

PLANIFICACIÓN DE INVENTARIOS

Introducción	3
Fuentes de Error.....	3
Objetivos.....	7
Información previa.....	8
Modelo Dasométrico.....	9
Definición de las variables de Estado	9
Especificación de Variables de Arbol.....	10
Especificación de Funciones Dendrométricas	11
Modelo cartográfico	12
Variables Ambientales	13
Otros modelos	13
Diseño de muestreo Dasométrico	13
Estratificación	15
Tipo tamaño y forma de las u.m.....	15
Distribución de las u.m.	16
Localización, desplazamiento y monumentación	17
Localización.....	17
Desplazamiento.....	18
Monumentación	18
Tamaño muestral.....	18
Mediciones en las unidades muestrales.....	19
Diseño de Muestreo dendrométrico	19
Diseño de otros muestreos.....	20
Sistema de procesamiento.....	20
Estrategia logística.....	20
Capacitación y Control	21
Capacitación.....	21
Control.....	21
Rendimientos y costos	22
Preparación de instrucciones.....	22

APENDICE 1	23
Contenido del manual de Operaciones para muestreo dasométrico.....	23
APENDICE 2	24
Información que debe contener un plano forestal	24
APENDICE 3	25
Contenido del informe final	25

Introducción

Al planificar un inventario, luego de fijar claramente los objetivos, es necesario determinar que datos permiten alcanzar dichos objetivos y cómo obtenerlos costoeficientemente. Esto último implica que los recursos disponibles para el inventario deben invertirse de manera que los resultados obtenidos se encuentren afectados por el mínimo error posible.

La costoeficiencia puede definirse también en términos de que, fijado un error máximo admisible, éste puede lograrse al mínimo costo. Esta aproximación al diseño óptimo es, sin embargo, pocas veces factible, debido a que son tantas las fuentes de error que afectan a los inventarios, que resulta imposible estimar de antemano la dimensión global de los errores. Es posible acotar con bastante precisión los errores que se originan en el hecho estadístico de la estimación muestral, pero esta es sólo una fuente de errores y muchas veces, no la más importante.

Antes de iniciar un inventario es preciso determinar los recursos disponibles y recopilar toda la información existente. Muchas veces los objetivos pueden lograrse mejor en base a los datos ya disponibles que en base a los que pueden colectarse con los recursos existentes.

Fuentes de Error

La estrategia general en la planificación de inventarios consiste en diseñar un sistema costoeficiente de estimación muestral y al mismo tiempo, tomar las medidas necesarias para minimizar los errores no aleatorios de diferentes orígenes. Para lograr este propósito es importante conocer las principales fuentes de error. En el cuadro 1 se resumen las principales fuentes de error en inventarios, que se agregan al error mínimo inevitable, que se origina en un diseño muestral optimizado .

Se llama errores aleatorios aquellos que tienden a compensarse cuando se agregan errores de diversos elementos de una misma fuente o se agregan errores de diversas fuentes. Se llaman errores de sesgamiento o sesgos los errores que no tienden naturalmente a compensarse.

Cuadro 1 Fuentes de errores en inventarios forestales

Fuente	Descripción	Tipo Error
1.-Diseño	1.1.-Distribución no aleatoria de las unidades muestrales (UM.)	Sesgo (S)
	1.2.-Diseño muestral no optimizado	Aleatorio (A)
	1.3.-Normas de operación mal formuladas o incompletas	S
2.-Operaciones	2.1.-Localización errónea de las u.m.	S
	2.2.-Delimitación defectuosa de las u.m.	S
	2.3.-Medición imprecisa de los árboles	A
	2.4.-Mediciones sesgadas	S
	2.5.-Operaciones mal planificadas	Costoeficiencia
	2.6.-Deficiencias de capacitación y de control	S
3.-Superficie	3.1.-Cartografía base defectuosa	S
	3.2.-Error de Interpretación de las Imágenes de Percepción Remota	S
	3.3.-Errores de transferencia y/o digitalización	S
	3.4.-Errores de georeferenciación	S
	3.5.-Errores de medición	Sv
	3.6.-Tamaño limite de superficie excluida inconsistente con el diseño muestral	S
	3.7.-Error en la determinación de superficie neta aprovechable	S
4.-Modelo dasométrico	4.1-Modelo costo-ineficiente	
	4.3-Funciones Dendrométricas Básicas inadecuadas	S/A
	4.4-Clasificación de los árboles (calidad) y/o deducción de defectos defectuosa	S
	4.5-Simuladores de trozado o funciones estimadoras de productos inadecuadas	S
	4.6-Porcentajes de Recuperación inadecuados	S
5.-Procesamiento	5.1-Codificación y registro	S/A
	5.2-Transferencia: copiado y digitación	S/A
	5.3- Diseño e implementación del sistema de procesamiento	S
	5.4- Configuración del sistema	

1.-Errores de diseño

1.1.-Distribución no aleatoria de las unidades muestrales (UM.)

Cuando las UM no se distribuyen en forma aleatoria, siempre existe el riesgo de sesgamiento en las estimaciones. La distribución no aleatoria con mínimo riesgo de sesgamiento es la sistemática con partida aleatoria. En inventarios intensivos o extensivos el riesgo es prácticamente inexistente. Pero en inventarios de intensidad media (que son los menos frecuentes) puede ocurrir que algún padrón cíclico natural (topográfico o de otro

tipo) coincida con el padrón cíclico propio de la red sistemática de las parcelas. Es necesario evaluar el riesgo de que ello ocurra con apoyo de cartografía o SIG.

1.2.-Diseño muestral no optimizado

Si el diseño muestral no se optimiza, se agrega un componente de error al **mínimo inevitable**. Más adelante se describirán algunas normas que permiten mantener esta fuente de posibles errores aleatorios en niveles prácticamente irrelevantes

1.3.-Normas de operación mal formuladas o incompletas

Muchas veces las estimaciones se sesgan debido a errores de operación que no son de responsabilidad de los operadores (brigadas de terreno) sino de quién diseñó el inventario. Las principales causas de error de este tipo son normas inadecuadas para localización o desplazamiento de las parcelas.

2.-Operaciones

2.1.-Localización errónea de las parcelas

Sesgos de gran magnitud pueden ocurrir debido a errores de localización. El riesgo de errores de este tipo es especialmente alto en Unidades de Inventario de estructura irregular, como es el bosque nativo o plantaciones con daño de viento u otro factor de irregularidad. Este riesgo se ve incrementado cuando las parcelas son de tamaño pequeño. También el riesgo es elevado en plantaciones jóvenes con altas tasas de prendimiento y sin poda baja.

2.2.-Delimitación de las parcelas y selección de los árboles

Estos errores son especialmente frecuentes en terrenos con fuerte inclinación, o cuando se realiza una marcación defectuosa de los árboles medidos o una rutina de operación en la parcela inadecuada.

2.3.-Medición imprecisa de los arboles

Estos errores pueden producirse cuando se usan instrumentos en la forma correcta y estos se encuentran en buen estado, pero la precisión de medición que permiten no es compatible con la precisión requerida conforme a los objetivos del inventario. También pueden deberse a operaciones de medición inadecuadas.

2.4.-Mediciones sesgadas

La mayoría de los errores de medición originan sesgos. Estos pueden deberse a mal estado de los instrumentos o a su mala operación

2.5.-Operaciones mal planificadas

Errores de planificación de la logística de terreno normalmente no genera errores aleatorios o sesgos, sino que aumentan el costo de las operaciones lo que hace al inventario más **costo-ineficiente**

2.6.-Deficiencias de capacitación y de control

Todos los errores de operación antes mencionados se originan en ultimo término en una inadecuada capacitación de las brigadas al inicio del inventario o en un inadecuado control de las operaciones durante su ejecución.

3.-Errores en la determinación de la superficie de las Unidades de Inventario

Normalmente se asume en los inventarios que la superficie de las Unidades de Inventario (rodales o estratos) se determinan sin error. Esto sin embargo casi nunca ocurre, comprobándose que en inventarios bien diseñados y bien realizados los errores pueden fácilmente alcanzar niveles de entre 2 y 5%. Esto se debe a que el proceso cartográfico que permite determinar la superficie es complejo, pudiéndose generar cualquiera de los siguientes errores:

- Cartografía base defectuosa
- Error de Interpretación o delimitación en las Imágenes de Percepción Remota
- Errores de transferencia y/o digitalización
- Errores de georeferenciación
- Tamaño limite de superficie excluida inconsistente con el diseño muestral
- Errores de medición de superficie
- Error en la determinación de superficie neta aprovechable

4.- Errores que se originan en el Modelo dasométrico

El modelo dasométrico es el proceso mediante el cual se define la estrategia para determinar las Variables de Estado Dasométricas, que son en último término la forma en que se expresan los resultados del inventario. Se trata de determinar qué variables de árboles medir y cómo medirlas y qué variables de arboles estimar y cómo estimarlas

Se pueden detallar las siguientes fuentes de error de este tipo:

4.1-Modelo costo-ineficiente

Hay opciones de determinación de las variables de árbol que son más costo-eficientes que las empleadas en el Modelo Dasométrico adoptado

4.2-Funciones Dendrométricas inadecuadas

Se han elegido mal las funciones dendrométricas lo que puede producir sesgos o errores aleatorios de grandes dimensiones

4.4-Clasificación de los arboles (calidad) y/o deducción de defectos defectuosa

Las variables cualitativas empleadas no permiten estimar las existencias aprovechables en forma insesgada

4.5-Simuladores de trozado o funciones estimadoras de productos inadecuadas

Cuando se emplean simuladores de trozado, puede ocurrir que estos no emulan las operaciones de terreno en forma que se puede obtener estimaciones insesgadas de productos

4.6-Porcentajes de Recuperación inadecuados

Las existencias determinadas en pié nunca serán estimaciones insesgadas de las existencias realmente aprovechables. Esto se debe a pérdidas imprevisibles que se producen durante la cosecha y a la imposibilidad de definir modelos dasométricos que emulen exactamente la

productividad real al cosechar. Para ajustar las existencias en pié a existencias realmente aprovechables deben construirse **coeficientes de recuperación**, es decir, factores basados en la experiencia productiva, los que al multiplicar las estimaciones en pié, las ajustan a estimaciones del aprovechamiento real

5.-Errores de Procesamiento

Algunas de las fuentes de error que se relacionen con el procesamiento de los datos son las siguientes:

5.1-Codificación y registro

Son errores que se originan siempre en terreno, que pueden incrementarse por rutinas mal diseñadas o mal ejecutadas. Estas se refieren en general al procedimiento de registro de los datos (quién y cómo registrar).

5.2-Transferencia: copiado y digitación

La magnitud de estos errores depende mucho de cómo se diseñen los formularios de terreno y de como se organice el proceso de digitación de los datos. Estos errores, al igual que los mencionados en 5.1, pueden reducirse mucho si se emplean medios digitales para captura en terreno y transferencia de datos. No pueden evitarse, sin embargo, si no se efectúa un adecuado control integral de las operaciones, pues incluso la transferencia electrónica de datos puede generar errores.

5.3-Errores en diseño o de implementación del sistema de procesamiento

Cuando se implementa un sistema nuevo o un sistema “ad hoc” para el procesamiento del inventario, es necesario validar su operación mediante un procesamiento paralelo de parte de los datos, empleando un procedimiento diferente.

5.4-Errores de configuración del sistema

Sistemas generales, ya probados de procesamiento de inventarios son en general más confiables que los sistemas desarrollados “ad hoc”. Sin embargo, estos sistemas suelen requerir de un complejo sistema de **configuración** para adecuarlo al problema específico. Un procesamiento paralelo puede evitar errores de este tipo.

Objetivos

Los objetivos deben definirse en conjunto por los ejecutores del inventario y por quienes usarán la información. Los elementos más importantes a considerar entre los objetivos son:

- **Area que abarca:** Este puede ser un tema importante cuando no se trata del inventario de unidades claramente acotadas, como son rodales específicos o el patrimonio de una persona o empresa. Es especialmente importante en el caso de inventarios regionales ejecutados con el fin de fijar políticas o evaluar grandes proyectos forestales.
- **Clasificación del área.** Deben especificarse las Clases de Uso a reconocer, especialmente aquellas que serán objeto de descripción cuantitativa.

- **Usuarios.** La forma en que se publicarán y manejarán los resultados requiere precisar quiénes harán uso de la información del inventario y cómo.
- **VARIABLES Y PARÁMETROS** que se emplearán para describir el bosque. Se deben precisar para cada tipo de bosque, las **VARIABLES DE ESTADO**, las **VARIABLES AMBIENTALES** y otros parámetros que se emplearán. Estos elementos no sólo se enumerarán, sino que se diseñarán las **Tablas de Resultados**, es decir, las **Tablas de Rodal y de Existencias**, las **Tablas de Superficies por Clases de Uso** y otras tablas que contendrán los resultados del inventario.
- **Frecuencia.** Decidir si es necesario remedir y con qué frecuencia, o implementar un método de actualización automática.
- **Otra información:** Debe precisarse si se requiere otra información aparte de la necesaria para tomar decisiones sobre el manejo de los recursos forestales maderables, como información sobre Biodiversidad, Biomasa total, Presencia de especies amenazadas de flora o fauna, otros Productos y Servicios del bosque, etc.)
- **Georeferenciación:** Generalmente se georeferencia en los inventarios las clases de uso del suelo, mediante la cartografía normal. Otras veces es necesario georeferenciar también las Unidades Muestrales y sus atributos o las Unidades de Inventario y sus correspondientes atributos (Variables de Estado y Variables Ambientales).

Información previa

No es posible planificar adecuadamente un inventario de recursos naturales sin conocer muy bien las características de las poblaciones que se inventarían y sus dinámicas

- Debe **reunirse toda la información** sobre el proyecto que contribuya a diseñar mejor el inventario y a presupuestar costo y plazos de ejecución: Presupuesto y tiempo; personal y equipo; recursos computacionales, accesibilidad, transporte y comunicaciones, servicios disponibles
- Se deben precisar la **restricciones de uso** de los recursos forestales (naturales, legales y de mercado)
- Se deben conocer las características del bosque (accesibilidad, transitabilidad, estado de desarrollo, estado sanitario, composición, densidad, variabilidad. Esto permitirá diseñar el muestreo en forma eficiente
- Debe indagarse si existen inventarios y otros estudios anteriores. Relaciones dendrométricas.
- Debe precisarse Material cartográfico disponible (Tipo, escala, vigencia, etc), las Imágenes de percepción remota (tipo, escala, vigencia, etc)
- Deben determinarse las actividades realizadas en el último tiempo, que puedan afectar la vigencia de la información cartográfica y de percepción remota disponibles: Cortas, incendios u otras catástrofes, obras de infraestructura, etc

Modelo Dasométrico

El Modelo Dasométrico tiene por finalidad precisar la forma en que se representa el estado del bosque desde el punto de vista de su masa arbórea. El estado del bosque se describe en términos cuantitativos mediante las llamadas Variables de Estado Dasométricas, o simplemente, **Variables de Estado**.

El modelamiento dasométrico permite determinar:

- Cómo valorizar las Variables de Estado requeridas según los objetivos del inventario
- Qué variables de árbol deben emplearse para valorizarlas
- Cómo deben determinarse las Variables de Árbol
- Como deben procesarse las variables de árbol para computar las Variables de Estado

El Modelo Dasométrico se funda sobre los siguientes componentes

- Definición de las VE
- Especificación de las variables de árbol en que se basan las VE
- Especificación de las funciones dendrométricas empleadas

Definición de las variables de Estado

Las VE se definen mediante los siguientes elementos:

Tipo de VE: Se reconocen dos tipos de Variables de Estado: Clasificadas y no clasificadas.

Las VE clasificadas son las que constituyen el cuerpo de las Tablas de Rodal y de Existencia. Estas poseen un valor para cada clase de especie y de diámetro. Las VE no clasificadas, en cambio, se presentan con un único valor para cada Unidad Muestral y cada Unidad de Inventario. Variables de Estado comúnmente clasificadas son el Número de árboles por hectárea y el Área Basal por hectárea. VE comúnmente no clasificadas son Índice de Sitio, Edad, Diámetro cuadrático medio, Altura predominante

En los inventarios que emplean un simulador de trozado para estimar las existencias, los productos del simulador constituyen un tercer tipo de VE.

Variable básica de árbol: Es la variable de árbol en que se funda la VE. Por ejemplo, La VE **Área Basal por hectárea** se funda sobre la variable de árbol **dap**.

Modificaciones: En algunos casos es necesario modificar la variable básica de árbol. Por ejemplo, si la VE es el **Area Basal por ha**. Y la variable básica es el **dap**, esta ultima debe modificarse y expresarse como $(\pi/4)dap^2$.

Condicionamientos: Se emplean cuando la VE se computa sobre la base de la v. básica de los árboles que cumplen con alguna condición, como diámetro mínimo, pertenencia a una determinada especie, etc

Tipo de proceso: Las VE pueden generarse por acumulación (totales por ha), por promedio (aritmético, cuadrático, u otro), valor modal, etc.

La tabla 4-1 muestra, a modo de ejemplo, la definición de algunas VE para un inventario de una plantación adulta monoespecífica.

Tabla 4-1. Definición de Variables de Estado

Variable de Estado			Variable básica de árbol			Tipo de proceso
Nombre	Descripción	Tipo	Nombre	Modificación	Condiciones	
Nha	Numero de árboles por hectárea	Clasif.	Fre	--	--	Total por ha.
Gha	Area Basal por ha	Clasif	dap	$(\pi/4)dap^2$	--	Total por ha.
Dcm	Diámetro cuadrático medio	No clasif.	dap	--	--	Promedio cuadrático
Vha	Volumen bruto total por ha.	Clasif	vt	--	--	Total por ha.
IS	Indice de Sitio (E. clave = 20 años)	No clasif.	--	--	--	$F_1(\text{Edad}, H100)$
E	Edad	No clasif.	--	--	--	Fecha Medición – Fecha plantación
H100	Altura promedio 100 árb. más gruesos por ha.	No clasif.	ht	--	--	Promedio de los N árboles más gruesos por ha.

Nota: En caso que se hayan registrado árboles de especies diferentes a la de la plantación, debe establecerse para todas las VE la condición de pertenencia a la especie plantada.

Especificación de Variables de Arbol

Las variables de árbol se especifican describiendo el procedimiento a emplear para valorizarlas. Las variables a especificar son todas las variables de árbol que se involucran en la definición de las VE, sea como variables básicas, como variables predictoras de las variables básicas o como variables modificadoras o condicionantes.

La tabla 4-2 presenta, a modo de ejemplo, la especificación de todas las variables de arbol relacionadas con las VE que se definen en la tabla 4-1

Tabla 4-2. Especificación de Variables de Arbol

ooooo		Metodo de valorización
Nombre	Descripción	

Fre	Cuenta de árboles	Cada registro de la tabla de atributos de árboles registrados en las parcelas de terreno representa a “Fre” árboles. Usualmente $Fre = 1$
dap	Diámetro a 1.3 m, en cm	Diámetro medido con forcípula a 1.30 m del suelo, aproximando al cm entero más cercano
ht	Altura total, m	$ht = F_2(dap)$
vt	Volumen total sin corteza, ($i_u=0cm$), m^3	$vt = F_3(dap,ht)$

Especificación de Funciones Dendrométricas

Las funciones dendrométricas se especifican definiendo en primer lugar su tipo: **General** o **Local**.

Funciones Dendrométricas Generales: Son funciones existentes, válidas para la unidad inventariada. Se especifican definiendo su expresión y describiendo la fuente y sus propiedades.

Funciones Dendrométricas Locales: Son funciones que se construyen sobre la base de datos colectados durante el mismo inventario en que se emplearán. Se especifican describiendo las propiedades de la función y la forma en que deben colectarse los datos para su construcción.

La tabla 4-3 presenta, a modo de ejemplo la descripción de las Funciones dendrométricas empleadas para generar las VE definidas en la tabla 4-1

Tabla 4-3. Descripción de las Funciones Dendrométricas

Función			Descripción
Cod.	Nombre	Tipo	
F₁	F. de Índice de Sitio	Gral	Función para la zona X, construida por YYY sobre la base de ZZZ. $S=51.4*((1-(1-((H/51.4)**0.68))(20/E))**(1/0.68))$; H = H100 ; E = edad, años ; S = Índice de Sitio (H100 a la edad de 20 años).
F₂	F. de altura total	Local	Función que se construye sobre la base del mejor de los siguientes modelos. Las alturas de muestra se colectan midiendo en cada parcela un número de árboles tal, que la muestra incluya un total de árboles no inferior a 50. En cada parcela debe

			incluirse el arbol más grueso y el más delgado. Etc...
F₃	F. de volumen total	Gral	<p>Volumen total se estima con la siguiente función de ahusamiento, construida por XX sobre la base de YYY, etc</p> $Y = 0.811x^{1.5} - 0.0178(x^{1.5} - x^3)d + 0.0314(x^{1.5} - x^3)h - 0.00000718(x^{1.5} - x^{32})dh + 0.00387(x^{1.5} - x^{32})h^{0.5} - 0.000870(x^{1.5} - x^{40})h^2$ <p>; h = altura total, mt ; d = dap, cm ; x = (h-1)/(h-1.3) , y = (dl/d)² ; dl = diametro fustal, cm a l metros del suelo.</p>

Modelo cartográfico

En el modelo cartográfico deben especificarse los siguientes elementos:

- **Cartografía base**
 - **Origen** (Carta IGM, Ortofoto preexistente, Ortofoto ad-hoc, Otro tipo de restitución directa, Imagen satelital georeferenciada mediante GPS, Otros)
 - **Medio en que se genera** (SIG, otros)
 - **Elementos que debe contener:**(Retículo de coordenadas UTM, Toponimia (Poblados de mas de xxx habitantes, ríos, etc.), Limites politico-administrativos, Propiedades, Otros)
 - **Procedimiento de generación**
- **Clasificación del Uso de la tierra en general**
 - **Clases de Uso a reconocer**
 - **Método de clasificación**
- **Clasificación del bosque**
 - **Tipo de clasificación** (puntual o de área (en este ultimo caso, especificar si el bosque se clasificara en rodales o clases boscosas)
 - **Base para clasificación** (Imágenes satelitales, Fotos aéreas (definir los diferentes tipos que se emplearan), Otros)
 - **Resolución:** superficie mínima (hectáreas) a reconocer en las imágenes de percepción remota y en la cartografía
 - **Procedimiento** de clasificación y de generación del plano o cobertura de bosques clasificados

Variables Ambientales

En un inventario forestal, la descripción del bosque no se agota con las Variables de Estado que describen el estado Dasométrico de la masa boscosa. También es necesario describir con mayor o menor detalle el estado del ecosistema en general (suelo, topografía, clima, vegetación competitiva, etc) y también el estado cualitativo del bosque (raleos, podas, plagas, etc).

Se denomina aquí Variable Ambiental a un atributo del bosque y de su ambiente que es valorizado mediante observaciones directas realizadas en puntos del bosque durante el inventario.

Cuando la descripción no dasométrica del bosque requiera de observaciones más detenidas, como calicatas, análisis de muestras en laboratorio, etc, se debe definir un modelo especial, complementario al modelo Dasométrico.

La tabla 4-4 muestra un ejemplo con algunas Variables Ambientales que describe un procedimiento para especificarlas

Tabla 4-4

Variable Ambiental	Punto de Medición	Procedimiento	Estadígrafo Por UI
Altitud	Centro de parcela	Medición con altímetro en m.s.n.m.	Promedio
Exposición	C. de P.	Con brújula, en grados sexagesimales	Moda
Pendiente	C. de P.	Máxima pendiente, %, en centro de parcela, con clinómetro	Promedio
Raleo	C. de P.	Siguiente clave: 1- No raleado ; 2- Raleo por lo bajo ; 3- Raleo por lo alto ; 4- Raleo sistemático ; 5- Corte de árboles sin criterio silvicultural	Modal
Regeneración	200 pto/Ui	Se observa presencia (1) o ausencia (2) de regeneración en un entorno de 5 m ² en torno al punto de observación	Proporción de puntos con regeneración

Otros modelos

Se deben especificar también otros modelos, requeridos para objetivos específicos diferentes a la descripción dasométrica y silvicultural de los bosques, como Estudios de impacto ambiental, Prospección de fauna, Análisis detallado de suelo, Estudios de biodiversidad, Potencialidad turística o Recreacional del área, etc.

Diseño de muestreo Dasométrico

Será necesario decidir sobre lo siguiente:

- Estratificación
- Tipo tamaño y forma de las UM

- Distribución de las UM
- Localización, desplazamiento y monumentación de las parcelas
- Número de UM
- Mediciones en las UM

Optimización: El muestreo dasométrico debe diseñarse empleando elementos optimizadores:

- En caso de diseños muestrales en conglomerados, se puede dimensionar la muestra de las diferentes etapas empleando procedimientos como los propuestos por Schreuder et al. (1993) o De Vries (1986) o Prodan et al. (1997).
- La eficiencia del diseño puede depender mucho de la forma de distribución de las parcelas en las unidades de inventario
- En caso de inventarios de rodal, donde usualmente se emplean u.m. simples (no en conglomerado), la optimización puede realizarse en base a funciones de variabilidad y de rendimiento y costo de muestreo, desarrolladas experimentalmente. Ellas permiten construir tablas para optimizaciones discretas, como la siguiente:

Cuadro 4. Costo de varias opciones factibles de diseño muestral (1)					
Unidad muestral		Costo por u.m. \$	s% (2)	n (3)	Costo total muestreo (4)
Tipo	Tamaño m² o FAB				
conv.	200	1200	35.0	49	58800
conv.	400	1500	24.7	25	36750
conv.	600	2400	20.2	16	39200

Notas:

- (1) Costo para estimar con un error máximo admisible de $E = 10\%$, para un $\alpha = 0,05$
- (2) Variabilidad estimada en base a funciones de variabilidad
- (3) $n = 2^2 * s\%^2 / E\%^2$
- (4) Costo total como producto de **n** por el costo unitario

El mínimo costo se tiene en este caso al emplear parcelas convencionales de 400 m². Se ha asumido que por las condiciones del bosque u otros motivos, otros tipos de u.m. no son factibles.

Estratificación

En primer lugar, es necesario dividir la población en **unidades de inventario independientes**. El propósito de este primer nivel de clasificación es el de subdividir el bosque en unidades que deben ser descritas en forma independiente, mediante conjuntos específicos de parámetros y tablas de resultados y con errores muestrales conocidos. En los inventarios intensivos estas unidades corresponden a rodales homogéneos, mientras que en inventarios extensivos cada unidad puede comprender a muchos rodales y puede, en consecuencia tener una alta variabilidad interna

Un segundo nivel de clasificación y que corresponde a la **estratificación propiamente tal** consiste en subdividir unidades de inventario heterogéneas en subunidades homogéneas, con el fin de incrementar la eficiencia muestral vía reducción de la variabilidad interna de las unidades. Los estratos que componen una unidad de inventario no son descritos independientemente, sino que mediante un set único de parámetros y tablas de resultados, y con una medida global de error muestral para todos los estratos que conforman la unidad.

Como ya se mencionó, es necesario decidir el tipo de estratificación que se usará (puntual o por delimitación de áreas) y las variables de estratificación a emplear. Deben elegirse las variables que presenten la mas estrecha relación posible con las variables objetivo mas importantes.

Tipo tamaño y forma de las u.m.

La siguiente guía puede usarse para elegir el tipo de u.m.:

Respecto al tipo de parcelas:

- Variable de mayor interés es el área basal o el volumen
 - Todas las especies de arboles tienen aproximadamente la misma importancia:
 - Efecto de borde o visibilidad son importantes **MPH con dist. máxima**
 - No son críticos..... **MPH convencional**
 - Hay especies mucho más importantes que otras..... **MPH concéntrico**
- Variable de mayor interés es el Número de árboles o la distribución diamétrica
 - Todos los árboles tienen la misma importancia, independiente de su dimensión o especie..... **Parcelas convencionales.**
 - Árboles difieren en importancia..... **Parcelas concéntricas.**

Las parcelas convencionales concéntricas (rectangulares) son también las que más frecuentemente se emplean en inventarios de bosques naturales no orientados a la planificación silvicultural, debido a que permiten captar mayor variabilidad y permiten operar mejor en condiciones de visibilidad precaria.

Respecto al tamaño de las parcelas:

si se carece de elementos para un diseño optimizante del tamaño de las parcelas, puede emplearse la siguiente guía:

- Parcelas convencionales: Fijar un área tal, que la cuenta promedio por parcela sea entre 15 y 40 árboles de la masa principal.. Menos árboles, mientras mas homogénea sea su distribución espacial y la variabilidad dimensional.
- Parcelas MPH: **FAB** tal, que la cuenta media por parcela sea entre 5 y 15 árboles. Menos árboles mientras más regular es su distribución y peor es la visibilidad

Respecto a la forma de las parcelas convencionales:

- Parcelas grandes (cuenta media mayor que 30) o terreno con pendiente o mala visibilidad:
 - Es importante la representatividad puntual:.....**Parcelas Cuadradas**
 - Es importante captar variabilidad o las condiciones de visibilidad son malas.....**P. Rectangulares o fajas**
- Otras condiciones: elegir según usos y costumbres. Es recomendable optar por **parcelas circulares** con cuenta media entre 15 y 25 en caso de plantaciones y entre 25 y 35 en rodales homogéneos y regulares de bosque nativo. En caso de bosques con estructura muy irregular y muy mala visibilidad, es posible que la mejor opción sean fajas angostas (4 a 5 m) y largas (100 m). Si los rodales son angostos, una buena opción son fajas que lo atraviesen de lado a lado.

Distribución de las u.m.

Cada sistema de distribución de parcelas presenta ventajas y desventajas, según las características del rodal y las condiciones particulares en que se realiza el inventario. La siguiente guía puede ayudar a decidir entre las opciones propuestas:

- **Muestreo es intensivo**
 - **Rodal tiene formas regulares**
 - **Representatividad es prioritaria** **Distribución sistemática**
 - **Costo es restrictivo** **Transectos (R. Estr.)**
 - **Rodal tiene formas irregulares** **Distribución aleatoria**
 - **Muestreo es extensivo** **Distribución sistemática**
 - **Muestreo es de intensidad media**
 - **Es posible controlar riesgo de sesgamiento para red sistemática** **Distribución sistemática**
 - **No es posible controlar el riesgo** **Distribución aleatoria**
- Excepciones:**
- **No existe plano:** **Muestreo sistemático o Transectos**
 - **Rodal es muy angosto:** **Fajas continuas**
 - **Plantación en hileras estrictas** **Parcelas de n hileras**

Localización, desplazamiento y monumentación

Para asegurar la condición de insesgamiento en las estimaciones por muestreo, no basta con establecer un procedimiento de distribución de las unidades muestrales que asegure una adecuada representabilidad de la población.

Es necesario definir, además, la forma en que las parcelas se localizarán, el procedimiento que se empleará para desplazarlas, si estas no se localizan dentro de la unidad de inventario a la que se destinan y la forma en que la ubicación de las parcelas se marcará en terreno con la finalidad de poder reubicarlas si estas deben integrar una muestra de control

Localización

El procedimiento de localización de las parcelas debe asegurar que no hay sesgo personal en la ubicación del punto de muestreo y que la aproximación a él no es sesgada, aun cuando ella puede ser relativamente imprecisa (medición a pasos o estimación ocular por tramos).

Cada recorrido debe programarse anticipadamente, eligiendo puntos de inicio y midiendo rumbos y distancias de los recorridos diarios.

Para asegurar que la ubicación no es selectiva, los últimos metros deben medirse exactamente con huincha, no tolerándose errores mayores que un 2%.

Esta última indicación vale también para la localización de parcelas mediante GPS: Los últimos metros deben medirse con huincha en forma exacta.

Desplazamiento

Las parcelas deben desplazarse o modificarse cuando parte de ellas cae fuera del rodal o en un claro de un tamaño mayor a un mínimo establecido, o reinstalarse cuando el centro se localiza fuera de la población muestreada. El procedimiento de localización de las parcelas debe en lo posible excluir la posibilidad de que las parcelas deban ser desplazadas o relocalizadas. Sin embargo, cuando no existe un plano forestal detallado o cuando las imágenes de percepción remota no permiten una exacta interpretación del tipo de cubierta, puede ocurrir que la parcela quede total o parcialmente fuera del rodal. Si el centro cae fuera del rodal, la parcela debe ser eliminada y si cae cerca del borde, de manera que parte de la parcela se ubica fuera de él, ella es modificada empleando alguno de los procedimientos descritos en Prodan et al. (1997).

Monumentación

Las parcelas deben marcarse en terreno de forma que ellas puedan ser reubicadas exactamente durante las operaciones de control. Además, todos los árboles medidos deben ser marcados y los árboles de submuestra, si los hay, numerados

Las parcelas circulares o MPH se monumentan con una estaca pintada o embanderada clavada en el centro. Para monumentar parcelas cuadradas debe materializarse su centro y al menos un vertice

Tamaño muestral

El tamaño de la muestra se debe fijar en función del factor más restrictivo, que puede ser:

- El presupuesto o el tiempo disponible para la ejecución del inventario
- La precisión requerida, expresada como el error muestral máximo admisible para un nivel de confianza dado y para una superficie de referencia dada.

Si el factor restrictivo es el tiempo disponible, se deberá:

- Determinar el tiempo disponible para las operaciones de terreno, restando al tiempo total disponible, el necesario para diseño, capacitación y procesamiento.
- Estimar el rendimiento diario (numero de parcelas/día)
- Establecer el numero máximo posible de u.m.(n_{max}) que pueden medirse
- Comprobar si el n determinado para un error máximo admisible dado es menor que n_{max} , en cuyo caso el tamaño muestral fijado de acuerdo al presupuesto disponible estaría sobredimensionada.

En cambio, si el factor restrictivo es el error máximo admisible, sin importar el costo:

- Fijar el error muestral máximo admisible (E%), el nivel de incertidumbre tolerado (α) y la superficie de referencia A_0

- Estimar la variabilidad entre u.m. para cada rodal que se inventaría, considerando su estructura y el tipo y tamaño de las u.m. elegido.
- Determinar el tamaño muestral empleando la expresión para estimación de n que corresponde al diseño muestral elegido

En general no es eficaz estimar la variabilidad entre u.m. en base a un pequeño muestreo directo previo, pues una muestra pequeña estima el coeficiente de variación con mucho error. Es preferible estimar su valor en base a experiencias previas o determinando en un reconocimiento previo el rango de variación probable de los valores individuales y aplicar una expresión como la siguiente:

$$s\% \doteq 50 * \left(\frac{X_{max} - X_{min}}{X_{max} + X_{min}} \right)$$

Mediciones en las unidades muestrales

Las variables se clasifican en primer lugar en los siguientes grupos:

- Variables generales de la u.m.
- Variables de árbol medidas en todos los arboles de cada u.m.
- Variables medidas en submuestras de arboles
- Variables observadas en el recorrido entre u.m.

Como producto del **Modelo Dasométrico** o debido al sistema de inventario adoptado, se han identificado y descrito ya las variables que deben medirse en terreno para lograr la descripción dasométrica y silvicultural del bosque. El eventual diseño de otros modelos, si son requeridos, aportará el resto de las variables a medir.

Para cada variable debe definirse la forma de medición y de registro (clave, en caso que se registre codificada). Además, para las variables de árbol debe indicarse el área de selección o la forma de selección, en caso que los árboles a los que se mide sea una submuestra de los arboles de una determinada área de selección.

Esta etapa de la planificación del inventario debe concluir con los **formularios de terreno** para el muestreo dasométrico diseñados.

Diseño de Muestreo dendrométrico

Cuando el proceso de generación de las **Variables de Estado** del inventario requieren de funciones dendrométricas inexistentes, estas deben construirse sobre la base de datos colectados durante el mismo inventario, lo que se denomina **Muestreo Dendrométrico**

El muestreo dendrométrico consiste en algún tipo de análisis fustal que se practica en arboles volteados o en pie, según sus objetivos y los elementos técnicos disponibles.

Los principales elementos a decidir respecto al muestreo dendrométrico son los siguientes:

- Forma de selección de los arboles a medir

- Variables a medir, procedimiento de medición, forma de registro de los datos (claves para codificación, etc.)

Los arboles deben seleccionarse de manera que se faciliten al máximo las operaciones logísticas, al tiempo que la muestra represente razonablemente bien a la población inventariada.

Diseño de otros muestreos

Cuando el inventario se realiza con objetivos múltiples y no es posible medir durante el muestreo dasométrico todas las variables necesarias, debe diseñarse un muestreo adicional, sincronizado con el muestreo dasométrico, de manera que las operaciones logísticas se realizan con la máxima eficiencia posible. Para otros diseños muestrales puede consultarse a Avery (1975).

Sistema de procesamiento

En lo posible debe adoptarse un sistema de procesamiento ya probado, que garantice la inexistencia de errores de procesamiento y que sea suficientemente flexible para adaptarse a los objetivos del inventario. Algunos principios que deben considerarse son los siguientes:

- Buscar la combinación óptima entre procesos manuales y computarizados
- Diseñar el procedimiento de captación de datos (formularios, etc) de manera que se minimice la transferencia de datos y se reduzcan al mínimo los errores que se originan en ellas.
- Asegurar la confiabilidad de los datos mediante un adecuado proceso de validación. Esta validación puede incluir un proceso paralelo de parte de los datos para comprobar confiabilidad de resultados dentro de todo el rango dimensional de los árboles muestreados.
- El sistema de procesamiento debe permitir satisfacer todos los requerimientos de información que se especifican al definir los objetivos del inventario, es decir, debe asegurar el correcto cómputo de todos los resultados y debe satisfacer las necesidades planteadas por todos los posibles usuarios de la información.

Estrategia logística

La estrategia logística debe diseñarse de manera que se maximicen los rendimientos, se minimicen los costos de operación y se brinde la máxima seguridad al personal de terreno y se evite en lo posible una carga excesiva de esfuerzo físico o de otro orden sobre el personal que participa. Debe prestarse también mucha importancia a las comunicaciones de manera que puedan resolverse oportunamente los problemas y las emergencias.

Deben resolverse aquí todos los problemas relacionados con:

- Centros de Operación
- Medios de movilización
- Medios de comunicación

- Abastecimiento
- Estrategia operativa (orden y forma en que se localizarán las UM)
- Seguridad

Capacitación y Control

La minimización de los errores muestrales y no muestrales se basa en una adecuada capacitación de todo el personal que participa en el inventario y en un control integral de todas las etapas del inventario

Capacitación

Todo inventario debe incluir una etapa de capacitación. Mientras más complejo es el diseño y más extraño es para las brigadas que participan, más prolongada debe ser esta etapa. Los objetivos de la capacitación son::

- Instrucción de las brigadas sobre objetivos y procedimientos
- Unificación de criterios
- Detección de errores de diseño, de metodología y de claridad y objetividad de las normas.
- Detección de errores de operación en las brigadas, antes de iniciar la campaña de terreno.

La capacitación tiene tres etapas: teórica, práctica y evaluación.

Mientras más difícil resulte el control de calidad de las operaciones durante su ejecución de los trabajos de terreno, más prolongada debe ser la capacitación.

Si el inventario contempla actividades que exigen alta calificación técnica, como es la clasificación de árboles o secciones según aprovechamientos industriales especializados, normas de comercialización complejas, o tratamientos silviculturales especiales, es conveniente incluir en la capacitación a profesionales especializados.

La capacitación debe concluir con una evaluación individual de cada brigada, para conocer su forma de operar y poder corregir actitudes negativas. El resultado de esta evaluación puede ser muy útil para optimizar las operaciones de control durante el desarrollo de las actividades de terreno

Control

Todo inventario debe incluir un control de calidad de las actividades. Este control debe abarcar **todas** las actividades: operaciones de terreno, proceso cartográfico en sus diferentes etapas y el procesamiento de los datos. El control de calidad debe en lo posible ser estadístico y representativo, de manera que sirva al mismo tiempo como una herramienta objetiva de control y eventualmente también de corrección.

Las actividades de control deben planificarse más con sentido correctivo que punitivo. Por ello, es de máxima importancia la oportunidad con que se realice. Una buena práctica es orientar el control inicial en función de los resultados de la evaluación al final de la

capacitación, intensificándolo en aquellas brigadas que hayan mostrado deficiencias operativas .

Con el fin de asegurarse que los datos tomados por la brigada de control son, para los efectos prácticos, libres de error, es necesario que ella esté integrada por profesionales de gran experiencia y probada competencia. Además, ella debe encontrarse equipada con instrumentos que aseguren una adecuada precisión y rendimiento.

Rendimientos y costos

En esta etapa del diseño ya se dispone de toda la información necesaria para estimar con precisión los rendimientos y costos del inventario. Un modelo simple para estimar rendimientos y costos del muestreo dasométrico es el siguiente:

C_b Costo por brigada-día

T₁ Tiempo de medición de una parcela, horas

T₂ Tiempo de traslado entre parcelas

$$D = \sqrt{A/n}/10$$

D: Distancia entre parcelas, km

A: Superficie del rodal, ha

n : Numero de u.m.

V = Velocidad de desplazamiento entre parcelas (km/hora)

$$T_2 = V * D$$

T₂ = Tiempo de desplazamiento entre parcelas, horas

T₃ Tiempo de acceso al rodal (ida y regreso a la base), horas

T₄ Tiempos improductivos promedio diarios, horas

J Longitud de la jornada, horas

R Rendimiento (numero de parcelas por día)

$$R = \text{Int}[(J - T_3 - T_4) / (T_1 + T_2 + 0,25)]$$

Int: valor integro de la expresión entre paréntesis

C Costo del muestreo de terreno (no incluye capacitación ni control)

$$C = C_b * n / R$$

A este costo debe eventualmente agregarse el de otros muestreos de terreno y del control.

Preparación de instrucciones

El proceso de planificación concluye con la preparación de un completo **Manual de Operaciones**.

El apéndice 1 contiene una descripción del contenido del Manual de Operaciones para un muestreo dasométrico

APENDICE 1

Contenido del manual de Operaciones para muestreo dasométrico

1. Objetivos del inventario
2. Diseño del muestreo
3. Organización de terreno
4. localización y monumentación de las u.m.
5. Delimitación y marcación de las u.m.
6. Desplazamiento de las u.m.
7. Mediciones en las u.m.
 - 7.1 Mediciones generales en la parcela
 - 7.2 Mediciones en los arboles
 - 7.3 Otras mediciones
8. Control de las operaciones de terreno.

Anexos:

- Tablas auxiliares (corrección por pendiente, distancias críticas para muestreo MPH, números aleatorios)
- Claves para codificación de datos
- Formularios para captación de datos
- Lista de equipos y materiales
- Lista de especies amenazadas de flora y fauna (Conaf,1996)
- Planos con ubicación de las parcelas y puntos de referencia

APENDICE 2

Información que debe contener un plano forestal

1. En la viñeta:

- Identificación del área (ubicación administrativa, nombre del predio, etc.)
- Proyecto, propietario, institución
- Ejecutor
- Fecha
- Superficie total
- Escala (gráfica y numérica)
- Base cartografía (Identificación de carta IGM , ortofoto, etc.)
- Sensores remotos empleados (fotos aéreas, imágenes satelitales, etc.)
- Tamaño mínimo de áreas delineadas
- Distanciamiento entre curvas de nivel
- Exactitud posicional de los elementos mapeados
- Simbología y leyenda
- Plano de ubicación
- Dirección norte sur (geográfico y magnético)
- Datos geodésicos (tipo de coordenadas, datum, elipsoide)

2. En el cuerpo

- Reticulado de coordenadas UTM
- Propietarios y predios limítrofes
- Caminos (en general, vías de comunicación) clasificados por tipo
- Red hidrográfica (incluye todas las quebradas principales, aunque secas)
- Toponimia (nombre de centros poblados, origen y destino de caminos, nombre de cursos de agua, cerros)
- Curvas de nivel y cotas de altas cumbres
- Clases de uso
- Límites e identificación de unidades boscosas

APENDICE 3

Contenido del informe final

1. Resumen ejecutivo
2. Introducción y objetivos
3. Antecedentes generales (ubicación geográfica, extensión, propietario, acceso, geomorfología y suelos, clima e hidrografía, actividades productivas o de otro tipo desarrolladas en el área)
4. Metodología
 - 4.1 Diseño muestral (tipo, tamaño y forma de las u.m. ; numero de u.m., monumentación)
 - 4.2 Proceso cartográfico
 - 4.3 Operaciones de terreno (duración, fechas, participantes, organización logística, capacitación, control de calidad de las operaciones)
 - 4.4 Sistema de procesamiento
 - Características del sistema empleado
 - Funciones dendrométricas básicas
 - Estimadores
5. Resultados
 - definición de las variables y parámetros en que se expresan los resultados
 - descripción general de las unidades forestales inventariadas (estratos, tipos forestales, etc.
 - Superficies
 - Estados silviculturales (tablas de rodal)
 - Existencias (brutas y netas)
 - Otros resultados
 - Errores muestrales
6. Conclusiones
7. Anexos
 - Cuadros detallados
 - Manual de instrucción
 - Planos, incluyendo uno con la localización de las parcelas en terreno

- Datos colectados en las parcelas de terreno: Formularios de terreno o archivo digital