar los árboles cuyo dap es igual o mayor a un ángulo fijo, cuyo vértice es el centro de la parcela de muestreo. En bosques tropicales es poco práctico debido a que:

- el bosque es muy heterogéneo y tiene una alta variabilidad de especies y parámetros cuantitativos lo que hace que se perdiera exactitud; y,
- la presencia de una vegetación exuberante dificulta la visibilidad.

Las parcelas de dimensiones fijas son las que ocupan áreas determinadas por la forma de figuras geométricas regulares; estas parcelas pueden también subdividirse en diferentes tipos:

- Parcelas cuadráticas
- Parcelas rectangulares
- Parcelas poligonales
- Parcelas circulares

La eficiencia de una muestra está dada por la relación precisión-costo.

4.3 La precisión de la muestra

La precisión es una medida del grado en que la población se encuentra representada en la muestra; es por esto que, cuanto mayor sea la muestra, mayor va a ser el grado de precisión obtenido. Pero, teniendo en cuenta que los valores reales de la población son desconocidos y que, mediante el cálculo estadístico se puede estimar que se encuentra dentro de ciertos límites (límites de confianza), se puede asumir que, a cierto tamaño de muestra le corresponden ciertos límites de confianza dentro de un nivel de probabilidad determinado.

En los inventarios forestales, la principal información buscada es la cantidad total de madera que se encuentra en un bosque, en datos generales o discriminados en especies y tamaños de árboles. Esta cantidad es desconocida, pero puede ser estimada en base al promedio de la muestra por la superficie total de la población, siendo esta cantidad estimada una aproximación de la cantidad real, sujeta a los errores de muestreo.

En base a lo anterior, se deduce que cuanto menores sean los errores de muestreo, los valores estimados de la población serán más cercanos a los valores reales y, por lo tanto, los muestreos serán más precisos. Teniendo en cuenta que los límites de confianza son una expresión de los errores de muestreo y la ley de probabilidad, se puede deducir que estos límites serán menores conforme la precisión aumenta.

La precisión del muestreo está en relación con a) el tamaño de la muestra, b) la variación de la población y c) la representatividad de la muestra.

- a) El tamaño de la muestra está compuesto por el número de unidades de muestreo y el tamaño de cada uno, a mayor tamaño de muestra se obtiene un menor error, es decir, mayor precisión. Sin embargo, el tamaño de muestra tiene un límite máximo a partir del cual las muestras pierden eficiencia.

Considerando una población dada de tamaño fijo, mientras la muestra aumenta en relación cuadrática, 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 de cuatro veces, lo cual significa un aumento en los costos en esa misma proporción; por lo tanto, la precisión de la muestra debe ser determinada con especial cuidado, tratando de que sea lo estrictamente necesaria para el objeto en que es planteado el inventario forestal

- b) La variabilidad de la población es el parámetro más importante para la determinación o cálculo del tamaño de la muestra y la precisión de la misma. Poblaciones que tienen mayor variabilidad requieren al mismo tiempo de un mayor tamaño de muestra para una precisión dada. Es posible reducir la variabilidad de la población mediante la estratificación (tipos de bosque o estratos), con lo que se logra una reducción significativa del tamaño de muestra y también de los costos.

El cálculo de la precisión y tamaño de la muestra se hace en base a la variabilidad de la población, a nivel de toda el área o estratos; sin embargo, considerando ciertas exigencias podría calcularse el tamaño de la muestra teniendo en cuenta la variabilidad a nivel de especies, lo cual significa trabajar con muestras bastante grandes, ya que la variabilidad de las especies es mucho más alta que la población.

- c) La representatividad de la muestra es fundamental para lograr resultados fidedignos. Una muestra pequeña bien ubicada o distribuida es mucho más eficiente que muestras de gran tamaño mal distribuida.

En la evaluación de grandes áreas de bosques tropicales, la ubicación de la muestra es de enorme importancia ya que no es posible muestrear toda la extensión superficial debido a su gran tamaño y difícil acceso. En ese sentido, una distribución de muestras totalmente aleatorias e irrestricta no favorece una conveniente distribución de muestras y, en todo caso, la distribución sistemática garantiza una distribución más eficiente.

La estratificación forestal representa una gran ayuda para definir el patrón de muestreo, permitiendo inclusive la selección convencional de áreas representativas de la población, en las que luego se distribuye las muestras en forma sistemática de acuerdo con las exigencias de precisión previamente planteadas. El tamaño de la unidad de muestra debe contemplar la variabilidad florística como volumétrica.

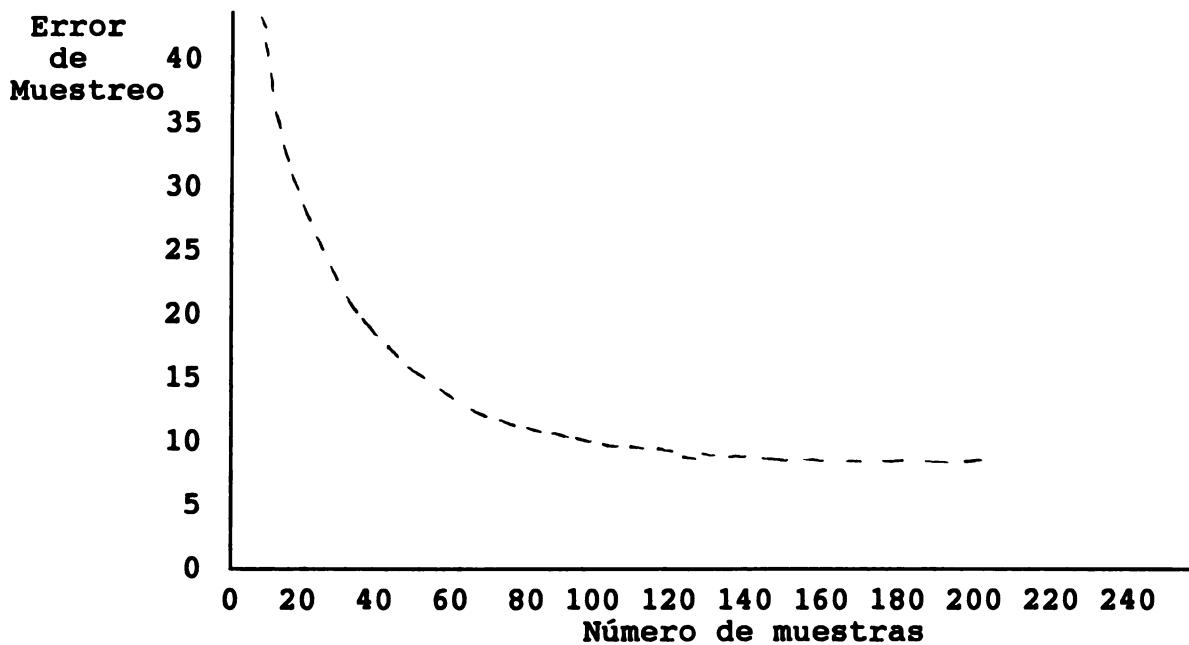


Figura 3. Variación del error de muestreo en relación al número de parcelas

4.4 El Costo

El costo es la segunda variable de la eficiencia y se refiere al aspecto económico del muestreo. En los inventarios forestales, este reglón es fuertemente limitativo por que, pequeños incrementos en precisión elevan considerablemente el costo al aumentar el tamaño de la muestra. Esto ha llevado a desarrollar numerosos estudios, a fin de lograr los costos más convenientes para determinados niveles de probabilidad y precisión.

El patrón de distribución es también importante, ya que muestras distribuidas al azar requerirán de tiempos muy diferentes de desplazamiento entre una y otra, y muestras distribuidas sistemáticamente podrán ser alcanzadas en tiempos más o menos iguales desde un punto central. Los costos además, están influenciados por los siguientes factores:

- Nivel de detalle y número de datos a registrarse
- Uso de fotografías aéreas: estratificación forestal
- Forma de procesamiento de datos
- Accesibilidad del área
- Disponibilidad de equipo y personal

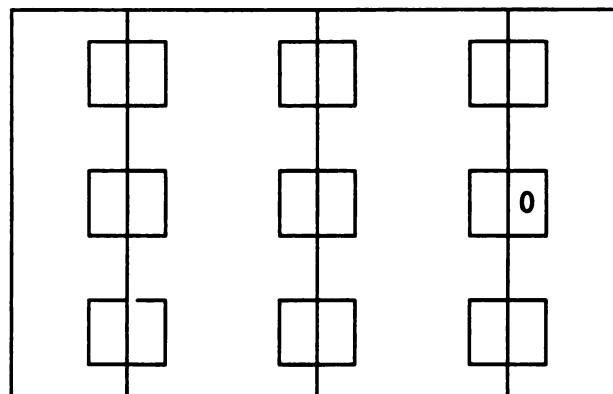
Puede decirse que, el problema de la precisión y el costo están íntimamente relacionados con el tamaño y número óptimo de unidades de muestreo, en el cual se minimizan los costos y se maximiza la precisión, y por lo tanto, se tiene la máxima eficiencia en el muestreo.

5 ESQUEMAS Y DISEÑOS BASICOS DE MUESTREO

Dentro del esquema de Muestreo, se presentan una serie de unidades que van desde la gran unidad de evaluación hasta la unidad básica individual. En orden ascendente estas unidades básicas son:

- 1 UNIDAD BASICA; es la unidad más pequeña del muestreo y que no puede ser dividida, y es sobre la que se miden o estiman los parámetros de evaluación como: diámetros, alturas, volúmenes, etc.
- 2 UNIDAD ELEMENTAL DE MUESTREO; es la unidad estadísticamente individual, dentro de la cual están las unidades básicas. Estas unidades pueden ser parcelas o fajas de muestreo.
- 3 UNIDAD DE EVALUACION; es la unidad de la que se requiere información y puede variar mucho en tamaño o característica, como por ejemplo: tipo de bosque, compartimiento, toda la propiedad.

UNIDAD ELEMENTAL DE MUESTREO



UNIDAD BASICA
DE MUESTREO

UNIDAD DE EVALUACION

Figura 4. Esquema de los diferentes niveles de unidades de muestreo

Los principales diseños son:

- | | |
|----------------------|--------------------|
| Muestreo al azar | - Sin estratificar |
| | - Estratificado |
| Muestreo sistemático | - Sin estratificar |
| | - Estratificado |

5.1 Muestreo al Azar sin Estratificar

Llamado también diseño al azar simple; en él la muestra es tomada directamente de la población, de acuerdo a los requisitos de randomización. Este diseño es, por lo tanto, una aplicación exacta de las leyes de la probabilidad y sus resultados tienen una alta confiabilidad, son imparciales y consistentes.

Ventajas:

- La estimación de los parámetros de la población se realiza en forma más simple.
- Sus resultados son imparciales y no son influidos por gradientes en los valores de las características, ni por variaciones sistemáticas en las poblaciones.
- Gran confiabilidad en los resultados, ya que estos son obtenidos por la aplicación directa de las leyes de la probabilidad al escoger las muestras.

Desventaja:

- Existe inseguridad para establecer la ubicación exacta de las muestras en el bosque.
- Muchas veces las muestras quedan en sitios inaccesibles o muy alejados del resto de las parcelas, lo cual influencia en los costos.
- No proporcionan datos confiables acerca de la configuración y topografía del bosque, que si bien no constituyen la información más importante que se toma, son por lo general complementos del inventario, muy útiles para el manejo y aprovechamiento forestal

5.2 Muestreo al Azar Estratificado

En primer lugar se divide la población en varios estratos o subpoblaciones, cada una de las cuales agrupa a las unidades elementales que tienen un valor semejante; en el caso de los bosques los estratos se construyen en base a diversos factores, como las asociaciones ecológicas, abundancia de determinadas especies, tamaño de árboles, etc. Luego dentro de cada estrato se realiza un muestreo al azar, de acuerdo a los requisitos de randomización anteriormente enunciados. La estratificación puede producir una ganancia en la precisión de los estimados de la población.

Ventajas:

- Se obtiene mayor información sobre el bosque ya que, además de estimarse los parámetros de las características de la población, se obtienen los parámetros de las características para cada una de las subpoblaciones en la intensidad que se requiere en cada una.
- Puede producir una ganancia en la precisión de los estimados de la población, al reducir la influencia de los valores extremos.
- Sus resultados son imparciales y se ajustan a los requisitos de randomización de cada estrato.

Desventajas:

- En poblaciones con gran variabilidad, los estratos muchas veces resultan muy pequeños en extensión, no pudiéndose hacer por consiguiente un pequeño de baja densidad dentro de cada estrato.
- Cuando las unidades son fajas, el muestreo resulta muy complicado y muchas veces no pueden incluirse dentro de cada estrato.
- Muchas veces existen errores personales en la ubicación de las parcelas en el sitio correcto.

5.3 Muestreo Sistemático sin Estratificar

En los diseños sistemáticos, se elabora en primer lugar el esquema o disposición que van a tener las muestras en la población, y luego se escoge al azar una unidad de muestreo de la población y, en base a ella, se ubica el resto de unidades sistemáticamente.

Aunque hay quienes consideran que en los diseños sistemáticos no pueden computarse un error exacto de muestreo, por que no se cumple con los requisitos de randomización: No obstante, brinda resultados suficientemente confiables cuando se procesa como si fuera al azar.

Ventajas:

- Pueden 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 toda la población y, la exactitud de los mapas aumenta conforme se reduce la frecuencia entre fajas.
- Facilitan el trabajo de campo y reducen la incertidumbre de errores personales en la medición de distancias entre unidades, debido al valor constante de la medida.
- Debido a que se toman puntos equidistantes entre muestras, el esquema final da una imagen bastante aproximada de la disposición de los valores de las características de la población.
- Como la muestra cubre toda la población, puede separarse en bloques las zonas más interesantes, de la cual se tiene información con la misma intensidad que la del inventario de toda la población.

Desventajas:

- Desde el punto de vista teórico los diseños sistemáticos no proveen un exacto error de muestreo, cuando este es calculado como si fuera al azar, debido a que no se cumplen los requisitos de randomización.

5.4 Muestreo Sistemático Estratificado

Se estratifica en primer lugar la población, luego se construye el esquema o disposición sistemática de las unidades. Finalmente se escoge al azar la primera unidad y, en base a ella, se distribuye el resto de unidades que constituyen el esquema de muestreo. En los inventarios forestales este tipo de diseño es muy usado debido a las ventajas que proporciona la estratificación y, porque generalmente es necesaria mayor información sobre algunas zonas del bosque, además de la información global.

Ventajas:

- Pueden proveer datos suficientes para la construcción de mapas de la zona, al mismo tiempo que se realiza un inventario.
- Se facilita el trabajo de campo con la reducción de la incertidumbre de cometer errores personales en la medición de distancias entre unidades de muestreo, debido al valor constante de estas medidas.
- El uso de estratificación puede reducir el error de muestreo aumentando la precisión.
- Los resultados se presentan por estrato y no un simple promedio de toda la población.

Desventajas:

- Desde el punto de vista teórico no proporciona un exacto error de muestreo, cuando los parámetros se estiman como si las muestras fueran escogidas al azar.

6. FOTOINTERPRETACION FORESTAL

La mayor parte de los trabajos de fotointerpretación forestal se realizan con fines de facilitar los inventarios de campo, mediante la delimitación de unidades de muestreo en base a su localización, accesibilidad, composición florística y potencial volumétrico.

Un alto número de sensores remotos (imágenes de radares y satélites), diferentes a la emulsión fotográfica, están siendo perfeccionados.

La delimitación de tipos de bosque (estratos) es el objetivo más importante de la fotointerpretación forestal.

El reconocimiento o delimitación de los tipos de bosque y/o especies, en los trópicos es todavía un problema. En estos bosques las fotografías aéreas sirven, en primer lugar, para la delimitación amplia de tipos de vegetación, los cuales son principalmente destinados por la configuración de la topografía y las condiciones de suelo.

Los tipos de bosque son clasificados primeramente de acuerdo con el aspecto que tenga la imagen en la fotografía, lo que en algunos casos son llamados aspectos típicos. Para este fin se pueden utilizar con éxito fotografías a escalas de 1:20,000 a 1:50,000.

Muchas veces una primera división del área boscosa puede ser hecha de acuerdo a las diferencias de tono, en árboles individuales, y también por el tamaño forma y sombra de las copas. La imagen estereoscópica completa la visión y ofrece una clara representación de las condiciones topográficas.

Las condiciones fisiográficas son de gran importancia para elaborar un primer intento de la delimitación de los tipos de bosque, ofreciendo amplia información sobre la localización y condiciones de accesibilidad de las diferentes áreas de bosque. Este nivel fisiográfico es más usado por los forestales cuando se trata de interpretar a nivel exploratorio o incluso semidetallado.

6.1 Metodología de la fotointerpretación

6.1.1 Consideraciones generales

La exactitud de la fotointerpretación requerida depende del propósito y circunstancias del reconocimiento. El monto de trabajo de campo necesitado, depende de la diferencia en el grado de identificación obtenible de la imagen estereoscópica y el monto de la especificación y exactitud necesitada para un

propósito específico. El grado de identificación en la imagen estereoscópica depende del objetivo del estudio.

Entre los instrumentos y materiales considerados para la fotointerpretación, están incluidos:

- Material sensitivo (películas)
- Instrumentos de fotointerpretación (estereoscopios)
- Instrumentos para triangulación radial

Frecuentemente en la fotointerpretación es necesario realizar ciertas mediciones, en especial, en caso de la vegetación natural y bosques, ello contribuye considerablemente a la exactitud de la interpretación y reduce el peligro de una interpretación errónea.

6.1.2 El material fotográfico

El tipo o calidad del material fotográfico tiene una gran importancia en el trabajo de la fotointerpretación. Cada tipo de película o de imagen puede proveer información especializada útil para un determinado fin, por lo tanto, antes de ejecutar un trabajo, es necesario conocer con seguridad el tipo de película que será necesario utilizar.

La vegetación en base a su contenido clorofílico en las hojas, tiene una determinada capacidad de absorción y reflexión lumínica de cada planta en determinado sector del espectro lumínico, tal como puede apreciarse en la figura adjunta.

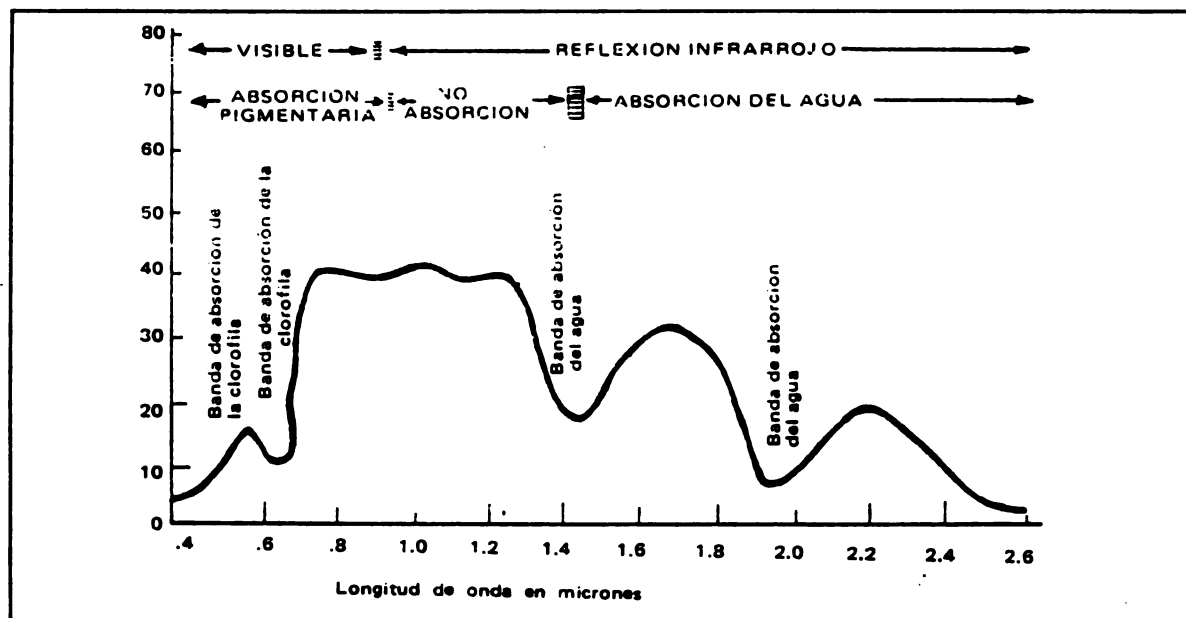


Figura 5. Representación gráfica de la reflexión espectral de la vegetación

Un mayor contenido clorofílico en las hojas determina una mayor capacidad de reflexión a la luz infrarroja y viceversa. El contenido de humedad también es un factor muy importante en la capacidad de visión que tienen las imágenes en película pancromática, zonas de alta humedad se presentan normalmente con tonalidades más claras, en película infrarroja sucede lo contrario y se pueden observar claramente los gradientes de humedad en el suelo o la vegetación.

Las imágenes fotográficas pueden clasificarse en la siguiente forma, de acuerdo a su grado de sensibilidad

Material convencional, cuya sensibilidad está dentro del espectro luminoso visible 0.4 a 0.65 u. En éste se encuentran las siguientes películas:

- Pancromática (blanco y negro normal)
- A colores

La película pancromática es la más utilizada en forma masiva y la más fácil de manejar y procesar.

La película a colores tiene un uso bastante limitado, reducido a trabajos muy localizados, debido a su alto costo y a que está siendo rápidamente desplazada por las imágenes espectrozonales que tienen mucho más ventajas técnicas.

Material fotográfico infrarrojo normal; este es un tipo de película cuya sensibilidad es más específica que la pancromática y está referida a una captación de la reflexión luminosa entre 0.7 y 0.85 u.

La película infrarroja viene siendo utilizada para delimitación de bosques de coníferas y latifoliadas, zonas de humedad y determinación de procesos cloróticos debido a plagas y enfermedades.

Entre las películas infrarrojas más comúnmente utilizadas están la infrarrojo blanco y negro que es la más común y la infrarrojo falso color.

Imágenes de satélite; estas son tomadas desde satélites que se encuentran orbitando la tierra entre 180 y 240 km de altitud (pasando por el mismo sitio cada 18 días). Estas imágenes están a una escala se 1/1 000,000 y cubren un área de 360 x 360 km y tiene una gran capacidad de resolución, es decir, que pueden ampliarse muchas veces sin perder detalles.

Imágenes de radar; este tipo de material no es precisamente del tipo de fotografías, ya que no capta imágenes en base a su radiación lumínica, sino ondas electromagnéticas que se reflejan

sobre una determinada superficie; por lo tanto, presenta detalles de relieves fundamentalmente, dando diferenciaciones de tono por las diferentes texturas de la superficie.

La mayor ventaja de estas imágenes está en los estudios fisiográficos, geológicos, geomorfológicos, etc. aunque eventualmente pueden usarse en el campo forestal cuando no se cuenta con otra información cartográfica. La escala a que se presentan estas imágenes es de 1/150,000 a 1/250,000, sin embargo, pueden ampliarse más sin perder detalles.

6.1.3 El proceso de la Fotointerpretación

El proceso técnico y mental de la fotointerpretación está basado en el criterio del fotointérprete.

Dos aspectos deben ser motivo de especial atención en el planeamiento de un trabajo de fotointerpretación:

- El nivel de referencia para la fotointerpretación.
- Las diferentes clases o fases de la fotointerpretación.

Sobre el primer aspecto se debe remarcar el nivel de conocimiento general así como científico que el interprete tiene sobre el recurso. El forestal tienen un alto nivel de conocimiento sobre bosques y, sobre algunos aspectos específicos sobre los que ha recibido más entrenamiento. Este profesional podrá obtener de la imagen fotográfica una información cuantiosa y de importancia para reconocimientos forestales.

El entendimiento de la importancia de los niveles de referencia tienen dos grandes ventajas:

- Puede ser evitada una errónea selección de los fotointérpretes. Esto implica que la interpretación forestal debe ser hecha por especialistas forestales, y lo mismo debe suceder en otros campos profesionales.
- Puede facilitar un entrenamiento en fotointerpretación sistemática de los especialistas. Para el entrenamiento de los aspectos relevantes de la imagen fotográfica, los interpretes deben tener un conocimiento amplio de aquellas características de la tierra que más interesan a su especialidad.

Hay varias técnicas de examinación para proveer información en base a la fotografía aérea, tales como:

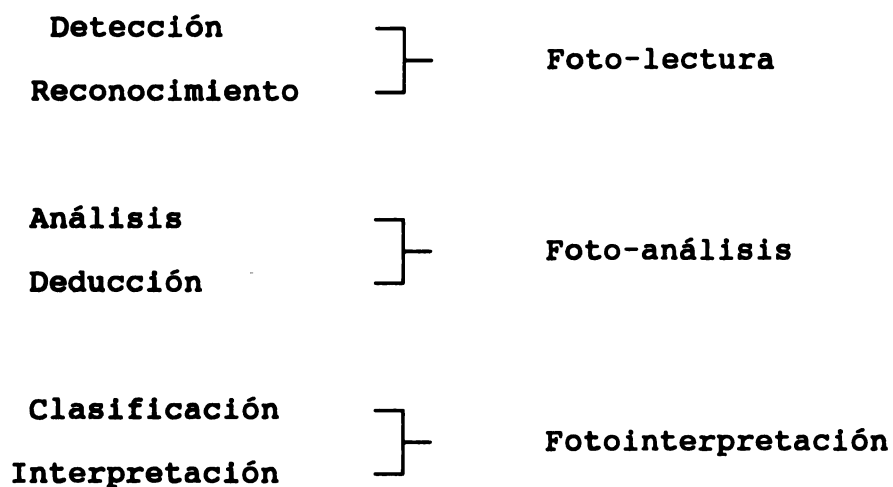
- **Lectura fotográfica.** Es la técnica que se ocupa del reconocimiento y posición respectiva (ubicación) en los aspectos donde hay intervención humana, vida animal y aspectos comunes del terreno. El interés básicamente está en la apariencia fotográfica de objetos o imágenes, como edificios, puentes, campos cultivados, cerros, bosques, ríos, etc. El factor fotográfico es usado como un detalle excepcional para el mapa base o simplemente del mapa. Muchas veces el mosaico es suficiente e incluso más útil que el par estereoscópico.

- **Foto análisis.** Es definido como el proceso de separación de cualquier objeto, fenómeno, imagen, etc., en sus partes constituyentes o elementos, o bien el examen de cualquier cosa en que puede distinguirse sus partes en forma separada y su relación con el todo. El foto análisis incluye todos los aspectos de la fotolectura, con la adición de la evaluación de los aspectos numéricos y de interpretación de los aspectos fotográficos. Las áreas del campo deben ser determinadas y clasificadas por su tamaño, posición y uso.

El foto análisis no solamente usa la fotografía sino también ocasionalmente el mosaico como un mapa base. El proceso de foto análisis es excepcionalmente valioso en proveer numerosos tipos de datos básicos, particularmente aquellos susceptibles de clasificación.

- **Fotointerpretación.** Esta es la fase final en la que se incluye todas las características asignadas a la lectura fotográfica, y foto análisis, además de considerar tres criterios adicionales:
 - El uso del estereoscopio
 - Un cuidadoso examen de todos los elementos del patrón aéreo-fotográfico
 - Una evaluación inductiva o deductiva de los elementos en términos de sentido común y experiencia de campo.

Las fases que deben seguirse en el proceso de fotointerpretación se resumen en el siguiente esquema:



En la figura adjunta se presenta el esquema metodológico a seguir en todo el proceso de la fotointerpretación, desde la formulación del objetivo que debe ser muy claramente definido desde el principio, hasta la elaboración final del mapa forestal que se obtiene luego de todo el proceso.

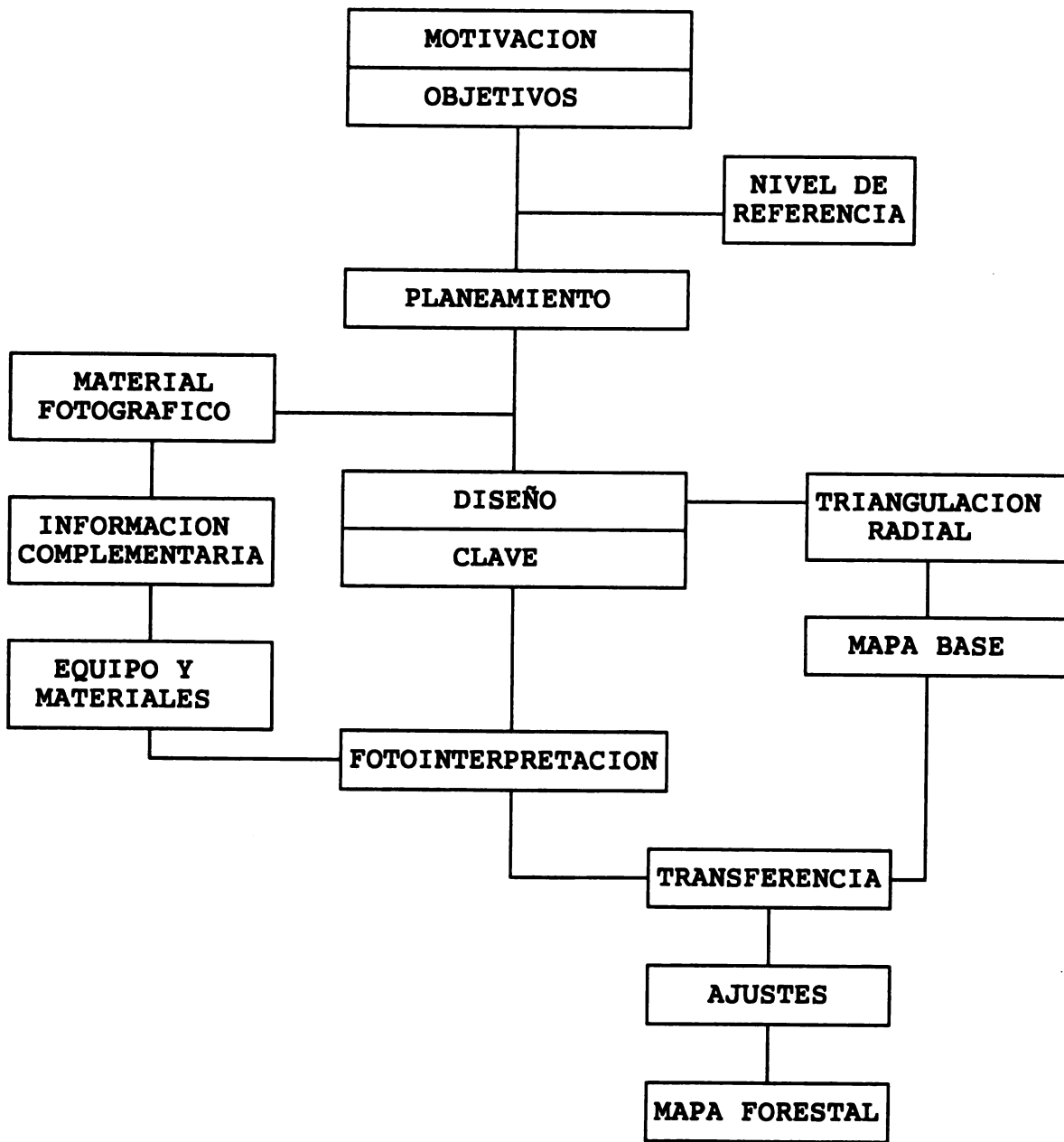


Figura 6. Flujo metodológico de la fotointerpretación

6.2 Las unidades diferenciales

Lo que se trata mediante la clasificación en unidades diferenciales o también llamados tipos de bosque o estratos, es fijar una base o metodología sistemática que facilite la identificación de unidades por deducción y sub-división, uniformizando al mismo tiempo la terminología a usarse. Esta misma clasificación puede ser referida o combinada con unidades ecológicas, lo que ayudaría notoriamente a la identificación y descripción de un determinado tipo de bosque, especialmente en lo que se refiere a su composición florística y características morfológicas generales.

En una fotointerpretación realizada por MARENA en una área de bosque seco cerca a Nandarola, Nicaragua, se encontró los siguientes estratos:

BOSQUE ALTO CLARO (Bac): Esta unidad se define como un bosque abierto, latifoliado perennifolio o caducifolio, nativo del área. Son formaciones de vegetación de cobertura de árboles discontinuos y copas no interconectadas. Está constituido por comunidades que forman dos pisos arbóreos, alcanzando el piso dominante una altura entre 18 y 20 metros y entre 40 y 70 % de cobertura de copas.

BOSQUE BAJO CLARO (Bbc): Esta unidad se define como bosque abierto donde predominan especies latifolizadas y caducifolias, nativas del área. Son formaciones de vegetación con cobertura de árboles discontinuas y copas no interconectadas, constituida por una comunidad que forma uno o dos pisos arbóreos, alcanzando entre 10 y 15 metros de altura el piso dominante y entre 40 y 70 % de cobertura de copas.

BOSQUE ALTO DENSO (Bad): Se define como un bosque denso latifoliado perennifolio o caducifolio nativas del área con cobertura de copas entre 70 y 100 % y altura de árboles entre 18 y 20 metros.

BOSQUE BAJO DENSO (Bbd): Esta unidad está constituida por árboles latifoliados, perennifolios y caducifolios, con una densidad de cobertura entre 70 y 100 %, alcanzando alturas entre 10 y 15 metros.

BOSQUE DE GALERIA (Bg): Constituida por bosquetes, latifoliados perennifolios, de altura y densidad variable. Crecen generalmente a orillas de ríos y cañadas.

BOSQUE DE TACOTALES (Bt): Se define como un tipo de vegetación arbórea cerrada en etapa de regeneración, mayoritariamente latifoliada, perennifolia y nativa del área.

CULTIVOS (Cu): Esta unidad está constituida por cultivos agrícolas propios de la zona, principalmente granos básicos y algunos huertos.

PASTO NO MEJORADO (P2): Esta unidad de uso se refiere a pastos cultivados de variedades de masa vegetativa abundante, pero que actualmente han sido descuidadas y poseen aproximadamente 40 % de maleza y matorrales.

PASTO DEGRADADO (P3): Se refiere a zonas donde el pasto fue abandonado. Un 80 % del área se encuentra con maleza y matorrales.

Otra forma de clasificación, muy utilizada en la región amazónica, es la siguiente:

- BOSQUE PRIMARIO
- BOSQUE SECUNDARIO O DEGRADADO
- AREA DE CULTIVO
- AREA SIN VEGETACION

A su vez, el bosque primario o secundario puede subdividirse en:

- LLANURA ALUVIAL
 - INUNDABLE
 - NO INUNDABLE
- SISTEMA DE COLINAS
 - COLINAS BAJAS
 - COLINAS ALTAS
 - MONTAÑA

7 PLANEAMIENTO DE INVENTARIOS

Es cierto que el aspecto matemático estadístico juega un papel preponderante en el diseño y ejecución de los Inventarios Forestales, tanto o más importancia debe darse al proceso de planeamiento o programación de los mismos, desde su fase inicial hasta la presentación del informe final.

Los principales aspectos que deben tenerse en cuenta en la programación y planeamiento de los inventarios (de acuerdo a un orden cronológico) se presentan a continuación.

7.1 Motivación y objetivos del inventario

Es el punto de partida de todo trabajo de Inventario, ya que primeramente debe establecerse en forma clara la justificación de llevarse a cabo el inventario.

Los objetivos del trabajo deben estar perfectamente relacionados con la motivación del mismo, de esta forma los objetivos pueden variar sustancialmente entre un trabajo y otro. Por ejemplo el objetivo puede ser la obtención de información sobre materia prima para el establecimiento de una fábrica de pulpa y papel, o para la industria del aserrío. Cualquiera que sea el objetivo del inventario, éste está relacionado con el nivel de confiabilidad, y el énfasis relativo de un determinado parámetro o característica del área.

7.2 Tiempo y fondos necesarios disponibles

Muchas veces un inventario es justificado ampliamente e incluso se le considera como actividad prioritaria y de urgencia, sin embargo, pueden existir ciertas limitantes presupuestales que impiden llevar a cabo el trabajo o que no permiten ejecutar el trabajo con la precisión o detalle requerido.

Aún existiendo los fondos necesarios, muchas veces no es posible llevar a cabo el inventario en forma programada debido a lo escaso del tiempo disponible o en todo caso, el inventario deberá adecuarse al tiempo sacrificando algunos detalles no prioritarios.

7.3 Descripción del área del inventario

Antes de proceder a cualquier trabajo que demande inversión o gastos, es necesario obtener una idea bastante precisa del área. Esto se puede lograr mediante revisión de material bibliográfico y cartográfico existente. En algunos casos se

recomienda realizar un reconocimiento con el objeto de formarse una opinión consistente sobre el área.

7.4 Disponibilidad de personal capacitado

En la fase de gabinete, previo al trabajo de campo, debe realizarse:

- La planificación del trabajo
- Fotointerpretación y cartografía preliminar
- Diseño y levantamiento del muestreo, cálculo de costos, etc.

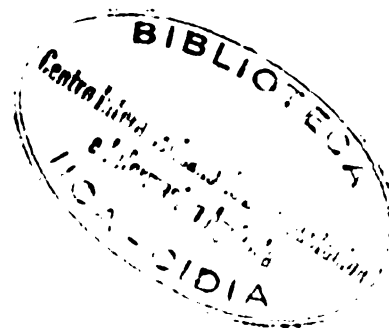
En la etapa de campo cada brigada debe estar conformada como mínimo por:

- 1 Jefe de brigada
- 1 Reconocedor
- 2 Trocheros

7.5 Necesidades de equipo y materiales

Cada brigada debe tener:

- Formularios o libreta de campo
- 1 Brújula
- 1 Hypsómetro
- Cinta diamétrica o forcípula
- Wincha o cuerda de 25 a 30 m.
- Machetes
- Equipo de primeros auxilios



7.6 Uso de fotografías aéreas y detalles cartográficos

Este material permite facilitar y acelerar gran parte del trabajo del inventario, y al mismo tiempo, ofrece la oportunidad de lograr una estratificación del bosque.

7.7 Diseño del inventario y del muestreo

Reunidos y evaluados los elementos de juicio enunciados, se procede al diseño del inventario.

El diseño del inventario depende fundamentalmente de:

- la precisión deseada
- apoyo logístico y disponibilidad de fondos
- las características del área

7.8 Posibilidad de estandarización o combinación de datos de otros inventarios

Uno de los mayores problemas que se presentan a nivel regional, nacional e internacional, es la falta de coordinación y estandarización de las metodologías y terminologías utilizadas en los diferentes trabajos de inventario, lo cual impide o dificulta una complementación de la información obtenida y una evaluación de los trabajos bajo un mismo patrón o sistema evaluativo.

7.9 Soporte logístico

Este aspecto es decisivo para la ejecución del trabajo de campo. En el soporte logístico deben considerarse los siguientes puntos:

- Transporte
- Campamento-equipo
- Alimentos-medicinas
- Facilidades al personal de campo-Sueldos-Jornales
- Comunicaciones

7.10 Forma de registro y toma de datos en el campo

Antes de iniciar el trabajo de campo, es necesario tener listos los formularios y bien establecido el sistema de mediciones y controles; los formularios deben ser los más simples y manuales, con el fin de obtener un buen rendimiento y eficiencia en las brigadas de trabajo.

Si bien los formularios permiten un trabajo más ordenado su manipulación es más difícil en comparación con las libretas de campo, especialmente cuando llueve.

Antes de preparar los formularios, debe estar perfectamente establecido el tipo de datos que se va a tomar en el campo.

7.11 Forma de procesamiento y cómputo de datos

Esta si bien puede hacerse manual, existen programas computarizados especialmente diseñados para procesar la información. El Proyecto RENARM/Producción en Bosques Naturales diseño el programa SET (Sistema de Entrada de Datos) el cual está siendo promovido por sus ventajas comparativas.

7.12 Preparación del informe final

El informe final debe ser un resumen de todo lo realizado, dando especial énfasis a la preparación de los resultados; normalmente este tipo de informe debe incluir:

- **Introducción**
- **Resumen**
- **Antecedentes**
- **Metodología**
- **Resultados**
- **Discusión**
- **Conclusiones y recomendaciones**
- **Anexos o apéndices**

8. BIBLIOGRAFIA

- CARRERA, F. 1993. Rendimientos y costos de las operaciones iniciales de manejo en un bosque primario de la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 91 p.
- FAO. 1993. Ordenación y conservación de los bosques densos de América tropical. Estudio FAO/MONTES N 101 Roma, Italia. 150 p.
- FERREIRA, R. 1990. Manual de inventarios forestales, Honduras, ESNACIFOR/COHDEFOR. 99 p.
- JOHN, H; MORENO, R; ECHEVERRI, R. 1971. Cursillo de inventarios forestales. Medellín, Colombia. Universidad Nacional. 75 p.
- MALLEUX, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Universidad Nacional Agraria "La Molina", Lima, Perú. 441 p.
- ROJAS, A. 1977. Dasometría práctica. Colombia, Universidad de Tolima., Facultad de Ingeniería Forestal. 164 p.
- SALAZAR, R. 1989. Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. Informe Técnico N 20. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 194 p.

ANEXOS

ANEXO 1

ELEMENTOS DE DASOMETRIA

La Dasometría puede definirse como la ciencia de las mediciones forestales. Estas mediciones se relacionan especialmente con la determinación de diámetros, alturas y volúmenes ya sea de árboles en pie o productos cortados, tales como trozas para aserrío o leña y la determinación o predicción de tasas de crecimiento.

1. La cubicación de árboles en pie

El cálculo del volumen de los árboles en pie es más difícil que cuando estos se han tumbado e incluye en la fórmula general, ciertas variables que es necesario conocer y medir de antemano. Estas variables son: diámetro a la altura del pecho (dap), altura del fuste (h) y factor de forma (f), los cuales deberán determinarse por medio de instrumentos o procedimientos especiales.

Estos tres factores una vez calculados se combinan en la fórmula general del volumen que resulta entonces igual a:

$$V = \frac{\text{Pi} \times \text{dap}^2}{4} \times h \times f$$

en donde:

V = Volumen del árbol
Pi= 3.1416
dap = diámetro
h = altura del fuste
f = factor de forma

1.1 Diámetro a la altura del pecho

Es el diámetro medido a 1.30 m a partir del nivel del suelo. Para árboles en pie el punto de medida debe determinarse a en el lado alto de la pendiente.

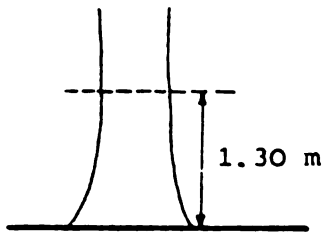
Cuando el árbol presenta gambas, el diámetro se mide o se estima sobre ellas. A continuación se presenta diferentes casos de medidas de diámetros

El diámetro puede medirse directamente con una forcípula o cinta diamétrica o derivarse de mediciones de circunferencia.

DIAMETRO DE REFERENCIA

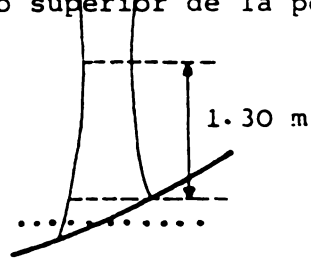
Terreno plano

Arboles verticales sin aletones o con aletones menores de 1 m o con raíces aéreas menores de 1 m



Terreno inclinado

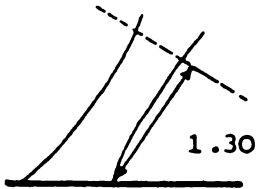
Arbol vertical
Como norma, la base del árbol es el nivel marcado ...
Por razones prácticas la medición se toma a 1.3 m por el lado superior de la pendiente



Arboles inclinados

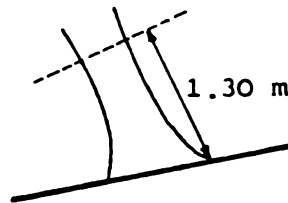
La distancia 1.3 debe medirse paralela al árbol, no vertical. La sección de medición debe ser perpendicular al eje del árbol, no horizontal

Terreno plano



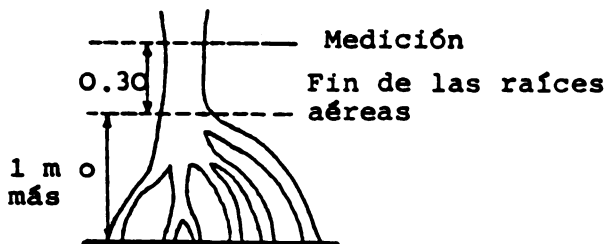
1.3 m medido en el lado hacia donde se inclina el árbol

Terreno inclinado



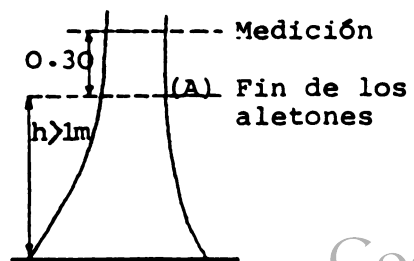
1.3 m medido por la parte superior de la pendiente

Arboles con raíces aéreas mayores de 1 m



Arboles con aletones mayores de 1 m

Para una buena estimación del nivel (A), observar el árbol desde lejos



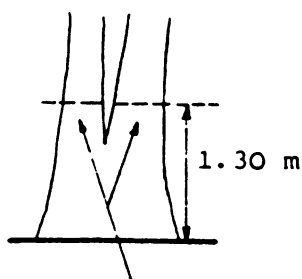
En general, h es menor de 6 m

DIAMETRO DE REFERENCIA (continuación...)

Arboles bifurcados

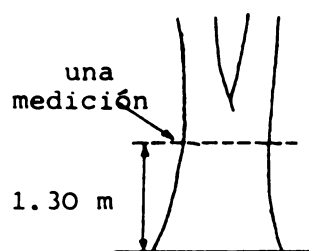
Inicio de la bifurcación

Debajo de 1.3 m



Dos mediciones
Se considera como
dos árboles

Arriba de 1.3 m

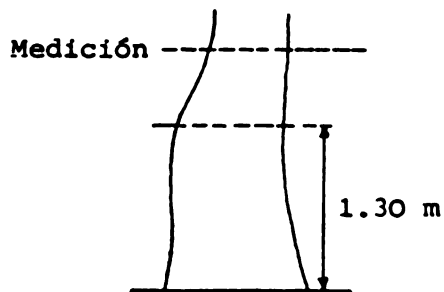
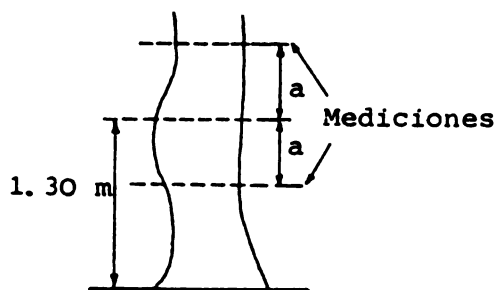


Anomalías a 1.3 m (nudos, abultamientos, deformaciones...)

Las mediciones tienen que hacerse fuera de la parte deformada.

Si es posible, hacer 2 mediciones a igual distancia del nivel 1.3 m y tomar el promedio.

A veces sólo será posible hacer una medición



Entre los instrumentos más utilizados para la medición de diámetros se tienen la forcípula y la cinta diamétrica.

En la medición del diámetro de los árboles se cometen a menudo ciertos errores , los cuales pueden ser debido a las siguientes causas:

- Irregularidad en la sección transversal del fuste
- Errores sistemáticos por defecto de los aparatos
- Errores debido a descuido del operador

1.2 Area basal

El área basal se define como la superficie de la sección transversal a la altura del pecho de un árbol o de todos los árboles de un rodal.

Esta sección transversal se aproxima a la de un círculo pudiendo calcularse el área a partir de la fórmula estándar:

$$AB = \frac{\text{Pi} \times \text{dap}^2}{4}$$

El área basal de un rodal por unidad de superficie puede estimarse midiendo los diámetros (dap) de los árboles sobre un área dada, convirtiendo luego los diámetros individuales a áreas y sumarlas.

1.3 La altura de los árboles

La altura de los árboles puede ser medida o estimada y expresada en metros o números de trozas de cierta longitud. En ciertos casos es necesario determinar la altura del fuste o altura comercial, la cual se complementa a veces con mediciones de altura total.

Entre los instrumentos más corrientemente utilizados en la mediciones de alturas se tienen el Nivel Abney, Hipsómetro de Merrit, Christen, Haga, Blume-Leiss y relascopio de Bitterlich

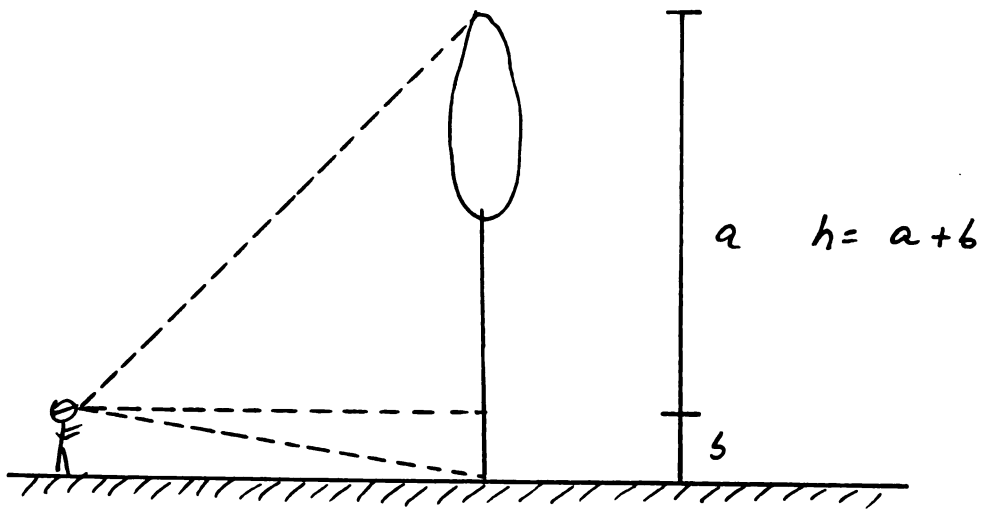
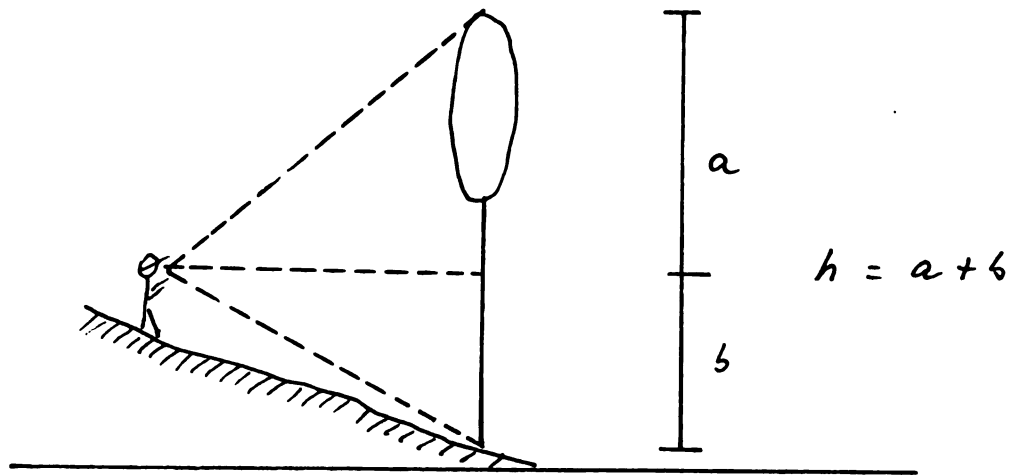
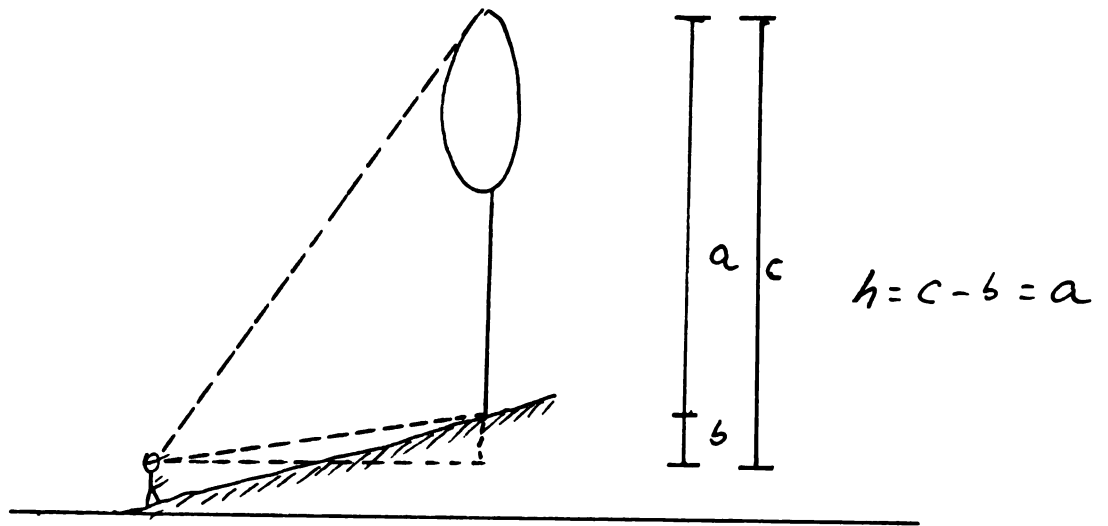


Figura 2 . Casos en la medición de la altura de los árboles

1.4 Factor de forma

Junto con el diámetro y la altura, el factor de forma es la característica más importante que determina el volumen del fuste de un árbol. El factor de forma se define como la relación entre el volumen de un árbol o fuste al volumen de un sólido geométrico de las mismas dimensiones (diámetro, altura).

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

2. Medición de volúmenes en árboles volteados

En la práctica corriente de la medición forestal y principalmente para fines comerciales, se debe tratar a menudo con la cubicación ya sea de fustes completos en árboles derribados o con las trozas que se pueden extraer de estos mismos fustes.

2.1 Unidades de volumen de uso común

El volumen de estos productos puede calcularse por diversos procedimientos y puede expresarse también en diversas unidades de medida, lo que depende de las costumbre y normas de cada país. Las unidades más comunes usadas son el "pie cúbico", "pie tablar", "la cuerda", "el esterero" y el "metro cúbico".

El pie tablar. El pie tablar (PT) no es estrictamente hablando una unidad de medida del volumen, sino una estimación del contenido convertido en producto comercial. El pie tablar es igual a una tabla de un pie de ancho por un pie de largo y una pulgada de espesor.

$$PT = \frac{\text{espesor} \times \text{ancho} \times \text{largo}}{144}$$

La determinación del número de pies tablares en una troza puede determinarse usando reglas maderas como la "Regla Internacional", la "Regla Doyle", y la "Regla Scribner" que expresan el volumen con base en el diámetro menor de la troza y su longitud.

Internacional $V = 0.22 d^2 - 0.71 d$ (trozas de 4 pies)

Doyle $V = (d-4)^2 L / 16$

Scribner $V = 0.79 d^2 - 2 d - 4$ (trozas de 16 pies)

La cuerda. La leña, la madera para pulpa y ocasionalmente otros productos son medidos y vendidos en pilas. La cuerda estándar representa una pila de madera de 4 pies de ancho, 4 pies de altura y 8 pies de largo.

El estéreo. Al igual que la cuerda, el estéreo es también una unidad de medida para la cubicación de madera de pequeñas dimensiones. Se define como el volumen ocupado por la madera de 1 m de longitud apilada sobre 1 m de ancho y 1 m de alto.

En nicaragua se utilizan otras medidas para cubicar leña tales como: la marca o carga, el manajo o simplemente rajas.

Se llama coeficiente de apilamiento a la relación entre el volumen de madera expresada en m^3 y el volumen aparente expresado en estéreos. El coeficiente de apilamiento varía en la práctica de 0.45 a 0.77, disminuyendo su valor a medida que la longitud y diámetro de la madera disminuye.

El pie cúbico. Un pié cúbico es igual a 12 pies tablares.

2.2 Cubicación de madera en trozas

- **Formula de Newton.** Es el volumen resultante de la medición del diámetro menor, central y mayor y la longitud de la troza.
- **Fórmula de Huber.** Se calcula el volumen con la medición del diámetro medio y la longitud de la troza.
- **Fórmula de Smalian.** Se calcula el diámetro en base a la medición de los dos diámetros extremos de la troza por la longitud de la misma.

ANEXO 2

ELEMENTOS DE ESTADISTICA

La estadística es una herramienta básica que se utiliza en los 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. Los datos observados se denominan *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 *estadísticos*. La media de una muestra es un estadístico. Se calculan los estadísticos de las muestras para estimar los parámetros de la población.

Algunos estadísticos de uso común son la media, la desviación estándar y el coeficiente de variabilidad.

MEDIA:

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

DESVIACION ESTANDAR:

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

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

COEFICIENTE DE VARIACION:

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

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

El coeficiente de variación permite comparar la variabilidad de poblaciones que tienen diferentes medias.

ERROR ESTANDAR:

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

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

donde:

S = desviación estándar

n = tamaño de la muestra

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 0.05 se puede considerar la población como infinita, y la fórmula queda como:

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

ERROR DE MUESTREO:

La media obtenida a partir de una muestra difiere de la verdadera media poblacional. La media poblacional es igual a la media muestral con un desvío dado por el error estándar afectado por un factor (t) que dependerá de la probabilidad o nivel de confianza. Es decir:

$$\mu = \bar{X} \pm t(S_{\bar{x}})$$

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. Así, obtenemos el límite de confianza superior con $X + t(S_x)$, y el límite de confianza inferior con $X - t(S_x)$.

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

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

TAMAÑO DE MUESTRA:

A partir de la fórmula anterior, 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 comúnmente utilizada cuando se va a realizar un muestreo al azar, o un muestreo sistemático.

Ejemplo:

Se midieron 10 parcelas de 1000 m² en un bosque natural. Sus volúmenes de madera (m³/parcela), fueron: 27, 27, 33, 27, 21, 21, 30, 24, 27, 33. Considerando esta muestra ¿Calcule el volumen medio de madera por hectárea, la desviación estándar, el coeficiente de variabilidad, el error estándar, el error relativo (E), y los límites de la media poblacional con una confianza de 95%.

Ordenando los datos, se tiene:

X_i	X_i^2
27	729
27	729
33	1089
27	729
21	441
21	441
30	900
24	576
27	729
33	1089
Sumas	270
	7452

La media es:

$$\bar{X} = 270 / 10 = 27 \text{ m}^3/\text{parcela}$$

La desviación estándar:

$$S = \sqrt{[7452 - (270)^2/10] / 9} = \sqrt{18} = 4.243$$

El coeficiente de variación:

$$CV = (4.243 / 27) * 100 = 15.71\%$$

El error estándar:

$$S_{\bar{x}} = S / \sqrt{n} = 4.243 / \sqrt{10} = 1.342$$

Los límites de confianza:

$$\mu = \bar{X} \pm t_{(0.05, 99)}(S_{\bar{x}})$$

$$\mu = 27 \pm 2.262(1.342)$$

$$\mu = 27 \pm 3$$

Intervalo de confianza (IC) = (24, 30)

El error de muestreo relativo:

$$E = t(CV) / \sqrt{n} = 2.262(15.71)/\sqrt{10} = 11.23\%$$

también se puede calcular con la relación siguiente:

$$E = (\text{error de muestreo}) * 100 / \bar{X} = 3(100)/27 = 11.11\%$$

MUESTREO EN INVENTARIOS FORESTALES

En el caso de no tener ningún conocimiento sobre la variabilidad del bosque, se puede realizar un muestreo piloto utilizando parcelas de tamaño previamente definidos (para estos ejemplos utilizaremos parcelas de 20m por 50m), siguiendo la dirección de la pendiente del terreno. El número de estas parcelas es pequeño. A continuación se muestra un ejemplo:

Se trata de un bosque de 100 hectáreas, en el que el número de parcelas puede guardar una intensidad aproximada del 0,5%. El número de parcelas se calcula con la fórmula siguiente:

$$n_1 = \frac{\text{Superficie total del bosque (A)}}{\text{Superficie de la parcela (a)}} * \text{Intensidad (I)}$$

La superficie del bosque en m² es:

$$100 \text{ ha} (10,000 \text{ m}^2/\text{ha}) = 1'000,000 \text{ m}^2$$

El área de cada parcela es 20m (50m) = 1000 m²,

Luego:

$$n_1 = \frac{1'000,000}{1000} * \frac{0.5}{100} = 5 \text{ parcelas}$$

Realizando el inventario piloto, se obtienen los resultados siguientes:

n° parcela (a = 1000 m ²)	Volumen (V) m ³ /parcela	V ²
1	15	225
2	24	576
3	5	25
4	21	441
5	25	625
Suma (Σ)	90	1892

$$\bar{V} = 18 \text{ m}^3$$

Con esta información se calcula la variancia, la desviación estándar, hasta llegar al coeficiente de variación, que es el valor que se necesita para calcular el número de parcelas a muestrear (tamaño de muestra).

Tamaño de la muestra:

El tamaño de la muestra, o número de parcelas que debe implantarse en el bosque, es posible calcularlo cuando se trata de un muestreo al azar y estratificado al azar.

Cálculo del número de muestras (n) para muestreo al azar.

Con los datos de volumen, obtenidos en cada una de las parcelas del muestreo piloto, se realiza el cálculo de :

a. variancia:

$$S^2 = \frac{\Sigma V^2 - (\Sigma V)^2/n}{n - 1} = \frac{1892 - (90)^2/5}{5 - 1} = 68$$

b. desviación estándar:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{68} = 8.2462$$

c. coeficiente de variabilidad:

$$CV = \frac{S}{V} 100 = \frac{8.25}{18} 100 = 45.8\%$$

d. con el valor del coeficiente de variación (CV), se puede aplicar la fórmula para determinar el tamaño de nuestra (n). El valor de "t" se obtiene de la tabla correspondiente con n-1 grados de libertad y con 95% de probabilidad.

La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$n = \frac{t^2 (CV)^2}{E^2 + t^2(CV)^2/N} = \frac{(2.776)^2(45.8)^2}{20^2 + (2.776)^2 45.8^2/500} = 37.4 = 38$$

donde:

E = error permisible = 20%

N = n° total de parcelas en el bosque = A/a

$$N = \frac{500,000}{1,000} = 500$$

La fracción $t^2(CV)^2/N$, en el denominador de la fórmula anterior, es despreciable; si lo eliminamos, la fórmula quedaría como:

$$n = \frac{t^2 (CV)^2}{E^2} = \frac{(2.776)^2(45.8)^2}{20^2} = 40.4 = 40$$

La deducción de esta fórmula se realizó en el punto anterior.

Entre las dos fórmulas empleadas hay una diferencia de 2 parcelas que representa apenas el 5%. Por esta razón, algunos autores hacen referencia a la última fórmula.

Nótese que el tamaño de la muestra está en función de la variabilidad del bosque y de la precisión deseada, y no del tamaño del mismo.

Con el resultado obtenido podemos conocer la intensidad de muestreo (I_n) que vamos a emplear.

$$I_n = \frac{n}{N} = \frac{40}{500} = 0.08 = 8\%$$

Cálculo del n° de muestras para muestreo estratificado.

Cuando el bosque se presenta muy irregular, con el fin de reducir el error, es conveniente dividir al bosque en estratos. Para este objeto se plantean dos procedimientos:

1. Cuando se toma la variación dentro de cada estrato, recibe el nombre de "distribución de la muestra entre estratos".

Para el tamaño de la muestra se utiliza la fórmula siguiente:

$$n = \frac{t^2 (Pse)^2}{E^2 + t^2(Pse)^2/N}$$

donde:

$(Pse)^2$ = Variancia de la población estratificada que debe ser expresada en porcentaje

$$Pse (\%) = \frac{Pse}{\bar{V}} \cdot 100$$

Se debe calcular previamente la desviación estándar de cada estrato y su proporción al área total; la suma de estos productos dará la desviación estándar común (Pse).

Ejemplo:

Un bosque natural de 300 hectáreas se ha dividido en tres estratos, considerando su posición fisiográfica en: tierra alta (A=80 ha), terraza de declive (B=100ha), terraza baja (C=120ha). Para conocer su variabilidad y calcular el tamaño de la muestra (n), realizamos un muestreo piloto en cada estrato. Se obtuvieron los datos siguientes:

n° de parcela	Estratos		
	A	B	C
1	16	7	20
2	0	10	10
3	24	22	8
4	8	6	22
5	39	11	18
Suma (ΣX_i)	87	56	78
Promedio (X_i)	17.4	11.2	15.6
Desvío estándar (S_i)	15.027	6.380	6.229

La proporción que guardan los estratos (P_i) con respecto al área total sería:

$$\begin{aligned}
 \text{bosque A: } P_1 &= a_1/A = 80/300 = 0.27 \\
 \text{bosque B: } P_2 &= a_2/A = 100/300 = 0.33 \\
 \text{bosque C: } P_3 &= a_3/A = 120/300 = 0.40 \\
 \hline
 \text{Total} &= 1.00
 \end{aligned}$$

Ahora, calculamos la desviación estándar común (Pse)

Estrato	S_i	P_i	$S_i * P_i$
A	15.027	0.27	4.0573
B	6.380	0.33	2.1054
C	6.229	0.40	2.4916
		Pse	8.6543

Como el error permisible es 20% y está dado en porcentaje, también el Pse debe convertirse a porcentaje. Para ello obtenemos el promedio general.

Estrato	X _i	P _i	X _i * P _i
A	17.4	0.27	4.698
B	11.2	0.33	3.696
C	15.6	0.40	6.240

Volumen medio (\bar{V}) 14.634

De esta forma, la desviación estándar de la población estratificada será:

$$Pse(\%) = Pse * 100 / \bar{V} = 8.6543 * 100 / 14.634 = 59.14\%$$

Ahora, aplicamos la fórmula para 4 gl (arbitrario) y 0.05 de confiabilidad. Luego se va probando con diferentes grados de libertad hasta que los resultados de las "n" sean iguales. Así:

$$n = \frac{t^2 (Pse)^2}{E^2 + t^2(Pse)^2/N} = \frac{(2.776)^2(59.14)^2}{20^2 + (2.776)^2(59.14)^2/3000} = 65.9 = 66$$

El valor de N = 3000, se obtiene de:

$$N = n^\circ \text{ total de parcelas en el bosque} = A/a$$

$$N = \frac{300 \text{ ha} * 10,000 \text{ m}^2/\text{ha}}{1,000 \text{ m}^2} = 3000$$

Luego, se calcula con 35 grados de libertad, que es el valor que queda entre 66 y 4.

$$n = \frac{(2.03)^2(59.14)^2}{20^2 + (2.03)^2(59.14)^2/3000} = 35.6 = 36$$

En este último caso se tiene el número de "n" similares, quedando por lo tanto en 36 el número de muestras a implantarse en el bosque:

Las 36 parcelas debemos distribuirlas para cada uno de los estratos de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Estrato A: } n_1 &= n(P_1S_1)/Pse = 36(4.0573)/8.6543 = 17 \\ \text{Estrato B: } n_2 &= n(P_2S_1)/Pse = 36(2.1054)/8.6543 = 9 \\ \text{Estrato C: } n_3 &= n(P_3S_3)/Pse = 36(2.4916)/8.6543 = 10 \end{aligned}$$

2. Cuando se toma en cuenta el área de cada estrato y se saca un número de muestras proporcionales a su área, se llama "distribución proporcional de la muestra por estrato". En este caso el procedimiento es igual al anterior, variando únicamente en el reparto de la muestra por estratos. Es decir, en el ejemplo anterior:

$$\begin{aligned} \text{Estrato A: } n_1 &= n(P_1) = 36(0.27) = 10 \\ \text{Estrato B: } n_2 &= n(P_2) = 36(0.33) = 12 \\ \text{Estrato C: } n_3 &= n(P_3) = 36(0.40) = 14 \end{aligned}$$

Es muy importante observar esta diferencia, lo que ayuda a confirmar que el número de parcelas a muestrear no depende del tamaño del bosque sino de su variabilidad. El estrato A, a pesar de tener el área más pequeña de todo el bosque requiere de más parcelas en relación a los estratos B y C.

Ejemplos:

Inventario utilizando muestreo sistemático.

Utilizando el tamaño de muestra recomendado en el cálculo anterior, se realizó el inventario de un bosque, y los resultados son los siguientes:

12	24	11	11
1	15	15	22
28	13	14	24
21	3	20	15
17	17	19	8
5	19	12	13
9	7	13	12
15	5	7	15
18	3	9	
11	9	13	

$$n = 38, \quad N = 500 \quad \Sigma V = 505 \quad \bar{V} = 13.29$$

1. cálculo de la desviación estándar (S)

$$S = \sqrt{[\Sigma V^2 - (\Sigma V)^2/n] / n - 1} = 6.238$$

2. cálculo del error estándar ($S_{\bar{x}}$)

$$S_{\bar{x}} = s / \sqrt{n} = 6.238 / \sqrt{38} = 1.012$$

3. cálculo del coeficiente de variabilidad (CV)

$$CV = s * 100 / \bar{X} = 6.238 * 100 / 13.29 = 46.9\%$$

4. cálculo del error (E)

$$E = CV * t / \sqrt{n} = 46.9 * 2.022 / \sqrt{38} = 15.4\%$$

5. Estimación del volumen promedio de madera por parcela, con 95% de probabilidad.

$$\begin{aligned} \text{Volumen promedio/parcela} &= \bar{V} \pm t * S_{\bar{x}} \\ &= 13.29 \pm 2.022 * 1.012 \\ &= 13.29 \pm 2.05 \\ &= 11.24, 15.34 \text{ m}^3/\text{parcela} \end{aligned}$$

6. Estimación del volumen promedio de madera por hectárea, con 95% de probabilidad.

$$\begin{aligned} &= (13.29 \pm 2.05)10 \\ &= 132.9 \pm 20.5 \\ &= 112.4, 153.4 \text{ m}^3/\text{ha.} \end{aligned}$$

Este resultado indica que en el bosque inventariado, se estima con un 95% de probabilidad, que existe entre 112 a 153 m³/ha.

Inventario utilizando muestreo estratificado sistemático.

Utilizando el tamaño de muestra, para cada estrato, recomendado en el cálculo anterior, se realizó el inventario de un bosque, y los resultados son los siguientes:

Estratos																N_i	n_i
A	16	0	24	8	39	8	12	6	15	7	35	3	8	12	9	800	17
B	7	10	22	6	11	5	18	13	13							1000	9
C	20	10	8	22	18	12	15	21	18	9						1200	10

A continuación construimos un cuadro para simplificar los cálculos. Este es el siguiente:

Estratos	P_i	\bar{X}_i	S_i	$P_i \bar{X}_i$	$P_i S_i$	$P_i S_i^2$
A	0.27	13.88	10.635	3.7476	2.8715	30.538
B	0.33	11.67	5.612	3.8511	1.8520	10.393
C	0.40	15.30	5.229	6.1200	2.0916	10.937
Sumas (Σ)				13.7187	6.8150	51.868

El volúmen medio de madera para todo el bosque, es:

$$\bar{X} = \Sigma P_i \bar{X}_i$$

$$\bar{X} = 13.72 \text{ m}^3/\text{parcela}$$

El error estándar:

$$S_v = \sqrt{\Sigma P_i S_i^2 / n - \Sigma P_i S_i^2 / N}$$

$$S_v = \sqrt{(6.815)^2 / 36 - 51.868 / 3000}$$

$$S_v = 1.128$$

Los límites del promedio para una confianza de 95%:

$$IC(\mu) = \bar{X} \pm t_{(0.05, 3591)} (S_{\bar{X}})$$

$$\mu = 13.72 \pm 2.03(1.128)$$

$$\mu = (13.72 \pm 2.29) \text{ m}^3/\text{parcela}, \text{ o}$$

$$\mu = (13.72 \pm 2.29) * 10$$

$$\mu = (137.2 \pm 22.9) \text{ m}^3/\text{ha},$$

$$\mu = (114.3, 160.1) \text{ m}^3/\text{ha},$$

También, se puede estimar los límites del promedio para cada estrato. Para el cual se aplica las fórmulas siguientes:

$$\bar{X}_i \pm t_{(0.05, n_i-1)} \sqrt{[(N_i - n_i)/N_i][S_i^2/n_i]}$$

Así, los límites para el estrato A, serán:

$$13.88 \pm t_{(0.05, 16 \text{ gl})} \sqrt{[(800 - 17)/800][(10.6353)^2/17]}$$

$$13.88 \pm 2.12(2.55)$$

$$13.88 \pm 5.41$$

$$(8.47, 19.29) \text{ m}^3/\text{parcela}$$

$$(84.7, 192.9) \text{ m}^3/\text{ha}$$

los límites para el estrato B, serán:

$$11.67 \pm t_{(0.05, 8 \text{ gl})} \sqrt{[(1000 - 9)/1000][(5.6125)^2/9]}$$

$$11.67 \pm 2.306(1.86)$$

$$11.67 \pm 4.29$$

$$(7.38, 15.96) \text{ m}^3/\text{parcela}$$

$$(73.8, 159.6) \text{ m}^3/\text{parcela}$$

los límites para el estrato C, serán:

$$15.30 \pm t_{(0.05, 9 \text{ gl})} \sqrt{[(1200 - 10)/1200][(5.2292)^2/10]}$$

$$15.30 \pm 2.262(1.65)$$

$$15.30 \pm 3.72$$

$$(11.58, 19.02) \text{ m}^3/\text{parcela}$$

$$(115.8, 190.2) \text{ m}^3/\text{parcela}$$

ANEXO 3

INSTRUCTIVO PARA REALIZAR EL INVENTARIO FORESTAL EN NANDAIME

Introducción

En el marco del Proyecto Nandarola, se tiene proyectado realizar un inventario forestal en el área boscosa de las Cooperativas Bernardino Díaz Ochoa y Pedro Joaquín Chamorro.

El objetivo de este inventario es tomar información del recurso forestal que permita elaborar un "Plan de Manejo" con el fin de proponer alternativas de manejo que permitan compatibilizar la producción con la conservación bajo el principio del manejo sostenido.

Como objetivos específicos se tienen:

- Evaluar el estado actual del recurso forestal en el área de ambas Cooperativas.
- Determinar los volúmenes existentes por especie, grupos de especie de acuerdo a su capacidad de uso.
- Evaluar el potencial de madera seca con valor para leña, tanto caída como en pie, que se encuentra en el bosque.
- Determinar el potencial de regeneración natural del bosque.

Descripción del área de estudio

La distribución del área de las cooperativas es la siguiente:

Cooperativa	Area Agrícola	Area Boscosa
Bernardino Díaz Ochoa	674	525
Pedro Joaquín Chamorro	620	400
Total	1294	925

El bosque cuenta con una relativa buena accesibilidad, sobre todo en la época de seca. Es posible llegar a ella con auto aprovechando los caminos para carretas que utilizan los pobladores para transporta la leña y los granos básicos (maíz, trigo, frijol, yuca, etc).

La Cooperativa Bernardino cuenta con 39 socios, cada uno de los cuales tiene aproximadamente 13 Mz. para producción agrícola o pecuaria. Si bien la actividad principal es la agricultura pero eventualmente venden madera. Esta cooperativa se diferencia de la otra por su mayor nivel de organización, la población esta asentada en un núcleo o asentamiento y gozan de servicios de agua y luz.

La Cooperativa Pedro Joaquín Chamorro tiene 94 socios con una distribución no equitativa de la tierra. Existen socios con más de 20 Mz. y otros con sólo 2.

La población de esta Cooperativa vive dispersa, no teniendo los servicios de agua y luz. La presión sobre el bosque en esta cooperativa es mayor.

- Personal

Para realizar el inventario el Proyecto Nandarola cuenta con los siguientes técnicos responsables de:

Bismark Gutierrez. Capacitación y Divulgación.
Roberto Valdivia. Inventario y Protección
Silvia Elena Guzmán. Vivero y plantaciones
Xiomara Castillo. Area agrícola, social y de organización
Ernesto Guzmán. Aprovechamiento y control

Si bien el personal cuenta con alguna experiencia de campo, participarán en un entrenamiento para uniformizar criterios con respecto a la toma de datos.

Para el trabajo de campo se contará con la participación de algunos socios de la cooperativa quienes tiene un amplio conocimiento de las especies forestales..

- **Equipo y materiales**

Para la realización del inventario se utilizará el siguiente equipo:

Brújulas (2)
Cinta métrica (2)
Cinta diamétrica (2)
Tabla de campo
Formularios
Cinta plástica
Marcadores
Machetes
Botiquín de primeros auxilios.

- **Fotointerpretación**

En base a fotografías aéreas del año 88 (1:20,000) y una ortofoto (1:10,000), la Oficina de Evaluación Forestal de MARENA realizó una fotointerpretación del área y levantó un mapa con los detalles recogidos, elaborando los siguientes mapas:

- Geomorfología
- Uso del suelo
- Vegetación
- Infraestructura
- Red de drenaje

Como las fotografías son de 1988 existe variación con respecto al área agrícola y boscosa debido al avance de la frontera agrícola. Para salvar esta situación se realizó una comprobación y rectificación en el campo.

Es necesario señalar también que de acuerdo a la fotointerpretación, la mayor parte del bosque clasifica como bosque alto. No obstante, el sondeo de campo permitió comprobar que este sólo se encuentra en el bosque de galería. En ese sentido, y de acuerdo a la definición se recomienda cambiar el nombre del estrato de bosque alto bosque bajo.

- **Diseño del inventario**

En base a la información disponible, características del área y objetivos del inventario, se decidió implementar un Inventario Sistemático Estratificado.

Tamaño de parcelas. El tamaño mínimo de parcela que recoge la mayor parte de la variabilidad florística en el bosque de la zona es de 1000 m², de acuerdo al estudio realizado por el personal del Proyecto Nandarola. Por consiguiente ese es el tamaño de parcela escogido.

Forma de las parcelas. Por facilidad de trabajo se levantará la información de campo en parcelas rectangulares de 20 x 50 m. Este tamaño de parcela permite tener un buen control de distancias.

Número de parcelas. Aunque no se tiene información de la variabilidad volumétrica del bosque, que permita estimar el número de parcelas necesarias a inventariar de acuerdo a un error de muestreo permisible, se evaluarán un total de 80 parcelas distribuidas proporcionalmente en todos los estratos. En ese sentido, la intensidad de muestreo será del orden del 1 %, esperándose que el error sea inferior al 20 %.

- **Soporte logístico**

Para facilitar la comunicación y soporte logístico el personal de campo contará con radios.

Debido a la dificultad de traslado por el inicio de la época lluviosa y el mal estado de las vías de comunicación, el inventario se realizará en una sólo entrada. En ese sentido, el personal pernoctará en el sitio hasta el fin del trabajo que se estimado en dos semanas.

Uno de los técnicos tendrá la responsabilidad de la logística y tendrá a su disposición una motocicleta.

- Toma de datos

Para la toma de datos se utilizará el formato adjunto, especialmente diseñado para cumplir con los objetivos propuestos en el inventario.

Fustales:

La población de fustales (árboles a partir de 10 cm de dap) se evaluará en toda la parcela (20 x 50 m). Se anotará las siguientes variables:

Número del árbol. Esto para permitir un mejor control.

Especie. Se anotará el nombre común con el que es conocido en la zona.

Uso. El uso del árbol está en función de la especie y forma del individuo. En ese sentido se ha confeccionado una clave en el que se marcará uno de los siguientes tipos de uso:

Madera
Postes
Leña
Ninguno

Diámetro a la altura del pecho (dap). Permite clasificar los resultados por categorías de tamaño, así como la estimación del volumen de las especies comerciales. El dap será medido con cinta diamétrica.

Altura comercial (Hc). Conjuntamente con el diámetro, permite estimar el volumen. La altura comercial será estimada y no medida.

Estimaciones del volumen. Debido a que la mayoría de los árboles de este tipo de bosque son deformados y ramificados, la medición del volumen por los métodos convencionales se torna una tarea difícil, lenta e impráctica. Una solución a esta situación es aprovechar el conocimiento y experiencia vernacular de los leñadores, los cuales pueden estimar el volumen con singular precisión.

Vigor. Es una medida de la vitalidad de los árboles y su conocimiento se justifica para la toma de decisiones silviculturales. Este a su vez se ha subdividido en:

- Sano
- Muerte regresiva

Evaluación de la madera seca (caída y en pie). Se tomó la decisión de evaluar este parámetro debido a la abundancia de madera seca con potencial para leña. Para el caso de los árboles caídos se registrará por estimación el volumen de aquellos cuya base estén en la parcela.

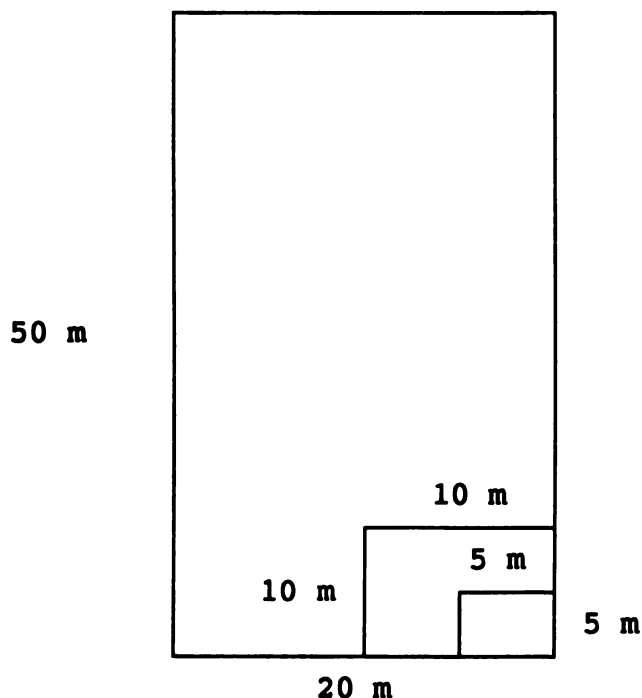
Latizales:

Se define a los latizales como la vegetación arbórea comprendida entre los 5 y 9.9 cm dap. Estos se evaluarán por conteo en parcelas de 10 x 10 m.

Su evaluación se justifica para la determinación de la abundancia de la regeneración natural.

Brinzales:

Los brinzales son especies arbóreas mayores a 30 cm de altura pero menores a 5 cm dap. También, al igual que los latizales, se evaluarán por conteo, pero en parcelas de 5 x 5 m.



Diseño de la parcela de inventario

Inventario Forestal Proyecto Nandarola
Formato de campo

Fecha: ___/___/___ Anotador: _____ Nº: _____

Tipo de Bosque: Bosque alto denso () Bosque bajo denso ()
 Bosque alto claro () Bosque bajo claro ()
 Bosque de galería () Tacotal ()

FUSTALES									
Nº	EESPECIE	USO	DAP (cm)	HC (m)	Nº Post	LEÑA			VIGOR
						R	M	F	
Arboles muertos									
LATIZALES					BRINZALES				
ESPECIE Nº	ESPECIE Nº				ESPECIE Nº	ESPECIE Nº			

- **Procesamiento de la información**

El proceso de la información será realizado con el auxilio del Programa Sistema de Entrada de Datos (SED).

Se tiene programado por parte del Proyecto RENARM/PBN una capacitación al personal técnico del Proyecto Nandarola para su uso.