

**PARCELAS TERRESTRES DE MUESTREO  
EN LOS INVENTARIOS FORESTALES**

JOSE IMAÑA-ENCINAS

Brasília  
Universidade de Brasília  
2021

Autorização concedida à BIBLIOTECA CENTRAL da UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA pelo autor José Imaña-Encinas, em 23 de dezembro de 2021, para disponibilizar a obra, gratuitamente, de acordo com a Licença CREATIVE COMMONS LICENSE 4.0 INTERNATIONAL que permite copiar, distribuir e transmitir o trabalho, desde que seja citado o autor e licenciante. Não permite o uso para fins comerciais nem a adaptação desta.

Autorization granted to the CENTRAL LIBRARY of the UNIVERSITY OF BRASÍLIA by the autor José Imaña-Encinas, at Dezember 23, 2021 with the following conditions: available under CREATIVE COMMONS LICENSE 4.0 INTERNATIONAL, that allows you to copy, distribute and transmit the work, provided the author and the licensor is cited. Does not allow the use for commercial purposes or adaptation.

Referencia bibliográfica

IMAÑA-ENCINAS, José. (2021). **Parcelas terrestres de muestreo en los inventarios forestales**. Brasília, Universidade de Brasília, xii, 168 p.

ISBN: 976-65-86503-57-9

ORCID: 0000-0001-9198-206X



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Depto. Engenharia Florestal

# **PARCELAS TERRESTRES DE MUESTREO EN LOS INVENTARIOS FORESTALES**

**José Imaña-Encinas**

Brasília

**2021**



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Depto. Engenharia Florestal

Copyright © 2017 by José Imaña-Encinas  
Universidade de Brasília – 2017  
1ª edición digital en español – 2021

El total o parte de esta obra podrá ser reproducida  
desde que fuese citada correspondientemente

FICHA CATALOGRÁFICA  
elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília  
Rhuama Barbosa do Carmo – CRB 1/3060

---

I31 Imaña-Encinas, José  
Parcelas terrestres de muestreo en los inventarios forestales [recurso eletrônico] / José  
Imaña Encinas – Brasília, Brasil : Universidade de Brasília , 2021.  
168 p. : il.

Inclui bibliografia.  
Modo de acesso: World Wide Web:  
<<https://repositorio.unb.br/handle/10482/42549>>,  
ISBN 976-65-86503-57-9

1. Engenharia florestal, 2 Amostragem, 3. Mensura florestal. I. Título.

CDU – 634.0.3

---

Patrocinador



**Funtec·DF**

*Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento*

Diciembre de 2021



# PRESENTACIÓN

El presente libreto tiene por finalidad ofrecer a los estudiantes de los cursos de ingeniería forestal, específicamente de las cátedras de Dendrometría, Dasometría e Inventarios Forestales, correspondiente documento de consulta sobre algunas características de la teoría del muestreo terrestre y de las parcelas de muestreo en los inventarios forestales.

El presente documento fue elaborado durante la permanencia del autor, en el Instituto de Inventarios Forestales y Teledetección (*Abteilung für Waldinventur und Fernerkundung*) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ecología Forestal de la Georg-August-Universität de Göttingen – Alemania, y en el sector de Dasometría e Inventariación Forestal de la Escuela Politécnica Superior Agro Forestales de la Universidad de Santiago de Compostela – Lugo, España, cuando el autor ejercía en ambas instituciones correspondientes actividades de *Investigador Visitante* en el área de Inventarios Forestales.

A partir de las últimas tres décadas, la ejecución de inventarios forestales, en extensas áreas arboladas así como en plantaciones industriales, o en cuarteles de ordenación silvicultural, viene adquiriendo cada vez mayor importancia. Es, a través de las respectivas informaciones, que los inventarios forestales ofrecen coherentes acciones para un sostenido ordenamiento y eficiente administración de las áreas boscosas. Por tanto, la ejecución y correspondientes bancos de datos y pertinentes resultados de los inventarios forestales, forman consistentes y sólidos fundamentos de manejo sostenible de las masas arboladas.

Expreso mi sincero agradecimiento al Prof. Dr. Christoph Kleinn, Director del Instituto de Inventarios Forestales y Teledetección de la Universidad de Göttingen (Alemania), y al Prof. Dr. Juan Gabriel Álvarez Gonzáles de la Escuela Politécnica Superior Agro Forestales de la Universidad de Santiago de Compostela (España), por la posibilidad que me ofrecieron de permanecer temporariamente en sus instituciones permitiendo la pertinente revisión y uso irrestricto del material didáctico y bibliográfico almacenado en las respectivas bibliotecas, así como también al amplio acceso de la página web "AWF Wiki" ([http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/AWF-Wiki:Community\\_Portal](http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/AWF-Wiki:Community_Portal)). Expreso un especial agradecimiento a mi esposa Luciula y a mi hijo Christian Rainier por el permanente estímulo recibido por ellos.

Prof. PhD. José Imaña-Encinas

Diciembre de 2021

## **DEDICACIÓN**

Dedico esta obra a los alumnos estudiantes universitarios que están cursando aulas o cátedras sobre inventarios forestales, recursos forestales y ambientales, de los cursos de graduación, maestrías, doctorados y pós-doctorados en Ingeniería Forestal y profesiones afines. También dedico la obra a las personas interesadas en conocer y practicar los secretos de la mensuración forestal a nivel de inventarios forestales.

# Sumario

	página
1. Inventario forestal	1
1.1 Conceptos del censo y del muestreo	7
1.2 Definición del inventario forestal	15
1.3 Finalidad de los inventarios forestales	19
1.4 Objetivos de los inventarios forestales	21
2. Especificidad de la parcela	25
2.1 Diseño de la parcela terrestre de muestreo	26
2.2 Tamaño y forma de la parcela	29
2.3 Estimación de la variabilidad	33
2.4 Localización de los árboles	45
2.5 Sub parcelas	48
3. Planificación de un inventario forestal	52
3.1 Teledetección	56
3.2 Base cartográfica, mapas temáticos	59
3.3 Manual de campo	62
3.4 Costos	64
3.5 Memoria descriptiva	65
4. Características del muestreo	67
4.1 Muestreo probabilístico	67
4.2 Tamaño de la muestra	72
4.3 Selección de las parcelas	74
4.4 Localización de las parcelas	75
4.5 Parcelas permanentes	76
4.6 Periodicidad y verificación de las mediciones	79
4.7 Clasificación de los errores	82
4.8 Error de muestreo	84
5. Clasificación de los inventarios forestales	87
5.1 Reseña histórica de los inventarios forestales	89
5.2 Tipos de inventarios forestales	95
5.3 Muestreo aleatorio simple	97
5.4 Muestreo sistemático	99
5.5 Muestreo estratificado	103
6. Inventarios forestales para propósitos especiales	106
6.1 Inventario forestal de extensas áreas	106
6.2 Inventario forestal con muestreo por conglomerados	113
6.3 Inventario forestal continuo	116
6.4 Inventario forestal de plantaciones industriales	121
6.5 Inventario forestal por líneas de muestreo	128
6.6 Inventario forestal por transectos	130

7.	Levantamientos forestales no probabilísticos	133
7.1	Levantamiento forestal por parcelas de Bitterlich	133
7.2	Levantamiento forestal por los seis árboles de Prodan	137
7.3	Levantamiento forestal por el método Strand	142
7.3	Levantamiento forestal diagnóstico	143
7.4	Levantamiento de la regeneración natural	145
7.5	Levantamiento fitosociológico	149
7.6	Levantamiento ecológico rápido	155
7.7	Variables dendro-dasométricas en la Comunidad Europea	156
8.	Anexos	159
8.1	Números aleatorios	159
9.	Citaciones bibliográficas	162

## LISTA DE CUADROS

	Título	página
4		
1	Coeficiente de seguridad de la distribución de $t_{\alpha}$ para 90% (.1) y 95% (.05) de Probabilidad Estadística	37
2	Coeficiente de variación del <i>DAP</i> en diversos tamaños de parcelas en una plantación de <i>Eucalyptus</i> en la región de Brasilia (Brasil)	40
3	Determinación preliminar de <i>n</i> con <i>PE</i> = 95%	45
4	Levantamiento piloto de 10 parcelas de una plantación de <i>Eucalyptus</i>	73
5	Resultados de 25 parcelas de un muestreo piloto	98
6	Volúmenes de madera en pie en m <sup>3</sup> por parcelas cuadradas de 0,1 ha, de un bosque de latifoliadas en Alemania	103
7	Volumen de madera de las parcelas seleccionadas para los dos levantamientos sistemáticos	101
8	Volumenes de madera en pie en m <sup>3</sup> por parcelas cuadradas de 0,1 ha de un bosque de latifoliadas	106
9	Resultados estimados obtenidos por la estratificación	104
10	Resultados volumétricos de 25 parcelas conglomeradas	114
11	Datos de un inventario forestal	124
12	Peso Específico o Densidad Básica de las maderas (SI = Sistema Internacional)	127
13	Parámetros encontrados, sabana arbolada	129
14	Parámetros para el cálculo del error de muestreo	130
15	Indices de diversidad del bosque ribereño	132
16	Fórmulas de cálculo utilizando <i>K</i> igual a 4	136
17	Levantamiento de 19 puntos muestrales de seis árboles	141
18	Altura de la regeneración natural	146
19	Distribución de la abundancia de especies	147
20	Parámetros fitosociológicos de la regeneración natural	147
21	Parámetros fitosociológicos	154
22	Números aleatorios	160

## LISTA DE FIGURAS

	Título	página
1	Posición de algunas variables dendrométricas de la medición del diámetro y altura en árboles latifoliados y coníferas	2
2	Representación gráfica de las variables área basal y transversal	4
3	Mapa de aprovechamiento de un inventario al 100%. Fuente: POA (Plan Operativo Anual) de la unidad de manejo de Auxactún en la zona de uso múltiple de la Reserva de la Biofera Maya, Petén – Guatemala (atención del Ing. For. Fernando Carrera – CATIE)	8
4	Ubicación de tres especies en un rodal de 100 ha	10
5	Perfiles estructurales de un bosque secundario latifoliado. Fuente: Albertin, 1974 (p.70 y 74)	12
6	Resumen esquemático de la teoría del muestreo	14
7	Relación de los inventarios forestales con sectores de la ingeniería forestal	20
8	Parcelas de los Inventarios Forestales Nacionales de Alemania (izquierda) y de Suiza (derecha). Fuente: Alemania, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2000. (p.14); Suiza. Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006. (p.19)	32
9	Curva del comportamiento del CV (%)	41
10	Parcelas de 600 m <sup>2</sup> en un rodal de una plantación industrial de Eucalyptus en la región de Brasíla	43
11	Croquis de localización de los árboles	47
12	Esquema de parcelas y sub parcelas utilizadas en el inventario forestal nacional de Guatemala Fuente: FAO, 2004 (p. 8)	48
13	Posición hipotética de algunas sub parcelas.	50
14	Medición de control de una parcela circular del Inventario Forestal Nacional de Suiza	80
15	Registro de las tablas de Hartig (1803)	92
16	Tipos de inventarios forestales	96

17	Estratificación de la región del ecomuseo del cerrado (Brasil) en sub cuencas hidrográficas	107
18	Parcela de área variable de Bitterlich Fuente: Imaña, 1998. Dasometría práctica (p 21.)	133
19	Parcela de los seis árboles de Prodan	136
20	Parcelas por el método de Strand	142
21	Parcela circular de la regeneración natural	146
22	Determinación del tamaño de la parcela	152

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a todas las personas que me ayudaron en la preparación y conclusión de esta obra, que espero sea de bastante utilidad para el público albo, interesado en asuntos de las mediciones forestales, o en otras palabras más técnicas en la mensura forestal.

Mis muchas gracias a todos ustedes. Creo que la obra será muy benefiosa para el desarrollo y comprensión de los problemas que aparecen en la vida cotidiana, especialmente de los trabajos de campo, que se destinan a los planes de manejo, ordenación y administración forestal sostenibles, sean públicos o privados, donde los trabajos de campo no dejan de ser importantes pasos para llegar a un coherente informe o documento final.



# 1. INVENTARIO FORESTAL

El *inventario forestal* es la especialidad que trata de la obtención y del análisis de las variables dendro y dasométricas de medida, ejecutadas en rodales, cuarteles, plantaciones, bosques o áreas arboladas, y de la correspondiente interpretación de las estimaciones calculadas. Además de las variables de medida en los árboles, también se debe considerar informaciones inherentes de la superficie boscosa pertinente y sus funciones ecológicas con el medio ambiente. Los resultados obtenidos a partir de un inventario forestal servirán de sólidos fundamentos en el contexto de las decisiones de asuntos relativos a la política, administración, conservación, economía, ordenación y manejo forestal, como también en ellas se fundamentan importantes decisiones empresariales, además de colaborar con el conocimiento de los fundamentos científicos para una ordenación y explotación forestal sostenida.

En función de lo expuesto, la *mensura forestal* puede ser definida como el arte y la ciencia de medir variables dendro- / dasométricas en un árbol, o en un conjunto de árboles, en otras palabras en rodales, cuarteles y bosques, sean estos que se desarrollan en áreas naturales o en plantaciones. Se define como *rodales* a las unidades o áreas boscosas que sean tanto en su estructura florística como en lo relacionado a su explotación, lo más homogéneas posibles entre sí y que puedan servir como unidades básicas del manejo, es decir de la aplicación de pertinentes tratamientos silviculturales. Los *cuarteles* se refieren a las superficies arboladas entre 100 y 500 hectáreas dentro de una comunidad boscosa, que en si corresponden a las unidades dasocráticas de gestión para la correspondiente ordenación forestal. *Bosque* por la definición de la FAO es una tierra cubierta de copas o densidad de masa equivalente en más del 10 % de su superficie, en una extensión superior a 0,5 ha, donde los árboles deben alcanzar una altura mínima de 5 m en el momento de su madurez *in situ* (FAO, 2010). Sin embargo, el concepto bosque en las finalidades del inventario forestal será interpretado como la masa forestal y sus inherentes relaciones con el medio ambiente, independientemente de su cobertura, estructura y superficie ocupada. El concepto bosque será considerado consecuentemente como un sistema multiple de acciones dasométricas y ambientales, que el inventario procurará interpretarlas.

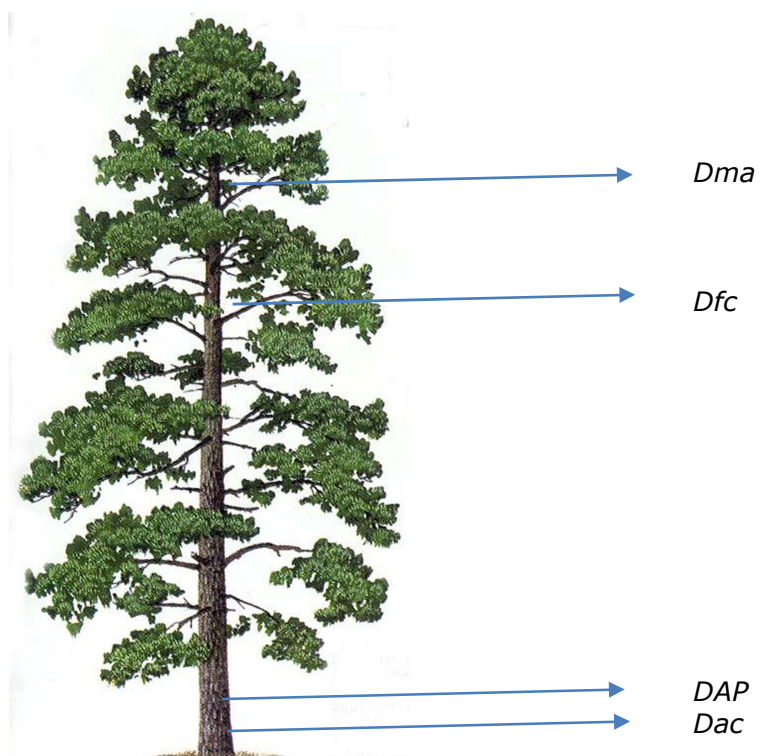
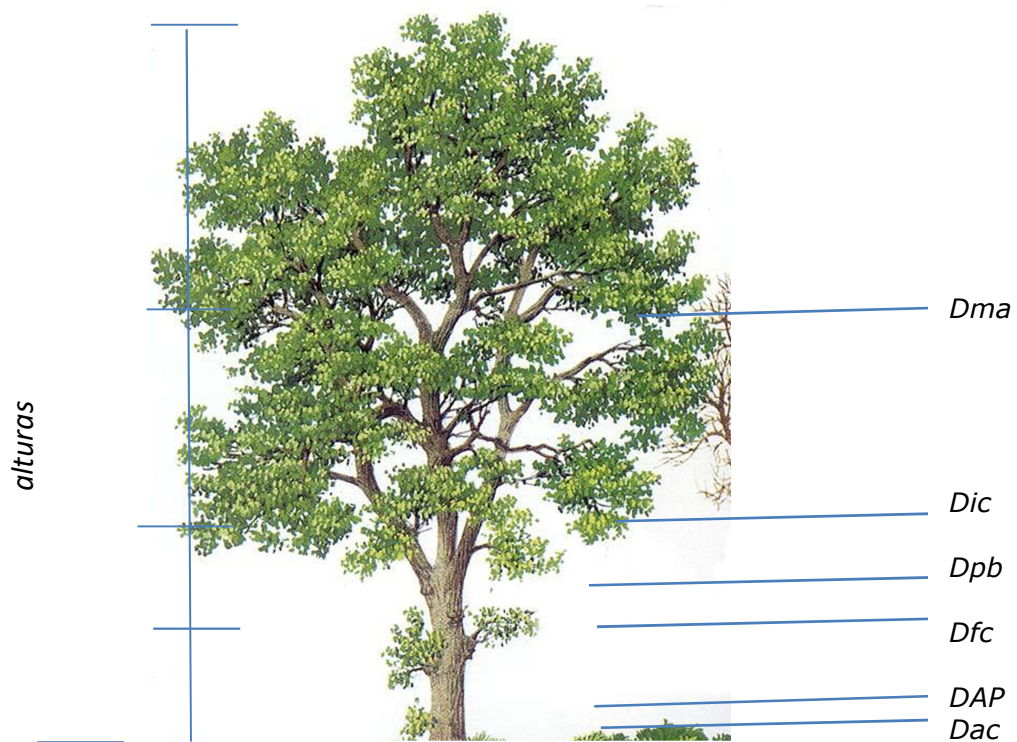


Figura 1. Posición de algunas variables dendrométricas de la medición del diámetro y altura en árboles latifoliados y coníferas.

De las variables de medida en el árbol, denominadas *dendrométricas*, las más utilizadas son el *DAP* a 1,30 m de altura del suelo, *Db* en la base del tronco también llamado de diámetro a la altura del corte (*Dac*) medido hasta 0,30 m de la altura del suelo, y las alturas totales del árbol y del tronco. Sin embargo, dependiendo del objetivo de las mediciones, es posible encontrar varios otros diámetros y alturas de medida, como se muestran algunas de ellas en la Figura 1. De las variables del diámetro se podrán solicitar aún, entre las más usuales, las medidas del diámetro a la altura del fuste comercial (*Dfc*), diámetro al inicio de la copa (*Dic*), diámetro en la base de la primera bifurcación (*Dpb*), diámetro a la altura media (*Dh/2*), diámetro a un tercio de la altura total (*Dh/3*), diámetro a 7 m de altura (*D7m*), diámetro mínimo de aprovechamiento (*Dma*).

En los bosques de humedales el diámetro del tronco se medirá directamente encima de las raíces tabulares (*Dta*), normalmente a 1 metro de ellas. En relación a la variable altura, podrán ser medidas, entre otras: la altura del fuste comercial (*Hfc*), altura total del árbol (*Ht*), altura de la copa (*Hc*), altura hasta la primera bifurcación (*Hpb*), altura del fuste hasta el diámetro mínimo de aprovechamiento (*Hma*), altura al diámetro medio (*H<sub>d/2</sub>*), etc. La altura total siempre será la distancia directa entre el plano del punto más bajo (superficie del suelo) y más alto del árbol. Para árboles inclinados, el largo del fuste acompañando su inclinación siempre será mayor que la altura total medida. De la copa también se podrán medir sus correspondientes diámetros (*Dcp*) transversales o circunferencias de la copa (*Ccp*) y la correspondiente altura (*Hcp*). También el grosor de la corteza podrá ser una variable de medida solicitada.

Las principales variables dasométricas son el área basimétrica y el volumen de madera. *Área basimétrica* o *área basal*, es la superficie del tronco a la altura del *DAP*, en un corte imaginario (Figura 2). Esa superficie en otras alturas denomínase de área transversal. Como ejemplo se citan las características de la biomasa y del secuestro y acumulación del carbón que son calculados en función de las variables anteriormente citadas. *Variable dasométrica* es aquella que se mide, y *parámetro dasométrico* es el resultado que se hace del cálculo de, o con las variables y que resulta comúnmente en valores por hectárea. La medición de variables en un árbol o en parte de éste será tratada específicamente por la *dasometría*, también conocida como *dendrometría* o *silvimetría*.

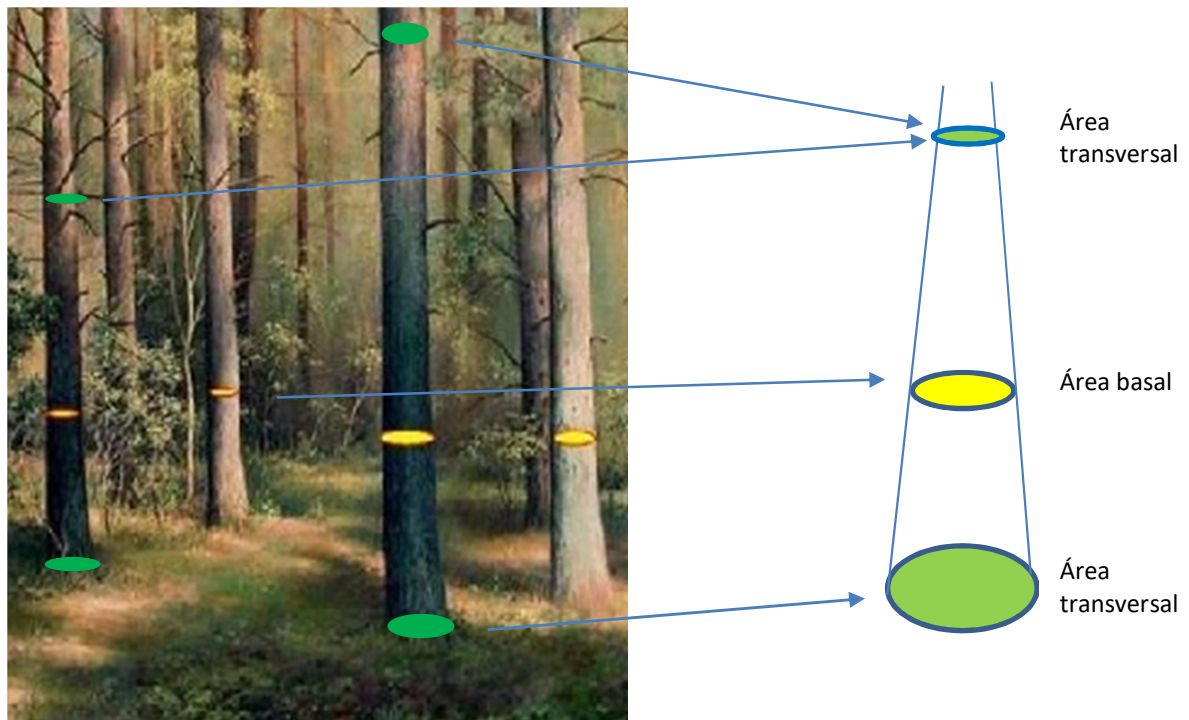


Figura 2. Representación gráfica de las variables del área basal y transversal

En términos generales cuando se habla de inventarios forestales, la idea básica se concentra en medir las clásicas variables dendrométricas: *DAP* con o sin corteza y las altura del tronco comercial y total del árbol. Para una observación más detallada y específica, en el concepto moderno de los inventarios forestales de extensas áreas arboladas o de uso múltiple del bosque y características ambientales, habrá necesidad de medir más otras variables pertinentes a los objetivos establecidos.

Para la planificación de los inventarios forestales continuos y de extensas áreas, se presenta a seguir resumidamente algunas de las variables de colecta de información de los inventarios forestales nacionales que son realizados en Europa (Comisión Europea, 1994): datos específicos de identificación de la parcela de muestreo; datos de localización de los trabajos de campo incluyendo identificación de las unidades paisajísticas, especie(s) predominante(s) y correspondientes características orográficas, geológicas y pedológicas del sitio en observación; datos relativos a la cobertura vegetal incluyendo su probable origen (semillas, cepas, etc.), tipo de humus, su sanidad vegetal, su estructura y correspondiente situación fundiaria y datos específicos de la parcela de muestreo. Una característica importantísima de la obtención de los datos de campo, radica en la correcta lista (nombres) de las

especies medidas, más aún cuando se trata de la ejecución de inventarios en zonas tropicales.

En consecuencia, se observa que la información que debe ser procesada por un inventario forestal en cualquier de sus niveles será bastante amplia y debe estar debidamente ordenada para atender pertinentes objetivos específicos. Resumidamente en esa filosofía, la situación geográfica del macizo forestal o área arbolada deberá estar bien identificada por medio de correspondientes coordenadas geográficas en sólida y coherente base cartográfica. Esa localización en muchos casos podrá estar acompañada de datos pertinentes sobre la correspondiente situación orográfica, configuración del tipo del suelo y de la declividad del terreno, descripción de la red hidrográfica y características climáticas, además de una observación detallada de la o de las comunidades vegetales que puedan componer el bosque a ser inventariado, considerando siempre el estado peculiar de su vegetación de ese momento y de su correspondiente potencial de desarrollo. En inventarios forestales de extensas áreas como es el caso de los inventarios forestales nacionales, también se incluyen en la obtención de los datos de campo, variables ambientales e inclusive sociales.

Todas las observaciones o variables que puedan ser medidas, posteriormente recibirán correspondiente proceso de cálculo y pertinente interpretación fundamentada en los correspondientes resultados, cuyos valores se los denomina de estadísticos o estadísticas.

*Estadísticas*, son los valores que caracterizan una distribución. La literatura registra tres tipos de parámetros estadísticos: 1) de centralización (media aritmética, mediana, moda, etc.); 2) de posición (cuartiles, percentiles, etc., consideradas como estadísticas descriptivas) y 3) de dispersión (rango, desviación media, varianza).

La medición de variables dasométricas en rodales, cuarteles y bosques y la estimación estadística para generar valores por hectárea, serán asuntos de la especialidad de los *Inventarios Forestales*. Los procedimientos de análisis de los respectivos datos de medida y cálculos correspondientes para su interpretación dasométrica y la pertinente inferencia estadística, se apoyan en la *biometría forestal*. La *inferencia estadística* se define como el método de estimar valores numéricos de ciertas características de lo singular de la población para posteriormente extrapolar esos valores a lo general o total de la población.

En la práctica cotidiana de la ejecución de los inventarios forestales evidentemente se estará tratando de trabajar en superficies mayores a diez hectáreas, como condición *sine qua non*. En superficies menores, los árboles pueden ser medidos a través de procedimientos del tipo de censo forestal. Para obtener coherente información de campo de las superficies boscosas mayores, se hará necesario que los resultados obtenidos de las variables de medida, estén lo más próximos posibles de los verdaderos valores de la población que será interpretada. En ese sentido, se hace necesaria la aplicación de la teoría del muestreo.

Los levantamientos o inventarios forestales en su filosofía, son estructurados concientemente para la obtención de variables de medidas normalmente en los árboles en pie. Sin embargo, existen situaciones especiales de la necesidad de inventarios forestales después de eventos meteorológicos catastróficos a la naturaleza cuando se encuentra en extensas áreas el tumbado de árboles después de temporales, por ejemplo, o después de intensos incendios forestales. Para la realización de la mayoría de los inventarios forestales, su estructura de obtención de datos se fundamenta en la teoría del muestreo. Sin embargo existen levantamientos específicos que precisan medir las correspondientes variables en todos los individuos arbóreos, como si fuese una actividad de censo, como también existen procedimientos tecnológicos que miden apenas un reducido número de árboles.

## 1.1 CONCEPTOS DEL CENSO Y DEL MUESTREO

La expresión *inventario* comúnmente define la preparación de una coherente lista descriptiva de artículos, considerando la cantidad, su característica y el valor correspondiente de cada ítem. Como ejemplo clásico se lo tiene al inventario que se ejecuta en un supermercado. Las correspondientes informaciones obtenidas son completamente válidas y aceptables solamente para la fecha de cuando fue realizado el correspondiente inventario o levantamiento. Si se supone que el levantamiento de los datos fue hecho sin errores de observación o de medidas, en este caso se lo denominará de censo o conteo al 100% de los productos existentes en ese momento, considerando la respectiva especificación de los artículos existentes.

La palabra *censo* deriva del latín, que significa lista o padrón. Su uso más habitual está asociado al censo poblacional, donde se contabilizan los habitantes de un determinado local, de quienes se recogen datos con finalidades estadísticas. Consecuentemente y por definición, el censo consiste en obtener mediciones del número total de individuos, mediante el uso de técnicas de recuento, utilizando fichas censales o cédulas de censo que forman las pertinentes encuestas.

El censo por tanto, es una operación estadística que no trabaja sobre una muestra, sino sobre el total de la población. En la estadística descriptiva el censo se fundamenta en el recuento de todos los individuos que conforman una específica población estadística.

En un ejemplo hipotético, supóngase medir el peso y la altura de todas las personas de un centro urbano. Existiendo inclusive el mayor cuidado posible, y una vez concluida la realización del censo, evidente que existiran diversos errores de medida y cuanto más grupos de mensuradores y personas fuesen medidas, ese error será mayor. En ese sentido, midiendo todos los árboles de un bosque con un mismo procedimiento tecnológico, también se procederá a cometer errores de medida. A los resultados de esos errores la estadística los considera como desvios de la media aritmética.



ARBOLES A APROVECHAR EN EL POA 2001, "EL TIGRE" UAXACTUN  
CUADRANTE B

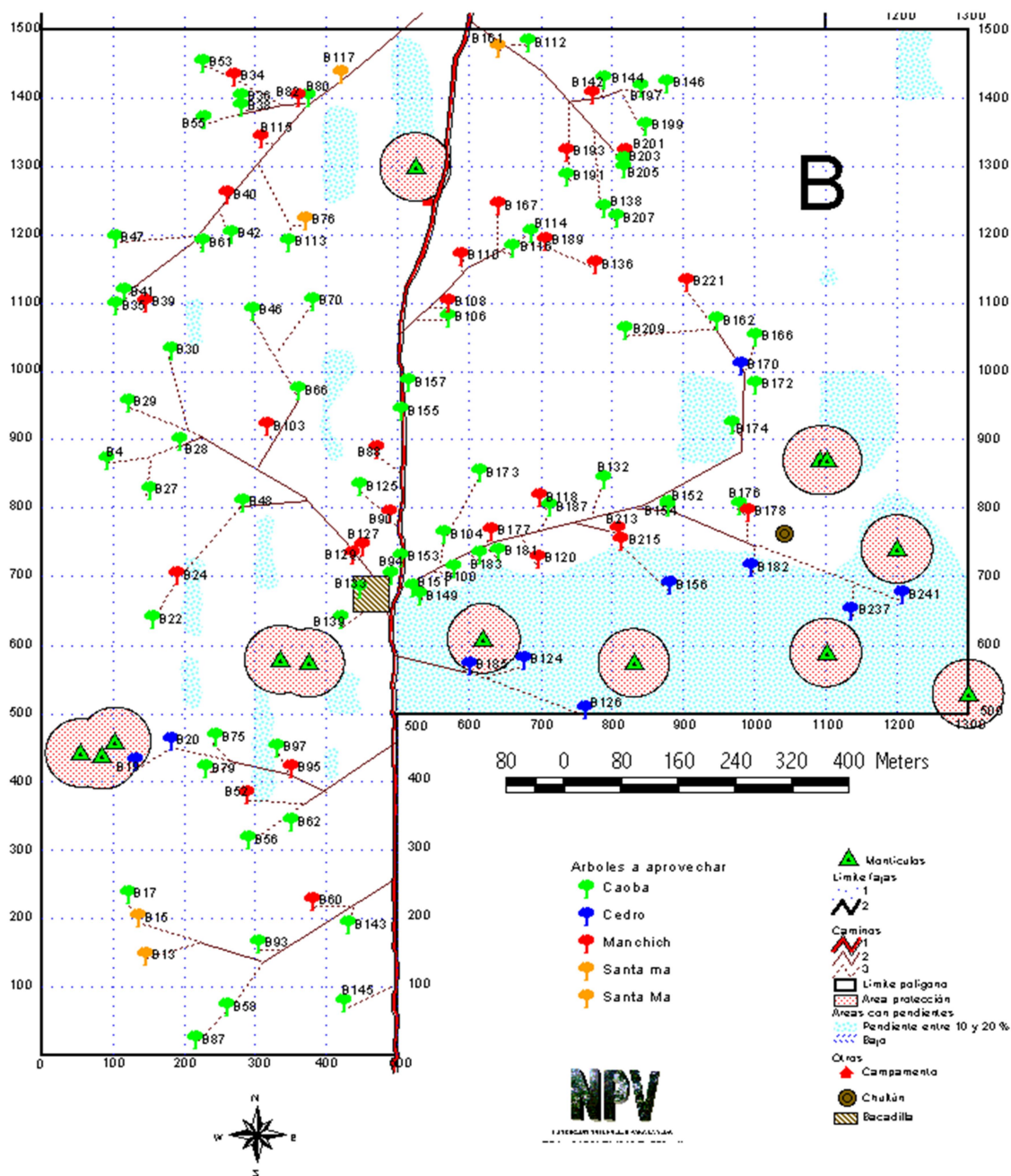


Figura 3. Mapa de aprovechamiento de un inventario al 100%.  
Fuente: POA (Plan Operativo Anual) de la unidad de manejo de Auctun en la zona de uso múltiple de la Reserva de la Biofera Maya, Petén - Guatemala (atención del Ing. For. Fernando Carrera - CATIE).



Los levantamientos o inventarios al 100 %, en la ingeniería forestal, que se consideran como censos específicos, se refieren al conteo total de absolutamente todos los árboles de una determinada área boscosa o de una especie en particular. Normalmente los inventarios forestales al 100 % o levantamientos por conteo al 100 %, también denominados de *enumeración completa*, son normalmente realizados y muchas veces, después de la ejecución de los inventarios exploratorios, orientándolos en su mayoría al aprovechamiento selectivo de especies de alto valor comercial. Para los inventarios forestales al 100 % es imprescindible conocer la ubicación precisa de cada uno de los individuos arbóreos que serán medidos, como se muestra en la Figura 3.

Consecuentemente en los inventarios al 100 %, todos los árboles aprovechables de la especie seleccionada, deben constar en los llamados mapas índices de aprovechamiento, como se muestra en la Figura 3. La figura que se muestra fue extraída de los planes operativos anuales – POA, relativos al aprovechamiento maderero de especies de alto valor comercial, que actualmente se realizan en unidades de manejo forestal de la Reserva de la Biosfera de el Petén – Guatemala (Manzanero y Pinelo, 2004)

Como ejemplo de inventarios al 100 %, se citan los inventarios forestales de conteo total o al 100 % que se desarrollan en el Perú, en el proyecto de manejo sostenible de los recursos forestales, en la provincia de Tahuamanu, específicamente en los bosques densos tropicales localizados a las orillas del río Madre de Dios (Meléndez et al, 2015). La finalidad de estos inventarios al 100 % es el de permitir asegurar la sostenibilidad del aprovechamiento del recurso maderero, permitiendo a los concesionarios privados, planificar con la respectiva cuota asignada, el aprovechamiento de especies de alto valor comercial en las áreas otorgadas como concesiones forestales.

También es conocido por la literatura, la ejecución de inventarios al 100 % en Colombia (Colombia, 2010). En 150 ha fueron también ejecutados inventarios al 100 % para atender metas específicas previamente establecidas. Al mismo tiempo se buscó consolidar el desarrollo de correspondientes acciones en la planificación de los alcances del proyecto de asistencia para el ordenamiento forestal productivo de la zona de la reserva campesina del Departamento de Guaviare. El inventario al 100 % quedó restringido al levantamiento de datos de cinco especies forestales de alto valor comercial.

Otro ejemplo que se cita de la ejecución de estos inventarios forestales al 100 %, son los levantamientos realizados en Europa central especialmente en Alemania, Austria y Suiza, cuando surgieron aproximadamente en los años de la década de 1980 hasta los años de la década de 2010 daños considerables en los bosques produciendo la muerte de los árboles (*Waldsterben*) por defoliación (Detten, 2010). También en Suiza, durante esos años se desarrollaron inventarios forestales al 100 % para conocer la distribución y el estado fitosanitario de dos especies de árboles que producen catañas de alto valor comercial.

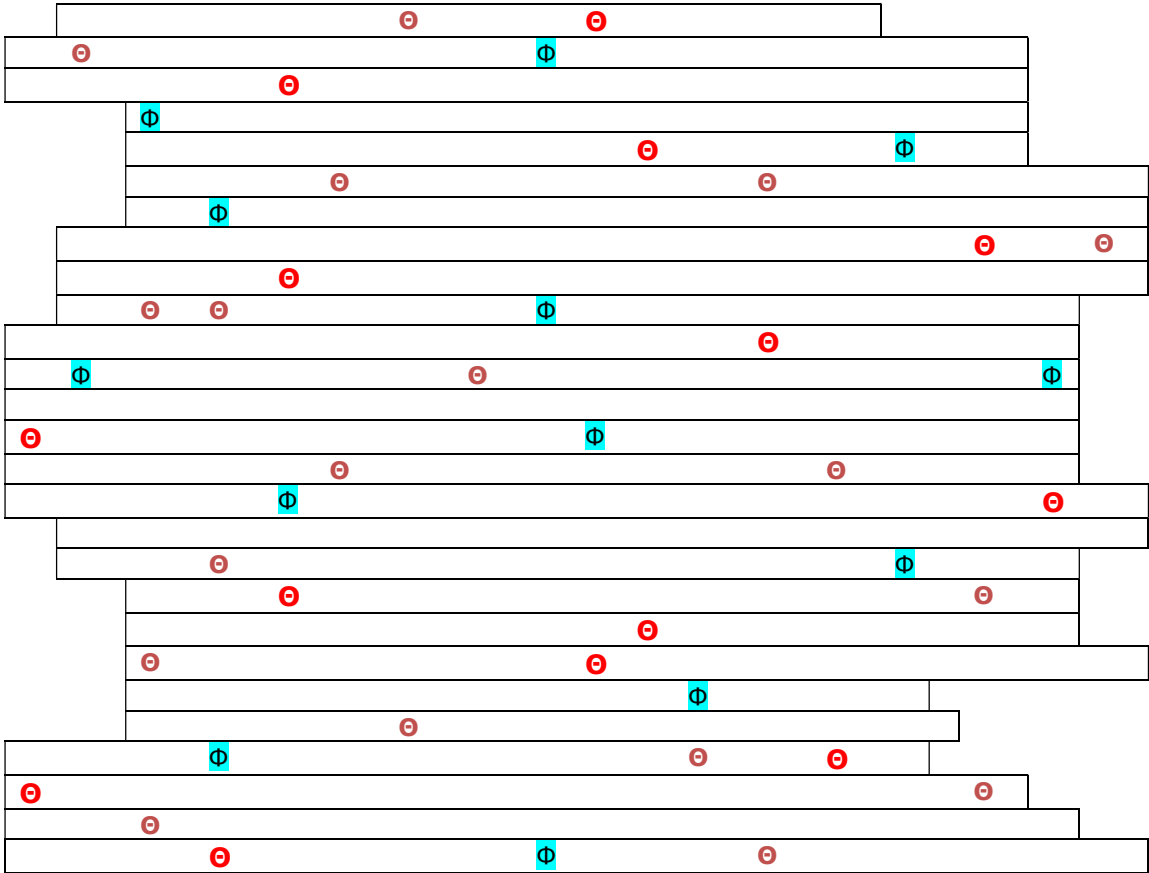


Figura 4. Ubicación de tres especies en un rodal de 100 ha

Como ejemplo ilustrativo (Figura 4), en un área boscosa de la región amazónica se tuvo como objetivo del inventario al 100 %, determinar la posición (ubicación) de los árboles con DAP mayor a 60 cm, exclusivamente de tres especies de alto valor comercial (caoba =  $\ominus$ , cedrela =  $\ominus$ , y copaiba =  $\oplus$ ). Esos árboles posteriormente entrarían en un proceso de extracción, y para tanto el área inventariada fue dividida en correspondientes rodales de

extracción. En el rodal que se presenta en la Figura 4, fueron diseñadas 27 franjas continuas de 50 m de ancho. La localización de cada individuo arbóreo de una de las tres especies siguió el procedimiento descrito para los perfiles estructurales, midiendo sobre una línea base localizada al centro de la parcela, la correspondiente distancia horizontal y su perpendicular pertinente. Para esa finalidad evidentemente pueden ser utilizados instrumentos digitales que miden distancias correspondientes por medio de rayos laser u ondas de ultrasonido, así como los GPS.

Se resume que un inventario forestal al 100 % será realizado por consecuencia, ocasionalmente y en situaciones muy especiales, cuando la superficie arbolada a ser inventariada no fuese extensa y los individuos arbóreos que serán medidos no ultrapasen de algunas centenas, y pertenezcan a especies de altísimo valor comercial, o tengan motivo muy especial para efectuar ese tipo de levantamiento forestal.

Uno de los resultados de estos inventarios al 100 % se consolidan en la presentación de los llamados *perfiles estructurales*. Estos perfiles analizan y muestran gráficamente en real escala comparativa, a la vegetación arborea arbustiva en su estructura horizontal y vertical, lo que en la literatura se conoce como *análisis estructural de los vuelos forestales* (Párraga y Santander, 1974; Lamprecht, 1990; Jiménez et al., 2001). La distribución horizontal de los individuos arbóreos medidos se ubican prácticamente en un sistema de coordenadas geográficas, a partir de una línea base. En ese sentido, en un procedimientos simple y rápido, la ejecución del correspondiente levantamiento de datos relativos a la estructura del bosque, la posición del árbol (latizal o fustal) o arbusto se podrá determinar por las distancias sobre una línea base y la correspondiente perpendicular. Estos perfiles horizontales hoy en día se los diseña con facilidad, utilizando softwares especializados. La representación de estos perfiles se concentran en datos tomados sobre relativamente pequeñas superficies, normalmente de 500 m<sup>2</sup> (franjas de 10 m x 50 m), como se muestra en la Figura 5. Los perfiles estructurales son importantes herramientas en la definición y ejecución de los tratamientos silviculturales pertinentes, así como en la elaboración de los planos de ordenamiento forestal.

Los inventarios forestales al 100 % en la teoría del muestreo, generan valores poblacionales que no representan estimaciones, ya que no se fundamenta en un sistema de estimación estadística, presentando valores paramétricos de la población, por tanto, es un sistema no paramétrico.

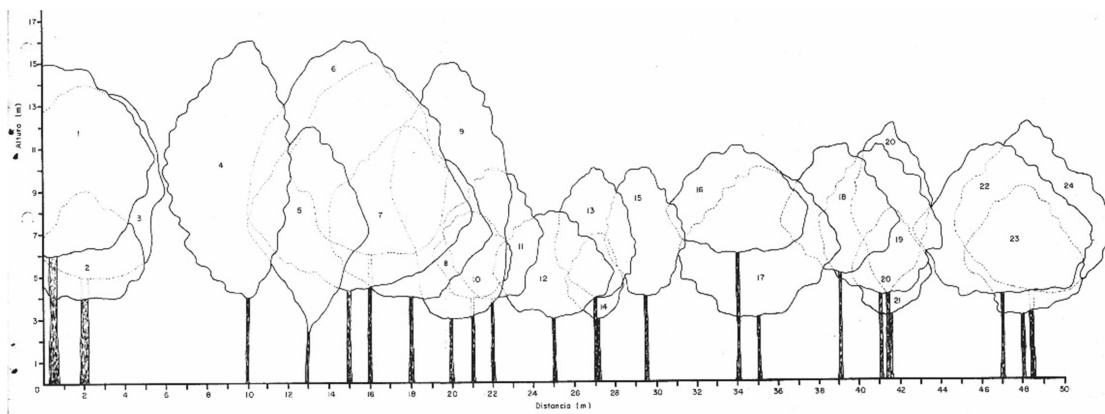
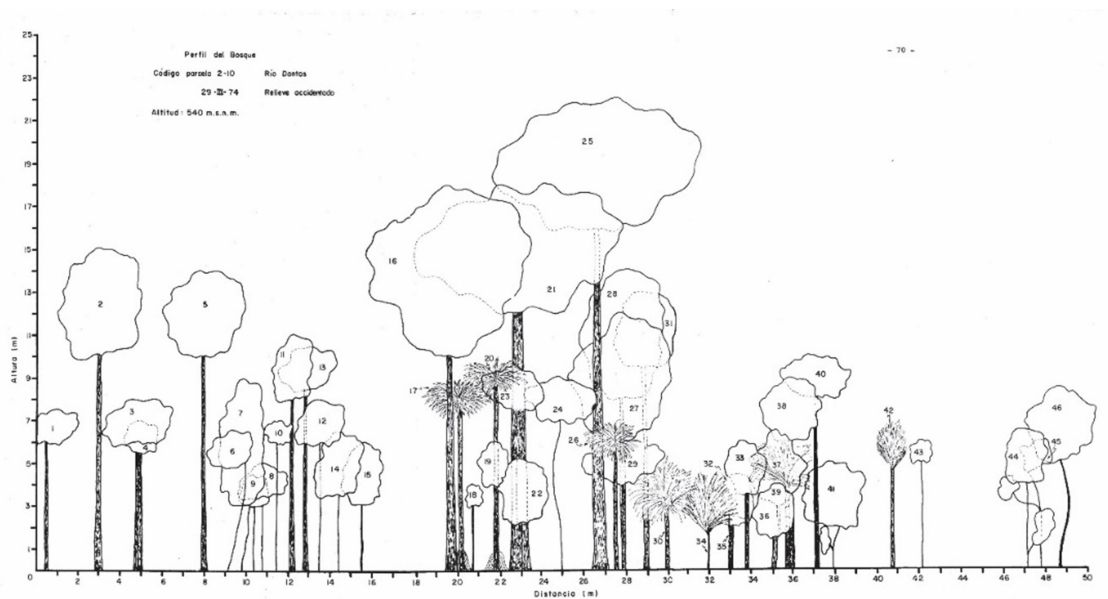


Figura 5. Perfiles estructurales de un bosque secundario latifoliado  
 Fuente: Albertin, 1974 (p.70 y 74)

En términos generales considerando extensas áreas arboladas, no será posible realizar inventarios forestales como si fuese al igual que un supermercado, una vez que la población de árboles a ser medida, dependiendo del diámetro considerado, podrá constar de algunos millares o millones por rodal o cuartel. Consecuentemente un levantamiento descriptivo de las poblaciones arbóreas en los conceptos como aquel procesado en un supermercado, llevaría años para su realización, asociada a muchos errores de ejecución en la toma de los datos de campo, considerando además un elevadísimo costo financiero para su ejecución.

En contraposición a los inventarios al 100 % que se desarrollan sobre el total de la población, se tienen los inventarios forestales estructurados en parcelas de muestreo.

Considerando ese contexto, los diversos modelos de inventarios forestales que la literatura registra, casi que en su totalidad son realizados haciendo uso de la teoría del muestreo, donde se mide apenas una parte del total de la población arbórea, atendiendo pertinentes conceptos probabilísticos.

Conceptos probabilísticos se refieren a que los resultados del cálculo de las variables de medida, apoyados por la estadística, se aproximen en su interpretación a los verdaderos valores que la población analizada pueda contener. En ese sentido, los inventarios forestales haciendo uso de parcelas de medición, estarán trabajando consecuentemente con una fracción del total del universo que se pretende interpretar.

Estadísticamente entiéndase por *población* al total de elementos o individuos arbóreos que forman un rodal, cuartel o bosque, donde todos esos elementos arbóreos tienen una o algunas características o un conjunto de caracteres en común, por ejemplo: DAP mínimo de 30 cm. En la terminología de los inventarios forestales, la parcela de muestreo estará formada consecuentemente por un número limitado del total de esos elementos poblacionales o individuos mensurables.

En el concepto de los inventarios forestales, la unidad muestral será la parcela y el total de las parcelas existentes, constituirá la correspondiente población. La parcela formará en consecuencia una fracción de esa población, de donde será extraída. Husch *et al.* (1982) informan que por la teoría del muestreo es posible observar y medir una fracción de la población por la cual posteriormente se obtiene correspondientes estimativas para el total de la población, inferiendo sus resultados al total del macizo arbolado.

Consecuentemente, la teoría del muestreo, estadísticamente, se refiere a la actividad por la cual se miden muestras o parcelas de una población, por las cuales se toman criterios de decisión. En ese contexto se conoce en la estadística el término *estadístico* que describe alguna característica específica de la muestra. Un estadístico puede ser cualquier variable aleatoria que se pueda medir, derivada de un conjunto de datos de una parcela seleccionada según criterios estadísticos, con el objetivo de estimar o inferir características de la población a la que pertenece.

En los inventarios forestales los principales estadísticos son la media aritmética y el desvío padrón de la muestra. Por consecuencia, en el proceso de estimación por medio de la inferencia estadística se usa un algoritmo específico denominado de estimador, que permite estimar las estadísticas de interés como la media, varianza, etc. (Figura 6). A partir de las mediciones en las parcelas es posible aproximar el valor correspondiente a lo más cercano posible del parámetro de la población a la que se refiere.

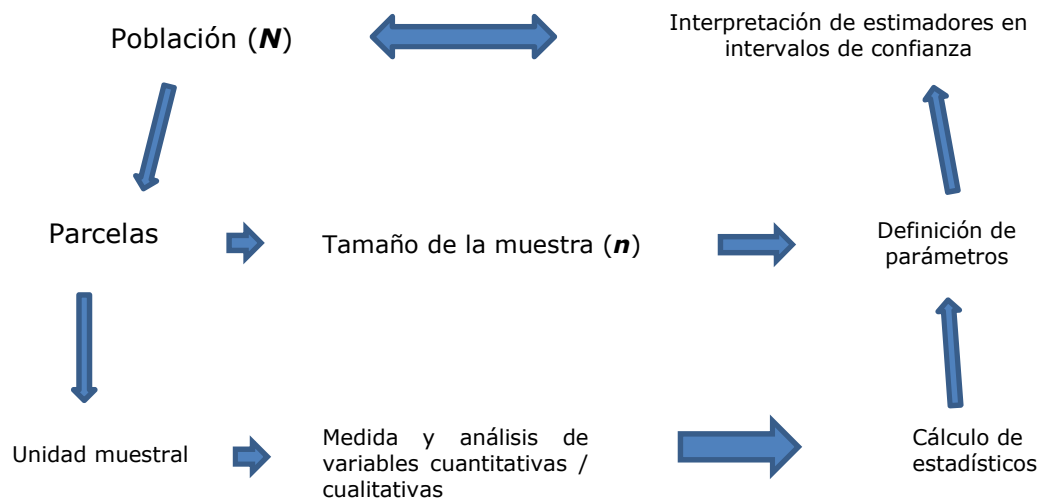


Figura 6. Resumen esquemático de la teoría del muestreo.

El estimador que se pueda obtener debe ser insesgado, es decir, que su aproximación referente al valor paramétrico, debe estar localizado a cierto grado en el nivel de confianza escogido previamente. El sesgo de un estimador es la diferencia que puede existir entre el valor esperado del estimador y el verdadero valor del parámetro que se desea estimar. Insesgado significa que el sesgo sea nulo. Se pueden producir errores imprevistos e incontrolados. A esos errores se denominan de sesgos y si suceden, se asume que la muestra esta sesgada

## 1.2 DEFINICIÓN DEL INVENTARIO FORESTAL

En la definición del inventario forestal se hace necesario entender previamente el concepto de *bosque* y de la *técnica de coleccionar informaciones* inherentes y específicas de los recursos forestales, que en él se encuentran, así como características ecológicas del hábitat y del medio ambiente relacionados con las correspondientes masas boscosas. Cualquier definición del bosque que considere una superficie con árboles en crecimiento, para los inventarios forestales será válida, y cualquier técnica probabilística de coleccionar datos, que permita estimar el correspondiente resultado al total de la población, también será plenamente aceptada. En función de las finalidades u objetivos específicos del inventario se podrán definir, especificar y detallar conceptos que permitan alcanzar y obtener los correspondientes resultados esperados.

Aproximadamente hasta la década de los años de 1990 los inventarios forestales se orientaron casi que exclusivamente a la obtención de datos relativos a la producción de madera. Así, Spurr (1952) definió el inventario forestal, como el procedimiento necesario y específico para la determinación de alguna característica del bosque, en forma más o menos precisa. Loetsch y Haller (1964) definieron el inventario forestal, como la técnica de coleccionar información confiable y satisfactoria en los bosques, de acuerdo con una finalidad prevista y ejecutada con el menor costo posible. Husch (1971) definió el inventario forestal, como el método de descripción cuantitativa y cualitativa de los árboles de un determinado área y de las características del área donde esos árboles se desarrollan. Malleux (1982) indicó que el inventario forestal es, en síntesis, un sistema de recolección y registro cualitativo y cuantitativo de los elementos que componen el bosque, según un objetivo previsto y fundamentado en métodos apropiados y confiables. Romahn *et al.* (1994) definieron al inventario forestal, como la cuantificación ordenada de las superficies boscosas clasificadas, considerando los pertinentes volúmenes contenidos en clases, y del crecimiento provable, referidas a las especies que componen el macizo arbolado en sus divisiones naturales y convencionales adoptadas.

De acuerdo a esos conceptos, el inventario forestal hasta la década de los años 2000, además de considerar el registro cuantitativo de sus elementos, también debía analizar las características descriptivas y cualitativas de la masa forestal en un previsto nivel de información segura. Entre los parámetros que

se obtenían por los inventarios de gestión normalmente se tenía además del volumen de madera, una descripción de la distribución diamétrica, estratos del bosque en función de las alturas medidas, la riqueza florística principalmente arbórea y herbácea, la mortalidad y estado de la regeneración natural, parámetros que se podían relacionar con características del medio ambiente como suelos, flora y fauna (Pelz, 1995). En síntesis, el inventario forestal además de analizar la producción y el crecimiento de la masa forestal, ofreció una consistente fuente de informaciones relativas a la ubicación, extensión, estado y capacidad productiva de la composición específica de las comunidades arboladas de interés. A esos inventarios se los conoce en la literatura como inventarios de gestión. Esos inventarios quedaron orientados a ofrecer informaciones concretas a nivel de rodales, unidades paisagísticas y unidades administrativas de administración y gestión forestal.

Hoy en día, en función de las resoluciones de diversas convenciones internacionales, sobre la biodiversidad, los cambios climáticos, la desertificación, el secuestro del carbón y otras normativas y recomendaciones internacionales como la de la sostenibilidad social, económica y ecológica de los diversos biomas vegetales terrestres e inherentes acciones de mitigación de la pobreza y otros, las definiciones de los inventarios forestales necesariamente tuvieron que adaptarse y adecuarse a los nuevos desafíos de desarrollo de la humanidad.

En ese contexto, a partir de las convenciones internacionales sobre la biodiversidad, enunciadas en las convenciones de Helsinki y Montreal ambas realizadas en 1993, se establece que la diversidad específica no solo sería el parámetro que identificase conceptos y procedimientos para la protección de los recursos del bosque (Rondeaux, s/a). En ese sentido conceptos sobre la diversidad específica, la rareza y la fragilidad de algunas especies y ecozonas, deben ser incluidas en las actuales planificaciones de ejecución de los inventarios forestales.

Se deduce que el inventario forestal podrá ser definido actualmente como la especialidad que trata de identificar la descripción y cuantificación de los recursos madereros y forestales relacionados con características ecológicas del medio ambiente, proporcionando conocimiento inherente de la biodiversidad y biomasa, así como el status legal, natural y económico social de las áreas arboladas.



En la concepción moderna, la convención interministerial de Helsinki realizada en 1993, define al *Inventario Forestal Nacional* como un proceso encaminado a obtener el máximo de información posible sobre la situación, régimen de propiedad y protección de las áreas arboladas, su relación con la naturaleza, probable evolución y capacidad productora de todo tipo de bienes y servicios ofrecidos por los bosques (Nájera, 2015).

Consecuentemente se hace necesario incluir en las actuales definiciones sobre inventarios forestales la necesidad de la correspondiente *evaluación ecológica y económica ambiental* de uno o más elementos del recurso forestal, además de la dinámica del crecimiento y de la estructura del bosque con la finalidad de atender lo que actualmente se vienen llamando de bienes y servicios ambientales del bosque. *Bienes* son recursos tangibles (madera, frutos, etc.) utilizados como insumos por la sociedad civil; *servicios ambientales* se refieren a los productos naturales elaborados naturalmente por los ecosistemas, como el ciclo del agua, purificación del aire, etc.

En ese sentido, se puede afirmar que los resultados de los inventarios forestales, sirven de sólida herramienta para la planificación del manejo sostenible del bosque y sus recursos, y como base de la política forestal que tiene la meta de facilitar la implementación del manejo sostenible de las áreas arboladas y el cumplimiento de las diversas resoluciones internacionales referente a los recursos forestales y sus correspondientes funciones y relaciones ecológicas. Los correspondientes resultados podrán permitir inclusive realizar una consistente planificación de la ordenación forestal, la identificación de los árboles en su relación ambiental dentro del concepto del *enfoque ecosistémico* (Shepherd, 2006), con la pertinente distribución diamétrica, orientada a su mejor aprovechamiento. Además, considera la respectiva ocupación espacial y el correspondiente contenido de sub productos, como los *PFNM* (productos forestales no maderables) asociados al volumétrico de la madera, analizando conjuntamente características de la masa boscosa como aspectos topográficos, pedológicos, hídricos y de infraestructura del local de ejecución del inventario.

Con los procesos tecnológicos existentes hoy en día, los inventarios forestales ingresaron a ser considerados herramientas fundamentales de información para el respectivo monitoreo de la efectiva biodiversidad y sostenibilidad del recurso bosque y sus productos. Por consecuencia sin los datos obtenidos por los inventarios forestales, no sería posible efectuar ninguna clase de planificación sostenida de las funciones del bosque y del

correspondiente aprovechamiento racional de sus productos. Se define por tanto, que los inventarios forestales proporcionarán informaciones dasométricas plasmadas en mapas, cuadros, tablas e informes, y el monitoreo en base de las informaciones del inventario permitirá efectuar estudios puntuales produciendo básicamente modelos y publicaciones técnico académicas.

En las últimas décadas, con el surgimiento y la obligatoriedad de la aplicación de los conceptos del equilibrio ecológico, uso múltiple del bosque y la producción sostenida, los inventarios forestales tuvieron también que adecuarse a esas nuevas exigencias, modificando así para sus resultados pertinentes, el correspondiente proceso de evaluación de las variables y datos de campo. Surge así, la necesidad de definir como los inventarios forestales además de ofrecer parámetros cualitativos y cuantitativos de los árboles y relaciones del sitio donde se desarrollan, deben también *evaluar* y cuantificar los pertinentes elementos, bienes, servicios y productos vinculados directamente a las comunidades boscosas inventariadas, y de los locales de crecimiento correspondiente, y sus beneficios hacia la sociedad civil.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *evaluar* es el proceso de contextualización de los datos de campo obtenidos por el inventario forestal y de la respectiva asignación de valores a los correspondientes recursos medidos (FAO, 2015). En consecuencia, la evaluación de los recursos forestales implica además de la respectiva recogida de datos de campo, efectuar el análisis del correspondiente recurso en una específica situación económica, ecológica y social en que se pueda desarrollar dicho recurso. A esos análisis la literatura los conoce como *evaluación ambiental* del recurso. Entiéndase por *evaluación ambiental* al proceso que permite la integración de las características ambientales con los procedimientos de consumo y demanda de los recursos naturales renovables en los planes de ordenación y manejo forestal sostenido (Carretero Peña, 2016).

Esas informaciones se hacen necesarias para el manejo, administración y correspondiente ordenación forestal. Se distinguen dos tipos de evaluación forestal: 1) la *evaluación directa*, basada en mediciones que se las obtiene de forma inmediata (por ejemplo: determinación del *DAP* por medio de una forcípula = que expresa inmediatamente el valor del *DAP* correspondiente), y 2) la *evaluación indirecta* que se fundamenta en mediciones que permiten inferir los parámetros medidos (consecuentemente, primero se deben obtener

datos primarios para seguidamente calcularlos y posteriormente extrapolarlos = que corresponden a los resultados de un procedimiento indirecto). La literatura también hace mención entre la evaluación cuantitativa de una cualitativa.

### **1.3 FINALIDAD DE LOS INVENTARIOS FORESTALES**

Por los preceptos enunciados en la definición del inventario forestal, sus correspondientes resultados de cálculo deben establecer coherentes y sólidos fundamentos para la administración, ordenación y explotación racional y sostenida de las áreas boscosas y sus inherentes productos y sub productos de la correspondiente comunidad arbórea, con sus pertinentes servicios sistémico ambientales, incluyendo los arbolados de las plantaciones, sea para decisiones de gobierno, empresariales o para el establecimiento de correspondientes políticas públicas.

Consecuentemente se los considera a los inventarios forestales, herramientas útiles en la elaboración de los planos de ordenación, administración y explotación racional de la superficie arbolada, denominados planes de manejo, así como en la definición y ejecución de las políticas públicas forestales y del medio ambiente, tanto a nivel local, regional y/o nacional.

El abastecimiento de materias primas forestales como la madera, sus sub productos y servicios ambientales destinados a los mercados de consumo industrial y al atendimento de las exigencias y necesidades domésticas de la sociedad civil, hace con que el inventario forestal que era casi que exclusivamente orientado a la producción maderera, hoy en día se estructure además, con actividades y acciones que permitan obtener resultados descriptivos propios y específicos de la relación del bosque con funciones ecológico ambientales. Consecuentemente en la concepción moderna de los inventarios forestales, se exige la obtención de respuestas concretas a diversas y específicas funciones silviculturales, ambientales y ecológicas del bosque. Inclusive en los inventarios forestales de las plantaciones industriales además de atender a las pertinentes solicitudes industriales, como es en el caso de las plantaciones en el Brasil, Chile y la Argentina, se exige que los resultados presenten relación con los productos forestales no madereros,

características de la fauna salvaje, sanidad fitosociológica y de servicios ambientales específicos.

En la estructura de la ciencia forestal, los resultados de los inventarios se relacionan íntimamente con casi todas las grandes áreas de la ingeniería forestal, como se muestra en la Figura 7. En ese sentido es comprensible que las actividades de los inventarios forestales sean consideradas como especialidad de la mensura forestal, y al mismo tiempo se podrán constatar los resultados de un inventario forestal realizado, como herramienta de decisión en la tentativa de alcanzar la sostenibilidad de los recursos forestales.



Figura 7. Relación de los inventarios forestales con sectores de la ingeniería forestal

En una visión a largo plazo, estructurados los inventarios forestales para ser realizados en periodos consecutivos pre establecidos, sus resultados ofrecen sólidos fundamentos para desarrollar eficientes sistemas de monitoreo de los bosques, sus recursos y servicios ambientales, además de ofrecer condiciones de control y fiscalización de acciones y actividades que se ejecuten oficialmente en las áreas arboladas en observación. El monitoreo normalmente se lo realiza después de la ejecución de un inventario forestal, estructurado en un número reducido de las parcelas del inventario. En ese contexto, se evidencia que los inventarios forestales se transformaron en coherentes herramientas para la elaboración y ejecución de sólida base de planificación para planos de manejo o de gestión, considerando que los parámetros proporcionados informarán características y situaciones principal y directamente de los sectores forestales, biológicos, ecológico ambientales y tecnico económicos.

En esos conceptos, se establece la necesidad de entender los principios del crecimiento de las masas arboladas y de la dinámica de cambio que se realizan naturalmente en las variables de medida. Entiéndase que los árboles y en consecuencia las masas arboladas se encuentran en constante ritmo de crecimiento, especialidad que será tratada específicamente por la *epidometria forestal* (Imaña - Encinas, 2008) siendo que los datos y resultados del inventario por medio del monitoreo, permitirán establecer estudios específicos y resultados pertinentes.

En la práctica dasométrica a través del monitoreo se especifica la existencia de un aumento gradual de las variables dendrométricas que son tratadas como incrementos dasométricos. Entre los principales incrementos, están el incremento diamétrico a la altura del *DAP*, el incremento basimétrico y por consecuencia el incremento volumétrico. Como parámetros dasométricos se debe tener conocimiento de los incrementos: anual (*IA*), corriente anual (*ICA*) y periódico anual (*IPA*), descritos ampliamente en muchos textos didácticos para la formación profesional (Avery y Burkhart, 2002; Imaña Encinas, 1998; 2008; 2011).

## **1.4 OBJETIVOS DEL INVENTARIO FORESTAL**

Los objetivos de un inventario forestal, se refieren a la posibilidad de dar respuesta concreta a la problemática o definición específica solicitada, normalmente de órganos gubernamentales, o del sector forestal industrial pertinente. En ese sentido para una pregunta, podrán existir diversas

interpretaciones y formas de respuesta, que éstas quedarán reflejadas por los diversos y variados tipos de *diseños* de levantamientos e inventarios forestales. Cualquier inventario que fuese realizado, además de obedecer rigurosamente lo establecido en la legislación pertinente, debe seguir estrictamente los principios estadísticos para hacerlos completamente transparentes y defendibles.

Los objetivos pueden ser de orden general o específicos. Entre los *objetivos generales*, varios tipos de inventarios forestales procuran obtener respuestas concretas de la situación en la que se encuentran ecológica y ambientalmente los bosques, y por consecuencia las diversas comunidades arboladas, procurando identificar en ellas las posibles intervenciones que pudiesen haber existido en el transcurso del tiempo, más específicamente en lo referente al aprovechamiento forestal y posibles tratos silviculturales ocurrentes. Entre otros objetivos generales se tienen aquellos que se relacionan con la identificación de las correspondientes superficies boscosas y su pertinente volumen de madera en pie, además de sus relaciones de funcionalidad ecológica – boscosa, considerando en una forma muy especial la estructura de la masa arbolada y el funcionamiento fito-socio-ambiental del correspondiente ecosistema forestal.

Entre los *objetivos específicos*, se procura identificar la real y actualizada situación silvicultural, específicamente en lo relacionado a los continuos cambios del crecimiento e incrementos dasométricos que se van desarrollando en los bosques, lo que podrá incidir directamente en los correspondientes estoques de madera, distribuciones diamétricas de los individuos arbóreos, estado fitosanitario, distribución de los productos de aserrio, clasificación y ordenamiento de los sub productos del bosque y de los productos forestales no maderables de los pertinentes macizos forestales (Kleinn, 2015). Otros objetivos específicos se podrán relacionar con la definición de respuestas de la vegetación arbórea a las características del suelo, sitio, propiedad y uso de la tierra, condiciones atmosféricas, situación ecológica, tratos silviculturales, grados de aprovechamiento y relación con respectivos centros urbanos. Otros inventarios podrán ofrecer respuestas puntuales en el establecimiento de correlaciones entre la masa forestal con una infinidad de variables biológicas, económicas, ambientales, sociales, etc.

Además de los objetivos generales y específicos en la realización de los inventarios forestales, también es posible distinguir en la planificación de los inventarios forestales, la existencia de objetivos técnicos y estratégicos. Estos

objetivos, contemplados en la correspondiente estructuración de un inventario específico, tanto su inserción como real ejecución, estarán atendiendo normalmente a preceptos institucionales y filosóficos de los instituidores y de las correspondientes fuentes de financiamiento pertinente para esos inventarios.

Entre los *objetivos técnicos*, predominan los que se relacionan con levantamientos e inventarios forestales que darán respuestas específicas de interés más técnico y del aprovechamiento potencialmente económico, como la distribución espacial de los árboles por clases de edad o de diámetro. En esta categoría también se incluyen los inventarios técnico-académicos que se desarrollan con interés científico.

Los *objetivos estratégicos* normalmente hacen parte de la planificación y administración de los cuarteles en niveles regionales y nacionales. Actualmente asuntos relacionados con la biomasa, biodiversidad y secuestro del carbón, se hacen prioritarios en las decisiones de políticas públicas. Entre los objetivos estratégicos están aquellos destinados a identificar características dasométricas específicas orientadas al manejo racional y sostenido del bosque y sus recursos en específicas unidades de ordenación forestal. Esos objetivos, como ejemplo, pueden estar inseridos en la respuesta pertinente, cuando el bosque fuese clasificado silviculturalmente en monte alto con turnos de corta largos o cortos correspondiendo a los crecimientos lentos y rápidos respectivamente, así como en bosques con tendencia a la formación de bosques secundarios o bosques altos degradados. Una otra situación se podrá presentar en la definición porcentual de las correspondientes cubiertas con masas arboladas densas, dehesas (huecas), matorrales o herbazales, donde la respuesta tiene más interés estratégico que técnico. A esta categoría los denominados inventarios forestales integrados y de aprovechamiento múltiple, juegan un papel preponderante.

Como ejemplo de un *inventario forestal integrado* se cita el levantamiento realizado en las unidades de manejo de la Reserva de la Biosfera Maya, en Petén – Guatemala (Pinelo, 2004), cuyos objetivos se concentraron en el levantamiento de informaciones específicas de los productos forestales no madereros (*PFNM*) para su correspondiente planificación de ordenamiento y aprovechamiento. En el levantamiento pertinente se incorporaron todos los recursos posibles bajo manejo con la finalidad de optimizar el uso de los mismos y garantizar el alcance de la sostenibilidad económica, ecológica y ambiental de la región. Otro ejemplo de estos inventarios es el que se registra

en el Uruguay (San Román, 2011) donde se planificó la ejecución de inventarios integrados continuos a cada a 5 años, teniendo como finalidad alcanzar el desarrollo forestal sostenible a partir del monitoreo de los bosques desde una concepción ecosistémica de los mismos. Sus objetivos quedaron plasmados en evaluar el estado de conservación de los bosque nativos y plantaciones, actualización cartográfica forestal, establecimiento de índices de calidad, tarifas locales de volumen y de producción, estimación de las producciones actuales y futuras de madera, y la evaluación de la calidad del paisaje.

En términos de extracción industrial maderera, un considerable número de inventarios forestales podrán ser realizados para alcanzar uno o más de los siguientes objetivos:

- 1) evaluar el correspondiente potencial maderero;
- 2) evaluar los macizos arbolados para la extracción maderera o de un específico producto forestal;
- 3) evaluar la cobertura forestal para una planificación industrial, con fundamentos de manejo y ordenamiento forestal de uso industrial sostenible;
- 4) evaluar la dinámica del crecimiento del bosque.

En ese sentido, una vez consolidados los objetivos establecidos en la correspondiente planificación del inventario, se definirá el pertinente diseño de muestreo que irá a ser implementado para dar respuesta a la problemática establecida y para la propia ejecución del correspondiente inventario forestal.



## 2. ESPECIFICIDAD DE LA PARCELA

La filosofía del muestreo se fundamenta en cuatro principios que deben ser rigurosamente obedecidos:

- 1) la *precisión*, que busca la exactitud de las estimaciones o de los resultados obtenidos en las parcelas en relación al total de la población, considerando el menor error de muestreo. Cuanto menor fuese el error, más precisa y confiable será la unidad de muestra o parcela.
- 2) la *eficiencia relativa*, que se refiere a la posibilidad de comparación entre los posibles modelos de inventarios correspondientes. Un modelo será más eficiente cuando presente sus resultados más confiables y más próximos de la realidad, al menor costo posible.
- 3) la *corrección*, es la ausencia de viés no muestrales en las unidades de la muestra. Una parcela será correcta si las medidas super estimadas y las sub estimadas fuesen naturalmente compensadas entre sus miembros dentro de la parcela, evitando de esa forma un posible error sistemático. Cuanto mayor el número de individuos arbóreos en la parcela, esa compensación estará más asegurada. Estadísticamente esta característica estará reflejada en el cálculo del desvío padrón, considerando que podrá existir en proporción menor un error de medición y un error del modelo del propio inventario.
- 4) el *costo mínimo aceptable*, se refiere a los costos de establecimiento de la parcela y ejecución de las medidas en la parcela. Los fondos monetarios pertinentes destinados a este rubro deben ser exclusivos y estar colocados a completa disposición en el momento de la realización de los trabajos de campo.

Los inventarios forestales representan la posibilidad de conocer poblaciones forestales y ofrecer informaciones detalladas de las características intrínsecas de las áreas arboladas y sus relaciones con el medio ambiente. En ese sentido, se reconoce que coherentes y bien elaborados modelos o diseños de muestreos forestales, permitirán ofrecer como resultados, sólidos fundamentos para la organización de los planes de ordenación y manejo forestal, como para la formulación de políticas públicas.

El diseño del inventario se refiere exclusivamente a lo que se podría llamar de modelo específico de como se irán a distribuir las parcelas de muestreo. El diseño del inventario deberá estar necesariamente inserido con el debido detalle en la planificación del inventario correspondiente.

El diseño del inventario será definido por el tamaño de la unidad de muestreo y la correspondiente distribución de sus parcelas, que irán a definir el tamaño del muestreo. Otras características referentes a la planificación específica del inventario, se refieren al personal involucrado, informes pertinentes y otros, que serán tratados en el capítulo sobre planificación de un inventario forestal.

En modelos con distribución de las parcelas al azar, también se debe decidir sobre la aleatorización de la primera parcela, el levantamiento de las variables de medida en la parcela y observaciones complementares, así como el procedimiento de análisis y correspondiente interpretación de los estimadores solicitados. Consecuentemente, el modelo de muestreo más eficiente será aquel que cumpla en mayor grado posible, las características solicitadas y fuese ejecutado con el menor costo posible.

En los modelos no probabilísticos, la parcela o unidad de muestra no puede ser comparable con sus semejantes, una vez que esas unidades no fueron escogidas estadísticamente. Se debe evitar la ejecución de modelos de muestreo selectivo, donde la selección de las unidades de muestreo son elegidas em forma subjetiva y tendenciosa a los intereses del ejecutor. En ese sentido los resultados también serán tendenciosos. En contra posición, se tienen los muestreos probabilísticos, basados en principios estadísticos que reflejarán fielmente los resultados de las unidades de muestreo.

## **2.1 DISEÑO DE LA PARCELA TERRESTRE DE MUESTREO**

Se denomina de *parcela de muestreo*, a la unidad muestral que será medida, siendo ésta una fracción del total de las posibles parcelas existentes de toda el área a ser inventariada. Específicamente en las parcelas terrestres de muestreo, todos los árboles existentes en un cierto rodal, que puedan ser medidos de acuerdo a la definición establecida en la correspondiente planificación para la ejecución del inventario forestal pertinente, deben poseer características mínimas exigidas de las correspondientes variables de

medición, como ejemplo, el *DAP* mínimo de 30 cm. En ese sentido todos los árboles con *DAP* igual o mayor a 30 cm podrán ser medidos. Árboles con *DAP* menor a 30 cm no harán parte integrante del cálculo estadístico de esas parcelas seleccionadas.

En el caso de que la parcela contenga cantidad suficiente de árboles con el *DAP* mínimo exigido, la unidad de muestra para la variable *DAP* podrá ser representativa, adecuada y válida del universo a la que pertenece. *Representativa* significa que todas y cada una de las parcelas con sus individuos arbóreos medidos, tengan las mismas probabilidades de ser escogidas para el cálculo correspondiente. *Adecuada* y *válida* se refieren a las parcelas que permitan establecer un mínimo de error posible en relación al total de las parcelas denominadas de población. Consecuentemente la estadística descriptiva, la estadística inferencial y la matemática muestran por medio del método científico como se podrán conocer a los bosques, mediante datos colectados en las parcelas.

Asociado al hecho de que los bosques exigen conocimientos inherentes y abrangentes de las variables dentro / dasométricas, en el proceso de estimar datos o resultados a partir de una o varias parcelas para el total de la población arbórea, la *estadística inferencial* asegura la validez de esas generalizaciones. Para tanto se debe determinar el tamaño de la observación para que las características y variables que fuesen medidas, puedan producir precisas inferencias para el total de las posibles parcelas existentes, que corresponderá a la población en estudio. Consecuentemente se hará diferencia entre el tamaño de la población o universo que corresponderá al total de las parcelas ( $N$ ) que cubren la superficie total del bosque, y el número de parcelas ( $n$ ) que formarán el tamaño del muestreo.

Conociendo los tamaños del total de la población que corresponde al total de las parcelas ( $N$ ), y del muestreo ( $n = \text{número de parcelas a ser procesadas}$ ), en el empleo de las parcelas de *tamaño fijo*, la fórmula siguiente expresa la relación del *factor de expansión* ( $K$ ), que permitirá preferencialmente seleccionar en forma sistemática, del total de la población, un número de parcelas que permitan ser calculas probabilísticamente:

$$K = N/n$$

Supóngase, como ejemplo, la existencia de un total de 1.500 parcelas ( $N$ ) o unidades de muestra que conforman el total de la población, y se pretenda

seleccionar y trabajar con 25 parcelas ( $n$ ) que correspondan al tamaño del muestreo. Este factor de expansión ( $K$ ), que se lo considera como constante de cálculo, en la relación indicada, para los valores citados será igual a 60 ( $1500/25=60$ ).

Por la relación contraria, de los componentes  $N$  y  $n$ , en la expresión  $n/N$  multiplicada por 100, se obtendrá el valor porcentual, que corresponde a una fracción del muestreo ( $f$ ), conocido en la literatura como *intensidad de muestreo*. Para el ejemplo anterior, el área muestral será de 1,6 % del total de la superficie a ser interpretada ( $25/1500=0,016 \times 100=1,6$  %). La literatura registra valores porcentuales entre 0,001 % (inventarios forestales nacionales) y 10 % (inventarios de gestión operativa). Esta relación deberá ser considerada apenas como una primera y simple aproximación en la planificación de un inventario forestal (Kleinn, 2011).

Por la fracción del muestreo  $f = n/N$  es posible identificar si la población con la que se trabaja, si es considerada como finita o infinita, aplicando la expresión

$$1 - f$$

Si esa expresión fuese menor a 0,98 se estará con una población *finita*, y si fuese igual o mayor a 0,98 la población será considerada *infinita*.

Una *población finita* de parcelas es un conjunto compuesto por una cantidad limitada de parcelas siendo que la última parcela es conocida. *Población infinita* de parcelas es la que tiene un número extremadamente grande e ilimitada de parcelas siendo que la última parcela es completamente desconocida.

En la secuencia lógica para la instalación en el campo de las respectivas parcelas de muestreo, en una visión generalizada, inicialmente se deben efectuar trabajos de cartografía o bien hacer uso de las informaciones satelitales. Ese material permitirá en primera aproximación definir y delimitar lo que se podría llamar de zonas boscosas, y en ese sentido se podrá obtener la base cartográfica correspondiente. Posteriormente, prosiguiendo con el uso de las imágenes satelitales o mapas cartográficos, se procederá a la definición y clasificación de los tipos de bosques existentes, que en si se los podrán considerar por algunas características en común, como áreas más o menos homogéneas, que podrán delimitar y estructurar la correspondiente estratificación de las correspondientes áreas arboladas. Sobre esa base se

hará posteriormente la correspondiente digitalización cartográfica y se efectuará la pertinente interpretación de las cartas o mapas temáticos. Será sobre ese material que se efectuará el correspondiente diseño de la *mallá de puntos*, con la marcación de las parcelas de muestreo.

Supóngase que las parcelas de muestreo quedaron en el campo, localizadas equidistantes a cada quilómetro. Entiéndase en ese caso que cada parcela representará un quilómetro cuadrado. La ubicación de esas parcelas en la base cartográfica, representará la correspondiente mallá de puntos das parcelas de muestreo discontinuas. En ese sentido la mallá de puntos apenas indica la localización geográfica de un punto específico de la superficie de la parcela. La distribución de esos puntos, en extensas áreas sigue normalmente una orientación sistemática. La precisión y exactitud de cada punto debe llevar consigo la correspondiente determinación geodésica cartográfica.

## **2.2 TAMAÑO Y FORMA DE LA PARCELA**

Al iniciar cualquier tipo de inventario forestal, se hace necesario averiguar la eficiencia relativa de los posibles y diferentes tamaños y formas de las parcelas o unidades muestrales. Con un análisis de comparación de los errores de muestreo, de la variabilidad de las medidas dendrométricas y de los costos operacionales correspondientes, se puede elegir la forma y el tamaño de la parcela o unidad de muestra que proporcione una consistente y aceptable información.

En la estadística inferencial, la teoría del muestreo radica en estimar características poblacionales desconocidas, como el valor medio del *DAP* como ejemplo, examinando los pertinentes resultados o informaciones obtenidas apenas de una muestra o parcela del total de las parcelas. Se entiende por *error de muestreo* también conocido por error de estimación, al error que se presenta de la observación de una parcela del total de la población, considerando que la estimación de un valor de interés como la media o el porcentaje, estará generalmente sujeta a una variación entre una muestra y otra. Vale decir las medias de los *DAPs* entre las parcelas podrán ser diferentes, a lo que se conoce como errores muestrales, una vez que el valor exacto es desconocido.

Una norma muy importante en la determinación del tamaño de la parcela, es que ésta debe contener un número mínimo de árboles que puedan

representar a la población considerada. En ese sentido la parcela debe contener individuos arbóreos que se encuadren en las diversas clases diamétricas. En el momento de realizar la planificación de un inventario forestal, se puede partir por el principio que la parcela contenga por lo menos de 20 a 30 árboles mensurables, condición mínima que permita mostrar el grado de la variabilidad de los datos medidos y de las mínimas características específicas del bosque y del sitio.

En teoría, la superficie total a ser inventariada deberá contener una correspondiente malla de puntos continuos, representando el diseño de la parcela. Esas unidades de muestra o parcelas podrán asumir cualquier forma geométrica desde que su superficie o área de ocupación pueda ser fácilmente calculada. Sin embargo, en la teoría del muestreo se solicita que la parcela pueda captar u obtener el mayor grado posible de la variabilidad de las medidas de la pertinente variable. En ese sentido grandes parcelas rectangulares podrán obtener mayor variabilidad que pequeñas parcelas circulares.

La literatura registra el uso frecuente de unidades muestrales cuadradas, rectangulares, triangulares, hexagonales y circulares. En teoría, se debe considerar que el total del área a ser inventariada (superficie del bosque) será dividida en parcelas adyacentes de igual forma y tamaño aproximado. En ese sentido, el inventario estará considerando parcelas de tamaño fijo. Inclusive esa distribución también vale para parcelas circulares que pueden o no, se sobre poner en sus respectivas áreas. Este concepto también es válido para áreas relativamente pequeñas. Hoy en día, en la práctica de la distribución de las parcelas, interesa fundamentalmente la posición de lo que se denomina *malla de puntos*. En la correspondiente malla de puntos de inventarios forestales de extensas áreas, cada punto representará la localización del punto central o inicial de medida de la parcela pertinente. Si la malla de puntos tuviese un espaciamiento de 1 km x 1 km, significa que cada parcela irá a representar 1 km<sup>2</sup> independientemente del tamaño y forma de la parcela.

Es más práctico y menos trabajoso escoger parcelas de formas geométricas simples, como las cuadradas, rectangulares o circulares. La literatura registra la existencia de dos tipos de parcelas: 1) parcelas de área fija, y 2) parcelas de área variable. Definido el tipo y la forma de la parcela, su tamaño siempre será el mismo en el total de las posibles parcelas existentes. En las parcelas rectangulares el lado mayor deberá estar orientado al azimut o rumbo geográfico previamente escogido. En las parcelas circulares de área

fija, se tiene la ventaja de que son definidas en una sola dimensión, por ese medio, el radio correspondiente será la base del método de escoja. Consecuentemente se define la existencia de parcelas circulares de área fija y parcelas circulares de área variable. A este último tipo de unidades de medida pertenecen las parcelas del principio de Bitterlich y de los seis árboles de Prodan. En las parcelas circulares se presenta el inconveniente en los límites de la parcela que son curvos y consecuentemente más oneroso cuando precisa de su demarcación exacta, lo que no ocurre con las parcelas cuadradas o rectangulares. El tamaño de las parcelas circulares de área variable se las obtiene en relación de la distancia del centro de la parcela a la posición del árbol, dimensión que podrá variar de parcela para parcela.

En los diversos países de América Latina, específicamente en la ejecución de los inventarios forestales realizados en áreas de las plantaciones industriales, son empleadas normalmente parcelas rectangulares. Sus dimensiones clásicas varían de 20 x 30 m (600 m<sup>2</sup>) hasta 20 x 50 m (1000 m<sup>2</sup>). En la mayoría de los inventarios forestales realizados en bosques tropicales, también es común encontrar el uso de parcelas rectangulares en diversos tamaños, entre 200 a 1000 m<sup>2</sup>. Para el caso de levantamientos ecológicos y fitosociológicos, la literatura registra la instalación de parcelas de hasta 1 hectárea.

La parcela en una plantación (reforestamiento o repoblación forestal) tiene un menor tamaño que el de un bosque nativo, visto que en una plantación la dispersión de los datos del *DAP* y el correspondiente volumen/árbol es más homogénea cuando comparada con cualquier tipo de bosque nativo.

En países de Europa Central y en América del Norte frecuentemente es utilizada la parcela circular de área fija, como es el caso de los Inventarios Forestales Nacionales de Alemania y de Suiza (Figura 8). También se debe mencionar que, en algunos inventarios forestales nacionales, como es en el caso de Austria, son usadas parcelas circulares de área variable.

En el diseño del Inventario Forestal Nacional de Alemania (Figura 8), cada parcela (primaria) localizada en los vértices A, B, C y D del cuadrado conglomerado, está dividida internamente en otras cuatro parcelas circulares de área fija con las siguientes dimensiones: 1) radio de 1,75 m (la menor parcela) destinada a la obtención de datos de los árboles muestra, árboles con altura mayor a 50 cm y *DAP* inferior a 7 cm; 2) radio de 5 m para la determinación de la madera muerta; 3) radio = 10 m, para la toma de datos

de árboles con alturas hasta 4 m, arbustos y vegetación rastrera, 4) parcela de radio = 25 m, destinada a la obtención de las características del sitio y demarcación del límite del bosque. Todos los árboles con *DAP* mayores a 7 cm serán medidos, independientemente de su localización dentro de las sub parcelas.

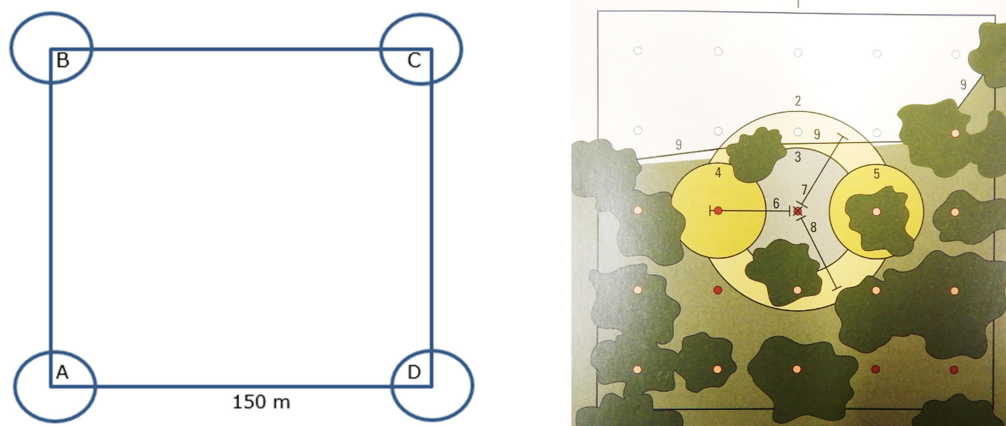


Figura 8. Parcelas de los Inventarios Forestales Nacionales de Alemania (izquierda) y de Suiza (derecha)

Fuente: Alemania, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2000. (p.14); Suiza. Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006. (p.19)

En el Inventario Forestal Nacional de Suiza se trabaja con áreas interpretativas de 50 x 50 m, donde están localizadas las parcelas circulares de número 2 destinada a la medición de árboles con *DAP* superior a 36 cm; parcela circular nr. 3 para la obtención de datos dendrométricos de árboles con *DAP* inferior a 12 cm. Las parcelas números 4 y 5 están destinadas al levantamiento de la regeneración natural. Las líneas, en orientación de los radios, nrs. 6, 7 y 8 fueron establecidas para la toma de datos de árboles muertos. La línea 9 representa la delimitación del área arbolada con la no boscosa.

Existiendo la posibilidad de encontrar en una parcela un mínimo de aproximadamente 70 individuos arbóreos, se podrá obtener una cantidad suficientemente aceptable de datos que permitirá efectuar una coherente estimación de cualquier parámetro dasométrico. Se deduce consecuentemente que la parcela de muestreo debe atender dos condiciones fundamentales: 1) ser representativa de la población a la que pertenece, lo que significa que en la parcela se extienda el máximo posible de la variabilidad de la variable medida; y 2) permita efectuar correspondientes estimaciones de inferencia y



extrapolación para el total de la población o universo correspondiente. Esas dos condiciones fundamentan la selección de las parcelas, siendo que estas sean completamente ajenas a la voluntad humana, y cada una del total de las parcelas, tenga la misma probabilidad de selección de ingreso y ser contemplada como parcela representativa.

Definido el tipo y el tamaño de la parcela, ésta constituirá la unidad de muestra del inventario. Sus puntos de localización geográfica deben estar identificadas en las llamadas mallas de puntos sobre el material cartográfico pertinente. En esas mallas, los puntos representan apenas el punto central o inicial de localización de las parcelas, en las cuadradas y rectangulares el vértice escogido, de preferencia el izquierdo de su base, y en las circulares el centro del círculo o de la parcela.

## **2.3 ESTIMACIÓN DE LA VARIABILIDAD**

Una parcela de muestreo deberá reflejar eficientemente las características intrínsecas de la población que está siendo analizada, y en ese sentido se hace necesario calcular o determinar la correspondiente variabilidad de las mediciones efectuadas. Entiéndase en los inventarios forestales, por *variabilidad* la dispersión de los datos que se miden entre las parcelas y de sus parámetros que se presentan.

El cálculo de la variabilidad dentro de la parcela resulta ser insignificante, una vez que cada parcela se la considera como una única observación. Se asume que la variabilidad interna de las parcelas serán muy próximas entre sí. Cuanto menor fuese el tamaño de la parcela, la variabilidad será mayor entre sí, cuando comparada con el mismo número de parcelas de tamaños mayores.

En la definición del diseño del inventario, el concepto de la variabilidad se hace prioritariamente presente al considerar que la máxima variabilidad posible debe estar incluida en la unidad muestral. En relación a la variabilidad, teóricamente una parcela rectangular podrá mostrar mayor variabilidad de la variable considerada (por ejemplo *DAP*) que en una parcela circular de tamaño semejante, así como cuatro parcelas distribuidas discontinuamente y alejadas entre sí, que cuatro parcelas localizadas en forma contigua o muy próximas entre sí.

Al número de parcelas que serán medidas se considera como *población finita* cuando todas esas parcelas o elementos de medición estadística, puedan ser enumeradas y medidas. Sin embargo, al total de la población que serán las posibles parcelas existentes en un bosque, se la asume como *población infinita*, una vez que ella podrá estar constituida por un número ilimitado de parcelas.

En una plantación equiana (con la misma edad) donde todos los árboles fueron producidos en forma similar y en el mismo vivero, los plantines plantados en una misma época y recibiendo el mismo tratamiento silvicultural, se constata en la plantación, que las variables *DAP* y altura total de los árboles presentan naturalmente diferentes dimensiones. Inclusive en una plantación clonal también se produce ese fenómeno, aunque en menor escala. Consecuentemente existirán tanto en esas plantaciones como en bosques nativos, árboles con diámetros pequeños y otros individuos arbóreos con diámetros mayores. Esas diferencias algunas veces mayores, otras veces menores es lo que constituye la variabilidad de la medida.

La variación de las mediciones dentro de la parcela, pueden estar formadas de variables continuas o discretas. *Continua*, cuando una variable puede tomar cualquier valor dentro de la amplitud de la variación (por ejemplo, medición del *DAP* en centímetros: 25,4 25,8 26,1) y *discreta* cuando la variable considera valores en enteros absolutos dentro de los grupos definidos (por ejemplo, número de árboles por clase diamétrica). Entre las parcelas, normalmente los resultados serán de las variables continuas.

Calculando el *DAP* medio aritmético de una población, se podría asumir teóricamente que existen desvios de la probabilidad, donde 50 % de los datos puedan estar localizados encima de un valor central y los otros 50 % estarían debajo de ese valor. A esa situación, estadísticamente, se la interpreta como la *dispersión* de los datos de la variable y su correspondiente *desvío de la media*. Los testes de significancia matemática ofrecen métodos capaces de distinguir esa dispersión.

Para representar una parcela, no se hace mención de todos sus valores (*DAP's* medidos). Se precisa procurar apenas un valor que pueda representarla, que podría ser el valor central (media aritmética). Sin embargo, dos o más parcelas pueden tener el mismo valor medio y contener en número y dimensiones, individuos arbóreos totalmente diferentes una de la otra. En ese sentido se hace necesario procurar el correspondiente *error padrón*. El

término error debe ser tomado como significando falta de precisión, sea en la obtención de los datos o en el cálculo de los valores estimados. En la estadística el error padrón ( $S$ ) también es denominado de desviación típica o desviación estándar, dependiendo de la procedencia del conjunto de datos. Se la define como una medida de dispersión, siendo la raíz cuadrada de la varianza de la variable en una distribución de probabilidad discreta.

Si la suma de los desvios alrededor de la media aritmética es igual a cero, no será posible considerar esa medida para representar la variación de la muestra. Sin embargo, elevando los desvios al cuadrado se podrá obtener la suma de los cuadrados de los desvios, cuyo resultado deberá ser mínimo, pudiendo ser calculado por la fórmula:

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

Si el número de individuos con la variable medida en la muestra es grande, poca diferencia produce la división por  $n$  o por  $n-1$ . Entretanto si el valor de  $n$  es pequeño se torna imprescindible la división por  $n-1$ .

La media aritmética y el error o desvio padrón serán calculados por:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \qquad S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}}$$

Del desvio padrón se obtiene el error padrón de la media ( $S_{\bar{x}}$ ):

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n} \cdot \left(1 - \frac{n}{N}\right)}$$

$(1 - n/N)$  = factor de corrección para las poblaciones finitas.

Si la fracción  $n/N$  fuese inferior al 5 %, comunmente se la omite. El error padrón de la media aritmética es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de sus observaciones, lo que significa que cuanto mayor fuese ese número, menor será el error, indicando que la media aritmética podrá estar muy próxima del valor verdadero de la población.

Al error padrón expresado en porcentaje se lo denomina de coeficiente de variación ( $CV$ ) calculado por la expresión:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

En el contexto, en los inventarios forestales se hace necesario también conocer el error estándar relativo ( $SE \%$ ), expresado por:

$$SE \% = \frac{\frac{s}{\sqrt{n}}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Para conocer el CV se requiere de datos reales de un muestreo preliminar o de reconocimiento. Las parcelas utilizadas en esos muestreos muchas veces se las pueden incluir posteriormente entre las unidades que constituirán el muestreo definitivo. El CV permite comparar los errores padrones de las parcelas y entre las parcelas. Haciendo la compensación por medio de la transformación de los errores padrones en valores de porcentaje, los coeficientes de variación podrán mostrar la variación de la respectiva parcela y en consecuencia facilita entre las parcelas la comparación de la variabilidad relativa de las medias aritméticas presentadas por los diferentes tamaños de parcelas, o entre parcelas del mismo tamaño.

El *coeficiente de seguridad* ( $t_\alpha$ ) será necesario conocerlo (Cuadro 1), para determinar el tamaño del muestreo. Este coeficiente, conocido también como desvío normal o desviación de *t de Student* es extraído de las "tablas de *t*". Un resumen de esas tablas están presentadas en el Cuadro 1. El valor de  $t_\alpha$  representa el error correspondiente a la magnitud o grandeza de la muestra ( $n-1$ ) en la probabilidad deseada. Las tablas de  $t_\alpha$  están descritas detalladamente en la obra de Fisher y Yates (1963).

La mayoría de los inventarios forestales presentan sus resultados con 90 o 95 % de probabilidad, o de acierto probabilístico. A partir de aproximadamente 30 grados de libertad (31 árboles medidos o 31 parcelas), la distribución de *t* se aproxima de la distribución normal. Por esa razón es que a partir de 30 grados de libertad se ingresa necesariamente en el análisis de la teoría estadística de las grandes muestras.

Cuadro 1. Coeficiente de seguridad de la distribución de  $t_\alpha$  para 90 % (.1) y 95 % (.05) de Probabilidad Estadística

<i>gl</i>	.1	.05	<i>gl</i>	.1	.05	<i>gl</i>	.1	.05
1	6,314	12,706	14	1,761	2,145	27	1,703	2,052
2	2,920	4,303	15	1,753	2,131	28	1,701	2,048
3	2,353	3,182	16	1,746	2,120	29	1,699	2,045
4	2,132	2,776	17	1,740	2,110	30	1,697	2,042
5	2,015	2,571	18	1,734	2,101	40	1,684	2,021
6	1,943	2,447	19	1,729	2,093	50	1,676	2,010
7	1,895	2,365	20	1,725	2,086	60	1,671	2,000
8	1,860	2,306	21	1,721	2,080	70	1,667	1,994
9	1,833	2,262	22	1,717	2,074	80	1,664	1,990
10	1,812	2,228	23	1,714	2,069	90	1,662	1,987
11	1,796	2,201	24	1,711	2,064	100	1,660	1,982
12	1,782	2,179	25	1,708	2,060	120	1,658	1,980
13	1,771	2,160	26	1,706	2,056	<i>infin</i>	1,645	1,960

*gl* = grados de libertad; *infin* = infinito

En ese contexto, es posible obtener estimativas consistentes sea de la media aritmética de la población en análisis, sea del grado de confianza a la que estaría definida. Se debe considerar que ese grado se vincula naturalmente a la amplitud del error máximo (en valor absoluto) en la probabilidad previamente definida. Una forma de traducir el grado de seguridad está en la precisión de la estimativa que permite la posibilidad de expresar el error de muestreo como porcentaje de la propia estimativa

$$(s_x \cdot t_\alpha) \text{ a través de la expresión } \frac{s_x \cdot t_\alpha}{x} \cdot 100$$

Supóngase que el intervalo de confianza foi calculado a una probabilidad de 0,05 %, y que la expresión anterior dió un resultado de 8,3 %. La interpretación será: que a 95 %, la probabilidad de que el error o la discrepancia entre la estimativa de la media retirada de la muestra y la media verdadera de la población, no excede de 8,3 % de la propia estimativa.

En una población infinita la varianza de la media de la muestra ( $s_x^2$ ) se la obtiene por  $s_x^2 = \frac{s^2}{n}$ , lo que también se llama la varianza del error.

Entretanto cuando se trata de poblaciones finitas se debe introducir el fator de corrección:  $(N - n) / N$

En estos términos, la varianza de la media de la muestra es calculada cuando las poblaciones son finitas por la expresión:

$$s_x^2 = \frac{s^2}{n} \cdot \frac{N-n}{N}$$

Se  $N$  tuviese un valor muy grande en relación de  $n$ , la expresión anterior se aproxima a la formulación  $s^2/n$ . El factor de corrección con un valor próximo de la unidad pierde su significado práctico.

Cuando no se dispone de suficiente información sobre la variabilidad de la variable dasométrica, se aconseja realizar un pré muestreo, con la finalidad de estimar la varianza de esa variable. A ese procedimiento se denomina de levantamiento o inventario piloto.

Para el cálculo del tamaño del muestreo ( $n$ ) la varianza puede ser representada por el coeficiente de variación ( $CV$ ) y la fórmula de trabajo (Cochran, 1965; Akca, 1997) permitirá aproximar el tamaño del muestreo para alcanzar un determinado nivel de precisión:

$$n = \frac{t_\alpha^2 \cdot s^2}{e^2} \quad n = \frac{t_\alpha^2 \cdot (CV)^2}{e^2}$$

donde  $n$  = número de unidades de muestreo  
 $t$  = expresión numérica de la confiabilidad que se desea en la estimación  
 $s$  = valor estimado del error estándar  
 $e$  = magnitud del error.

Las formulas mencionadas tienen su aplicabilidad real cuando la selección de las parcelas se la realiza en los principios de la aleatoriedad. El cálculo matemático de la magnitud del error es sumamente complicado, lo que llevó en la práctica cotidiana a ser simplemente estimado.

Tratándose de poblaciones menores y finitas, incluyendo el factor de finitud, la fórmula puede ser transformada en las siguientes expresiones:

$$n = \frac{1}{\frac{e^2}{t^2 \cdot S_x^2} + \frac{1}{N}} \quad \text{o también} \quad n = \frac{1}{\frac{(e\%)^2}{t^2 \cdot (S_x \%)^2} + \frac{1}{N}}$$

Estas fórmulas definen consecuentemente el cálculo del tamaño de la muestra  $n$ . El cálculo del tamaño del muestreo ( $n$ ) se hace imprescindible cuando se emplean sistemas de muestreo aleatorio.

Loetsch y Haller (1964) indican que frecuentemente el valor absoluto de la varianza y del error padrón no pueden ser definidos fácilmente. Por tanto, constituye una ventaja realizar el cálculo previo del error ( $E \%$ ) y de la precisión relativa ( $CV \%$ ).

Por el enunciado se puede substituir el cálculo por el error admisible ( $E$ ) o tolerable, expresado en valor porcentual:

$$E \% = \frac{s_{\bar{x}} \cdot t_{\alpha}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Por tanto, el objetivo del muestreo será estimar fundamentalmente características representativas de la población boscosa, cuyos resultados denominados de parámetros, permitirán con alto grado de precisión y a un costo pre establecido, inferir sus resultados al total de la población en el margen de la probabilidad establecida.

Con esos argumentos los inventarios forestales extensivos solamente fueron posibles de ser realizados, gracias a los métodos matemático estadísticos y al correspondiente procesamiento electrónico de datos. Acoplados hoy en día a la teledetección y sensores remotos permitieron hacer posible, sobre grandes superficies boscosas, el análisis y estudio de un gran número de variables dasométricas en cortos períodos de tiempo y a costos relativamente aceptables.

Considerando que el coeficiente de variación ( $CV$ ) es un parámetro que puede identificar la variabilidad de la muestra, se lo puede usar para definir el tamaño próximo al ideal de la parcela, que permita interpretar de la mejor forma posible las características que serán estimadas de la población pertinente. El tamaño de la muestra ( $n$ ) además de ser una variable dependiente directa del coeficiente de variación, también podrá representar una función de la variabilidad de los respectivos costos por unidad muestral.

Por el cuadro 2 observado, el  $CV$  permite establecer el tamaño recomendado de la parcela, cuando varias parcelas de diversos tamaños fuesen levantadas y medidas. En el cuadro 2 se presentan los respectivos resultados del cálculo del  $CV$  de la variable  $DAP$ , realizada en una plantación

de *Eucalyptus* sp., localizada en la región de Brasilia (Brasil). Las parcelas de los diversos tamaños quedaron localizadas en el mismo rodal. Se deduce que el coeficiente de variación a partir de 600 m<sup>2</sup> presentó poca variación conforme fue aumentando la superficie de la parcela. Ese coeficiente osciló de 23 a 68 %. En términos matemáticos y para la interpretación de los inventarios forestales la diferencia entre 32 (parcela de 600 m<sup>2</sup>) y 28 % (parcela de 1200 m<sup>2</sup>) no es significativa, sin embargo, en terminos financieros se puede deduzir que los costos por parcela serian bastante diferentes.

Cuadro 2. Coeficiente de variación del *DAP* en diversos tamaños de parcelas en una plantación de *Eucalyptus* en la región de Brasilia (Brasil)

Dimensiones en metros	Parcela m <sup>2</sup>	Arboles Plantados	Arboles medidos	CV %
10 x 10	100	15	12	68
10 x 20	200	30	21	57
10 x 30	300	45	38	42
20 x 20	400	60	52	39
20 x 25	500	72	68	36
20 x 30	600	90	81	32
20 x 35	700	102	93	30
20 x 40	800	120	106	29
20 x 45	900	132	119	29
20 x 50	1000	150	132	29
20 x 60	1200	180	156	28
40 x 35	1400	221	197	27
40 x 40	1600	260	226	27
40 x 45	1800	286	239	25
40 x 50	2000	325	291	23

La Figura 9 muestra la curva típica del comportamiento del coeficiente de variación de las variables dasométricas. En la figura es presentado el CV del parámetro volume de madera c/c en m<sup>3</sup>/ha de una plantación de *Eucalyptus* sp., localizado en la región de Brasilia, Brasil.



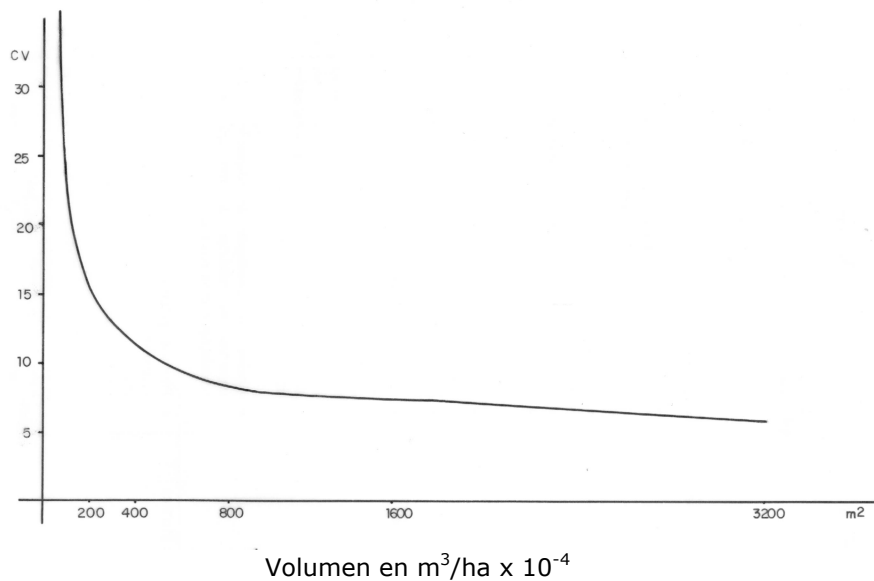


Figura 9. Curva del comportamiento del CV (%)

Analizando la curva de la Figura 9, se observa que para las parcelas de superficies menores el coeficiente de variación adquiere valores altos, significando mayor heterogeneidad de la variable medida. A partir de aproximadamente 600 m<sup>2</sup> el CV se estabiliza casi que en forma constante, portanto próximo al punto de la inserción de la curva, allí estará localizado el tamaño ideal de la parcela de muestreo. El tamaño próximo al ideal de la parcela permitirá consecuentemente establecer un eficiente sistema de muestreo con el menor costo posible.

Condición ideal de cualquier inventario forestal es tener conocimiento de la correspondiente superficie total del bosque a ser inventariado. Definido el tamaño de la parcela, en un sistema de distribución aleatoria, el paso siguiente será determinar el número de parcelas, constituyendo el tamaño del muestreo ( $n$ ), que serán seleccionadas del total de parcelas supuestamente existentes en el total de la superficie boscosa.

En la distribución de las parcelas, tanto en superficies del bosque nativo o de plantaciones, existirán áreas donde no caiban completamente parcelas del muestreo. Es decir, solo serán consideradas para el cálculo del tamaño del muestreo, aquellas parcelas que mantuviesen el 100 % de su superficie. Una superficie o parte de la parcela que se localiza en los bordes de los rodales o áreas boscosas, permanecerán naturalmente excluidas del cálculo del tamaño del muestreo. Esas exclusiones se muestran insignificantes en el proceso de

cálculo e interpretación de resultados, una vez que los parámetros como área basal y volumen de madera, se las expresa por hectárea.

Mapas topográficos, hojas cartográficas y productos satelitales en escalas manejables serán útiles, permitiendo distribuir las parcelas o bien demarcar la correspondiente malla de puntos. Para relativas pequeñas superficies arboladas y con objetivos más investigativos, será posible efectuar el diseño de la correspondiente distribución de parcelas como se muestra en la Figura 10.

La probabilidad de mayor adopción en los inventarios forestales sobre áreas relativamente pequeñas, está en el uso de  $p = 0,05$ . El tamaño de  $t_{\alpha}$  se determina siguiendo la probabilidad pre establecida para las ocurrencias de la discrepancia. En términos prácticos se acepta como norma tradicionalmente aceptada un valor de  $t_{\alpha} = 2,00$  cuando el número de unidades de muestreo fuese pequeño y los grados de libertad estuviesen reducidos a través de restricciones, caso contrario se debe hacer uso obligatorio de la tabla de  $t_{\alpha}$  (Cuadro 1).



De acuerdo a los postulados enunciados, las condiciones para la utilización de estas tablas, en forma resumida son: los valores de la variable en cuestión constituyen una población infinita normalmente distribuída; la estimativa de la variabilidad de la población (coeficiente de variación) es obtenida de muestras aleatórias grandes y la confiabilidad de la estimativa del tamaño de la muestra es de 95 %.

Se indicó que se deben obtener por lo menos 30 medidas por parcela. Por los valores presentados en el Cuadro 3, se podrá obtener como valor aproximado, un número mínimo preliminar de  $n$  cuando no sea posible conocer previamente el tamaño de la población ( $N$ ), o cuando el cálculo del coeficiente de variación de las parcelas piloto presentase grandes diferencias. Como ejemplo: una parcela o la media de algunas parcelas presenta un CV de 38 % y se asume un error admisible de 10 %, en primera aproximación será necesario medir un mínimo de 55 parcelas. De acuerdo a los postulados enunciados, las condiciones para la utilización de estas tablas, en forma resumida son: los valores de la variable en cuestión constituyen una población infinita normalmente distribuída; la estimativa de la variabilidad de la población (coeficiente de variación) es obtenida de muestras aleatórias grandes y la confiabilidad de la estimativa del tamaño de la muestra es de 95 %.

Por el hecho de suponer que una población es infinita se excluye el cálculo de la *corrección por finitud*. Desde el punto de vista práctico para que esa situación resulte justificable, como ya fue indicado, se requiere que la fracción de muestreo sea inferior a 5 %:

$$\frac{n}{N} \leq 0,05$$

donde  $n$  = tamaño del muestreo  
 $N$  = tamaño de la población.

En el caso de que la fracción de muestreo sea mayor que 5 %, el valor de  $n$  obtenido de las tablas debe ser corregido por la fórmula:

$$n = \frac{n}{1 + n / N}$$

Cuadro 3. Determinación preliminar de  $n$  con  $PE = 95 \%$ 

CV (%)	Error de muestreo (%)				CV (%)	Error de muestreo (%)			
	5	10	15	20		5	10	15	20
5	4	1			36	139	50	22	12
10	15	4	2		37	210	53	23	13
15	35	9	4	2	38	222	55	25	14
16	39	10	4	2	39	234	58	26	15
17	44	11	5	3	40	246	61	27	15
18	50	12	6	3	41	258	65	29	16
19	55	14	6	3	42	271	68	30	17
20	61	15	7	4	43	284	71	32	18
21	68	17	8	4	44	297	74	33	19
22	74	19	8	5	45	311	78	35	19
23	81	20	9	5	46	325	81	36	20
24	89	22	10	5	47	339	85	38	21
25	96	24	11	6	48	354	89	39	22
26	104	26	12	6	49	369	92	41	23
27	112	28	12	7	50	384	96	43	24
28	120	30	13	7	55	465	116	52	29
29	129	32	14	8	60	553	138	61	35
30	138	35	15	8	65	649	162	72	40
31	148	37	16	9	70	753	188	84	47
32	157	39	17	10	80	983	246	109	61
33	167	42	19	10	90	1245	311	138	77
34	178	44	20	11	100	1537	384	171	96
35	188	47	21	12	150	3457	864	384	216

En la plantación de *Eucalyptus* citada anteriormente, su superficie total era de 250 hectáreas y quedó dividida en siete rodales de diferentes tamaños. Fueron utilizadas parcelas de 600 m<sup>2</sup>. El valor teórico total de la población, sería de  $N = 4166$  parcelas (superficie total dividida por el tamaño de la parcela). Achurada la superficie total de los rodales en parcelas rectangulares de 20 x 30 m, el número de parcelas efectivamente existentes fue de 3873 unidades muestrales. Consecuentemente 93 % de la superficie total de la plantación ingresó efectivamente en el cálculo probabilístico para la interpretación real de las estimaciones. En la Figura 8 se diseñó la distribución de las unidades de muestra del pimer rodal, compuesto de 473 parcelas.

Las *coordenadas de localización* de las parcelas en el caso de la Figura 8, fueron: la distancia en metros del borde del rodal (siguiendo los caminos de acceso = base del rodal) y los metros correspondientes dentro del rodal, quedando la línea de mayor longitud de la parcela rectangular, siempre localizada entre las hileras de la plantación. En bosques nativos para mayor

seguridad de la localización de las parcelas, podrán ser considerados dos puntos de referencia, y a partir de estos, se localiza la correspondiente unidad muestral.

En la definición del *punto de referencia* de la parcela, que será identificada en el campo (vértices de la parcela rectangular y centro de la parcela circular), su identificación corresponderá a las coordenadas geográficas marcadas en la malla de puntos correspondiente.

## **2.4 LOCALIZACIÓN DE LOS ÁRBOLES**

A partir del punto de referencia (*PR*), marcados en el mapa base e identificados en el terreno, se seguirá secuencialmente con la demarcación de localización de los árboles, obedeciendo el rumbo y distancias correspondientes. A partir de los puntos de referencia se identificará el árbol más próximo que corresponderá al primer individuo y al punto inicial de medida. Ese individuo arbóreo deberá ser registrado en su ubicación con la mayor precisión posible.

A partir de ese individuo, siguiendo el procedimiento establecido en el manual de campo, los demás árboles serán localizados, registrados e posteriormente medidos. El seguimiento riguroso del procedimiento de ubicación y localización de los individuos arbóreos, permitirá que por medio de cualquier sistema de control de medida o remediación, los árboles correspondientes podrán ser reencontrados y remedidos.

La localización del punto de referencia estará consecuentemente determinada por un GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) o por cualquier otro procedimiento que ofrezca igual precisión. A partir de ese punto se consideran las distancias y ángulos del azimut correspondientes para cada árbol. En un procedimiento más simple, se puede identificar la posición de los árboles trazando una línea central por la superficie de la parcela rectangular. Esa línea estará identificada por una cinta métrica o huincha, de tal forma que su longitud deberá corresponder al rumbo o azimut de la parcela. De esa línea divisoria, se tendrán los árboles localizados a su derecha o izquierda. Tomando las medidas de distancia sobre la línea y transversales de la línea central, se obtendrá la posición topográfica del árbol, vale decir se tendrá su ubicación definida por los metros sobre la línea y la correspondiente distancia transversal en metros, conforme se muestra en la Figura 11.

Este procedimiento puede ser fácilmente estructurado en la planilla de cálculo MS-Excel.

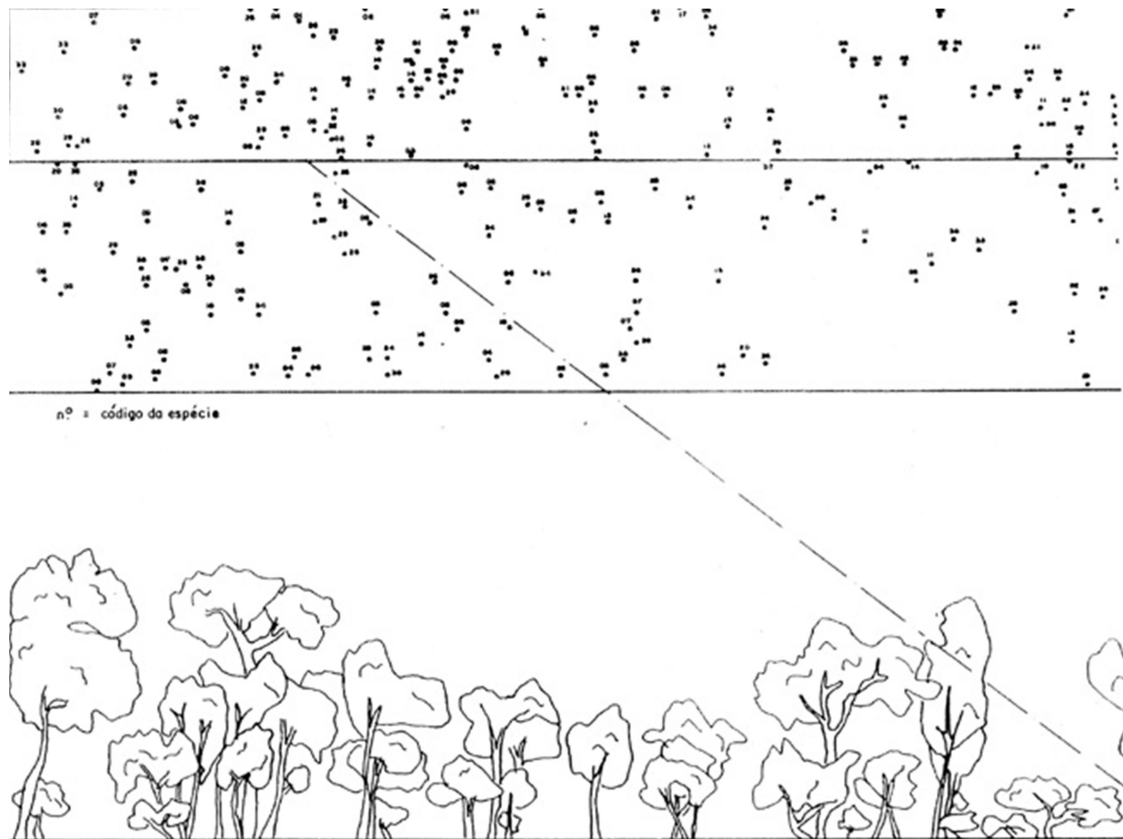


Figura 11. Croquis de localización de los árboles

Del vértice de la parcela rectangular, como del centro de la parcela circular, la localización de los árboles debe seguir procedimientos que permitan la exacta reubicación posterior de los árboles respectivos, utilizando correspondientes coordenadas polares.

Dentro de cada parcela se deben medir todos los individuos arbóreos definidos en la planificación del inventario. Por ejemplo, se solicita medir todos los arboles con *DAP* igual o mayores a 30 cm. También conforme definición constante en la planificación del inventario, en todos los individuos arbóreos se deberán medir la altura total del árbol y la altura comercial del tronco. En otro caso se podrá solicitar el *DAP* de todos los individuos arbóreos y la altura total de los 10 árboles más gruesos de la parcela que permitirán identificar correspondientes curvas o índices de sitio. También será necesario, en la planificación del inventario, estar muy bien definido los instrumentos que

serán utilizados, así como el propio procedimiento de uso de esos instrumentos.

## 2.5 SUB PARCELAS

Las sub parcelas, muchas veces llamadas también de parcelas anidadas, corresponden a las sub unidades de una parcela primaria, que en este caso se la llamará de parcela principal. Las sub parcelas son consideradas en los respectivos cálculos como unidades individuales e independientes del muestreo. Dependerá del tamaño y formato de la parcela principal para dividir ésta en sub unidades, que podrán estar diseñadas en el mismo formato de la parcela primaria en un tamaño bastante menor, o bien se estructuran formas simples de uso como franjas o corredores que acompañan los bordes de la parcela primaria.

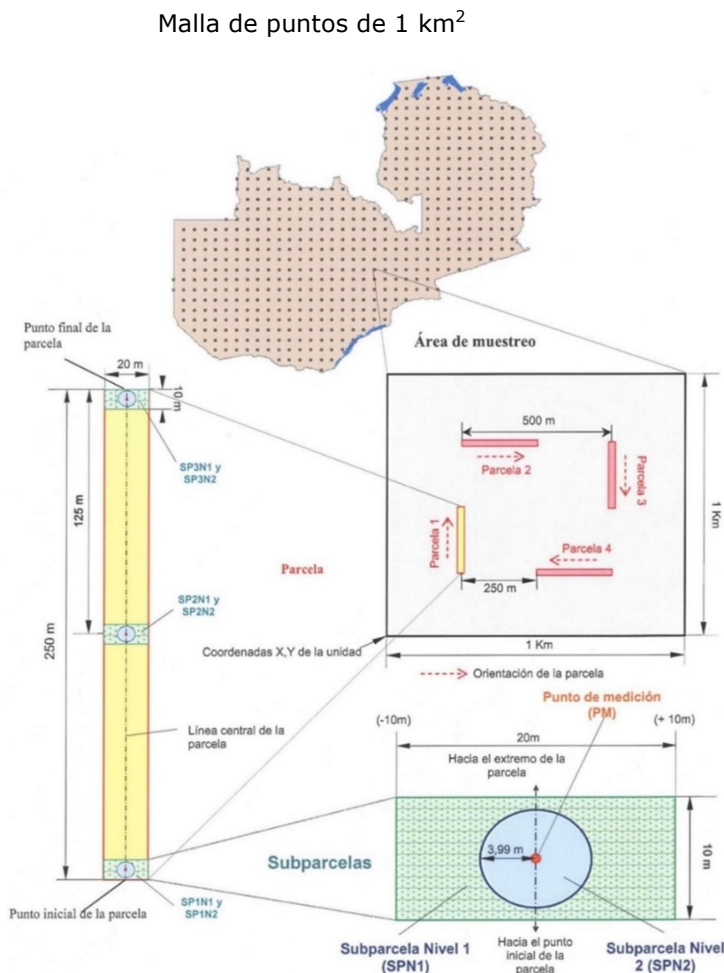


Figura 12. Esquema de parcelas y sub parcelas utilizadas en el inventario forestal nacional de Guatemala  
Fuente: FAO, 2004 (p. 8)



Las sub parcelas normalmente se destinan para interpretar especificidades de la regeneración o sucesión natural de la masa boscosa, o bien de alguna característica o producto específico del bosque. Características pedológicas, estado fitosanitario, la mortalidad y el establecimiento de especies, constituyen importantes decisiones que son normalmente analizadas por sub parcelas. La biomasa terrestre, análisis del suelo, las características de la capa de humus, vegetación herbácea y sub arbustiva, la funcionalidad ecológica de las especies, situación y dinámica del crecimiento de una específica especie, entre otros asuntos, solo podrán ser analizados con correspondientes muestreos en sub parcelas.

La concepción del establecimiento de las sub parcelas en los inventarios forestales no siguen y no deben ser confundidos con los principios del delineamiento de las parcelas sub-divididas en el análisis matemático estadístico de la metodología de investigación de experimentos. Normalmente el tamaño de una sub parcela en los inventarios forestales puede cubrir superficies de 1 a 100 metros cuadrados, dependiendo de la variable a ser medida y del tipo de la cubierta vegetal. El número de individuos u objetos a ser medidos en estas sub parcelas pasa con facilidad de las centenas a los millares de datos pertinentes.

Si las parcelas principales fuesen cuadradas o rectangulares cubriendo una superficie de una hectárea (como ejemplo) se tendrán 100 sub parcelas de  $100 \text{ m}^2$  o 1.000 parcelas de  $10 \text{ m}^2$ . En ese sentido, normalmente se considera apenas una única sub parcela por parcela principal. Dependerá del diseño del muestreo si en todas las parcelas principales o solamente en un porcentaje de éstas, estarán localizadas las correspondientes sub parcelas.

Consecuentemente, supóngase una parcela rectangular de  $100 \text{ m}^2$  (50 x 20 m), en ella podrán existir 5 sub parcelas de  $20 \text{ m}^2$  (20 x 1 m), o 10 sub unidades de  $10 \text{ m}^2$  (10 x 1 m), o 100 de  $1 \text{ m}^2$  (1 x 1 m). En ese contexto en el Inventario Forestal Nacional de Guatemala (FAO, 2004) fueron usadas tres sub unidades rectangulares de  $200 \text{ m}^2$  y dentro de ellas una sub unidad circular de  $12,2 \text{ m}^2$  (radio de 3,99 m) por parcela respectivamente (Figura 12). Cuatro conjuntos de éstas unidades de medida, configuraron el correspondiente conglomerado.

La literatura registra una enorme gama de modelos de posición y localización de las sub parcelas en las parcelas principales. Existiendo varias

sub parcelas en la parcela principal, la sub parcela seleccionada no siempre sigue la recomendación de la aleatorización.

Por motivos prácticos y de disminución de costos, las sub parcelas suelen ser escogidas subjetivamente, vale decir en su localización específica, y sistemáticamente a cada  $x$  número de las parcelas principales. De cualquier forma, las sub parcelas que ingresen en los respectivos cálculos del inventario, deberán estar sistematizadas en su posición y correspondiente selección. En el ejemplo de la Figura 13, se muestra en forma hipotética la localización de algunas unidades muestrales que podrían permitir la obtención de una diversidad de datos asociados a los dasométricos. Fue imaginado en una parcela rectangular considerar un ancho de 5 metros a cada lado del acceso central, por la facilidad de control de las medidas en los árboles. El largo (longitud) de la parcela podrá estar establecido en función del interés de las mediciones dasométricas, así como la propia instalación de las sub parcelas.

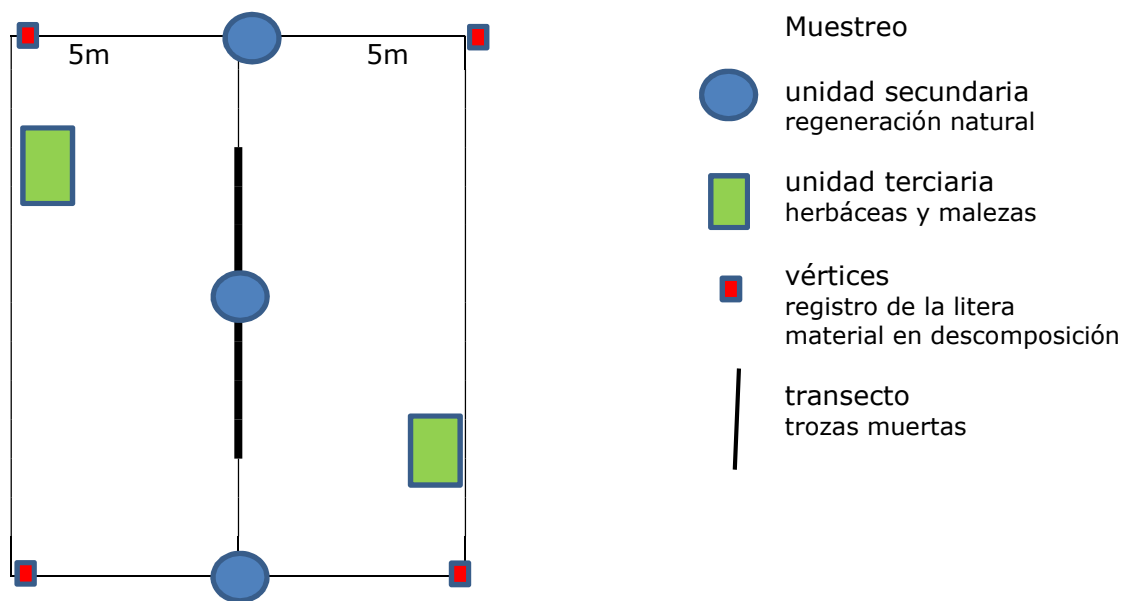


Figura 13. Ejemplo de un diseño de muestreo con diversas sub parcelas.

La mayoría de las variables de medida en las sub unidades normalmente se las deben tomar por clases, considerando el número de individuos o medidas por clase. Supóngase la necesidad de medir la altura de los *brinzales* y *latizales* arbóreos de la sucesión natural. En ese caso, como ejemplo, las clases que podrán ser consideradas serían: clase 1: hasta 30 cm de altura, clase 2: de 31 a 50 cm de altura, clase 3: de 51 cm a 1 metro de altura, clase 4: más de 1 metro de altura con diámetro inferior al mínimo exigido. En ese

sentido, en las sub parcelas se estará trabajando casi que exclusivamente con variables discretas.

*Brinzales* son los individuos arbóreos que se encuentran en la fase inicial de crecimiento alcanzando alturas hasta 30 o 50 cm. *Latizales* son especímenes arbóreos que tienen alturas mayores a lo establecido para los brinzales con diámetros a la altura del pecho, inferiores al mínimo establecido (normalmente 10 cm). *Fustal* es el individuo arbóreo con *DAP* mayor al establecido, sin embargo, menor a 20 cm (real diámetro de aprovechamiento establecido). *Árbol* se denominará al individuo con *DAP* mayor al mínimo exigido, en este caso de 20 cm.

### **3. PLANIFICACIÓN DE UN INVENTARIO FORESTAL**

El inventario forestal como cualquier otra actividad de desarrollo económico, precisa atender a rígidos criterios de acciones ordenadas para su correcta ejecución, y su respectivo costo quede estrictamente encuadrado en el presupuesto pertinente. En esas acciones se deben mantener una secuencia cronológica de actividades de gabinete así como también las de campo, siguiendo una coherente y estricta programación de desarrollo, previamente elaborada.

Para llegar al propio diseño estadístico y correspondiente ejecución de campo, se debe considerar en primer lugar, la definición exacta de los objetivos del porqué realizar un inventario. Consecuentemente en función del objetivo se dará inicio a la programación pertinente.

En términos generales, una programación para una coherente planificación de un inventario forestal, debe inicialmente especificar con el debido detalle el objetivo de los levantamientos pertinentes. Una bien estructurada programación debe constar de los siguientes ítems secuenciales (Kleinn, 2015; Matthews & Mackie, 2007; Lanly, 1974; Husch, 1971):

- 1) Disponibilidad real de tiempo y de fondos económicos. Especialmente la parte presupuestaria asegurará la realización completa del inventario. Es posible encontrar casos que un perfecto diseño de muestreo no pueda ser realizado por falta de recursos financieros. Como consecuencia entrará en juego la precisión requerida.
- 2) Descripción del área a ser inventariada. Se hace necesario en esta fase efectuar una completa recopilación informativa del área que será ejecutada. Será posible encontrar en esta fase, relatorios técnicos, mapas y documentos de relación que nunca fueron publicados, que ciertamente podrán dar un soporte consistente para el conocimiento del área del inventario.
- 3) Elaboración detallada de un correspondiente guía o manual de campo (Serviço Florestal Brasileiro, 2017; Costa Rica, 2014; FAO, 2004).
- 4) Confiabilidad de los trabajos de gabinete y de las operaciones de campo. La elaboración del diseño del muestreo, la confección de material

cartográfico y mapas temáticos, las actividades de secretariado, el procesamiento e interpretación de los datos de campo y la estructuración de relatorios, hacen parte de las actividades a ser desarrolladas en gabinete. Para las operaciones de campo, se debe contar con personal que con evidencia conozca botánicamente las especies, principalmente arbóreas, y disponer de mensuradores dispuestos a trabajar en el campo. Seleccionar quienes harán parte de los equipos de campo asegura anticipadamente el éxito que se espera de las mediciones de las variables de medida definidas.

Equipos de trabajo formados por tres personas son más eficientes que aquellos formados por dos o cinco personas. La formación de los equipos dependerá de la cantidad y calidad de las variables dasométricas que se pretenden medir. En rodales de plantaciones, un equipo formado por tres personas debe conseguir medir entre 6 y 10 parcelas/día, dependiendo del tamaño de la parcela y de su distribución. En bosques nativos densos el rendimiento efectivo se reduce a una o dos parcelas de  $\frac{1}{4}$  ha por día. De cualquier forma una parcela no podrá ser medida parcialmente, o en más de un día. Existiendo la necesidad, la parcela deberá ser sub dividida en bloques de medición, siendo que un bloque deberá ser medido necesariamente en un día. Dependiendo del sistema de distribución de las parcelas y de las características del local se deben considerar dos a tres tipos diferentes de equipos de campo: aquellos que irán a localizar y estaquear las parcelas, el equipo de mensura y en muchos casos el equipo de control.

- 5) Disponibilidad del instrumental a ser usado en las acciones de gabinete y de campo. Además, en cuanto dure el inventario se debe contar con una sala o local específico de trabajo, montada con el material y equipo necesario con piezas sobre salientes, para las diversas actividades que viniesen a ser desarrolladas.
- 6) Implementación del diseño de la parcela y del muestreo que deben atender plenamente a los objetivos establecidos. Las parcelas de campo deberán ser instaladas siguiendo rigurosamente el detallamiento explícito en la planificación del inventario constante en el correspondiente manual de campo. Dependiendo de los objetivos del inventario y del diseño del muestreo, los formularios de campo deben tener condiciones de acopio de informaciones adicionales, como, por ejemplo: ancho y calidad de los

caminos de acceso, presencia de sub productos como los PFNM, características de los posibles servicios ambientales, etc.

- 7) Apoyo logístico. En este ítem deben estar considerados el correspondiente transporte terrestre y/o fluvial de los equipos o cuadrillas de campo. Dependiendo de la distancia de un centro urbano a las áreas a ser inventariadas, la instalación de un pertinente acampamento base con personal de apoyo, se hará necesario. Muchas veces se deberá considerar personal de apoyo para la abertura de picadas y transporte fluvial, así como ayudantes o auxiliares de campo para tomar y transportar muestras de madera, suelos, excicatas, etc.
- 8) Asegurar la forma de registro y la tomada de datos de campo. Se debe especificar como deben ser rellenados los campos solicitados en los formularios, sean estos impresos o digitales. Asegurar la confiabilidad en el uso seguro del equipamiento y sistema a ser empleado. Para el uso de equipos digitales será necesario contar con piezas sobre salientes y complementos adicionales como baterías.
- 9) Para el procesamiento de los datos de campo, se debe considerar y verificar frecuentemente el correspondiente sistema de transferencia de los datos de campo a los programas de cálculo correspondientes. Caso los datos fuesen transferidos via redes de comunicación digital, verificar seguidamente el recibimiento correspondiente.
- 10) Informe final. La presentación del documento final debe reflejar con claridad todas las actividades desarrolladas, y presentar en forma clara y coherente todos los resultados solicitados atendiendo rigurosamente a los objetivos pertinentes. En anexos podrán ser presentados resultados adicionales que no hacían parte del contrato del correspondiente inventario forestal.

Considerando situaciones especiales, como es en el caso de realizar un inventario forestal en nivel de pre-factibilidad industrial para una ordenada, sostenible y permanente extracción maderera, la planificación del inventario pertinente debe considerar en su planificación el mayor vínculo posible entre las actividades del propio inventario, normas y exigencias de la posible extracción maderera y futuro esquema de ordenación y manejo forestal.

En ese contexto será necesario señalar las ventajas operacionales y económicas de la relación del inventario con la extracción maderera. Estimaciones de variables dasométricas desde el inventario podrán mostrar la futura extracción, considerando inclusive la probable transformación de la materia prima pertinente. Los resultados de esos inventarios de gestión permitirán inclusive dimensionar el equipo necesario para la extracción maderera y el tamaño de la propia planta industrial.

Otro resultado importante será identificar los posibles factores de riesgo silvicultural, ecológico en el proceso de extracción, y sobre todo se podrá mostrar la relación del volumen de madera a ser extraído con el volumen de madera en pie que se deberá dejar para los correspondientes planos de ordenación y manejo sostenido. Además de la información volumétrica de la madera será sumamente importante identificar la accesibilidad a las áreas de extracción.

Hoy en día los resultados de inventarios forestales realizados en extensas áreas arboladas, incluirán en sus resultados el análisis de relaciones ecológicas y/o socio ambientales con los bosques inventariados así como la indicación de los servicios eco sistémicos ambientales encontrados.

Para la realización de complejos inventarios forestales de extensas áreas, se recomienda el uso de programas organización de actividades, entre estos puede ser el de las técnicas PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) CPM (*Critical Path Method*). PERT es el cálculo que se realiza a partir de la media ponderada de 3 posibles duraciones (optimista, bastante probable y pesimista) de una determinada actividad. CPM es el método de análisis del camino crítico secuencial de las actividades involucradas. Clasificando estas técnicas en función del tratamiento, la red PERT es probabilística y el método CPM es determinístico. Ejemplo de una red PERT para un inventario forestal, se encuentra en Imaña y Deusdará Filho (1989). En la concepción moderna de la relación de los datos de campo con variables ambientales se recomienda el acompañamiento y estructuración de actividades de acuerdo con las recomendaciones establecidas por FAO (2017) en el guía de monitoreo de recursos forestales sobre todo de extensas áreas arboladas.

### **3.1 LA TELEDETECCIÓN**

Se define a la teledetección como la técnica de observación remota de la superficie terrestre y de la atmósfera que la envuelve, utilizando sensores capaces de captar la radiación electro-magnética, reflejada o emitida. Incluye el proceso de análisis de los datos para su posterior transformación en magnitudes físicas. En otras palabras, es la técnica de obtener información a distancia de un objeto terrestre. El procedimiento de la teledetección se resume en el siguiente encaminamiento: la energía solar es emitida para la superficie terrestre y es por esa superficie que es reflejada para la atmósfera, donde es captada por satélites específicos. Esa información electro-magnética, captada por los satélites, es retransmitida a centros específicos de captación de datos. En esos centros se procede al tratamiento de las imágenes satelitales que posteriormente es difundida y colocada a disposición para la sociedad civil (usuario). Paralelamente esos centros también realizan el análisis digital del material satelital produciendo salidas gráficas y digitales, de interés a pedido del usuario. Hoy en día la teledetección se transformó en una importante y actualizada especialidad profesional, donde el flujo de información y adelantos tecnológicos, hacen un atractivo y dinámico uso profesional. En ese contexto los inventarios forestales concentran abundante información satelital produciendo un elevado conjunto de informaciones que van evolucionando con el propio desarrollo de programas pertinentes y el ofrecimiento de una enorme y actualizada gama de informaciones.

Con el lanzamiento del primer satélite comercial LANDSAT-1 (USA) en el año 1972, la comunidad científica y la sociedad civil empezaron a beneficiarse de las imágenes que ofrecían observación periódica y de amplia perspectiva de la superficie terrestre y sus recursos, además de los impactos de las actividades humanas sobre esas áreas. Desde entonces, las imágenes satelitales se han convertido en una fuente valiosa de información para los inventarios de los recursos naturales, monitoreo y gestión del medio ambiente, agricultura, infraestructuras, ofreciendo además respuestas rápidas a desastres ecológicos.

En síntesis, el análisis digital de las imágenes digitales posibilitó en los últimos años un enorme desarrollo de las técnicas orientadas al análisis de datos multidimensionales, adquiridos por diversos tipos de sensores. A esas técnicas se las conoce como procesamiento digital de imágenes, que se refiere a la manipulación de una imagen por medio de programas computacionales, de modo a que la entrada y salida del proceso son imágenes satelitales. El



objetivo de usar el procesamiento digital de imágenes es el de mejorar el aspecto visual de ciertas características estructurales para el análisis humano y ofrecer otros subsidios para su interpretación, inclusive generando productos que puedan ser posteriormente submetidos a otros procesamientos computacionales.

El procesamiento digital de imágenes resulta pieza angular para los inventarios forestales de extensas áreas. El desarrollo tecnológico de esta área permitió crear para los inventarios forestales específicos algoritmos para la interpretación de señales bidimensionales, permitiendo un sin número de aplicaciones relacionadas con los productos del bosque y sus interacciones ecológico ambientales. Las imágenes multiespectrales registradas por satélites como Landsat, SPOT, ERSI, NOAA y otros, demostraron ser de importante aplicación en la investigación e interpretación de los recursos naturales de las áreas arboladas inventariadas. La obtención de las informaciones espectrales registradas por los sistemas en las diferentes partes del espectro electromagnético, objetivando la identificación y discriminación de los alvos de interés, depende principalmente de la calidad de la representación de los datos contenidos en las propias imágenes.

Las técnicas del procesamiento digital de imágenes pueden ser clasificadas en tres fases (Chuvienco, 2008; Koch, s/a) bien diferenciadas e independientes: 1) el pre procesamiento, que se refiere a los procedimientos iniciales de los datos brutos para la correspondiente calibración radiométrica de la imagen, corrección de las distorsiones geométricas y la eliminación de ruidos. 2) El realce, que se orienta a mejorar el contraste de los objetos de la imagen satelital, efectuando correspondientes procesos de filtrado y operaciones aritméticas. Mejora la calidad de la imagen sobre criterios subjetivos del ojo humano. El contraste consiste en la transferencia radiométrica en cada pixel con el objetivo de mejorar la discriminación visual entre los objetos presentes en la imagen. 3) La clasificación, que trata de las técnicas de la clasificación supervisada de los correspondientes pixel y de la clasificación no supervisada realizada por regiones.

Adicional al desarrollo de nuevos sensores digitales con capacidad de adquisición de imágenes en diversos rangos del espectro electromagnético, hoy en día es posible obtener imágenes de pequeñísimos tamaños en pixel con infinidad de bandas que han permitido realizar trabajos científicos y cartográficos a escalas muy grandes. Además de lograr el dominio de la técnica de la generación de imágenes de radar, con la posibilidad de obtener

información de coberturas vegetales y características fenológicas que se fundamentan en el cálculo e interpretación de áreas de cobertura vegetal nublada, se puede inferir que la evolución de los sensores remotos aún tendrán fuerte influencia en el actual y futuro desarrollo tecnológico. Paralelamente los diseños de los inventarios forestales específicamente de extensas áreas, necesariamente deberán acompañar a esos nuevos procedimientos tecnológicos.

La frecuencia con la que las imágenes son tomadas, hace que sea posible contar con una continua y constante información de un determinado punto terrestre, en períodos razonables (de un día a varios días, dependiendo del sensor y su resolución espacial). Existen imágenes en varias escalas de resolución que pueden ser fácilmente adquiridas: como las imágenes *MSG-1* que tienen una cobertura de 1 x 1 km, imágenes *Modis* (0,5 x 0,5 km), imágenes *Landsat TM* (30 x 30 m), imágenes *Ikonos* (1 x 1 m), imágenes *WorldView3* (0,3 x 0,3 m). La existencia de diversas imágenes con iguales características de observación, y de diferentes años, permite realizar lo que se conoce como análisis multi-temporales, importantes en los monitoreos forestales, por permitir identificar los cambios que puedan ocurrir en las masas arboladas en observación. Las resoluciones del producto satelital pueden ser espaciales, espectrales, temporales y radiométricas. En estos y otros asuntos de la teledetección, la literatura registra una infinidad de informaciones, tanto puntales como libros textos (Chuvieco, 2008; Koch, s/a).

Para los inventarios forestales, el producto principal de la teledetección con base en la utilización de las imágenes satelitales, está en la determinación de las superficies arboladas y la relación con las variables ecológicas en los límites establecidos por la planificación del correspondiente inventario. Los diferentes y variados tipos de bosques o cubiertas arboladas y comunidades vegetales son fácilmente delimitados y correctamente identificados a nivel de interpretación visual de imágenes realizadas, utilizando hoy en día programas computacionales como el *ArcView* y *GIS*. A través de esos programas se incorpora en la interpretación de las imágenes, sus correspondientes colores y texturas, así como el contexto biofísico y otros datos de interés específicos.

## **3.2 BASE CARTOGRÁFICA, MAPAS TEMÁTICOS**

El primer trabajo de apoyo logístico, a ser realizado en la planificación de un inventario forestal, consiste en obtener una coherente base cartográfica, vale decir, tener en manos o en pantalla de la computadora el mapa u hoja cartográfica donde serán ubicadas las correspondientes parcelas o unidades de muestreo en correspondiente malla de puntos. Para esa fase, la unidad de muestra ya debe estar definida y sobre esa base, el modelo del inventario decidirá la correspondiente distribución de las parcelas del muestreo.

La base cartográfica puede ser elaborada sobre diversos mapas existentes de la región, o bien de actualizado material satelital. Hoy en día, en función de la teledetección, los mapas bases están compuestos casi que exclusivamente por material satelital muy actualizado.

Una vez identificada en la hoja o base cartográfica la superficie boscosa que será inventariada, si fuese posible, se recomienda proceder con una visita al local del inventario para corroborar algunas informaciones y características específicas de campo que puedan ser visibles en los mapas pertinentes.

La determinación de la escala de los mapas dependerá básicamente de la superficie del macizo arbolado, que será inventariado, así como del detalle de los objetivos propuestos. Para extensiones menores a cinco mil hectáreas era recomendado utilizar escalas de 1:10.000. Para superficies de 5 a diez mil hectáreas la escala de 1:20.000. Para superficies mayores a 100.000 ha la escala deberá ser de 1:100.000. Actualmente cuando se producen mapas temáticos por la teledetección, la escala dejó de ser considerada como elemento de aproximación y de relación de distancias.

Es común, que para el área a ser inventariada, encontrar escaso material cartográfico, o bien el material cartográfico existente cubra apenas una parte de la superficie total o esté desactualizado. En ese sentido, hoy en día, la preparación de la base cartográfica obtenida del material satelital facilita enormemente la planificación del inventario.

El mapa base procesado hoy en día por programas SIG e imágenes de satélite, que también se los denomina de mapa índice, es la principal herramienta que permitirá la ubicación en el campo de las parcelas de trabajo por la correspondiente malla de puntos. Los mapas bases permiten mostrar características intrínsecas del área a ser inventariada, y en ese sentido se

adquiere un primer conocimiento preliminar de algunas variables cualitativas y cuantitativas, así como una primera interpretación de los recursos forestales y sus relaciones funcionales.

La estructuración y gestión de los bancos de datos se desarrollan normalmente en forma paralela a la definición de la base cartográfica o satelital. Entre los bancos de datos, tres de ellos configuran los principales: 1) los datos obtenidos por la teledetección (que pueden ser administrados por específicos programas computacionales, como el Erdas-Imagine), 2) datos cartográficos digitales - SIG (que muestran las coberturas topográficas y forestales, que podrían ser provablemente administradas por los programas ArcInfo, Access y dBase), y 3) los datos de campo de las variables medidas (que pueden ser administradas por los programas Access y dBase entre otros que actualmente existen en el mercado).

Imágenes satelitales complementan siempre la base cartográfica, digitalizando diversos mapas temáticos de específico interés del inventario que será desarrollado. Los mapas temáticos, en términos generales, son elaborados para mostrar específicos aspectos de la superficie terrestre además de ofrecer informaciones en relación a la orientación y sobre diversos aspectos físicos, económicos, sociales y culturales de la región correspondiente. En ese contexto, los principales mapas temáticos para los inventarios forestales, son el físico, el de la cubierta vegetal y el político. Se define como *mapa temático* al producto que hace especial referencia a la representación de la variable terrestre escogida. Para los inventarios forestales interesan variables vinculadas con la vegetación, suelo y geología, fundamentalmente. Para la representación gráfica de fenómenos espaciales y sus relaciones en todo lo que afecte al espacio geográfico y numérica de las variables, los mapas temáticos utilizan una leyenda y todo tipo de recursos visuales como símbolos y colores.

Dependiendo del recurso o variable definida, el mapa temático podrá mostrar un único resultado o un conjunto de resultados. Observando la superficie terrestre, podrán existir en un nivel macro: mapas temáticos de la vegetación, del suelo, higrografía, orografía, uso del suelo, etc. De las mismas imágenes de satélite se podrán también definir la elaboración de mapas temáticos especiales, en un nivel de mayor detalle, como por ejemplo, tipos de cobertura arborea, clasificación de suelos y cultivos, clases de cursos de agua, declive e inclinaciones del terreno, propiedad y ocupación de la tierra, etc. Todos esos mapas estarán clasificados como mapas temáticos

cualitativos. Los cuantitativos serán aquellos en los cuales se introducen figuras y gráficos numéricos.

En términos generales, existen dos categorías de mapas temáticos: una que corresponde a las características del área, tal cual se presentan en el momento de la pertinente interpretación. En estos mapas se tiene por ejemplo el estado actual de la cobertura arborea, su fisionomía y estructura vegetal correspondiente. Una otra categoría de mapas se refiere al potencial de cambio del recurso observado, que podrá existir en determinado periodo pre establecido. Estos mapas son frecuentemente usados en los planes de manejo y decisiones de pre factibilidad económica para el proceso de explotación del área inventariada. En síntesis, se puede afirmar que existen mapas temáticos para la toma de decisiones y mapas temáticos para la ejecución de los planes de manejo.

La elección de los mapas temáticos dependerá consecuentemente del nivel del inventario y de los objetivos establecidos. Todo mapa temático debe mostrar fielmente la escala de reducción, con la finalidad de mantener la real proporción del parámetro a ser mostrado.

Otro aspecto que está en actual proceso de dinámico desarrollo es lo que se conoce en el mercado como Sistema Lidar. El sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*) es una tecnología que permite la obtención de informaciones tridimensionales de la superficie terrestre con alta precisión. Esta tecnología permite coleccionar datos muy precisos y con una mayor velocidad, cuando comparada con otras tecnologías. Combina en una plataforma aerotransportada, el sistema de navegación global por satélites (*GNSS - Global Navigation Satellite Systems*) que determina la posición de la aeronave y el sistema de navegación inercial (*INS - Inertial Navigation System*) que determina los ángulos de altitud de la aeronave, posibilitando el cálculo de la distancia entre el sensor y el alvo situado en la superficie terrestre (Lefsky *et al*, 2001; 2002; Popescu *et al*, 2011).

El LIDAR es en sí un sensor remoto activo que posee la capacidad de coleccionar una enorme cantidad de informaciones del terreno y de los demás objetos presentes. Por ser un sensor activo, el mismo no sufre interferencia por la falta de iluminación. El principio de funcionamiento se fundamenta en la emisión de pulsos láser y la medida del tiempo que tarda dicho punto en llegar a la superficie y retornar al avión.

El uso de la tecnología LIDAR actualmente es frecuente en la ejecución de los inventarios forestales de extensas áreas, por la ventaja de obtener una gran cantidad de informaciones generadas por el sensor, por la elevada precisión y por la velocidad de obtención de los datos. La desventaja actual está en el elevado costo de adquisición de esa tecnología.

En los contextos enunciados, actualmente para la región de los trópicos, se continua a desarrollar intensamente diversos estudios involucrando la teledetección via satélite con énfasis en la evaluación de los recursos naturales, donde se incluyen específicamente los forestales, sobre todo relacionados con la biodiversidad, estructuras vegetales y cambios en la composición y diversidad de las especies.

Los métodos tradicionales diseñados en 1972 por el ecologista R. H. Whittaker permiten evaluar la biodiversidad a escalas local y regional a través de la riqueza de las especies locales, lo que se denomina en la literatura de diversidad alfa, y la renovación de las especies entre hábitats corresponde a la diversidad beta. Mediante una combinación de estas dos mediciones por los sistemas de sensores remotos (SRS) es posible obtener cálculos precisos de la biodiversidad y los cambios medio-ambientales pertinentes. En ese sentido aún existe un enorme potencial de realización de estudios y creación de tecnologías a ser vinculadas con la teledetección y los inventarios forestales.

### **3.3 MANUAL DE CAMPO**

El Manual de Campo también es conocido como Guía o Manual de Instrucciones Operacionales. Se trata de un guía bastante explícito, que debe contener detalladamente todos los procedimientos de medición de las diversas variables dendro y dasométricas que deben ser consideradas en el correspondiente inventario (Costa Rica, 2014; Ramirez y Salgado, 2005; FAO, 2004; Kleinn *et al*, 2001; Imaña, 1981). El manual de campo es sin duda, una imprescindible herramienta para la correcta ejecución del inventario pertinente.

La filosofía del manual de campo consiste en elaborar una detallada secuencia de acciones principalmente de campo, para que cualquier miembro o participante del pertinente inventario, pueda seguir las orientaciones técnicas de todo el proceso, de como ubicar y demarcar las parcelas, medir los árboles, registrar la información recolectada insertada en los pertinentes formularios de campo o instrumentos de transmisión digital.

Los manuales de campo también podrán ser útiles para los administradores y/o personal involucrado con los resultados del correspondiente inventario realizado. Para muchos inventarios forestales integrados, estos documentos dan soporte de acciones de desarrollo de los recursos que pudiesen ser considerados. Además de la descripción de como utilizar los instrumentos de medición de las variables establecidas, el documento debe especificar claramente la ubicación y demarcación de las parcelas y en muchos casos de los árboles que serán medidos, así como el correspondiente registro de informaciones de la parcela (FAO, 2004). En los manuales de campo también deben estar especificados el detallamiento de los formularios de campo, sea en papel o electrónicos para las parcelas primarias, sub parcelas, levantamientos diagnósticos (como los PFMN, servicios ambientales, etc., atendiendo a un específico objetivo) y el de la regeneración natural.

Por una clara descripción del método del muestreo a ser usado, cualquier miembro del equipo del inventario así como cualquier persona por parte de los gestores de ese inventario, deberán estar en condiciones plenas de entender la selección coherente de la fracción de la respectiva población, que será estimada. Si el principio de medición en las parcelas demostrase la transparencia de la posible variabilidad de todas las características mensurables, las estimaciones serán dignas de confianza y aceptables a los inherentes objetivos del inventario en cuestión.

Siguiendo las instrucciones del manual de campo se podrán procesar las informaciones recolectadas exactamente de acuerdo a la planificación específica definida. En caso de duda, de como medir o determinar cierta variable, el Manual de Campo debe mostrar como solucionar en forma muy clara la duda que por ventura pueda surgir durante los trabajos de campo. Como ejemplo, el mensurador está al frente de un tronco de un árbol con dos o más bifurcaciones. Se pregunta: se debe medir el diámetro de todas las bifurcaciones y posteriormente calcular el valor medio de las mediciones? o será suficiente medir apenas la bifurcación más gruesa? La respuesta correspondiente, deberá estar inserida en el Manual de Campo, de tal forma que cualquier mensurador realizará siempre y sin margen de duda el procedimiento de medida que ficará establecido para el correspondiente inventario forestal.

Otra situación peculiar se puede presentar en los límites de la parcela, cuando la base del tronco está dentro de la parcela, sin embargo con el crecimiento inclinado el punto de medida del DAP está fuera de la parcela. Como se deberá proceder en esas situaciones? En terrenos inclinados como será medido el correspondiente diámetro? Para todas esas situaciones, el Manual de Campo se consolida como documento imprescindible en la ejecución del inventario, que evitará cometer errores de medición y correspondiente toma de datos, específicamente en la localización y delimitación de las parcelas de medición, en la determinación y medición de las variables de interés y del correspondiente registro de los datos a ser procesados.

El contenido de un manual de campo o de instrucciones operacionales debe especificar básicamente las siguientes informaciones: 1) objetivos del inventario; 2) diseño del inventario especificando los detalles de las unidades de muestreo o parcelas de mensuración, 3) organización de los equipos de gabinete y de campo considerando el correspondiente apoyo logístico para la instalación de acampamentos y movilidad del personal de campo, 4) detallamiento de los procedimientos en la localización y desplazamiento a las unidades de medición y correspondiente comportamiento en la obtención de los datos de campo, 5) procedimientos de control, 6) anexos relativos a las tablas y llaves de codificación a ser usadas, lista minuciosa de los equipos e instrumentos, y 7) croquis de la ubicación de las unidades de medida con los correspondientes puntos de referencia. Como ejemplo se cita un modelo recomendado por FAO (2004).

### **3.4 COSTOS**

Elaborado el detalle de la planificación del inventario, todas sus fases y acciones pertinentes deberán estar claramente descritas y justificadas en correspondientes planillas económicas que permitan calcular de forma clara y transparente, todos los costos inherentes. En forma resumida y como primera aproximación, para la ejecución en campo, se puede expresar el correspondiente presupuesto ( $P$ ), calculado por la expresión:

$$P = C_F + C_V \cdot n_i$$

teniendo en cuenta un costo fijo total ( $C_F$ ) para la fase correspondiente, y costos variables ( $C_V$ ) por unidad de muestra ( $n$ ).



En relación a los costos de la parcela, las diversas actividades inherentes en los inventarios forestales deben ser consideradas con el mismo tratamiento que en cualquier otra actividad económica. Con la finalidad de poder obtener el costo por parcela se hace necesario incluir los saláridos del pessoal, instrumental necesario a ser utilizado y los costos de administración, todos estos considerados como costos fijos. Los costos variables serán básicamente aquellos formados por los costos de transporte y de la correspondiente manutención de los equipos de trabajo durante las actividades de campo.

Conociendo el número de parcelas que serán inventariadas, los costos fijos pueden ser fácilmente determinados. Dependerá básicamente de la distancia entre una parcela y otra y del sistema de locomoción o transporte de los equipos de campo, para que los costos variables puedan ser calculados.

Considerando el número de personas involucradas en todo el proceso del inventario, se debe identificar el personal que estará dedicado en actividades de gabinete, un otro grupo que será el personal de campo y un tercer grupo que estará constituido por el personal de apoyo logístico. El personal de campo se refiere a los equipos o grupos de trabajo que irán a realizar las mediciones de las variables solicitadas. Personal de apoyo logístico se refiere a las personas que ocasionalmente serán contratadas en las propias regiones donde se realizará el inventario, como abridor de trochas o senderos, materos concedores de la vegetación, barqueros, etc. Una forma segura y eficiente de identificación de los costos fijos está en la posibilidad de determinar en que tiempo cada una de las actividades se pueda desarrollar. En ese sentido se podrá calcular el costo de hombre/día y el correspondiente costo diario de la actividad inherente, así como el rendimiento operacional correspondiente. Una herramienta muy útil para la organización de las diversas actividades que constituirán el inventario, está en el uso de las planillas del programa CPM (*critical path method*), que permite visualizar la distribución de hombres/hora por actividad. Dividiendo un salario hipotético de específica especialidad, por el número de horas ocupadas en el mes, se obtiene el coeficiente hombre/hora.

### **3.5 MEMORIA DESCRIPTIVA**

La memoria descriptiva de los resultados de un inventario forestal, se refieren específicamente al correcto entendimiento de algunos de los resultados obtenidos. Principalmente los *mapas forestales* acompañarán de una descripción detallada de su contenido, de tal forma que cualquier usuario

esté en condiciones plenas de entender claramente la información que se pretende mostrar.

Consecuentemente, la memoria descriptiva no considera el correspondiente detallamiento del proceso metodológico empleado, ni sus cálculos matemáticos o pertinente interpretación de los diversos parámetros que fueron incluidos en la planificación del inventario. Todas esas informaciones harán parte de un relatorio o documento específico, que normalmente es de propiedad exclusiva del solicitante, persona física o jurídica, que firmó el correspondiente contrato de servicios para la ejecución del inventario.

En ese sentido, solo algunos resultados específicos, establecidos en la planificación del inventario, tendrán su correspondiente memoria descriptiva. Se cita como ejemplo la memoria descriptiva del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal de Perú (Perú, 2015) realizado por el inventario forestal nacional de ese país.

## **4. CARACTERÍSTICAS DEL MUESTREO**

Para atender los objetivos de los inventarios forestales, en el muestreo probabilístico se hará necesario la aplicación de parcelas de muestreo que permitan interpretar correctamente los asuntos y situaciones específicas del bosque y de sus recursos, requeridos en la planificación del inventario correspondiente. A través del muestreo probabilístico: la evaluación de los recursos forestales existentes en una determinada superficie, la estimación de la proporción de áreas que ocupan las formaciones o comunidades arboladas, los cambios por el efecto del crecimiento, la determinación de las existencias de productos e sub productos forestales, el cálculo del volumen de madera, el estado fitosanitario del rodal o del bosque, etc. podrán ser eficientemente interpretadas. En otras actividades y decisiones de la ingeniería forestal, el muestreo probabilístico se hace también presente, al estimar el peso específico de la madera, en la determinación de la calidad y cantidad de las semillas con poder de germinación y en muchos otros procesos. El muestreo probabilístico ofrece por tanto amplias condiciones satisfactorias de obtener resultados coherentes, que permiten poderlos interpretar, estimarlos y extrapolarlos para el total de la población en observación.

Inventarios forestales probabilísticos son aquellos que se fundamentan en el conocimiento de la probabilidad de la selección de sus unidades de muestra, relacionada a la equiprobabilidad, en que todas las parcelas pertenecientes a una población tengan la misma probabilidad de ser elegidas para componer el tamaño de la muestra. Sin embargo, en la realización de algunos inventarios forestales como en la estratificación de la población, también se presentan situaciones de poseer probabilidades desiguales. De cualquier forma, se recomienda establecer condiciones para que todas las posibles parcelas puedan tener la misma probabilidad de ser seleccionadas, para formar el correspondiente tamaño de la muestra ( $n$ ). En ese sentido los métodos basados en el muestreo probabilístico, en el fundamento de su diseño muestral, aseguran que existirán estimadores insesgados que permitan efectuar estimaciones insesgadas de los parámetros poblacionales de interés.

### **4.1 MUESTREO PROBABILÍSTICO**

En términos prácticos, considerando la teoría probabilística, los levantamientos forestales pueden ser clasificados en dos clásicos sistemas de muestreo: el aleatorio simple y el sistemático. En extensas áreas arboladas se podrá proceder con una estratificación de la superficie boscosa,

correspondiendo a una división de la superficie total por características de interés específico. En áreas estratificadas la distribución de las parcelas podrá ser tanto aleatoria como sistemática.

En el método probabilístico del 1) *muestreo aleatorio simple*, se asigna un número a cada parcela de la población, y a través de un proceso de selección aleatoria, cuyos números aleatorios, se los obtiene hoy en día de calculadoras científicas inclusive de teléfonos celulares, se eligen las parcelas, tantas cuantas necesarias, hasta completar el correspondiente tamaño muestral. La muestra es tomada aleatoriamente de la población de acuerdo a los requisitos de la propia aleatorización. En ese sentido cada unidad de muestra de la población tiene igual probabilidad de formar parte del tamaño muestral. Este procedimiento de muestreo, bastante sencillo y práctico, tiene muy poca aplicabilidad en poblaciones con un elevado número de  $n$ , como es el caso de extensas áreas boscosas. Su aplicación puede ser dada eficientemente en rodales de plantaciones industriales o superficies arboladas hasta unas 1000 hectáreas. Su deficiencia se concentra en que algunas de las parcelas sorteadas puedan estar muy próximas entre sí y de esa forma el resultado del cálculo de la variabilidad comprometería la correcta estimación pertinente.

En el proceso del 2) *muestreo sistemático sin estratificación*, también deben ser ennumeradas todas las parcelas de la población y en lugar de extraer directamente  $n$  muestras aleatorias, solo se extrae una de un primer grupo. Se parte de esa muestra  $n_i$  que fue elegida al azar para la selección de las próximas parcelas. Supóngase seleccionar una muestra entre las primeras 100 parcelas, de un total de 473 (Figura 10). Si el tamaño de la muestra  $n$  fuese igual a 15, estará la distribución de las parcelas estructurada por el factor de expansión ( $K$ ). El número  $i$  que se emplea en la fórmula será la muestra escogida entre 1 y  $K$ . Para áreas arboladas con pequeñas superficies, este procedimiento no se hace recomendable.

En el procedimiento del *muestreo sistemático estratificado* se separan consecuentemente grupos o áreas, denominadas de estratos. Estos deben ser diferentes entre sí, donde sus individuos poseen cierta homogeneidad respecto a alguna característica, como por ejemplo los sitios forestales, clases diamétricas o edad de la plantación. Cada grupo o estrato podrá ser analizado y calculado tanto por el muestreo aleatorio o por el modelo sistemático. El inventario sistemático está hoy en día bastante difundido, sobre todo para su aplicación en extensos bosques naturales heterogéneos. La desventaja de estos inventarios radica desde el punto de vista estadístico, que el error de

muestreo solo se lo podrá conocer cuando quede concluida la tomada de los datos de campo.

La distribución de la muestra en el muestreo sistemático estratificado se la denomina de afijación, que puede ser de *afijación simple* cuando el número de elementos muestrales es de igual tamaño, o de *afijación proporcional* cuando la distribución de las parcelas se las hace por el peso (tamaño) de la población en cada estrato, o por *afijación óptima* que considera la posible previsión de los resultados, siendo este último de muy poca aplicación práctica forestal, una vez que se hace necesario el conocimiento previo del correspondiente desvío de la población estratificada. El muestreo estratificado presenta excelentes resultados cuando la población dentro del estrato fuese lo más homogénea posible, y lo más heterogénea posible entre los estratos.

Resumidamente, se define a la estratificación como el procedimiento de subdividir la población en sub poblaciones e implementar un estudio de muestreo independiente en cada una de ellas. Finalmente se combinan las estimaciones procedentes de los muestreos de las sub poblaciones a una estimación que vale para toda la población a través de las reglas básicas de combinaciones lineales de variables aleatorias. Los datos observados en una clase o grupo, comparten características comunes que definen la categoría de la estratificación. Identifica por su vez que clases o tipos contribuyen eficientemente a la estimación final de los resultados de la población en observación. Otra característica de la estratificación es que facilita la búsqueda de la información deseada y en ese sentido se establece como correspondiente herramienta, que permite ahorrar tiempo y dinero en la ejecución del inventario. Por la estratificación, es posible identificar más claramente los errores pertinentes del muestreo. Estratégicamente, la estratificación permite delimitar áreas de mayor o menor interés para la estimación de las correspondientes estimaciones, además de poder dividir el total del área de los inventarios en tantas clases o sub áreas que podrían ser de interés pertinente.

El modelo que se establece con un *muestreo por parcelas conglomeradas*, se considera a la unidad muestral asociada a un grupo de elementos sin aleatorización, es decir según un padrón pre definido. En el modelo de estratificación haciendo uso de parcelas conglomeradas se debe presentar toda la variabilidad posible dentro del conglomerado. El modelo es recomendado para la ejecución de inventarios de extensas áreas, lo que en la literatura inglesa es denominada de *cluster sampling*. Los conglomerados forman consecuentemente las unidades primarias y los elementos que los

conforman son denominados de unidades secundarias, que podrán éstas inclusive dividirse en unidades terciarias, como es el caso de muchos de los inventarios forestales nacionales (Figuras 8 y 12). Las unidades primarias como las secundarias pueden tener cualquier forma y tamaño, siendo que las unidades primarias pueden estar constituidas por dos a más unidades secundarias. El modelo de muestreo podrá estar constituido de una, dos o más etapas. En una etapa es cuando se considera medir todas las unidades secundarias que poseen las unidades primarias. De dos etapas es cuando se miden restringidamente apenas una parte de las unidades secundarias.

Por cualquier modelo en que la cobertura boscosa fuese analizada, la evaluación de las características de las poblaciones dasométricas sobre los parámetros a la que inciden, será el natural resultado de un minucioso análisis de las pertinentes parcelas consideradas.

La forma de obtención de las parcelas, el proceso de retirar de ellas concretas evaluaciones individuales para una posterior estimación (generalización) de las poblaciones observadas, así como el proceso de proceder con el cálculo de los errores de muestreo, constituye por tanto el objetivo principal del análisis probabilístico de la teoría del muestreo.

Antes de estructurar un inventario o levantamiento por muestreo, se hace necesario haber analizado algunas características que permitiesen consolidar el método del muestreo escogido, asegurando así el mayor éxito posible en los resultados y evitando previsibles fracasos de operaciones inoportunas. Como requisitos de un eficiente muestreo se tiene que haber considerado el perfecto conocimiento y entendimiento de los objetivos a ser alcanzados por el inventario; haber definido claramente la población en cuestión de tal forma que se pueda decir sin ambigüedad, si un cierto dato o resultado podrá pertenecer o no a la población en estudio. Consecuentemente, la selección conciente del método de muestreo, la clara definición de la última unidad muestral y de la casualización de la correspondiente primera parcela conjuntamente con la indicación precisa de todas las variables que deben ser medidas, permitirá desarrollar fielmente la organización de los trabajos de gabinete y de campo, así como la ordenación y correspondientes tratamientos de los datos medidos.

Entre las principales razones en el empleo de las parcelas se tiene en primer lugar la reducción del tiempo y costos correspondientes, cuando comparados con la metodología del inventario de un supermercado. Las

limitaciones del cálculo del muestreo estarán principalmente concentradas en la precisión exigida, la cual depende en gran parte de su propio tamaño.

La eficiencia de una parcela, considerada desde el punto de vista del análisis estadístico, se fundamenta en los siguientes criterios:

- 1) la selección de la parcela, como ya fue indicado, deberá ser realizada de manera que cada una de ellas tenga la misma probabilidad entre todas ellas, de ser seleccionada;
- 2) deberá ser posible medir sin ambigüedad, la confiabilidad de las estimativas obtenidas de las parcelas, que permita la obtención de las estimativas de las características del rodal o bosque (existencias totales, volumen de madera, número de troncos defectuosos, etc.). La parcela consecuentemente deberá estar fundamentada para proporcionar al total de la población, correspondiente precisión de las estimativas consideradas;
- 3) el planteamiento del muestreo deberá contener acciones prácticas, simples y bien definidas para poderlas cumplir rigurosamente en la forma planificada.

La tipificación forestal (estratificación) en las diversas fito fisionomias y tipos de las comunidades vegetales arbóreas, naturalmente tendrán en función del objetivo establecido, mayor o menor interés en un inventario forestal local, regional o nacional. Entre tanto para los inventarios forestales de áreas hasta 50 - 100 hectáreas esa información es irrelevante. Un gran número de inventarios solicitará el conocimiento del volumen de madera por especie y sitio, y su correspondiente distribución diamétrica como objetivo específico primario.

Considerando lo establecido, el *tamaño muestral* será aquella que ingresará en el proceso de análisis, y el resultado de lo que se mida en las parcelas, posteriormente harán parte integrante del ofrecimiento de los parámetros y estimaciones pertinentes, requeridas en los objetivos correspondientes.

No siempre todas las variables dasométricas de interés, podrán ser medidas en todos los árboles de una parcela. Por la correspondiente planificación del inventario, pueden ser definidos: todos los *DAP's* mayores a 30 cm y la altura total del 10 % de los árboles que tuviesen los mayores diámetros (correspondientes a la altura dominante). Por tanto, se debe llevar en cuenta la relación de la variable medida (variable independiente) con la

variable dependiente que será calculada o estimada. En términos generales forestales, las relaciones (funciones) múltiples tendrán mayor aplicabilidad que las funciones simples. Un caso concreto se presenta con las funciones hipsométricas (diámetro y altura) y las volumétricas (*DAP*, altura y volumen de madera con y sin corteza).

Se observa de esa forma, que una característica importante de los inventarios forestales por muestreo, es la descripción explícita del proceso metodológico de como éste será utilizado. Es estrictamente necesario describir detalladamente el método y los procedimientos que configurarán todo el proceso del inventario. A esa descripción detallada inserida en un documento pertinente, se la debe encontrar en el *Guía o Manual de Campo*.

Cualquiera que fuese el método de selección y el tratamiento de las parcelas, una estimativa por muestreo será diferenciada del censo, aún que ésta sea realizada con el mayor cuidado posible. Esa diferencia entre la estimativa por muestreo y el valor real de la población es conocida como error de muestreo. Por el pensamiento cotidiano se espera que cuanto mayor fuese el tamaño de la muestra, obviamente menor será el error de muestreo y mayor el grado de confianza en los resultados, así como unidades pequeñas de muestreo podrán ocasionar menores costos operacionales. En la respuesta científica a esas observaciones, es que se debe considerar la definición del tamaño de la parcela, que permita encontrar el mayor grado de variabilidad de las medidas de campo para que los resultados de las parcelas permitan ofrecer coherentes estimaciones para el total de la población, en ese sentido deberá existir un balanceamiento entre costos y la precisión de los parámetros determinados por el inventario, así como una estrecha reacción entre el diseño del muestreo (*sampling design*) y el diseño de las parcelas (*plot design*).

## **4.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA**

En un rodal de *Eucalyptus* quedaron establecidas 473 parcelas de 600 m<sup>2</sup> de donde fueron seleccionadas a través de un levantamiento piloto (inicial) diez parcelas. Los resultados del cálculo del coeficiente de variación (*CV*) del *DAP* están presentados en el cuadro 4.

El coeficiente de variación medio, calculado de las 10 unidades muestrales fue de 38,22 %. En las tablas de *t* (Cuadro 1) el valor correspondiente a 9 grados de libertad y 95 % de probabilidad de acierto es de 2,262.



Cuadro 4. Levantamiento piloto de 10 parcelas de una plantación de Eucalyptus.

Parcela	DAP medio Cm	CV %
01	13,94	42,72
02	16,68	38,76
03	15,92	34,29
04	12,83	38,72
05	16,10	36,95
06	12,71	45,25
07	13,18	30,06
08	12,62	36,20
09	15,16	40,15
10	13,37	39,12

En la fórmula ya enunciada del tamaño de la muestra y asumiendo un error tolerable de 10 %, el resultado del cálculo del tamaño muestral será:

$$n = \frac{(2,262)^2 \cdot (38,22)^2}{(10)^2} = 74,742$$

Por tanto, serán necesarias levantar y medir 74,7 parcelas, arredondandadas a 75 parcelas, que permitirán obtener los correspondientes resultados, que posteriormente se los debe recalcular para conocer el verdadero error de muestreo con el que se trabajó. Esas 75 parcelas para los datos presentados, es lo que se denomina de *tamaño de la muestra o tamaño del muestreo*, que se refieren a las  $n$  parcelas que efectivamente serán levantadas y medidas.

El tamaño de la muestra depende de las siguientes características:

- precisión deseada;
- variabilidad de la variable que será estimada;
- tamaño de la unidad de muestra;
- diseño del muestreo a ser utilizado;
- estimadores estadísticos;
- recursos financieros disponibles.

Cuando el número de unidades de la muestra queda determinado, se debe tomar en cuenta el error de muestreo pré establecido y el efectivo error que fue producido en la probabilidad determinada, para que los resultados del inventario esten interpretados dentro de los márgenes aceptables escogidos.

Es posible en algunos casos que el error de muestreo ultrapase ese margen, lo cual indica que el tamaño del muestreo posiblemente fue muy pequeño.

La *precisión* de un inventario se la define por tanto considerando el propósito de la información y de los correspondientes límites del intervalo de confianza. No es necesario apoyarse ciegamente a una probabilidad o error convencionalmente aceptados. Lo más acertado será determinar una precisión que sea suficiente, no excesiva para la finalidad a que se destina la información.

Consecuentemente el número de unidades de muestreo que deben ser consideradas en los inventarios forestales pueden ser determinadas de dos maneras:

- 1) - calculando el número de parcelas necesarias ( $n$ ) para que la probabilidad y el error de muestreo ( $E \%$ ) sean tolerables; o
- 2) - definiendo una determinada intensidad muestral antes de comenzar el trabajo de campo y posteriormente calcular el correspondiente tamaño y error muestral.

Considerando los conceptos de las distribuciones, de que a excepción de la distribución uniforme y la binomial, todas las demás mantienen la característica de que dos variables aleatorias independientes puedan acontecer simultáneamente sin interferencia de una para la otra, estableciendo la denominada probabilidad infinita. En el caso específico de las muestras infinitas de un inventario se debe asumir el conocimiento previo 1) del error permitido y 2) del nivel de confianza estimado.

### **4.3 SELECCIÓN DE LAS PARCELAS**

Una vez conocidos: el tamaño del muestreo ( $n$ ) y el tamaño de la población ( $N$ ), se podrán identificar las parcelas muestrales que efectivamente deberán ingresar en el cálculo de los parámetros dasométricos del correspondiente inventario forestal. La selección de las  $n$  parcelas podrán ser realizadas a través de cualquier proceso que permita seleccionar aleatoriamente la primera parcela y a partir de ésta, las correspondientes restantes unidades muestrales. Seleccionadas las 75 unidades muestrales del ejemplo anterior, el próximo paso será identificar las respectivas coordenadas geográficas, para luego proceder en ellas con la medición de las variables, definidas para el inventario pertinente.

Siguiendo el ejemplo de la plantación, el cálculo del tamaño del muestreo determinó la necesidad de levantar y medir 75 parcelas de las 3.873 unidades muestrales que componen el total de las parcelas distribuidas en la superficie total del rodal.

Supóngase realizar un inventario en el diseño sistemático en una plantación compuesta por 3.873 parcelas y el tamaño de la muestra es de 75 parcelas. En un diseño muy simplificado e hipotético, la división de esos dos productos será igual a 52. Por tanto, será necesario seleccionar aleatoriamente la primera unidad muestral, entre las parcelas 1 a la 52. La primera parcela escogida supóngase que fue la del número 24. La segunda parcela a ser seleccionada será en el orden establecido por el coeficiente de elevación ( $k$ ) de acuerdo con la expresión:

$$[i + K], [i + 2K], [i + 3K], \dots \dots [i + (n - 1)K].$$

Por consiguiente, la segunda parcela será la del número 76 y así sucesivamente hasta completar la selección de las 75 parcelas.

## 4.4 LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS

En la planificación de cualquier inventario forestal, se hace necesario que todas las parcelas quedasen muy bien identificadas y localizadas en el correspondiente material cartográfico, sean hojas topográficas o producto satelital. Una vez delimitada el área del inventario, sobre el mapa base deben ser diseñadas las *mallas de puntos* correspondientes. La parcela será exactamente identificada en las coordenadas geográficas definidas. Para el establecimiento de las parcelas del muestreo se recomienda el uso de las coordenadas geográficas, pudiendo hacer uso del sistema de localización GNSS, que entre otros incluye el dispositivo GPS, permitiendo localizar con altísima precisión cualquier punto de la tierra, permitiendo también proporcionar la altitud correspondiente.

Una vez que la localización de la unidad de muestreo coincida en 100 % entre el mapa base y la instalación real en el campo, los correspondientes puntos de referencia (*PR*), vértice de la parcela rectangular o punto central de la parcela circular, marcados en forma visible o invisible, quedarán definitivamente ubicados en la correspondiente *malla de puntos*.

La literatura indica la existencia de parcelas visibles e invisibles. *Parcelas visibles* son cuando el correspondiente punto de referencia (*PR*) de la parcela y los puntos de apoyo (*PA*) o de acceso están marcados visualmente, a través de estacas, franjas coloridas pintadas en los árboles, o indicaciones en plaquetas de plástico o metálicas, fijadas en estacas o árboles. Utilizando parcelas visibles será necesario establecer una codificación específica pertinente para el reconocimiento de la característica (árboles de bordadura, árbol inicial de la medición, estaca del vértice de la parcela, etc.)

*Parcelas invisibles* no identifican ninguna marca en la parcela y ni en la localización de la parcela. Los puntos de referencia (*PR*) de la parcela podrán ser identificados por correspondiente rejón metálico (pedazo de fierro de aproximadamente 15 cm) enterrado exactamente en el *PR* de la parcela. Ese pedazo de fierro (material comúnmente utilizado en la construcción civil) debe quedar completamente incrustado en el suelo. El punto de referencia (*PR*) de la parcela debe estar necesariamente descrita con sus respectivas coordenadas geográficas, para que posteriormente puedan ser reencontradas.

Realizando el inventario forestal en áreas de plantaciones, los puntos de referencia de las parcelas, se deben localizar siempre entre dos líneas o hileras de la plantación, de tal forma que los lados o bordes de la superficie de la unidad de muestra, se encuentren siempre entre dos hileras de la plantación.

Trabajando con parcelas rectangulares en bosques densos, se recomienda que uno de sus vértices, de preferencia el inferior izquierdo, fuese el punto inicial de referencia. A partir de ese punto, uno de los lados del rectángulo debe seguir rigurosamente el azimut pre definido en el mapa base. En ese principio, todas las unidades de muestreo deberán ser instaladas en forma semejante.

## **4.5 PARCELAS PERMANENTES**

Hace más de cien años se estableció en Alemania, en un evento técnico forestal una fuerte polémica sobre como realizar actualidades de estudios sobre la dinámica del crecimiento de los árboles, en base de las parcelas experimentales, lo que posteriormente dio origen a las parcelas observacionales hasta llegar a las parcelas permanentes. Esas discusiones dieron origen a la creación de la IUFRO, cuando se estableció el objetivo principal de producir información actualizada sobre el crecimiento y sistemas

de manutención de las masas arboladas. En ese contexto se solicitaba ofrecer y como obtener informaciones pertinentes actualizadas de las áreas boscosas, formando coherentes y sólidas bases que justificasen la inversión económica correspondiente. Por tanto, hoy en día se consideran a las parcelas permanentes como fuentes actualizadas de información forestal.

Las parcelas de muestreo establecidas en una correspondiente *malla de puntos*, se las considera como parcelas temporarias. Apenas una parte muy reducida de ellas pueden o son transformadas en parcelas permanentes. Consecuentemente las parcelas permanentes son unidades de medida establecidas durante la ejecución de un correspondiente inventario forestal. Estas parcelas en principio forman naturalmente parte del tamaño de la muestra del inventario pertinente. En la planificación correspondiente, estas parcelas podrán ser visibles o invisibles, y su remediación está establecida conforme fue previamente planificado en los objetivos del inventario. Las parcelas permanentes forman el fundamento de las observaciones y medidas de los sistemas de monitoreo. A las parcelas permanentes no se las puede confundir con las parcelas experimentales de larga duración que se las considera en los estudios y estadística de la metodología de experimentos.

La filosofía de la instalación y el correspondiente acompañamiento o monitoreo de las parcelas permanentes, permite y posibilita una exacta repetición continua de las medidas dentro / dasométricas en ellas realizadas, específicamente en los mismos individuos arbóreos que fueron medidos anteriormente. Independientemente del periodo transcurrido para la remediación de las variables, las parcelas permanentes ofrecen condiciones plenas de acompañamiento de la dinámica del crecimiento de los individuos en observación. Por tanto, estas unidades de muestra permanentes además de ofrecer un permanente banco de datos acumulados y actualizados, serán útiles para efectos de comparación de los diversos sistemas de uso que históricamente se desarrollaron en esos sitios.

Kleinn y Morales (2000) afirman que las parcelas permanentes representan uno de los principales pilares en la conducción de la ordenación, manejo e investigación forestal ya que en base de las observaciones en parcelas permanentes de observación y de experimentación (por ejemplo de sistemas de raleo) se derivan resultados científicos para un manejo forestal sostenible. También informan que las predicciones de crecimiento y producción, basadas en datos obtenidos de las parcelas permanentes, ofrecen importantes implicaciones directas en la toma de decisiones, sobre todo de los

inversionistas en asuntos relacionados al manejo sostenido del bosque o plantaciones forestales.

En síntesis, las parcelas permanentes además de ofrecer datos sobre los diversos incrementos de crecimiento, permiten evaluar la influencia de los factores edafo climáticos en el crecimiento de los árboles, correspondiente situación fito sociológica y sanitaria del estado de la masa arbolada, arbustiva y herbácea, además de la pertinente situación fisiográfica (si la parcela se situa en un valle, pendiente con sol, etc.). También será posible obtener datos sobre la realización de podas, desbastes, tratos silviculturales, influencia sobre la vegetación de la presencia de animales domésticos y salvajes, entre otros asuntos.

Para efectos del conocimiento de la regeneración natural, estas parcelas también ofrecen informaciones que permiten su correcta conducción. En resumen, las parcelas permanentes ofrecen un sin número de valiosas informaciones dendro / dasométricas, que permiten definir coherentes acciones en los correspondientes planos del manejo sostenible para los sitios, donde éstas se encuentran.

Las parcelas permanentes permitirán consecuentemente ofrecer un sin número de variables de medida. Se registra por ejemplo, que el Inventario Forestal Nacional de España consigue la correspondiente interpretación de más de 900 parámetros, obtenidos directamente de las variables de medida de las parcelas permanentes.

Para la instalación de las parcelas permanentes, se hace necesario atender rigurosamente las especificaciones definidas en la planificación del correspondiente inventario. Se debe considerar que la parcela permanente deberá permanecer en el local por un período bastante largo, muchas veces algunas decenas de años. En ese sentido el contenido de las variables de medida siempre acompañará un interés técnico científico, no solo por parte del investigador o del equipo de trabajo que la instaló, como también de varias instituciones públicas de investigación y de administración de los recursos naturales. Se deduce por tanto, que deben existir previa a su instalación elementos técnicos de cuño científico, político y de ordenación sostenida que deben perpetuar las parcelas permanentes instaladas.

Considerando esas características, la metodología y el material a ser usado en la instalación y medición consecutiva de la parcela permanente, deberá estar debidamente detallado en los respectivos objetivos del inventario.

Mapas topográficos, ortofotomapas, mapas temáticos satelitales y cualquier otro material que contemple la localización de la parcela permanente y sus individuos arbóreos, así como los respectivos formularios de campo a ser usados, croquis de acceso a las parcelas en sus puntos de referencia y puntos de apoyo para su localización, deben permitir una fácil y exacta reubicación de las respectivas coordenadas geográficas, altimetría y azimuts pertinentes.

## **4.6 PERIODICIDAD Y VERIFICACIÓN DE LAS MEDICIONES**

En la instalación de las parcelas permanentes, se dispondrá obligatoriamente de una base cartográfica, donde la ubicación de esas parcelas, esté muy bien especificada. Su filosofía consiste en que estén claramente descritas y permitan posteriormente identificar las variaciones que podrían ocurrir en las variables de medida.

La Figura 14 perteneciente al Inventario Forestal Nacional de Suiza, muestra dos mediciones realizadas en la misma parcela en dos fechas distintas y efectuadas por dos equipos de campo completamente diferentes. En la figura se observa que ambas mediciones coincidieron en encontrar la correspondiente localización de los árboles y pertinentes valores de la variable *DAP*. En los pares de números, el primero corresponde al código de identificación de la especie, y el segundo valor al de la variable *DAP*. Apenas un individuo arbóreo ubicado en el cuadrante superior izquierdo, fue encontrado y medido una única vez. El círculo interior corresponde a una sub parcela de 200 m<sup>2</sup> destinada a medir árboles con *DAP* entre 12 a 36 cm. En el círculo mayor fueron realizadas las mediciones de los árboles con *DAP* mayor a 36 cm.

Una característica importante desde el punto de vista estadístico es la posibilidad de obtener en las parcelas permanentes mediciones temporales de la misma variable y en base de resultados pertinentes efectuar interpretaciones para la inferencia estadística.

En relación a la periodicidad de los inventarios las parcelas de muestreo pueden ser divididas en temporales, continuas y secuenciales.

Inventarios que contemplan apenas variables de medida *temporales* se estructuran en muestreos únicos, donde no se realizan remediciones. Estos muestreos son conocidos como inventarios convencionales, cuando los levantamientos forestales son realizados por una única vez.

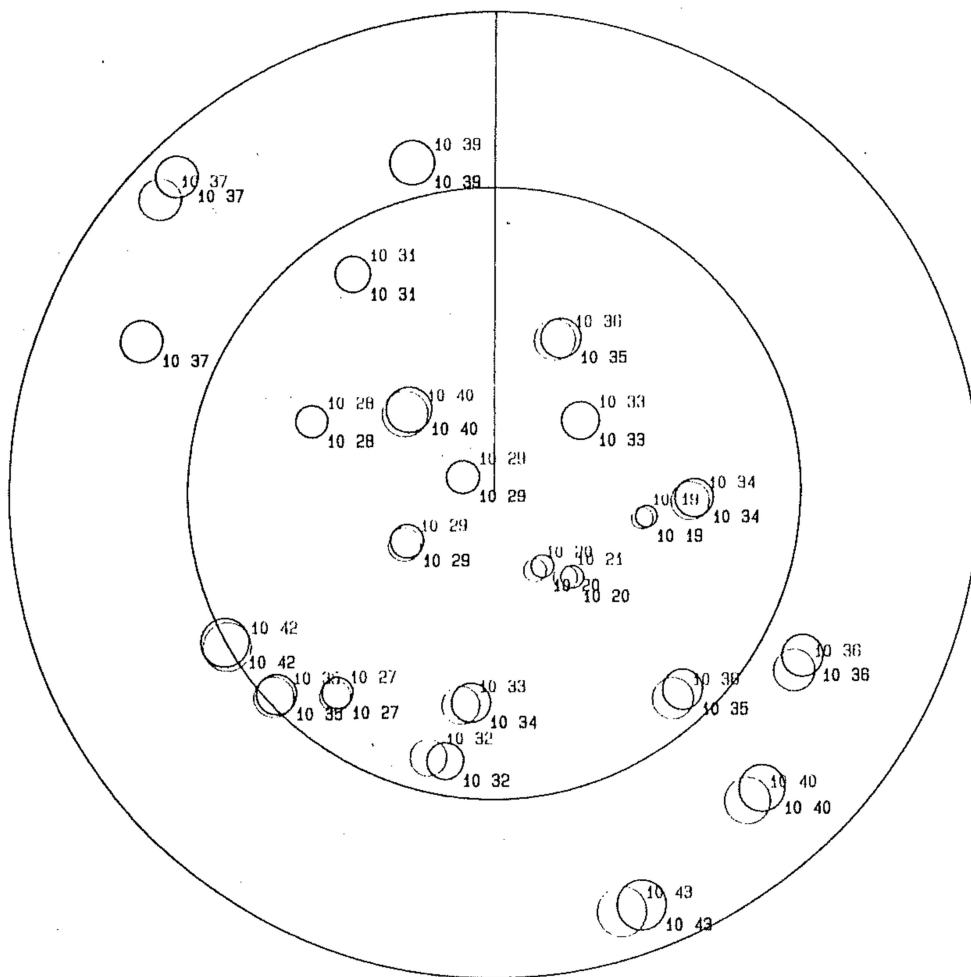


Figura 14. Medición de control de una parcela circular del Inventario Forestal Nacional de Suiza.

Inventarios que son estructurados en obtener una permanente información actualizada del arbolado en observación, requerirá efectuar mediciones en *parcelas continuas*. Esas parcelas precisaran ser remedidas en períodos e intervalos pre determinados. La filosofía del uso de parcelas continuas se fundamenta en el registro detallado de la comunidad arbórea, permitiendo su



control en el tiempo. Su finalidad consiste en establecer una evaluación dinámica de los diversos parámetros dendro / dasométricos del bosque. Estos inventarios ofrecen inclusive la posibilidad de comparación dasométrica del crecimiento e incrementos pertinentes, con otras áreas y diversas especies, inclusive ofreciendo respuesta a los correspondientes tratos silviculturales realizados en el tiempo.

En los inventarios estructurados con parcelas *secuenciales*, denominados también de levantamientos sucesivos, la remediación de las variables consideradas en si son obligatorias. Esas remediciones se las realiza a intervalos pre determinados. La finalidad primaria de esos levantamientos está en el conocimiento principalmente de los incrementos y cambios de la estructura de la masa arbolada.

En la realización de los inventarios forestales nacionales, el intervalo de realizar un segundo y posteriores levantamientos, se establecen en periodos de dos a diez años, dependiendo de la estructura y administración forestal del país en consideración. Algunos países europeos definieron la realización de los inventarios forestales nacionales correspondientes a cada dos a cinco años.

Los inventarios forestales de extensas áreas, incluyendo los inventarios forestales nacionales, para su realización requerirán de fuertes sumas de dinero. Se establecerá principalmente en función del recurso económico y del objetivo del propio inventario, la necesidad de la periodicidad de las remediciones de las variables de medida en los pertinentes individuos arbóreos de las correspondientes parcelas de muestreo.

Otro aspecto que podrá definir la periodicidad de las remediciones es la velocidad y dinámica del crecimiento de los macizos arbolados. En áreas donde el crecimiento es relativamente lento, como se presenta frecuentemente esta característica en regiones templadas y boreales, el período de las remediciones quedará justificado por la característica del lento desarrollo de los arbolados pertinentes.

La periodicidad de los inventarios forestales en plantaciones forestales, normalmente se los realiza luego después de cada intervención silvicultural pertinente.

## 4.7 CLASIFICACIÓN DE LOS ERRORES

En la realización del proceso metodológico de un inventario al 100 %, se puede asegurar, sin margen de duda que existirán errores en la localización y enumeración de los árboles, y en las correspondientes medidas de las variables seleccionadas. En ese sentido cualquier inventario que fuese ejecutado, tendrá diversas fuentes de errores.

En los inventarios forestales, clasificados de probabilísticos, el proceso de selección de los árboles que conforman la unidad muestral, se realiza en el principio de que ellos representan estadísticamente a la población. Esa situación identifica que una parcela puede ubicarse en cualquier punto del rodal con exactamente la misma probabilidad. La probabilidad de selección ( $P_j$ ) de los árboles será consecuentemente igual para todos los individuos arbóreos del arbolado. En ese sentido, la probabilidad de selección define para cada árbol una área en contorno a él ( $a_j$ ), denominada de zona de inclusión. Consecuentemente, la probabilidad de selección para una unidad de superficie ( $US$ ) será:

$$p_j = a_j/US.$$

Si el punto de selección muestral cae dentro de dicha área, el árbol será naturalmente seleccionado para integrar la unidad de muestra. Las áreas de selección de los árboles pueden sobreponerse unas a otras, de manera que desde un punto de la selección pueden seleccionarse varios árboles. Mientras más grande sea el área de selección de un árbol, más alta será la probabilidad que dicho individuo sea seleccionado para integrar la parcela. Sobre esas premisas es que son estructurados los muestreos probabilísticos, o inventarios probabilísticos.

Todos los inventarios forestales, inclusive cuando están finalmente detallados en su planificación y exista el mayor cuidado en la toma de medidas de campo y correspondiente interpretación de los parámetros de estimación, todos ellos están sujetos a que se cometan errores de diversa magnitud. Esos errores pueden ser agrupados en errores de muestreo y errores no muestrales.

*Errores no muestrales*, por su propia naturaleza no son calculados ni cualitativa ni cuantitativamente, que en muchos casos pueden influenciar fuertemente en la precisión del inventario. Esos errores no siempre son

detectables y muchas veces imposibles de eliminarlos. Puede acontecer en algunos casos que estos errores fuesen mayores a los de muestreo. No existe un procedimiento matemático para determinar la magnitud de esos errores, su minimización está en la pertinente planificación del inventario. Este tipo de error tiene varias causas, tales como la errónea ubicación y localización de las unidades de muestra, mediciones mal realizadas, incorrecto registro de las observaciones, falla en los métodos de compilación y errores de cálculo. En términos generales, estos errores son clasificados como errores de medición que ocurren aleatoriamente y errores tendenciosos. En los errores de medición se distinguen errores unilaterales de magnitud regular, errores bilaterales de magnitud aleatoria y errores unilaterales de magnitud aleatoria (Higuchi, 1979).

Los errores no muestrales serán divididos en: 1) *errores de metodología* (Imaña, 2011), cuando se los cometen durante procedimientos que se adoptan al tomar las medidas de campo. Así por ejemplo, en la determinación de la distancia en el campo, será más eficiente el uso de una huincha métrica de 50 metros, que una simple evaluación efectuada por la longitud y número de pasos del observador; 2) *errores personales*, que se cometen debido a la manipulación deficiente del instrumento que está siendo utilizado, o por la negligencia en las observaciones, lecturas imprecisas, paralaje óptica y por el desconocimiento de la metodología en ejecución; 3) *errores instrumentales*, son los que se producen por desajuste o defecto de construcción de los instrumentos de medida; y 4) *errores debido al medio*, que son difíciles de controlar porque se deben a factores que escapan de la posibilidad de la manipulación del instrumento por parte del observador. Estos errores se producen por efecto de la humedad del aire, temperatura, magnetismo, etc.

En términos dasométricos, los errores pueden ser clasificados en: *errores compensantes o accidentales*, que no dependen del instrumento o del operador; *errores de estimación*, provenientes del cálculo estadístico de muestreo, y *errores sistemáticos*, que ocurren por el defecto en el instrumento o inhabilidad del operador. Los errores compensantes son producidos normalmente al arredondar cifras o al aproximar valores. Errores de estimación se presentan donde existen variaciones del valor de la variable y es la base del cálculo estadístico. Errores sistemáticos se repiten con cierta frecuencia, siempre en el mismo sentido y son acumulativos.

Debidos cuidados deben ser tomados para evitar esas fuentes de error. Una vez que ellos ocurren será difícil poderlos detectar y eliminarlos. Cuando

este tipo de error es eliminado, el error total es equivalente al error de muestreo.

Todos los errores juntos corresponderán al error total de estimación del parámetro pertinente. Se define al error total como la diferencia entre la estimativa tomada de las muestras y el valor verdadero de la población.

En los levantamientos forestales basados en parcelas variables, donde la probabilidad estadística se fundamenta en la proporcionalidad a las distancias del árbol, las fórmulas usadas para la estimación del total de la población (los llamados estimadores), se demostró estar sesgadas (Kleinn y Vilčko, 2008) lo que significa que existe un error sistemático al estimar la media o el total poblacional.

## 4.8 ERROR DE MUESTREO

En la ejecución de los inventarios forestales la literatura registra la ocurrencia de dos tipos de errores: *errores muestrales* y *no muestrales*. Errores de muestreo derivan del propio proceso de muestreo y se presentan por la parte de la población que no fue medida. En ese sentido el error padrón expresa el tamaño porcentual esperado del error del muestreo. Consecuentemente el error de muestreo dependerá del propio tamaño del muestreo, de la variabilidad encontrada en las unidades de la muestra y del diseño del muestreo que se aplica.

El error de muestreo resulta del hecho de que la unidad de la muestra o parcela es apenas una fracción de la población y no produce en sus resultados, valores idénticos a los parámetros de la referida población. Asumiendo que no existan errores no muestrales, la diferencia entre la estimativa muestral y el valor real de la población, se la expresa por el *error padrón de la estimativa*. El error padrón no se lo puede expresar en valores absolutos, su dimensión se da en porcentaje de la media estimada. A ese procedimiento, se denomina de precisión o error de muestreo. Cuanto menor el error padrón, mayor será la precisión de la estimativa.

En ese contexto, en la planificación del inventario, será necesario determinar cual será la precisión deseada para la estimativa correspondiente. Supóngase que la estimativa de la media del parámetro fuese  $\pm 5\%$ . A un nivel de 95 % de probabilidad estadística (*PE*), indicará que en 95 % de parcelas similares de la misma población, la media verdadera estará en el

intervalo de  $\pm 5 \%$ , o bien considerando la probabilidad exterior, se dirá que en  $5 \%$  de las parcelas, la media verdadera se encuentra fuera de ese intervalo que se lo conoce como intervalo de confianza. En esos  $5 \%$  está consecuentemente el error de muestreo para la población en observación. Matemáticamente la expresión del intervalo de confianza (IC) es:

$$IC [\text{valor medio} \pm t_{\alpha} \cdot \text{desvío padrón}] PE \%$$

*IC = Intervalo de confianza*

*$t_{\alpha}$  = coeficiente de seguridad, extraído de las tablas de t-Student*

*PE = probabilidad estadística*

En muchos casos y para mayor seguridad de la estimación del parámetro, será recomendable trabajar exclusivamente con el valor inferior del límite de confianza, cuando ese valor es denominado de estimativa mínima provable.

Al error de muestreo ( $\varepsilon$ ) se lo define como la diferencia entre los valores de la media estimada por la parcela y el verdadero valor real de la población ( $\mu$ ), que en términos estadísticos se lo expresa por la expresión:

$$\varepsilon = \mu - \bar{x}$$

Consecuentemente el error de muestreo explica la diferencia existente entre los valores paramétricos de la población y los estimados para la población en un determinado nivel de probabilidad.

En los intervalos de confianza  $IC [\bar{x} \pm (t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}})]$  queda prácticamente embutido el concepto del error del muestreo. La probabilidad de que el verdadero valor del parámetro poblacional se encuentre en el intervalo construido es lo que se denomina como nivel de confianza, y se denota por  $1 - \alpha$ . La probabilidad de cometer un error expresa el nivel de significancia y se simboliza por  $\alpha$ . En los inventarios forestales generalmente se construyen intervalos con confianza  $1 - \alpha = 95 \%$  (o significancia  $\alpha = 5 \%$ ) y con mayor frecuencia en los intervalos con  $\alpha = 10 \%$  o  $\alpha = 1 \%$ .

Se define por tanto, que un intervalo de confianza es un rango de valores (calculado en una muestra) en la cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, en la probabilidad pre determinada. Por tanto es un indicador de la precisión de las mediciones (valores estadísticos) de las parcelas. El nivel de confianza se refiere por consecuencia a la probabilidad de la obtención de un intervalo de confianza concreto.

Conocido el error de muestreo, la precisión del inventario se establece en el nivel de significancia escogido identificando el tamaño del error total incluyendo inclusive los errores no muestrales.

Si el inventario forestal fuese realizado en fases consecutivas complementarias, el error de muestreo podrá ser diferente para cada fase. Supóngase que una primera fase consista en la interpretación de imágenes de satélite para la estimativa de áreas, una segunda fase relacionada con la obtención de las variables de campo (estimativa de parámetros dasométricos) y una tercera fase orientada exclusivamente a la elaboración de tablas volumétricas (estimativas de producción). En cada uno de los procesos de cálculo, los errores de muestreo deberán ser calculos independientemente por fases de ejecución, una vez que el error de muestreo depende directamente del tamaño de la muestra y de la variabilidad de los elementos muestrales.

## 5. CLASIFICACIÓN DE LOS INVENTARIOS FORESTALES

Para las finalidades específicas de los inventarios forestales, la vegetación podrá ser clasificada en arbolada, arbustiva, sub-herbácea y de la regeneración natural. Los individuos vegetales que podrían ser medidos, tanto en crecimiento (vivos) como muertos (teniendo éstos aún forma), podrán pertenecer indiferentemente a la familia de las coníferas, latifoliadas o de las palmeras, que, para la mensura del inventario forestal, cada uno de ellos será considerado simplemente como objeto numérico de medición, independientemente de su origen. Corresponderá al tipo de inventario para efectuar su correspondiente clasificación vegetal.

Los inventarios forestales pueden ser clasificados de acuerdo con diferentes criterios, así como su intensidad y detalle de ofrecimiento de informaciones levantadas, siempre dependiendo de los objetivos contemplados en su planificación. Se considera que los inventarios forestales son importantes instrumentos de recopilación de informaciones para realizar las correspondientes evaluaciones de los recursos forestales. De acuerdo a la precisión y correspondiente orientación de la información, se tendrán: inventarios 1) *estratégicos* (primer nivel, baja intensidad de muestreo, realizados para la toma de amplias decisiones de orden política) ofrece estadísticas de los recursos forestales de regiones extensas, con uso frecuente para la elaboración de políticas públicas; 2) *inventarios tácticos* (segundo nivel, media intensidad de muestreo, necesarios para preparar correspondientes planos de manejo y ordenación forestal), y 3) *inventarios operacionales* (tercer nivel, alta intensidad de muestreo, mostrando en detalle correspondientes parámetros dasométricos) con bastante frecuencia solicitados para el aprovechamiento de los recursos forestales. Al segundo nivel pertenecen fundamentalmente los levantamientos orientados al manejo y administración de los macizos forestales en cuarteles de ordenación forestal. En el tercer nivel se encuadran aquellos destinados a la valorización de las comunidades arboladas y correspondientes levantamientos periciales.

Loetsch (1964), Avery & Burkhart (2002) y Kleinn (2015) clasifican los inventarios forestales de acuerdo con los siguientes criterios: 1) por la superficie ocupada: en inventario forestal nacional, regional, local, específico e inventario de extensas áreas; 2) por el nivel de trabajo y objetivos: en inventario forestal nacional, exploratorio, inventarios para la explotación maderera, de pre factibilidad industrial e inventarios de factibilidad económica;

3) por la intensidad de detalle: en inventarios estratégicos, tácticos y operacionales; 4) por la distribución de la malla de puntos: en inventarios casualizados y sistemáticos; 5) por la estructura de los arbolados en inventarios de una sola localidad e inventarios estratificados; 6) por la estructura de la parcela: en inventarios con parcelas fijas, parcelas de área variable y anidadas (conglomerados); 7) por la probabilidad: en inventarios probabilísticos y levantamientos de probabilidad proporcional al tamaño (PPS) y proporcional a la predicción (PPP); 8) por la estructura del muestreo: en inventarios de una etapa, de dos y múltiples etapas, inventarios proporcionales e inventarios de múltiples niveles; 9) por las técnicas de muestreo: en inventario en fajas, inventario por parcelas fijas o por parcelas de dimensiones variables, e inventarios de las parcelas permanentes; 10) por la periodicidad de los inventarios: en inventarios forestales de una ocasión y de múltiples ocasiones; 11) por las exigencias de la sociedad civil en: inventarios orientados para la preservación ambiental, inventarios de relación con el medio ambiente, inventarios de aprovechamiento continuo de los recursos y productos forestales, y para el atendimiento de zonas de recreación; 12) por el recurso natural renovable: en inventario de evaluación, del uso de la tierra, de cuencas hidrográficas, de áreas urbanas, inventarios silviculturales, inventarios AFB (árboles fuera del bosque), inventarios faunísticos, de incrementos volumétricos y de la regeneración natural.

Atendiendo a las exigencias actuales de la sociedad civil, un número considerable de inventarios forestales están orientados hacia la *producción primaria* del bosque o de la plantación, donde la madera es el principal producto, lo que correspondería a la producción primaria del bosque. Inventarios para la *producción secundaria* se refieren a los sub productos del bosque como árboles navideños, y de los productos forestales no maderables (PFNM) como leña, frutos, fauna silvestre, plantas medicinales, actividad piscícola-forestal entre otros (Matthews & Mackie, 2007). En una combinación de ambas producciones, se tienen los actuales inventarios forestales de extensas áreas, donde la producción primaria es evaluada con características ecológicas del medio ambiente y sitios correspondientes. A esta categoría se los incluyen los inventarios forestales destinados a tener respuestas de la biomasa, específicamente la leñosa y los llamados levantamientos del *estoque* de dióxido de carbón, también conocidos como secuestro o sumideros de carbón. Inventarios para la *producción terciaria* destinados a atender características ecosistémicas, se refieren a los bienes y servicios ambientales que ofrecen las comunidades arboladas, como la manutención de bancos naturales de germoplasma, control de erosión, depuración del aire y del agua,



flujos hídricos, conservación genética y de la biodiversidad, producción paisajística y recreativa, y para específicas finalidades de investigación. En una combinación de estos objetivos se desarrollan los denominados inventarios diagnósticos, inventarios forestales integrados y los inventarios diversificados, que normalmente todos ellos, están destinados a responder problemáticas y situaciones del manejo por unidades de ordenación.

Si el objetivo de estos inventarios consiste en el procedimiento que permita generar consistentes informaciones requeridas, teniendo en cuenta que esas informaciones ofrecen alto grado de confiabilidad, las ejecuciones de estos inventarios forestales se fundamentan prioritariamente por las exigencias de la sociedad civil y dependiendo del grado de exigencia y del momento, se dará la debida importancia a específicos productos o situaciones forestales, o servicios ambientales.

## **5.1 RESEÑA HISTORICA DE LOS INVENTARIOS FORESTALES**

A partir de los siglos 14 y 15 varias regiones de Europa central tuvieron escasez de madera (Zöhner, 1980). En esas circunstancias es que nació la ingeniería forestal y algunas decenas de años más tarde los levantamientos forestales. Inicialmente a esos levantamientos se los llamaron de "*observaciones y atendimientos del bosque*" que posteriormente adquirieron mayor importancia y se desarrollaron en las denominadas "taxaciones forestales".

La literatura registra, que a mediados del siglo 14 fueron desarrollados observaciones forestales ordenadas en los distritos boscosos alrededor de las ciudades de Erfurt y de Nürnberg, ambas localizadas en el sur de Alemania. Esas observaciones se fueron desarrollando a un tipo inicial de levantamientos forestales. También se conoce la ejecución, entre 1499 y 1510, observaciones específicas forestales para la manutención de algunos bosques austriacos, atendiendo especial pedido del emperador Maximilian I. Todos esos levantamientos se desarrollaron en relativas pequeñas áreas boscosas, permitiendo por ese motivo administrar con eficiencia el corte y la manutención de esas áreas. La metodología de esos levantamientos correspondería hoy en día a lo que se conoce por levantamientos rápidos forestales. En esos levantamientos se recorría el bosque a caballo efectuando observaciones generalizadas de la vegetación boscosa, posible contenido

maderero y macro características del sitio. Es a partir del siglo 16 que fueron utilizados procedimientos de cálculo en base a determinados números de árboles padrones, lo que dio inicio a lo que hoy se conoce como teoría del muestreo. Esos procedimientos se desarrollaron mucho antes del apareamiento de los principios matemático estadísticos. La única diferencia con las metodologías de cálculo actuales, es que en esos inventarios no se conocía el concepto del error de muestreo.

Durante el reinado de Carlos I de Inglaterra, Escocia e Irlanda (periodo de 1625 a 1649) se crearon recompensas para la transformación de las áreas arboladas en terrenos agrícolas destinados al cultivo de cereales. Inicióse por tanto procedimientos para determinar las superficies desbastadas. En Escocia se efectúa un procedimiento de liberación parcial de pago de tributos por la transformación de áreas arboladas en cultivos agrícolas, objetivando incrementar la producción de ovejas. En esos dos procesos antes de autorizar esas transformaciones territoriales fue necesario efectuar observaciones referentes a la estructura del bosque, para determinar la obligatoriedad de un correspondiente tributo por las áreas transformadas en campos agrícolas.

Finalizando el siglo XVII en varias regiones de Europa central grandes propietarios de tierras enfrentaron la necesidad de estimar y cuantificar los productos que estaban siendo extraídos del bosque, lo que dio inicio a una administración de control de extracción de los recursos forestales, desarrollándose procedimientos pertinentes para el pago de tributos por parte de la población rural hacia la nobleza de la época. Posteriormente en la misma secuencia, inicio del siglo XVIII (alrededor de 1610 a 1625): se establecen normas para el manejo ordenado de la fauna silvestre con finalidades de facilitar la actividad de la caza.

En Alemania, durante el apogeo marítimo de Holanda, que se establece entre los años de 1520 a finales de 1800 hubo necesidad de estimar con precisión, la extracción de troncos de madera que eran cortados y extraídos de las áreas arboladas que circundaban los valles de los ríos Reno y Mosela. Esos troncos fueron transportados por la corriente propia de los ríos Reno y Mosela hasta los astilleros en Amsterdam e Róterdam respectivamente, donde la madera era procesada principalmente para la construcción de la flota mercante holandesa. Esa actividad hizo que toda la superficie del valle de los ríos Reno y Mosela quedasen completamente desbastadas. Alrededor de 1850 con el apareamiento de problemas de erosión, que comenzó a dificultar el transporte fluvial, es que se decidió por realizar plantaciones de

enriquecimiento en las áreas exploradas, lo que llevó a ser la semilla de la filosofía de la restauración forestal. Por esas actividades se crean las bases de la formación de cuarteles de ordenación que posteriormente dieron origen a los procedimientos de la medición forestal controlada, que están plasmadas en las conocidas obras llamadas de "*Forsteinrichtungswerk*" (planos de ordenación forestal).

En 1890 en Alemania central, el administrador forestal Zetzsche desarrolla una metodología de inventario forestal sobre la base de parcelas circulares de 50 m<sup>2</sup>. El procedimiento presentado no tuvo repercusión, una vez que las áreas boscosas alemanas poseían en esa época suficiente cantidad de datos de campo oriundos de las tablas de volumen. En regiones de Europa central hasta mediados del siglo 19 por la existencia de consolidados datos y parámetros dasométricos, en abundancia, la teoría del muestreo no tuvo la repercusión que se podría haber esperado.

Es a partir de la observación forestal de extensas áreas, que se inicia con procesos y metodologías pertinentes de evaluación forestal pertinente. El inicio de esta nueva fase de levantamientos forestales se ejecutan en los países escandinavos. El primer inventario en la base de la taxación, se lo ejecuta en la provincia sueca de Nordland en la década de los años de 1840. En esa oportunidad fue desarrollado por el ingeniero forestal AV Ström el procedimiento de la taxación en líneas. A partir de los años de 1860 hasta finales de 1880 el botánico alemán Dietrich Brandis ejecuta regulares levantamientos florísticos en los bosques orientales de Birmania (hoy república de Myanmar) con la finalidad de desarrollar sistemas de ordenamiento forestal, y de ese modo se lo considera el padre de la Silvicultura Tropical. Los estudios y levantamientos florísticos de Brandis dieron origen a la creación de la primera escuela de ingeniería forestal en los trópicos, localizada en Dehradun - India. Es a partir de 1930 cuando se emplean consistentemente los procedimientos estadísticos en los diversos modelos de inventarios forestales.

Es en esos contextos, que la mensura forestal adquiere importancia estableciendo procedimientos regulares de medición dasométrica. Consecuentemente es de suponer que la mensura forestal nace con la actividad de la extracción de madera y productos forestales, que se remonta a siglos anteriores.

La literatura informa que en 1763 fue creada en Wernigerode – Ilseburg en la región del Harz - Alemania la primera escuela técnica para operarios forestales. Sin embargo el inicio formal de la enseñanza forestal se remonta a 1787, cuando en la Universidad de Freiburg (Alemania) se organiza un curso para la formación forestal, tratando secuencialmente por la primera vez, asuntos estrechamente vinculados a los bosques. Más es en el año de 1816 en la ciudad de Tharandt, próxima a la metrópole de Dresden, y en 1830 en Eberswalde, ciudad próxima a Berlin, ambas en Alemania, que son creadas las primeras “academias forestales”, en nivel universitario. Esas academias quedaron con la tarea de formar principalmente administradores forestales estatales, para administrar y manejar los bosques localizados en Prússia, y del norte al sur de la actual Alemania. No existen registros bibliográficos, que antes de esas academias, hubiesen sido creados cursos o instituciones similares en un otro país.

Consecuentemente el inicio formal y organizado de la enseñanza forestal se remonta a los acontecimientos anteriormente indicados. Se asume por consecuencia que la mensura forestal como especialidad de la ingeniería forestal, tiene su inicio formal con la creación de las academias de Tharandt y Eberswalde. Sin embargo, el administrador e investigador forestal alemán Hartig en 1803 da a conocer tablas de ordenación forestal (Figura 15) que a partir de ese entonces se las usa regularmente en los planes de manejo del bosque.

The image shows a historical document titled "Massenfachwerk von G.L. Hartig 1803". It features several pages of tables with columns and rows of numbers and text, likely representing forest management data. The tables are organized into sections, with some headings in German like "Jüngere Reibung" and "Ältere Reibung". The document is placed on a surface, and a pen is visible in the foreground.

Figura 15. Registro de las tablas de Hartig (1803).

Las mayores preocupaciones forestales en la antigüedad consistían en conocer y administrar las áreas arboladas destinadas principalmente para mantener cotos de caza para la nobleza de la época. Inicialmente el desafío consistía en determinar cuantitativamente la cantidad de animales salvajes en ellas existentes, y proceder con un sistema de tributación por los productos como leña y frutos silvestres que la población rural extraía de ella. Consecuentemente se precisaba establecer la cantidad de animales que podrían ser abatidos anualmente, en el primer caso y en el segundo, arrecadar tributos por los productos forestales extraídos. En ese sentido la mensura forestal se remonta en la problemática y correspondiente solución de esos acontecimientos.

En 1910 se introduce en Alemania, en la ejecución de los inventarios forestales, el uso de fotografías aéreas que más tarde dieron origen a las imágenes de satélites. A mediados de la década de los años 20 en la ejecución de los cálculos matemáticos, se inicia la aplicación de los procedimientos del cálculo electrónico para posteriormente realizar todos los procedimientos matemático estadísticos en las llamadas calculadoras electrónicas y correspondientes computadores portátiles.

En el transcurso de la historia dasométrica existieron hechos sobre salientes que transformaron conceptos, procedimientos y formas de pensar sobre asuntos relacionados con los inventarios forestales que se traducen en la medición de árboles y su correspondiente interpretación, creando esos nuevos procedimientos de medida que evolucionaron el desarrollo de la ingeniería forestal. Entre esos hechos se destacan los siguientes:

- en 1759: Doebel y Beckmann presentan resultados de estudios y dan sugerencias para determinar la masa del bosque;
- en 1765: Oettel utiliza por la primera vez correlaciones matemáticas usando variables dendrométricas, consideró al tronco del árbol como una figura geométrica;
- en 1787: Oettel publica las primeras tablas del cubado riguroso;
- en 1803: Hartig elabora las tablas de tarifas y de volumen;
- en 1804: Cotta fabrica la forcípula para medir diámetros;
- en 1823: se conoce la forcípula de brazo móvil;
- en 1837: Smalian describe fórmulas para el cálculo del volumen de madera de árboles apeados;

- en 1840: Hennert demuestra para la determinación del volumen de madera, la aplicabilidad de la medición xilométrica;
- en 1860: se conoce el barreno de Pressler;
- en 1891: se fabrica la regla de Christen;
- en 1920: son publicadas las tablas estadísticas de Fisher, lo que permite la introducción de la estadística en la ciencia forestal;
- entre 1944/45: es fabricado el Relascópio;
- en 1948: Bitterlich presenta el método de la medición angular con la parcela de área variable;
- en 1950: se establece el análisis computacional con el uso de micro-computadoras;
- en 1980/85: se introduce el sensoriamiento remoto como herramienta de investigación forestal;
- en 1951: se conoce la forcípula finlandesa;
- en 1955: Prof. Loetsch desarrolla metodología para el inventario forestal de pequeñas áreas;
- en 1960: se fabrica el hipsómetro Blume-Leiss;
- en 1965: entra en el mercado el hipsómetro Suunto;
- en 1971: es presentado el uso del pentaprisma de Wheeler;
- en 1972: inicio de la comercialización del telerelascópio de Bitterlich;
- en 1994: se conoce el Dendrómetro Criterion a base de rayos láser;
- en 1996: ingresa en los mercados, el hipsómetro Vertex.

En relación específica del proceso de desarrollo de los inventarios forestales, se debe citar que la obra de Krutzsch y Loetsch *Holzvorratsinventur und Leistungsprüfung der naturgemäßen Waldwirtschaft* (inventario maderero y análisis de la eficiencia en la reforestería de la zona templada) publicado en 1938 que proporcionó el inicio científico formal de la especialidad de los inventarios forestales. Gracias a los trabajos de inventarios forestales ejecutados por el Prof. Fritz Loetsch, tanto en Alemania como en bosques tropicales asiáticos, hacen que la especialidad de la mensura forestal específicamente de los inventarios forestales tuvieron profunda transformación en los conceptos dasométricos y procesos metodológicos de medición e interpretación de los parámetros dasométricos, conocidos hasta esa época. En reconocimiento a esos hechos, Prof. Loetsch de la Universidad de Dresden – Alemania, debe ser considerado el precursor y creador de la especialidad de los inventarios forestales.

En Europa la ejecución regular y sistematizada de los inventarios forestales de extensas áreas se remonta a los levantamientos realizados hace más de 100 años en Noruega, donde el primer inventario forestal nacional se implementó en 1917. En América Latina los inventarios forestales adquieren especial importancia desde la década de los años 50, cuando son creadas y fundadas las primeras facultades de ingeniería forestal. Esos inventarios estuvieron orientados a ofrecer un primer conocimiento de los bosques naturales tropicales en la concepción de que los recursos forestales en ellos existentes eran casi que inagotables. Fueron los resultados de los inventarios forestales que mostraron el evidente y escaso conocimiento existente de la real capacidad productiva de esos bosques.

## **5.2 TIPOS DE INVENTARIOS FORESTALES**

En una concepción del macro diagnóstico de los recursos naturales renovables, los inventarios forestales pueden ser considerados para responder cuestionamientos ambientales, ecológicos, florísticos, faunísticos y en una combinación de varias variables socio ambientales relacionadas con los bosques.

Los inventarios forestales, estructurados de acuerdo al tipo de la comunidad vegetal arbolada, del área de influencia a la que tendrán sus resultados, de su objetivo establecido y de su correspondiente periodicidad, representan los llamados *inventarios clásicos operacionales*, que sintéticamente se presentan en la Figura 16.

Los *inventarios o levantamientos diagnósticos* se refieren a ofrecer informaciones preliminares de orientación macro, normalmente de biomas o comunidades forestales. A estos inventarios también se los llaman de inventarios pilotos. *Muestreos diagnósticos* se refieren a que sus resultados presentan informaciones en una primera aproximación. Esos inventarios no son repetitivos y sus resultados son puntuales al objetivo pre establecido. En un nivel de relativas pequeñas superficies, se encuadran los inventarios forestales orientados para el aprovechamiento, principalmente maderero.

Los inventarios denominados de *muestreos de gestión* llevan en su planificación, concretas decisiones industriales para un coherente aprovechamiento forestal sostenido. En la práctica de la mensura forestal, la ejecución de estos inventarios forestales específicos, en diversos tipos y tamaños de superficies arboladas se los ejecutan, sea para plantaciones o

cuarteles, donde pueden ser incluidos los levantamientos forestales de la biomasa, biodiversidad y secuestro del carbón.



Figura 16. Tipos de inventarios forestales

*Inventarios de previsión* se refieren a levantamientos más complejos con objetivos más amplios. Sus resultados normalmente se estructuran en la información necesaria para la elaboración de pertinentes planos de manejo y ordenación forestal. Son de interés más colectivo y empresarial. Muchos de los inventarios de gestión se entrelazan con los inventarios de previsión. En esta línea de pensamiento tanto los organismos de gobierno como las instituciones privadas, deben decidir los específicos objetivos que deben ser atendidos rigurosamente por el pertinente inventario forestal.

Los resultados de un inventario forestal podrán ser por tanto, de interés público o específicos del sector privado. Los inventarios forestales de investigación se encuadran más en la estructura de los inventarios diagnósticos.

Entre los inventarios forestales no maderables se incorporan los levantamientos realizados en áreas de bambuzales, áreas con palmeras (palmares) y en algunos casos áreas de cactus gigantes, además de aquellos



que contemplan específicamente determinados Productos Forestales no Maderables (PFNM).

La mejor forma de definir el modelo del inventario más adecuado, será a través de una clara y completa definición de los objetivos y metas que se pretenden alcanzar. Esa definición de objetivos debe preceder a cualquier acción del inventario, facilitando de esa forma la correspondiente planificación y el modelo de inventario que será ejecutado.

En cualquier inventario que se realiza, su diseño en el formato de la parcela (*plot design*) y del propio levantamiento (*sampling design*) estará fundamentado en los objetivos y consecuentes resultados que en la planificación del correspondiente inventario debe estar determinado.

Consecuentemente la clasificación de los inventarios forestales dependerá básicamente de la asignación de los elementos y características que serán interpretadas. Supóngase que se solicita la descripción general de una zona arbolada, en una otra solicitud se pide el conocimiento de los incrementos y mermas después de una extracción maderera, o simplemente se quiere saber cualitativa y cuantitativamente la producción de madera en pie, o bien la relación de la producción de madera con los servicios ambientales del bosque.

En ese sentido se reconoce que las variables de medida y sus correspondientes resultados para una misma área arbolada, serán evidentemente diferentes para cada uno de los inventarios solicitados. Se entiende que un determinado inventario deberá cubrir y atender apenas su objetivo propuesto. Sin embargo, es posible en algunos casos combinar dos tipos de diferentes inventarios, atendiendo dos o más objetivos.

### **5.3 MUESTREO ALEATORIO SIMPLE**

En el diseño del muestreo aleatorio o al azar simple, la parcela es tomada directamente de la población atendiendo los requisitos de la randomización y de la probabilidad. En esos casos, los resultados serán de alta confiabilidad, imparciales y consistentes (Malleux, 1982). En inventarios de extensas áreas existe el riesgo de la relativa agrupación de parcelas y es por ese motivo que su uso en esas áreas debe ser restringido.

Como ejemplo demostrativo, se considera que la población de un macizo arbolado quedó dividido en 594 unidades de muestreo. Cada parcela ocupaba

una superficie de 0,1 ha, consecuentemente la superficie total de ese macizo fue de 59,4 hectáreas. El tamaño del muestreo quedó establecido por 25 parcelas, cuyos resultados del cálculo del volumen de madera en pie se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de 25 parcelas de un muestreo piloto

parcela	volumen m <sup>3</sup> /0,1 ha	parcela	volumen m <sup>3</sup> /0,1 ha	parcela	volumen m <sup>3</sup> /0,1 ha
1	12,0	11	28,0	21	27,2
2	27,2	12	26,4	22	22,4
3	22,4	13	22,4	23	26,4
4	30,4	14	25,6	24	28,0
5	27,2	15	23,2	25	20,0
6	32,8	16	12,0		
7	13,6	17	28,0		
8	19,2	18	12,8		
9	36,0	19	26,4		
10	19,2	20	30,4		

Fuente. Akca, 2001 (p.53)

Los estadísticos correspondientes para ese levantamiento mostraron los siguientes resultados:

$$f = \frac{n}{N} = \frac{25}{594} = 0,042$$

$$1 - f = 0,958 < 0,98 \rightarrow \text{población finita}$$

Estimación del valor medio:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$\bar{x} = \frac{12,0+27,2+\dots+20,0}{25} = \frac{599,2}{25} = 23,968 \text{ m}^3/0,1\text{ha}$$

$$\bar{v}_{ha} = 239,68 \text{ m}^3$$

$$\bar{v}_{total} = 239,68_{m^3/ha} \cdot 59,4_{ha} = 14236,99 \text{ m}^3$$

variancia *sin reposición*:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n(n-1)} \cdot \left(1 - \frac{n}{N}\right)$$

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{15355,52 - \frac{599,2^2}{25}}{25 \cdot 24} \cdot \left(1 - \frac{25}{594}\right) = 1,6565 \cdot 0,9579 \text{ m}^3/0,1\text{ha}$$

Desvio de la media

$$S_{\bar{x}} = \pm 1,26 \text{ m}^3/0,1\text{ha}$$

Estimación del volumen de madera:

$$\bar{V}_{ha} = 239,68 \text{ m}^3 \pm 12,6 \text{ m}^3 \quad (\mu_x 229,1 \text{ m}^3/\text{ha})$$

Intervalos de confianza:

$$IC [239,68 \text{ m}^3 \pm t_{\alpha} \cdot 12,6 \text{ m}^3 = 239,7 \text{ m}^3 \pm 26,0 \text{ m}^3] 0,95 \%$$

$$IC [265,7 > \mu < 213,7 \text{ m}^3/\text{ha}]$$

$$V_{total} = 14237 \text{ m}^3 \pm 766 \text{ m}^3$$

Para el inventario definitivo, considerando 95 % de probabilidad estadística y 5 % de error admisible, la determinación del tamaño del muestreo será:

$$n = \frac{t^2 \cdot S_x^2}{E^2} \quad n = \frac{2,064^2 \cdot 26^2}{5^2} = 115 \text{ parcelas con reposición}$$

$$n = \frac{1}{\frac{E^2}{t^2 \cdot S_x^2} + \frac{1}{N}} \quad n = \frac{1}{\frac{5^2}{2,064^2 \cdot 26^2} + \frac{1}{594}} = 84 \text{ parcelas sin reposición}$$

$1 - f = 0,86$  confirma que se está trabajando con una población finita.

Si las 25 parcelas del inventario piloto fuesen incluidas en el tamaño del muestreo sin reposición, serán necesarias instalar y medir más 59 parcelas. El cálculo de las 84 parcelas, serán procesadas en la misma secuencia del inventario piloto.

La literatura también registra el diseño del muestreo aleatorio estratificado. Ese modelo se lo puede encontrar en áreas arboladas que fueron divididas en los llamados estratos. En cada estrato es posible aplicar el modelo al azar sin estratificación, como fue mostrado en el ejemplo numérico del presente capítulo.

## 5.4 MUESTREO SISTEMÁTICO

La distribución de las parcelas en forma sistemática, significa que la selección de las unidades de la muestra sigue un padrón pre establecido, de acuerdo a los objetivos específicos definidos en la correspondiente planificación. La literatura registra varios diseños de distribuciones sistemáticas de parcelas de muestreo.

También en el modelo de distribución sistemática de las parcelas, se puede aplicar el diseño sistemático sin estratificación como el sistemático con

estratificación. Dependerá de los objetivos del inventario cual de ellos establecer en la correspondiente planificación. La ventaja de los inventarios sin estratificación esta en la mayor facilidad de la ubicación de las parcelas y de los propios trabajos de campo, por otro lado los errores de muestreo serán superiores al del modelo estratificado, pudiendo presentar sub o sobre estimación de los parámetros correspondientes.

Para la aplicación del modelo sistemático con estratificación, al igual del modelo al azar simple, se debe inicialmente dividir la superficie a ser inventariada en correspondientes estratos, para luego en cada estrato distribuir las parcelas pertinentes.

Realizada la estratificación y construido el esquema de la distribución de las parcelas, se escoge aleatoriamente la primera unidad de muestreo, y a partir de ella por el factor de expansión  $k$  se ubican las demás parcelas. Cuando no se conoce el total de la población, la primera parcela se la podrá ubicar aleatoriamente entre las primeras sin atender la relación de la intensidad del muestreo, y a partir de esa parcela las demás serán ubicadas sistemáticamente. También existe el procedimiento de establecer un conjunto de parcelas, de acuerdo al diseño propuesto, y distribuirlas regularmente en la superficie total del área a ser inventariada.

La aplicación de la estratificación reduce el error de muestreo y cuanto mayor fuese la aleatorización, los parámetros calculados serán más precisos.

Normalmente en los inventarios forestales estructurados con la distribución sistemática de sus parcelas, se presentan resultados más precisos que los del inventario aleatorio simple. La concepción de la sistematización elimina un probable efecto de algún posible agrupamiento más o menos homogéneo de individuos arbóreos que podrían existir.

En muchas estimaciones, para asegurar la precisión requerida, se hace necesario efectuar un segundo inventario paralelo, una vez que las parcelas ordenadas no aseguran una completa equivalencia con el diseño aleatorio.

En el ejemplo que se presenta en el Cuadro 6, 594 parcelas cada una de 0,1 ha quedaron establecidas en 59,4 hectáreas (Akca, 2001). Cada parcela presenta en el cuadro, el correspondiente volumen de madera.

En cada quinta columna quedaron ubicadas las correspondientes parcelas, escritas en color rojo para poderlas distinguir, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 7. Secuencialmente la parcela ubicada al lado derecho de cada una, correspondió al segundo levantamiento.

Cuadro 7. Volumen de madera de las parcelas seleccionadas para los dos levantamientos sistemáticos

m <sup>3</sup> /0,1 ha del primer levantamiento sistemático									
<i>j</i>	<i>x<sub>j</sub></i>	<i>j</i>	<i>x<sub>j</sub></i>	<i>j</i>	<i>x<sub>j</sub></i>	<i>j</i>	<i>x<sub>j</sub></i>	<i>j</i>	<i>x<sub>j</sub></i>
1	17,6	6	10,4	11	12,0	16	24,8	21	20,8
2	19,2	7	9,6	12	13,6	17	34,4	22	25,6
3	21,6	8	20,0	13	10,4	18	32,8	23	28,0
4	8,8	9	23,2	14	24,8	19	28,0	24	27,2
5	14,4	10	22,4	15	29,6	20	29,6	25	27,2

m <sup>3</sup> /0,1 ha del segundo levantamiento sistemático									
<i>i</i>	<i>x<sub>i</sub></i>	<i>i</i>	<i>x<sub>i</sub></i>	<i>i</i>	<i>x<sub>i</sub></i>	<i>i</i>	<i>x<sub>i</sub></i>	<i>i</i>	<i>x<sub>i</sub></i>
1	<b>20,8</b>	6	<b>12,8</b>	11	<b>13,6</b>	16	<b>27,2</b>	21	<b>24,8</b>
2	<b>16,0</b>	7	<b>19,2</b>	12	<b>22,4</b>	17	<b>26,4</b>	22	<b>30,4</b>
3	<b>20,0</b>	8	<b>25,6</b>	13	<b>31,2</b>	18	<b>30,4</b>	23	<b>28,8</b>
4	<b>9,6</b>	9	<b>19,2</b>	14	<b>33,6</b>	19	<b>30,4</b>	24	<b>27,2</b>
5	<b>12,0</b>	10	<b>13,6</b>	15	<b>33,6</b>	20	<b>23,2</b>	25	-

Fuente Akca, 2001. (p. 118)

Cálculo de los promedios:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_{ij} \quad \sum x_j = 17,6 + 19,2 + 21,6 + \dots + 27,2 = 536$$

$$\sum x_i = 20,8 + 16,0 + 20,0 + \dots + 27,2 = 552$$

$$\bar{x}_j = \frac{536}{25} = 21,44 \text{ m}^3/0,1\text{ha} \quad \bar{x}_i = \frac{552}{24} = 23,0 \text{ m}^3/0,1\text{ha}$$

Cálculo de la varianza:

1er. levantamiento  $S_j^2 = \frac{12884,48 - \frac{536^2}{25}}{25 \cdot (25 - 1)} = 2,3211 \text{ (m}^3/0,1\text{ha)}^2$

$$S_{\bar{x}} = \pm 1,52 \text{ m}^3/0,1\text{ha}$$

2do. levantamiento  $S_j^2 = \frac{13816,16 - \frac{552^2}{24}}{24 \cdot (24 - 1)} = 2,2104 \text{ (m}^3/0,1\text{ha)}^2$

$$S_{\bar{x}} = \pm 1,49 \text{ m}^3/0,1\text{ha}$$

Estimación de la varianza por los pares conjugados:

(De la columna 4, el último valor – el penúltimo y así sucesivamente)

Del 1er. levantamiento:

$$\begin{aligned}(29,6-24,8)^2 + (24,8-20,0)^2 + (20-19,2)^2 &= 46,72 \\(27,2-20,8)^2 + (20,8-29,6)^2 + (29,6-23,2)^2 + (23,2-21,6)^2 &= 161,92 \\(25,6-24,8)^2 + (24,8-22,4)^2 + (22,4-8,8)^2 + (8,8-17,6)^2 &= 268,80 \\(28,0-34,4)^2 + (34,4-12,0)^2 + (12,0-14,4)^2 &= 548,48 \\(27,2-32,8)^2 + (32,8-13,6)^2 + (13,6-10,4)^2 &= 410,24 \\(28,0-10,4)^2 + (10,4-9,6)^2 &= 310,40 \\ \text{Total} &= 1746,56\end{aligned}$$

Cuadro 6. Volúmenes de madera en pie en m<sup>3</sup> por parcelas cuadradas de 0,1 ha, de un bosque de latifoliadas en Alemania.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1												17,6	20,8	13,6	19,2	16,0																	
2																																	
3												17,6	21,6	22,4	18,4	22,4	20,0	19,2	18,4														
4											19,2	20,0	20,8	16,8	23,2	21,6	20,8	22,4															
5											17,6	20,8	18,4	21,6	20,0	20,8	22,4	23,2	20,0	16,0	21,6	10,4	8,0	13,6	11,2								
6											16,8	20,0	20,8	25,6	22,4	24,0	21,6	17,6	20,8	19,2	17,6	11,2	13,6	11,2	11,2								
7																																	
8																																	
9																																	
10																																	
11																																	
12																																	
13																																	
14																																	
15																																	
16																																	
17																																	
18																																	
19																																	
20																																	
21																																	
22																																	
23																																	
24																																	
25																																	
26																																	
27																																	

Fuente: Akca, 2001 (p.119)

Del 2do. levantamiento:

$$\begin{aligned}
 (30,4-22,4)^2 + (22,4-19,2)^2 + (19,2-16,0)^2 &= 84,48 \\
 (28,8-30,4)^2 + (30,4-31,2)^2 + (31,2-25,6)^2 + (25,6-20,0)^2 &= 65,92 \\
 (23,2-33,6)^2 + (33,6-19,2)^2 + (19,2-9,60)^2 + (9,60-20,8)^2 &= 533,12 \\
 (27,2-24,8)^2 + (24,8-33,6)^2 + (33,6-13,6)^2 + (13,6-12,0)^2 &= 485,76 \\
 (30,4-27,2)^2 + (27,2-13,6)^2 + (13,6-12,80)^2 &= 195,84 \\
 \text{Total} &= 1365,12
 \end{aligned}$$

$$S_{\bar{x}_j}^2 = \frac{1746,56}{2 \cdot 25 \cdot 19} = \frac{1746,56}{950} = 1.8385 (m^3/0,1ha)^2 \quad S_{\bar{x}} = \pm 1,36 (m^3/0,1ha)$$

$$S_{\bar{x}_i}^2 = \frac{1365,12}{2 \cdot 23 \cdot 18} = \frac{1365,12}{828} = 1.6486 (m^3/0,1ha)^2 \quad S_{\bar{x}} = \pm 1,28 (m^3/0,1ha)$$

El cálculo para la estimación de la varianza en el modelo sistemático resulta ser bastante más preciso que en el modelo aleatório.

## 5.5 MUESTREO ESTRATIFICADO

En el Cuadro 8 se presenta el croquis de un bosque latifoliado, dividido en unidades de área de 0,1 ha (Akca, 2001).

Cada conjunto de datos del Cuadro 8 representa los metros cúbidos de madera en pie de la respectiva unidad de la muestra. La superficie boscosa fue dividida en tres estratos: estrato I (volúmenes de 8 a 15 m<sup>3</sup>/parcela), estrato II (16 a 24 m<sup>3</sup>/parcela) y estrato III (mayores a 25 m<sup>3</sup>/parcela). Consecuentemente se podría asumir que la superficie boscosa fue dividida en clases de sitio. El tamaño de la población quedó constituida por un total de 594 unidades de muestra.

Una selección aleatoria separó las parcelas indicadas en la relación a seguir, obteniéndose los resultados presentados en el Cuadro 9. Las siete parcelas para el estrato I, se localizaron en las siguientes coordenadas: línea 13 - columna 4, línea 7 - columna 5, línea 14 - columna 8, línea 11 - columna 8, línea 4 - columna 13, línea 11 - columna 15, línea 11 - columna 16. Las cinco parcelas correspondientes al estrato II tuvieron los siguientes datos: 12,0; 13,6; 13,6; 14,4 y 10,4.



Cuadro 9. Resultados estimados obtenidos por la estratificación.

	Estrato I	Estrato II	Estrato III	unidad
N	158	111	325	
n	7	5	13	
media	20,69	12,8	29,48	m <sup>3</sup> /0,1ha
error padrón	1,38	0,72	0,99	m <sup>3</sup> /0,1ha
volumen estimado	3.269 ± 218	1.421 ± 80	9.581 ± 322	m <sup>3</sup>
intervalo confianza	3.051 – 3.487	1.341 – 1.501	9.259 – 9.903	m <sup>3</sup>
volumen real	3.165	1.329	9.113	m <sup>3</sup>

Fuente: Akca, 2001

Cuando las diferencias de la variabilidad entre los estratos son significantes, el número de unidades muestrales asignadas se las puede distribuir en forma proporcional a su superficie, al volumen por unidad de área de cada clase diamétrica o tipo de bosque. En ese caso se tratará de un modelo de muestreo estratificado con locación proporcional de parcelas. También existen los modelos de muestreo con óptima locación, cuando se pretende minimizar el error medio de la población ajustando normalmente costos pertinentes.

Cuadro 8. Volúmenes de madera en pie en m<sup>3</sup> por parcelas cuadradas de 0,1 ha de un bosque de latifoliadas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1												17,6	20,8	13,6	19,2	16,0																		
2																																		
3												17,6	21,6	22,4	18,4	22,4	20,0	19,2	18,4															
4																																		
5																																		
6																																		
7																																		
8																																		
9																																		
10																																		
11																																		
12																																		
13																																		
14																																		
15																																		
16																																		
17																																		
18																																		
19																																		
20																																		
21																																		
22																																		
23																																		
24																																		
25																																		
26																																		
27																																		

Fuente: Akca, 2001 (p.63)

## **6. INVENTARIOS FORESTALES PARA PROPÓSITOS ESPECIALES**

La evolución tecnológica acoplada a las constantes y nuevas exigencias de la sociedad civil, hizo que los inventarios forestales se acomodasen a nuevos y desafiantes modelos de muestreo. Con el uso de las imágenes de sensores remotos, hoy en día es posible inventariar extensas áreas, inclusive cubriendo el total de la superficie arbolada de un país. En ese sentido varios países incluyeron en sus atribuciones, la realización de inventarios forestales nacionales (IFN).

Así como los inventarios forestales nacionales, en diversas ocasiones fueron y aún son solicitados la realización de específicos inventarios forestales atendiendo objetivos puntuales, como los que se presentan a seguir, que aquí se muestran exclusivamente como ejemplos de ejecución.

### **6.1 INVENTARIOS FORESTALES DE EXTENSAS ÁREAS**

No siendo estrictamente un inventario forestal, cabe mencionar que el levantamiento forestal mundial denominado de FRA (*Global Forest Resources Assessments*) que se lo realiza por la FAO, a través de la compilación de pertinentes informaciones enviadas por parte de los países e identificación satelital de los bosques ejecutada por la propia FAO, tuvo su inicio en 1946, y se lo procesaba inicialmente a cada 10 años, siendo que actualmente se lo realiza a cada 5 años (FAO, 2015). El FRA coloca a disposición, comparativamente, datos macros por país y por parámetros dasométricos. Como marco conceptual, la FAO a través de sus programas *Evaluación de los Recursos Forestales* (FAO, 2015) y del *Levantamiento Global de los Recursos Forestales*, proporcionan importante guía y recomendaciones para la compilación de datos útiles para el levantamiento mundial de los recursos forestales.

En relación al diseño de los inventarios forestales de extensas áreas, la primera actividad consistirá probablemente en la realización de una estratificación del bosque o extensa área arbolada que deberá ser objeto de la inventariación. En teoría, la estratificación de la pertinente superficie boscosa precede a la formulación del sistema del muestreo para el total del área a ser inventariada o

bien para cada estrato. Sin embargo, muchas veces no existe una información adecuada en términos de cartas topográficas, mapas temáticos e imágenes satelitales que permitan realizar una correcta estratificación. De cualquier forma, una vez realizada la estratificación, ésta debe permanecer por mucho tiempo, si se quiere que en un futuro exista una correspondiente evaluación comparativa.

La estratificación puede ser desarrollada bajo diversos aspectos de orden territorial, que considere coherentemente características de la cobertura vegetal, de la calidad de los sitios de crecimiento o bien de alguna característica de interés específico, como la clasificación o distribución del área del inventario en cuencas o sub cuencas hidrográficas, como se muestra en la Figura 17.

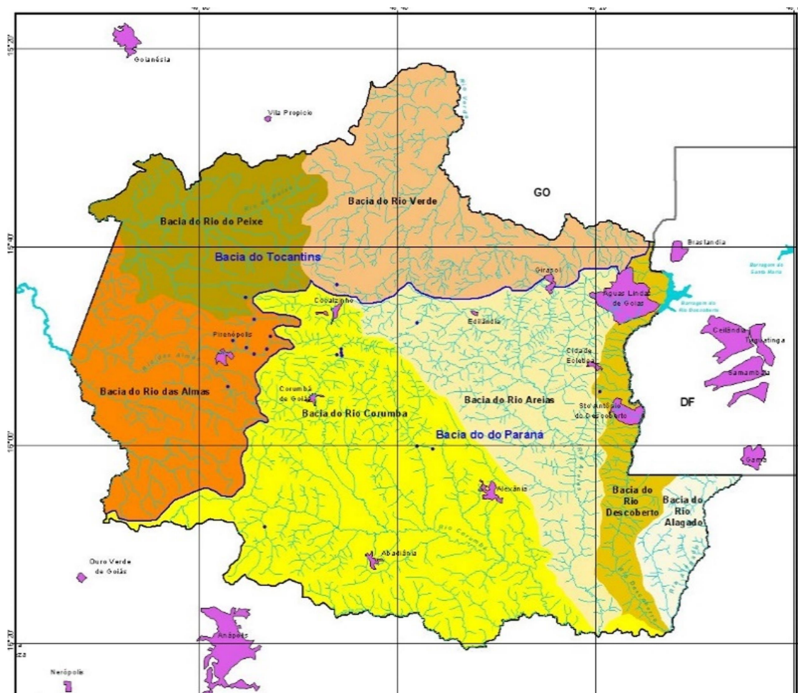


Figura 17. Estratificación de la región del ecomuseo del cerrado (Brasil) en sub cuencas hidrográficas

Considerando que la realización de cualquier inventario forestal de extensas áreas se vincula naturalmente a ofrecer coherentes parámetros dasométricos para la elaboración de posibles planos de manejo sostenible y correspondiente ordenación territorial, en su planificación se mostrará que su correspondiente ejecución representa un costo significativo.

En algunos países latinoamericanos fueron o aún están siendo ejecutados correspondientes inventarios forestales de extensas áreas normalmente estructurados y planificados por los respectivos gobiernos, solicitándose como resultados primarios: el conocimiento de los tipos de bosques y sus respectivos estoques de madera en pie, valores porcentuales de las áreas arboladas y el pertinente estado sanitario de la correspondiente estructura boscosa, además de una completa relación de las especies arbóreas allí existentes.

Levantamientos que se relacionan con la ejecución de inventarios de recursos naturales renovables de extensas áreas, toman como base de simple a complejos sistemas y diseños de inventarios forestales. Los inventarios forestales que cubren extensas superficies boscosas solo podrán ser desarrollados y analizados a partir de específicas informaciones puntuales (Rondeaux, 1993).

En los inventarios forestales de extensas áreas normalmente son utilizados varios equipos o cuadrillas de campo con conocimientos y estructuras sociales muchas veces bien diferentes entre sí. Se hace necesario en esos casos, la preparación a través de cursos de instrucción, mostrar detalladamente todas las fases y procedimientos pertinentes de todo el desarrollo del inventario, con la finalidad de obtener la llamada visión de conjunto del levantamiento.

Por ese motivo se justifica plenamente y muchas veces se hacen necesarias y hasta obligatorias, realizar correspondientes mediciones de control, por lo menos una vez para cada equipo de campo. Esta justificativa será aún mayor si en la planificación del inventario está definida la instalación de parcelas permanentes. Estos equipos denominados de inspección o de control deben poseer total autonomía de acción y estar constituidos en el mismo formato y estructura que los equipos o cuadrillas de medición de campo.

Las mediciones de control en los inventarios forestales nacionales de algunos países europeos, Canadá, Estados Unidos de Norte América y Nueva Zelandia, en esta fase proceden a remedir hasta un 10 % de las parcelas ya instaladas y medidas. Evidente que dependerá de la finalidad del inventario, del tamaño de la muestra y costo inherente, definir el número de parcelas que deben ingresar a las mediciones de control.

Las mediciones de control, por tanto, identificarán un posible grado del error que pudiera ser cometido en la instalación y medición de la parcela pertinente, así como también deberá detectar la eficiencia de la metodología usada y el cumplimiento de la precisión estipulada para las medidas de las variables consideradas.

A nivel nacional interesan prioritariamente los *inventarios estratégicos*, y a un nivel menor los *inventarios operacionales*, por tanto, la precisión de los parámetros obtenidos podrán aumentar de los levantamientos estratégicos a los operacionales. Los dos tipos de inventarios atendiendo sus objetivos específicos son ambos importantes e imprescindibles para un correcto ordenamiento forestal sostenible. Un inventario forestal nacional no reemplaza a los levantamientos forestales de menor escala y deben ser considerados entre sí, como complementarios ofreciendo públicamente sus correspondientes resultados.

Los inventarios forestales nacionales (IFN) proporcionan condiciones para que los diversos levantamientos puedan hacer uso de diversas informaciones debidamente procesadas por organismos de interés pertinente. Como ejemplo se cita el mapeo de una cobertura boscosa, donde otros levantamientos de mayor detalle y de interés inclusive diferente al forestal, podrán hacer uso de la correspondiente información forestal procesada. Sin embargo, se debe considerar que los IFNs no generan funciones matemáticas estimadoras para la determinación de parámetros volumétricos o de cualquier otro parámetro boscoso como biomasa y crecimiento. Esos parámetros se los obtiene normalmente con los inventarios continuos, sobre la base del IFN.

La finalidad específica de una mayoría de los inventarios forestales nacionales consistirá básicamente en evaluar los recursos forestales y sus productos existentes en el total de la superficie boscosa del país correspondiente. Los IFNs deben proporcionar siempre una nueva y actualizada información cualitativa y cuantitativa sobre el estado, utilización, ordenación y tendencias de uso de los recursos evaluados. La evaluación correspondiente debe cubrir en consecuencia una extensa gama de variables incluyendo las biofísicas y socio económicas entre otras, proporcionando una visión amplia y holística principalmente del uso del suelo para el país en su totalidad. En términos generales, la información o resultados obtenidos se los utilizarán para planificar, diseñar y aplicar políticas

públicas y estrategias nacionales para la utilización sostenida de los recursos forestales y la conservación de los correspondientes ecosistemas forestales.

En una secuencia de ejecución periódica, los IFNs permitirán monitorear técnica y científicamente los pertinentes recursos forestales, ofreciendo condiciones de ajustar correspondientes políticas públicas; pudiendo servir sus datos y resultados para el reportaje en procesos internacionales, e inclusive reducir de forma coesa diversas posibles especulaciones sobre los bosques y sus recursos pertinentes. Los IFNs también permeabilizarán la comprensión de las relaciones entre los recursos forestales y los usuarios del bosque inclusive de los árboles fuera del bosque.

Como ejemplo, un inventario forestal nacional podrá tener los siguientes objetivos específicos: 1) disponer de una información cuantitativa y cualitativa sobre los recursos forestales del país correspondiente, discriminados por categorías de bosques y tipos de arbolados para todo su territorio nacional. 2) Evaluar la dinámica de cambio del uso de la tierra desde la última década. 3) Estimar el contenido de carbón según las categorías del bosque. 4) Proporcionar un banco de información forestal para la investigación aplicada en el ámbito forestal. 5) Construir capacidades a nivel técnico sobre todo en el proceso metodológico del IFN. 6) Diseñar propuestas de políticas públicas que incentiven el manejo sostenible de las masas boscosas, basadas en las necesidades de los recursos forestales del país correspondiente.

Se citan como ejemplo los objetivos de IFN establecidos por algunos países latino americanos. En ese sentido el IFN de Colombia establece como objetivo general *"medir, describir y evaluar los ecosistemas arbolados con la finalidad de producir y proveer amplia información forestal – ambiental, que permita la ordenación y administración sostenible de los recursos naturales forestales"* (Colombia, 2009). Para Costa Rica se informa que el objetivo fue *"determinar las existencias, características y el estado de los recursos forestales del país como base para orientar el ordenamiento de las tierras forestales en la toma de decisiones para su manejo y administración"* (Costa Rica, 2014).

El Servicio Forestal Brasileño establece como objetivo del IFN *"producir informaciones sobre los recursos forestales del Brasil, tanto de bosques naturales como de bosques plantados a cada cinco años, sirviendo de subsidio a la*

*formulación de políticas públicas de desarrollo, uso y conservación” (Servicio Florestal Brasileiro, 2017). En el Ecuador, la evaluación nacional forestal pretende “promover datos e información válida sobre los recursos forestales, con miras a la planificación estratégica del desarrollo forestal sostenible del Ecuador y para responder adecuadamente a los requerimientos internacionales incluyendo REDD+ (Aguirre et al, 2010). El objetivo del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - INFFS del Perú cita “proveer información continua, actualizada y confiable para la planificación del manejo sostenible de los bosques del Perú y sus recursos en las regiones de Selva, Sierra y Costa, incluyendo los bosques naturales, plantaciones forestales y bosques secundarios, colectando y procesando datos sobre la biomasa, biodiversidad, reservas de carbono, deforestación, emisión de gases de efecto invernadero, estado de la fauna silvestre e información socio económica de las poblaciones rurales asentadas en su entorno” (Perú, 2016).*

Resumiendo, de un Inventario Forestal Nacional, como resultados se podrían esperar lo siguiente: 1) poseer correspondiente información cuantitativa y cualitativa sobre los recursos forestales, discriminados por categorías de bosques para todo el país, disponible y accesible principalmente a los tomadores de decisión. 2) Conocer y mostrar la dinámica del cambio de uso de la tierra de los últimos diez años, con la producción de correspondientes mapas temáticos producidos para el periodo comprendido. 3) Identificación detallada y discriminada de las especies, y actualmente del contenido de carbón según categorías y tipos de bosques. 4) Disponibilizar correspondiente banco de datos referenciales. 5) Consolidación en la formación de técnicos capacitados para la implementación y manutención de la metodología del IFN. 6) Establecer concretas propuestas de modificación del marco legal vigente en base a los datos recabados.

En ese sentido los inventarios forestales nacionales ofrecen una enorme gama de informaciones específicas, que deben estar claramente solicitadas en la correspondiente planificación de ejecución. Sin embargo, todos estos inventarios presentan como productos generados, los resultados de una carpeta cartográfica muy específica incluyendo una enorme diversidad de mapas temáticos, producidos hoy en día por la geomática de imágenes de satélite. Otros productos, generalmente colocados a disposición de la sociedad, son las bases de datos operacionales (tipos de coberturas, lista de especies, características macro de



esas especies, volumetría maderera, entre otros. También es común que los IFNs relacionen y coloquen públicamente a disposición la base de datos referenciales (informes técnicos, estudios específicos compilados, etc.)

La realización de un inventario forestal nacional (IFN) se justifica plenamente analizando los siguientes aspectos: 1) el bosque es un patrimonio y a su vez un capital nacional; 2) el uso de los correspondientes resultados se los debe considerar como herramienta de planificación nacional/regional de los recursos forestales, madereros y pertinentes sub productos, relaciones ambientales destinados al manejo forestal sostenible; y 3) su estructura operacional permite identificar el uso correcto del suelo y de la correspondiente cobertura vegetal. Por tanto, el IFN además de constituirse en una herramienta sumamente necesaria para el diseño de políticas públicas en relación a sus bosques, su confiable interpretación se extiende más allá de su objetivo primario, de manera que implícita en un sin número de elementos que interactúan entre sí, otorgándole una diversidad y complejidad única. Es por ello que una evaluación del recurso forestal a nivel nacional implicará necesariamente en el análisis, no solo del componente natural biológico forestal, sino también de la estructura social y el componente económico en el cual el bosque se encuentra.

El desarrollo de un IFN desde su concepción metodológica hasta su efectiva implementación de las parcelas de muestreo en el campo y su correspondiente interpretación, normalmente estará a cargo de alguna institución gubernamental en colaboración con instituciones llaves del sector forestal y probables organizaciones de la sociedad civil, que se encuentren participando del desarrollo forestal del país.

Dependiendo del tamaño del país, de la estructura de la malla de puntos (localización de las parcelas), de las variables que serán medidas y de los parámetros a ser interpretados, el periodo de ejecución de un IFN se puede extender por varios meses, inclusive años. Normalmente los inventarios forestales nacionales poseen ciclos de re-ejecución a cada tres, cinco o diez años. El costo total de un IFN es sumamente alto, sin embargo, por las informaciones que serán dadas a conocer, a nivel nacional, esos costos tienen su retorno económico, social y técnico completamente justificado.

## 6.2 INVENTARIOS FORESTALES CON MUESTREO POR CONGLOMERADOS

En cuatro mil hectareas de un bosque tropical, localizado en la región amazónica, fue realizado un inventario forestal empleando un muestreo por conglomerados, en el diseño de la cruz de malta. Consecuentemente el conglomerado quedó constituido por cuatro parcelas rectangulares de  $\frac{1}{4}$  de hectárea cada una en las dimensiones de 250 x 10 m. Del centro del conglomerado, a 100 m fueron ubicadas las parcelas denominadas de sub unidades, siguiendo los rumbos norte, este, sur y oeste. Las cuatro sub unidades cubrían por lo tanto, un área de 10.000 m<sup>2</sup>. La malla de puntos quedó estructurada en 4000 puntos. El inventario piloto efectuado en 25 conglomerados, presentó para un error del 10 % y probabilidad estadística de 95 % (acierto probabilístico), los parámetros volumétricos indicados en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Resultados volumétricos de 25 parcelas conglomeradas

conglo- merado	Volumen de las sub unidades (m <sup>3</sup> /0,25ha)				media
	I	II	III	IV	
1	84,7	78,2	63,0	88,5	78,60
2	70,1	65,4	59,6	58,1	63,30
3	75,6	77,7	66,1	43,5	65,73
4	81,3	38,7	62,8	31,1	53,48
5	99,5	47,0	82,1	77,4	76,50
6	97,3	66,1	57,4	113,9	88,68
7	70,2	43,5	48,3	69,3	57,83
8	81,7	68,8	22,6	78,2	62,83
9	60,9	71,4	75,2	81,1	72,15
10	67,3	90,5	72,6	67,1	74,38
11	75,4	88,5	104,6	105,5	93,50
12	71,0	57,0	79,3	71,8	69,78
13	61,8	100,9	69,4	61,0	73,28
14	116,9	91,0	36,9	57,3	75,53
15	56,0	22,9	94,8	130,2	75,98
16	68,2	32,5	68,2	58,6	56,88
17	55,4	61,3	76,3	40,0	58,25
18	55,0	63,0	56,8	36,8	52,90
19	78,8	59,6	68,1	46,8	63,33
20	33,6	44,4	34,1	79,6	47,93
21	48,8	26,6	67,5	51,0	48,48
22	82,4	61,8	23,4	60,2	52,95
23	69,8	49,5	53,9	0,0	43,30
24	58,4	61,5	45,5	50,2	53,90
25	27,4	63,6	69,4	60,8	55,30

Fuente. Péllico Netto, 1993 (p.189)

Los parámetros resultantes del cálculo de los estadísticos fueron los siguientes:

Media estimada de las sub unidades:

$$\bar{x} = \frac{\sum^n \sum^M x_{ij}}{nM} = 64,748 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

donde: n = número de conglomerados  
m = número de sub unidades por conglomerado

$$\bar{x} = 259 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$S_x^2 = \frac{1}{n(M-1)} \sum^n \sum^M (x_{ij} - \bar{x})^2 = 483,77 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

Análisis de la varianza:

$$S_x^2 = S_{entre}^2 + S_{dentro}^2$$

$$CM_{entre} = \frac{\sum^n M (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{15.683,02}{25-1} = 653,46 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

$$CM_{dentro} = \frac{\sum^n \sum^M (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n(M-1)} = \frac{32.040,66}{25(4-1)} = 427,21 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

$$S_{dentro}^2 = 427 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

$$S_{entre}^2 = \frac{CM_{entre} - CM_{dentro}}{M} = \frac{653,46 - 427,21}{4} = 56,56 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

Varianza total:

$$S_x^2 = S_{entre}^2 + S_{dentro}^2 = 56,56 + 427,21 = 483,77 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

Coefficiente de correlación intra conglomerados:

$$r = \frac{S_{entre}^2}{S_{entre}^2 + S_{dentro}^2} = \frac{56,56}{483,77} = 0,1169$$

r está situado dentro del límite aceptable para la aplicación del muestreo

Tamaño del muestreo:

$$n = \frac{t^2 \cdot S_x^2}{E^2 \cdot M} [1 + r(M - 1)]$$

siendo:  $E = 10\% \cdot \bar{x} = 6,4748$        $t_{0,05;24} = 2,064$

$$n_1 = \frac{(2,064)^2 \cdot 483,77}{6,4748^2 \cdot 4} [1 + 0,1169 \cdot (4 - 1)] = 16,59 \approx 17$$

$$t_{0,05;16} = 2,120$$

$$n_1 = \frac{(2,120)^2 \cdot 483,77}{6,4748^2 \cdot 4} [1 + 0,1169 \cdot (4 - 1)] = 17,51 \approx 18$$

$$t_{0,05;17} = 2,110$$

$$n_1 = \frac{(2,110)^2 \cdot 483,77}{6,4748^2 \cdot 4} [1 + 0,1169 \cdot (4 - 1)] = 17,34 \approx 18$$

18 conglomerados, serán necesarios para obtener la estimación solicitada. El inventario piloto consideró 25 conglomerados, consecuentemente se lo transforma en inventario definitivo.

Cálculo de los estimadores:

Varianza de la media:

$$S_{\bar{x}}^2 = \left(\frac{N - n}{N}\right) \cdot \frac{S_{entre}^2}{n} + \frac{S_{dentro}^2}{n \cdot M} = \left(\frac{4.000 - 25}{4.000}\right) \frac{56,56}{25} + \frac{427,21}{24 \cdot 4} = 6,520 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S_x^2}{n \cdot M} [1 + r(M - 1)] = \frac{483,77}{25 \cdot 4} [1 + 0,1169 (4 - 1)] = 6,534 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

Error padrón:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{S_{\bar{x}}^2} = \sqrt{6,520} = 2,553 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$$

Error de muestreo:

Absoluto  $E_a = \pm (t \cdot S_{\bar{x}}) = \pm 1,99 \cdot 2,553 = 5,080 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}$

Relativo  $E_r = \pm \frac{t \cdot S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100 = \pm \frac{1,99 \cdot 2,553}{64,748} \cdot 100 = 7,87 \%$

Intervalo de confianza para el valor medio:

$$IC [\bar{x} - (t \cdot S_{\bar{x}}) \leq \bar{X} \leq \bar{x} + (t \cdot S_{\bar{x}})] PE$$

$$IC [59,65 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha} \leq \bar{X} \leq 69,84 \text{ m}^3/0,25 \text{ ha}] 95 \%$$

Total estimado:

$$\hat{X} = N \cdot M \cdot \bar{x} = 4.000 \cdot 4 \cdot 64,748 = 1.035.968 \text{ m}^3$$

Intervalo de confianza para el total de la población:

$$IC [\hat{X} - (N \cdot M)(t \cdot S_{\bar{x}}) \leq X \leq \hat{X} + (N \cdot M)(t \cdot S_{\bar{x}})] PE$$

$$IC [954,458 \text{ m}^3 \leq X \leq 1.117.478 \text{ m}^3] 95 \%$$

### 6.3 INVENTARIO FORESTAL CONTINUO

En un marco general, los inventarios forestales de extensas áreas ofrecen una detallada primera aproximación de los recursos forestales de diversas regiones y tipos de cubiertas arboladas en ellas existentes. Muchas veces en ese contexto, se establece la necesidad de realizar levantamientos más específicos en determinadas comunidades boscosas atendiendo siempre a objetivos pre establecidos. En un primer inventario todas las parcelas de muestreo se las considera como temporarias. En algunos casos es posible encontrar ya en un primer inventario parcelas temporarias como permanentes. En ese sentido, utilizando la malla de puntos de un inventario forestal nacional o de inventario de una extensa área, un segundo inventario se lo ejecuta sobre una parte de las parcelas establecidas. El segundo y sucesivamente los próximos inventarios se los realiza normalmente cuando las masas arboladas pertinentes están permanentemente en régimen de programas de ordenación y manejo forestal, o cuando los sistemas de ordenación y manejo tienen carácter de intensivo aprovechamiento, y más específicamente cuando se pretende acompañar en detalle los diversos ritmos de crecimiento.

El monitoreo de esos inventarios forestales tanto de extensas áreas como de superficies menores, en constantes periodos de ejecución, es lo que configura la estructura de los inventarios forestales continuos. Dependiendo de la información que podrá ser requerida, a esos inventarios también se los puede denominar de

inventarios forestales sucesivos. Los levantamientos son ejecutados en periodos pre establecidos, y están consecuentemente destinados en su mayoría a atender pertinentes planos de manejo integral de la masa boscosa, incorporando en ella todos los posibles recursos y sub productos de los macizos arbolados correspondientes.

Resultados de los inventarios de extensas areas presuponen ofrecer el conocimiento actualizado de diversos factores que se interponen en la dinámica del crecimiento de las masas arboladas y de los propios individuos arbóreos. A través de observaciones repetitivas es posible identificar entre otros asuntos, la efectiva dinámica de crecimiento de los árboles, especies y del propio ecosistema bosque que puede ser facilmente demostrado a través de la correlación entre observaciones repetitivas de las parcelas medidas.

Al hacer observaciones sucesivas de las mismas parcelas se aumenta inevitablemente la precisión de las estimativas de los cambios que por ventura se realizaron en las áreas inventariadas. Especificamente para los planes de manejo forestal sostenible, es precisamente que el conocimiento de esos posibles cambios, son fundamentales para la correcta estructuración de la ordenación forestal. Durante el transcurso del tiempo, el conocer esos cambios, son más importantes que la identificación puntual momentánea del estado del recurso forestal y por ende del ecosistema bosque.

Supóngase, como ejemplo, la necesidad de conocer la dinámica del crecimiento y el aumento volumétrico de la madera de un rodal o cuartel administrado en el sistema de manejo sostenible. En un ciclo de corta de 40 años, se deberian realizar a cada 5 años correspondientes inventarios continuos quinquenales, totalizando 8 inventarios hasta completar el correspondiente ciclo final de corta. El objetivo final será consecuentemente, tener conocimiento detallado del crecimiento de ese tipo de masa arbolada con la finalidad de crear correspondientes planos de ordenación y manejo forestal sostenido, que permita la optimización del crecimiento y corte correspondiente. Con la realización del primer inventario en el sistema continuo, para esa comunidad arbolada, luego en el inicio de la decisión de mantener los rodales y cuartes pertinentes en sistemas de aplicación rigurosa de la sostenibilidad, los inventarios se transforman naturalmente en sólidas herramientas dinámicas de planificación y ordenación de

la correspondiente masa boscosa, siendo que estos inventarios deben continuar a ser revisados y actualizados permanentemente.

En síntesis los inventarios continuos se estructuran en la distribución de parcelas temporarias y permanentes. Estos inventarios presentan cuatro modelos de evaluación en la ejecución del segundo inventario o sucesivos inventarios, que también se denomina a ese segundo inventario de *inventario de segunda ocasión*. En muchos casos, un porcentual de las parcelas del primer inventario (*inventario de primera ocasión*) son transformadas en parcelas no-temporales o permanentes, con actualización escalonada de la toma de datos. Normalmente el intervalo de ejecución de estos inventarios se establece en periodos de tres - cinco a diez años. En ese contexto los inventarios continuos o sucesivos pueden ser transformados en levantamientos específicos destinados a programas de manejo y ordenación integral de la pertinente comunidad arbórea, cuando existe la posibilidad de incorporar en ella el mayor número posible de los productos y recursos del bosque.

Se tiene por consecuencia un primer inventario denominado de primera ocasión y un segundo inventario denominado de segunda ocasión, considerando la existencia de parcelas temporarias y permanentes. En ese sentido el inventario forestal continuo se presenta con cuatro modelos: 1) en ambas ocasiones (primero y segundo inventario) se miden solo las parcelas temporarias; 2) en ambas ocasiones se miden solo las parcelas permanentes; 3) en el primer inventario se miden todas las parcelas, y en el segundo inventario solo las parcelas permanentes; 4) en ambas ocasiones se miden todas las parcelas (temporarias y permanentes).

A seguir se mostrará el modelo clásico del inventario que considera la medición de todas las parcelas en la primera ocasión y solamente parcelas permanentes en la segunda ocasión. Los parámetros estadísticos serán consecuentemente: los valores medios de las parcelas temporarias del primer inventario y valores medios de las parcelas permanentes del segundo inventario ( $\bar{x}_{temp}$   $\bar{x}_{perm}$   $\bar{y}_{perm}$   $\bar{y}_{general}$ ). La aplicación de este modelo, requiere de un cálculo de regresión de los estadísticos considerados (  $x$  e  $y$ ) en ambas ocasiones.

480 parcelas de 500 m<sup>2</sup> (0,05 ha) fueron establecidas en la ejecución del inventario de la primera ocasión. De éstas unidades, 48 fueron seleccionadas

como parcelas permanentes (Malleux, 1982 p.354). El intervalo de tiempo para el inventario de la segunda ocasión fue de 10 años.

Medias calculadas:

$$\bar{x}_{1e\ inv} = 1,12\ m^3/ha$$

$$\bar{y}_{2do\ inv} = 1,50\ m^3/ha$$

Modelo de regresión:

$$\bar{y}_{2d\ inv} = \bar{y}_{perm} + b_{yx} (\bar{x} - \bar{x}_{perm})$$

$$\bar{y}_{2do\ inv} = \bar{y}_{perm} + (1 - f_{1er\ inv}) \cdot b_{yx} (\bar{x}_{temp} - \bar{x}_{perm})$$

$$f = \frac{n_{perm}}{N} = \frac{48}{480} = 0,1$$

El CV fue igual a 50 % para ambas ocasiones.

Se asume un valor de  $Q = 0,8$

Error standard de la estimación de la regresión:

$$S_{\bar{y}\ 2do\ inv}^2 = S_{\bar{y}\ perm}^2 \cdot \left( \frac{1-r^2}{n_{perm}} + \frac{r^2}{N_{1er\ inv}} \right) \quad r = \text{coeficiente de correlación}$$

Error padrón:

$$S_{\bar{y}\ 2do\ inv} = CV\% \cdot \sqrt{\frac{1-Q^2}{n_{perm}} + \frac{Q^2}{n_{1er\ inv}}}$$

$$S_{\bar{y}\ 2d\ inv} = 50 \cdot \sqrt{\frac{1-0,64}{48} + \frac{0,65}{432}} = 50 \cdot \sqrt{0,0075} + 0,001333 = 50 \cdot 0,094 = \pm 4,7\ \%$$

Resumiendo, los inventarios forestales continuos se estructuran en su filosofía, hacia la disminución de pertinentes costos en la ejecución del segundo inventario y por su vez aprimorar la cobertura y el espectro del muestreo al ir aplicando y aumentando correspondientes parcelas de observación en las sucesivas actualizaciones. En algunos casos se aplica en estos inventarios el muestreo testigo, que se refiere a la verificación real del registro inicial de los datos de campo.



## 6.4 INVENTARIO FORESTAL DE PLANTACIONES INDUSTRIALES

Las plantaciones forestales industriales en su generalidad conforman estratos regulares en función principalmente del área del rodal o cuartel plantado, con la principal característica de que el macizo arbolado contempla en su mayoría apenas una especie arbórea con una edad homogénea. A esos bosques o plantaciones se los considera y se los administra con una silvicultura propia y sistemas de manejo pertinentes, muy diferente al de los bosques naturales. La regulación de uso, ordenación, administración y explotación de estas plantaciones llamadas también de bosques artificiales se caracterizan por presentar una relativa estructura homogénea de crecimiento y una relativa producción uniforme del volumen maderero. Sus sistemas de ordenación, administración y manejo de uso de los macizos arbolados tienen una mayor similitud con el manejo agrícola que con el manejo típicamente forestal.

Entiéndase que esas plantaciones, muchas veces cubriendo extensas áreas, con superficies superiores a las 10 y hasta 100 mil hectáreas, son en realidad un tipo de fábricas de materia prima maderera para un determinado producto forestal, en su mayoría destinados a la producción de pasta de celulosa y papel, así como también para el suministro regular de material energético (leña y chips de madera) para hornos de fundición, cámaras secadoras y semejantes), y en otros casos para el aprovechamiento de tablas de aserrio.

Una vez que la estructura de una plantación industrial independientemente del tamaño del rodal, se muestra bastante homogénea, el cálculo del volumen por hectárea ( $V_{ha}$ ) puede ser realizado como primera aproximación (sin el cálculo de la seguridad estadística), a través de la fórmula clásica conocida para uso de todos los tipos de bosques, realizando la multiplicación del número de individuos por hectárea ( $N_{ha}$ ) por el volumen de madera del árbol de área basal media ( $V_{dg}$ ), con el uso de la siguiente fórmula:

$$V_{ha} = N_{ha} \cdot V_{dg}$$

Utilizando modelos de muestreo probabilístico, pueden ser empleados en las plantaciones industriales con bastante facilidad y seguridad, los modelos estratificados en función de la edad y del sitio de crecimiento correspondiente. Se

debe utilizar para tanto una distribución aleatoria o sistemática de las parcelas de muestreo. Otro procedimiento probabilístico utilizado en plantaciones, es el llamado inventario por líneas de muestreo, cuando las líneas son seleccionadas siguiendo los correspondientes criterios probabilísticos.

Las plantaciones forestales de pequeñas áreas, mismo haciendo parte integrante del sistema de plantaciones industriales, que se distribuyen normalmente en lotes o rodales individuales con superficies que cubren menos de 10 hectáreas, generan una problemática específica de los sistemas tradicionales de muestreo. En esos casos la unidad muestral debe ser redefinida, de modo que permita capturar información representativa de la masa forestal. Muchas veces el muestreo al 100 % podrá ser la recomendación para esas plantaciones, o bien la utilización del método de muestreo basado en árboles individuales.

En áreas de plantaciones industriales es de esperar que el coeficiente de variación (*CV*) para la variable *DAP* y para el parámetro volumen de madera, oscile entre 20 y 50 %, dependiendo naturalmente del tipo de rodal, sitio y especie. En la práctica común no se realiza la medición de todas las alturas de la respectiva parcela, normalmente se trabaja con un número determinado de individuos a través de funciones hipsométricas, y en ese sentido se procede a la estimación de la altura media de la parcela.

Resultados de la parcela pueden ser estimados a través del factor de corrección para la hectárea, por simple cálculo de extrapolación sin asegurar la probabilidad estadística. Este factor es la relación que existe entre la unidad de área considerada (en este caso la hectárea) y el área de la parcela. Para parcelas de 600 m<sup>2</sup> corresponderá a 16,67 (10.000/600).

Tanto para el muestreo por azar simple, como para el sistemático, además de permitir la medición de los errores de muestreo, se debe establecer los límites de confianza de la evaluación correspondiente. Permite definir consecuentemente un intervalo dentro del cual se debe esperar encontrar con cierto grado de probabilidad el verdadero valor (parámetro) de la población. El intervalo de confianza además de analizar la variabilidad informa indirectamente el costo probable del inventario.

No es solo el número de observaciones que condiciona la confianza que se deposita en el cálculo de la media aritmética y el probable valor verdadero. Se debe dar especial atención a las discrepancias (diferencias) en las observaciones, resultantes de las varias mediciones. Para un igual número de mediciones, si las discrepancias fuesen pequeñas es natural que se conceda al valor central calculado una mayor confianza en el resultado (de quedar más próximo del valor central verdadero).

En los inventarios forestales se hace necesario determinar los llamados errores de medición. Con el intuito de encontrar una medida de la propia variación de los datos de una muestra, el primer concepto será el de calcular los residuos o desvíos de cada valor en relación a la media aritmética calculada. Schumacher y Chapman (1954) indican que retiradas de una población  $n$  muestras casuales y sucesivas, las medias de ellas obtenidas tienden a distribuirse de acuerdo a la ley normal de frecuencias. Independientemente de la ley de distribución inherente a la población inicial, las medias provenientes de las muestras de  $n$  elementos tienden a distribuirse normal y naturalmente alrededor de la media verdadera ( $\mu$ ) de la población, cualquiera que sea la población en observación.

Por tanto, el cálculo del muestreo permite obtener estimativas consistentes de los valores paramétricos tanto más que demuestra ser posible retirar una estimativa consistente, sea de la media, sea de la varianza o del desvío padrón de la población, de las medias de las muestras de los  $n$  elementos, con base en la media y en la varianza o en el desvío padrón obtenidos en una sola muestra de  $n$  elementos. Consecuentemente es posible pasar del tamaño del muestreo, distribuida normalmente o no, para la correspondiente población permitiendo aplicar el cálculo de los errores del muestreo, y el tratamiento estadístico inherente a la curva de Gauss.

La ecuación de probabilidad permite definir en forma clara y consistente el intervalo dentro del cual se debe localizar con la probabilidad  $p$  la media verdadera de la población. Todo se resume en calcular con los datos de la parcela las estimativas de la media y del desvío padrón de la media, y retirar de la tabla de  $t$  el error normal correspondiente a la magnitud del tamaño muestral ( $n-1$  grados de libertad) en la probabilidad deseada.

Consecuentemente existen condiciones de obtener estimativas consistentes sea de la media de la población en análisis, sea del grado de confianza que esta debe proporcionar, midiendo la amplitud del error máximo (en valores absolutos) en la probabilidad previamente definida.

Un inventario forestal realizado en una plantación de *Eucalyptus grandis*, presentó los parámetros que se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Datos de un inventario forestal.

Parc. Nr.	DAP cm	Volumen por ha	Parc. Nr.	DAP cm	Volumen por ha
1	13,94	210,35	30	9,80	72,36
2	15,68	312,13	31	9,86	94,20
3	15,53	200,61	32	8,40	63,89
4	12,23	183,79	33	11,38	144,89
5	16,19	300,73	34	12,71	175,93
6	15,25	135,97	35	13,18	167,79
7	12,85	189,74	36	12,40	171,01
8	12,52	129,85	37	13,77	121,93
9	12,31	115,01	38	11,86	138,51
10	12,14	122,70	39	13,20	142,11
11	12,11	135,22	40	12,60	160,13
12	9,64	84,50	41	12,05	102,19
13	10,23	95,95	42	12,11	109,15
14	12,94	182,65	43	10,73	106,41
15	10,68	114,31	44	12,95	180,61
16	11,43	93,79	45	10,99	130,72
17	10,91	87,09	46	11,02	94,97
18	9,83	72,70	47	11,82	125,20
19	13,47	121,20	48	14,57	146,46
20	12,75	150,48	49	12,22	88,51
21	9,01	66,48	50	12,24	139,15
22	13,88	123,68	51	12,92	125,43
23	10,94	61,63	52	15,25	222,68
24	11,34	107,51	53	19,31	162,01
25	8,88	60,69	54	15,76	93,31
26	10,54	89,82	55	23,24	42,98
27	9,79	78,80	56	16,54	80,42
28	9,13	79,99	57	10,46	139,22
29	11,73	144,31	58	10,98	139,82

La media aritmética del volumen de madera  $c/c$  de las 58 parcelas fue determinado por la expresión:

$$\bar{x} = \frac{7533,67}{58} = 129,89 m^3$$

y el correspondiente error padrón de la media:

$$s_{\bar{x}} = 6,8872 m^3$$

El valor de  $t_{\alpha}$  con 57 grados de libertad a 95 % de probabilidad de acierto es igual a 2,000. Conocido el error padrón de la media y multiplicando por  $t_{\alpha}$  el intervalo de confianza para el volumen de madera sólida con corteza ( $c/c$ ) será definido por:

$$PE [129,89 \pm (6,8872 \cdot 2) m^3 c/c] 0,95 \%$$

$$PE [129,89 \pm 13,77 m^3 c/c] 0,95 \%$$

La extrapolación para el total de la población, siendo que ésta es de 150,8800 hectáreas, será consecuentemente:

$$T [19597,80 \pm 2077,62 m^3 c/c] 0,95 \%$$

donde la media verdadera del volumen de madera  $c/c$  quedará localizada en el intervalo de confianza entre

$$IC [17529,18 - 21674,62] m^3 c/c.$$

El error de muestreo siguiendo el ejemplo anterior, se puede deduzir por artificio matemático:

$$E = \frac{(s_{\bar{x}} \cdot t_{\alpha})}{\bar{x}} \cdot 100$$

$$E = 10,60 \%$$

El error de muestreo para ese inventario fue consecuentemente de 10,6 %, valor plenamente aceptable en la realización de inventarios forestales de plantaciones industriales.

El grado de variabilidad expresado por el desvío padrón y por el coeficiente de variación del parámetro volumen de madera de las 58 parcelas fue de:

$$s = 52,4885$$

$$CV = 40,69\%$$

Si el coeficiente de variación del parámetro volumen de madera no fuese muy diferente del Coeficiente de Variación de la variable *DAP* en el cálculo de la determinación de la intensidad muestral, se concluye que la variabilidad de la población esta correctamente representada y los estimadores estadísticos muestran valores consistentes para cualquier interpretación de la población.

Actualmente los inventarios forestales industriales ganaron una versión nueva de interpretación, una vez que se trata de un volumen considerable de madera incluyendo la determinación de la biomasa de esos árboles. Se sabe que esa determinación se realiza por medio del peso de la madera, y normalmente es transportada en camiones de alto tonelaje. Considerando esas características se asume que el camión transporta una misma cantidad de madera, lo que no es cierto, asumiendo el peso específico de la madera transportada se obtiene resultados diferentes de pago, lo que para una empresa es importante. Existen dos tipos de transporte de la madera: madera noble destinada a los aserraderos para construcción civil y de muebles, y madera como materia prima para las siderúrgicas y fábricas de celulosa y papel, tableros y otros productos.

En ese sentido, se hace importante la determinación del peso específico o densidad básica de la madera que está siendo transportada, supongase que el destino es una fabrica de laminados y tableros de madera noble, o bien el destino será una siderúrgica o fábrica de celulosa y papel, ahí si la determinación del peso específico de la madera es sumamente importante (Avery & Burkhardt, 2002; Prodan et al, 1997). Dependiendo del valor de esa determinación (peso específico de la madera) los valores para los respectivos pagos de transporte serán diferentes, por que no toda la madera transportada dependiendo de la especie y época de corte, tiene un determinado valor que no siempre coincide con los valores de las tablas del peso específico (Cuadro 12) y en ese sentido vale la pena atrazar los trabajos referentes a las determinaciones del correspondiente peso específico.

Cuadro 12. Peso Específico o Densidad Básica de las maderas (SI = Sistema Internacional)

clase	Peso Específico kg/m <sup>3</sup>		Clasificación Internacional (SI)
	frondosas	recinosas	
1	<350	<400	maderas muy livianas
2	350 - 500	400 - 490	maderas livianas
3	510 - 700	490 - 590	maderas semipesadas
4	750 - 900	600 - 700	maderas pesadas
5	>900	>700	maderas muy pesadas

Norma UNA 56-514 (Norma española)

La determinación del peso específico (PE), es la relación entre el volumen de madera y su peso específico correspondiente en la siguiente expresión matemática, pudiendo ser registrado en gramas por centímetros cubicos o en kilos por metro cubico, como se muestra en el cuadro anterior.

$$\rho = \frac{PE}{V}$$

La determinación del peso específico (PE) o densidad básica como es conocido, es el producto de que la madera sufre variaciones de su volumen en el campo, en función de la humedad que varia de 0 a 30 % y para cada grado de humedad existe un valor específico. Consecuentemente en una pieza o torete de madera se presentan valores diferentes. Por ese motivo es que se toma un valor referencial de humedad para hacer las determinaciones correspondientes, la humedad patrón establecida es del 12 % denominada de humedad o densidad normal (STRAND, 1958). Para la determinación de esa humedad se utiliza un método de laboratorio, como en la practica cotidiana no es posible un método de laboratorio (xilometros) se emplea una balanza comercial para camiones, donde se hacen los cálculos respectivos, peso del camión vacio, peso del mismo camión con carga y de ese modo la diferencia se da para determinar el verdadero volumen que esta siendo transportado y en consecuencia, el valor a ser pago por la empresa forestal. Para la determinación del peso específico de una carga se debe producir un sorteo en cualquier sistema (aleatorio, sistemático, u otros) de las piezas que están siendo transportadas.

## 6.5 INVENTARIO FORESTAL POR LINEAS DE MUESTREO

Loetsch et al. (1973) indican que en 1881, Brandis en la India e Birmania utilizó franjas de muestreo de 100 pies de largo (30,40 m), marcadas por varetas de bambú de 10 pies de longitud. Ese levantamiento corresponde al primer inventario forestal realizado en bosques tropicales. La diferencia con los modelos actuales es que en esa época aún no era posible calcular el error de muestreo.

En un área de 32 hectáreas ( $A$ ) de la vegetación de la sabana arbolada, localizada en el Distrito Federal del Brasil, fue realizado un levantamiento forestal por líneas de muestreo (Imaña, 1991). El área del inventario quedó dividida por un horizonte lineal que correspondía a un camino natural existente. Consecuentemente fueron diseñadas líneas de muestreo equidistantes en 30 metros, correspondiendo su numeración secuencial primero a las líneas localizadas en un lado del horizonte lineal, siguiéndose con las líneas del otro lado. Utilizando una tabla de números aleatorios fueron seleccionadas siete líneas de muestreo. Las unidades de muestreo fueron parcelas rectangulares de 600 m<sup>2</sup> (20 x 30 m), 20 de ellas distribuidas sistemáticamente, cubriendo un área muestral de 1,2 ha ( $a$ ).

La fracción del muestreo ( $f = a/A$ ) fue igual a 0,037 % del área a ser inventariada, superficie plenamente aceptable para el cálculo de extrapolación para el total de la población. 26 especies fueron encontradas e identificadas. La abundancia absoluta contó con 1072 individuos arbóreos, con circunferencia en la base del tronco, superior a 20 cm. Los parámetros encontrados se muestran en el Cuadro 13.

El error padrón de la media del volumen ( $y$ ) de madera en pie fue determinado por la fórmula:

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{(\sum_{i=1}^n y_i - \bar{y})^2}{n} \cdot \frac{N-n}{n-1} = 5,3265$$

$$IC (38,3229 \pm 5,3265 \text{ m}^3/\text{ha}) 0,95$$



Cuadro 13. Parámetros encontrados, sabana arbolada

línea	Área basal m <sup>2</sup> /ha	Altura m	Volumen m <sup>3</sup> /ha
1	13,332	4,43	37,2467
2	22,341	5,38	48,5967
3	12,824	4,97	32,5083
4	12,998	4,71	38,2400
5	14,979	4,92	31,8350
6	15,133	6,04	44,3083
7	11,288	5,32	35,5250
media	14,6992		38,3229

La varianza del muestreo fue calculo por la expresión:

$$S_{\bar{q}}^2 = \frac{(1-f) \cdot q^2}{n \cdot (n-1)} \left[ \frac{\sum x_i^2}{\bar{x}^2} + \frac{\sum y_i^2}{\bar{y}^2} - \frac{2 \sum x_i y_i}{\bar{x} \cdot \bar{y}} \right]$$

donde  $x_i$  = área de la línea  
 $y_i$  = volumen por línea de muestreo  
 $n$  = unidades de muestreo

$$S_{\bar{q}}^2 = 34,2834 \cdot (7,3568 + 7,6035 - 14,8852)$$

$$S_{\bar{q}}^2 = 2,5747$$

$$S_{\bar{q}} = 1,6046$$

Desvio medio muestral = 1,6046

La proporción fue igual a:

$$q = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = 38,6782$$

Error del muestreo:

$$S_{\bar{q}}\% = \frac{s_q \cdot 100}{q} = \frac{1,6046 \cdot 100}{38,6782} = 4,15 \%$$

Inventarios forestales por líneas de muestreo, realizados en plantaciones, la parcela debe contener un mínimo de 30 individuos arbóreos. A partir de 30 árboles hacia el infinito, trabajando con 95 % de acierto probabilístico, se obtiene un coeficiente de seguridad que se lo puede considerar constante igual a 2,0 (Cuadro 1). En ese sentido la parcela correspondiente por rodal, ocupará una superficie del ancho de la distancia pertinente entre las dos líneas de plantio,

veces la longitud del número de árboles considerados. Si la plantación está en un distanciamiento de 3 x 2 m, una parcela de 60 árboles, hipotéticamente tendrá 360 m<sup>2</sup>. Utilizando estas parcelas, todos los cálculos estadísticos indispensables para su seguridad, podrán tener validez relativa.

Cuadro 14. Parámetros para el cálculo del error de muestreo

línea	Área (ha)		Volumen (m <sup>3</sup> )		
	x <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>	x <sub>i</sub> y <sub>i</sub>
1	0,4288	0,1839	15,9714	225,0856	6,8485
2	0,5480	0,3003	26,6310	709,2102	14,5938
3	0,4886	0,2387	15,8836	252,2887	7,7607
4	0,3082	0,0950	11,7856	138,9004	3,6323
5	0,3018	0,0911	9,6078	92,3098	2,8996
6	0,3098	0,9060	13,7267	188,4223	4,2525
7	0,4296	0,1846	15,2615	232,9134	6,5563
n	2,8140	1,11896	108,8676	1839,1304	46,5437
media	0,4021		15,5525		

En los inventarios forestales nacionales, las líneas de muestreo normalmente son utilizadas para determinar el material muerto, es decir árboles tumbados en proceso de degradación. Los árboles o parte de estos que estuviesen cruzando las líneas de muestreo, serán considerados.

## 6.6 INVENTARIO FORESTAL POR TRANSECTOS

Los métodos de muestreo por transectos, tanto lineales o de banda ancha, se destinan principalmente a la interpretación de la biodiversidad en sus diversas formas. Para la ingeniería forestal será específicamente de interés el conocimiento, medición e interpretación de estructuras y la dinámica correspondiente a las aves, maníferos grandes y comunidades vegetales y la interacción entre ellos. En relación al estudio de la vegetación, permite además, la evaluación de posibles gradientes en función de variables biofísicas como la ausencia/presencia de tratamiento silvicultural, la naturaleza edafológica del sustrato, la altitud, la orientación, etc.

Los transectos al igual que los métodos: cuadrantes, punto centro cuadrado, líneas de intercepción y muestreos fitosociológicos, se destinan fundamentalmente a estudios y levantamientos ecológico silviculturales rápidos. Todos estos

métodos carecen de estructuras estadísticas y en ese sentido se los clasifica como metodologías no probabilísticas.

Consecuentemente, estos métodos ingresan con facilidad en la metodología de los muestreos dirigidos, y en ese sentido que resulta inevitable incurrir en sesgos. Sin embargo, la consecuente pérdida de validez estadística en los transectos no lo es tanto cuando de forma previa se estratifica la zona de estudio en áreas relativamente homogéneas en cuanto al tipo de la masa forestal. Consecuentemente el muestreo por bandas permitirá evaluar la influencia de los gradientes en la composición selvícola del rodal interpretando no solo de la población sino también del hábitat correspondiente. Transectos lineales son frecuentemente utilizados para determinar las densidades ( $D$ ) poblacionales de animales por unidad de área ( $A$ ), por la expresión  $D = T/A$ , donde  $T$  es el número de la población observada.

Para los inventarios forestales interesa el uso de transectos de banda ancha, de preferencia con longitudes fijas de 50 o 100 metros, y de ancho recomendable de 10 metros. Los transectos de banda ancha frente a las tradicionales parcelas, representan una metodología muy eficiente cuando se pretende caracterizar dasométricamente algunas de las características de las comunidades vegetales en relación a los grados de cobertura y competencia intra específica en diferentes estaciones climatológicas, permitiendo de esa forma interpretar los correspondientes gradientes de cambio de los parámetros pre seleccionados.

En la región central del Brasil, específicamente en el área de preservación ambiental del río Sao Bartolomeu, junto a una de las márgenes del río Paranoá, foi realizado en tres sectores del bosque de galería, un inventario forestal por transectos de banda ancha (Imaña, 2001). El bosque de galería estaba intercortado por extensas áreas de cultivo agrícola. Fueron establecidos 14 transectos de 100 metros de longitud por 10 metros de ancho, localizados perpendicular al lecho del río y distribuidos sistemáticamente en 500 m entre sí. Tres conjuntos de medición fueron contemplados: un conjunto relativo al sitio, orientación geográfica, altitud y declividad de los transectos; un segundo conjunto relacionado a las variables dasométricas como numeración de los árboles, coordenadas geográficas de localización de los árboles medidos, identificación botánica,  $DAP$  igual o superior a 10 cm, altura comercial medida,

altura total estimada por curvas de regresión, posición de la copa en el estrato vertical, estado fitosanitario y variables de tiempo de medición; y un tercer conjunto orientado a las variables ambientales como suelo, temperatura, luminosidad, humedad relativa del aire y nivel de influencia antrópica.

Los resultados indicaron la existencia de 43 especies arbóreas distribuidas en 26 familias, un área basimétrica media por hectárea igual a 17,22 m<sup>2</sup>. 68 % de los individuos medidos se encontraron en el intervalo de las clases diamétricas entre 10 y 20 cm. El análisis de la diversidad florística se muestra en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Índices de diversidad del bosque ribereño

Sector	n	sp	H'	Hmax	J'
I	276	31	1,46	4,16	0,49
II	119	24	3,32	3,12	0,72
III	157	27	3,56	3,23	0,78

n = número de individuos arbóreos; sp = especie; H' = Índice de Shannon & Weaver; Hmax = entropía máxima; J' = Índice de Pielou

Utilizando procedimiento similar, en el Parque Nacional de Brasilia, acompañando el curso del riachuelo Bananal, Scheuber (1998) instaló 19 transectos de longitudes diferentes, divididos en la base de 100 x 10 m, que posteriormente los fue disminuyendo. Recomienda el uso de transectos de 5 m de ancho, para el análisis de bosques de galería, también conocidos como bosques ribereños.

Como resultados, el inventario por transectos presentó 46839 variables numéricas. Los datos dasométricos por transecto contemplaron 7535 variables. La distancia entre los transectos fue de 1000 metros, cubriendo una intensidad de muestreo del 1 %. La longitud media del transecto fue de 140,3 metros, variando entre 32,8 a 312 m. El área total inventariada fue de 2,67 ha. El tiempo medio consumido por equipo de campo de tres personas para el levantamiento de los datos en un transecto de 300 metros fue de 5 horas. Todos los árboles tuvieron sus coordenadas de localización medidas, dentro del transecto. Fueron elaborados gráficos de correlación entre diversas variáveis. Se concluye que el inventario forestal por medio de transectos se mostró eficiente.

## **7. LEVANTAMIENTOS FORESTALES NO PROBABILÍSTICOS**

En un buen número de los inventarios forestales se utilizan parcelas rectangulares. Cuanto más estrechas fuesen esas parcelas se considera existir una mayor facilidad y seguridad en la obtención de los datos de campo. El uso de instrumentos dendrométricos en esas parcelas es también menos complicado que en parcelas circulares. En ese sentido se acepta el empleo de parcelas rectangulares como una estrategia práctica desde el punto de vista de la medición en el campo. Sin embargo, la utilización de parcelas de área variable podrían ser tan eficientes cuanto las parcelas de área fija. La ventaja de los levantamientos con parcelas de área variable radica principalmente en la dificultad de estimar el error de muestreo.

El muestreo utilizando parcelas de área variable, consiste en el conteo de árboles que se localizan dentro de un círculo. A partir de un punto en el rodal, se establece la distancia entre ese punto que corresponderá al centro de la parcela, hasta el árbol que será medido. Esa distancia, del centro de la parcela al árbol, corresponde al radio en metros de la parcela circular. Consecuentemente, la localización de cada árbol en función del centro de la parcela, permitirá que cada individuo arbóreo tenga su tamaño de radio individualizado, y de esa forma existirán varios círculos de referencia a partir del punto central de la parcela. A esos círculos es que se conoce como unidades muestrales de áreas variables.

Los inventarios forestales estructurados en parcelas de áreas variables se los clasifica como muestreos con probabilidad proporcional al tamaño (*PPS = Probability Proportional of Size*).

### **7.1 INVENTARIO FORESTAL POR PARCELAS DE BITTERLICH**

Las parcelas circulares son tan divulgadas y empleadas tanto cuanto las rectangulares. Las parcelas circulares de área variable o de Bitterlich se caracterizan por presentar su tamaño (superficie de la parcela) proporcional al diámetro del árbol. El principio de Bitterlich define básicamente la densidad (número de árboles) de un bosque, determinando para tanto el área basimétrica

por hectárea, a través de la lectura directa del número de árboles que contiene cada una de esas parcelas de área variable (Bitterlich, 1984).

Este principio, número de árboles por parcela, en la literatura es también conocido como Prueba de Numeración Angular, que dice: "*el número de árboles (N) con DAP's igual o superior a un ángulo constante (alfa), vistos desde un punto fijo en el bosque, es proporcional a su área basimétrica por hectárea*", conforme se muestra en la Figura 18.

En la Figura 18, desde un punto aleatorio dentro de la parcela circular, se procede al conteo del número de árboles en un giro de 360 grados. En el caso del ejemplo, fueron encontrados nueve árboles. Si el *DAP* mínimo exigido fuese de 10 cm, se tendrían siete árboles en esa parcela. Si el factor basimétrico fuese igual a 2, se tendrían consecuentemente 14 m<sup>2</sup>/ha. En la figura, los árboles de números 3 y 5 ingresaron en el conteo como mitad de árboles, una vez que el ángulo de visión fue exactamente igual al diámetro de las correspondientes tangencias observadas. En ese sentido el verdadero número de árboles será igual a 6, correspondiendo a 12 m<sup>2</sup>/ha.

Solamente los árboles cuyos *DAP's* se presentan al observador iguales o mayores que un ángulo determinado (conocido como ángulo crítico) son contados, y los *DAP's* menores de este ángulo crítico son excluidos del conteo. De esta manera, cuanto mayor sea el *DAP*, mayor será la probabilidad del árbol de entrar en la muestra. En ese sentido la probabilidad de selección de los árboles será proporcional al tamaño del árbol o bien proporcional al tamaño del área basal, diferente del método de parcelas de área fija, cuya probabilidad es proporcional a la frecuencia de los individuos arbóreos.

El procedimiento de cálculo define que el área basal de la parcela, corresponde a la del área basimétrica de la hectárea, es decir el número de árboles contados es igual a los m<sup>2</sup>/ha veces el correspondiente factor basimétrico (*K*), conforme fue mostrado en el Cuadro 15.

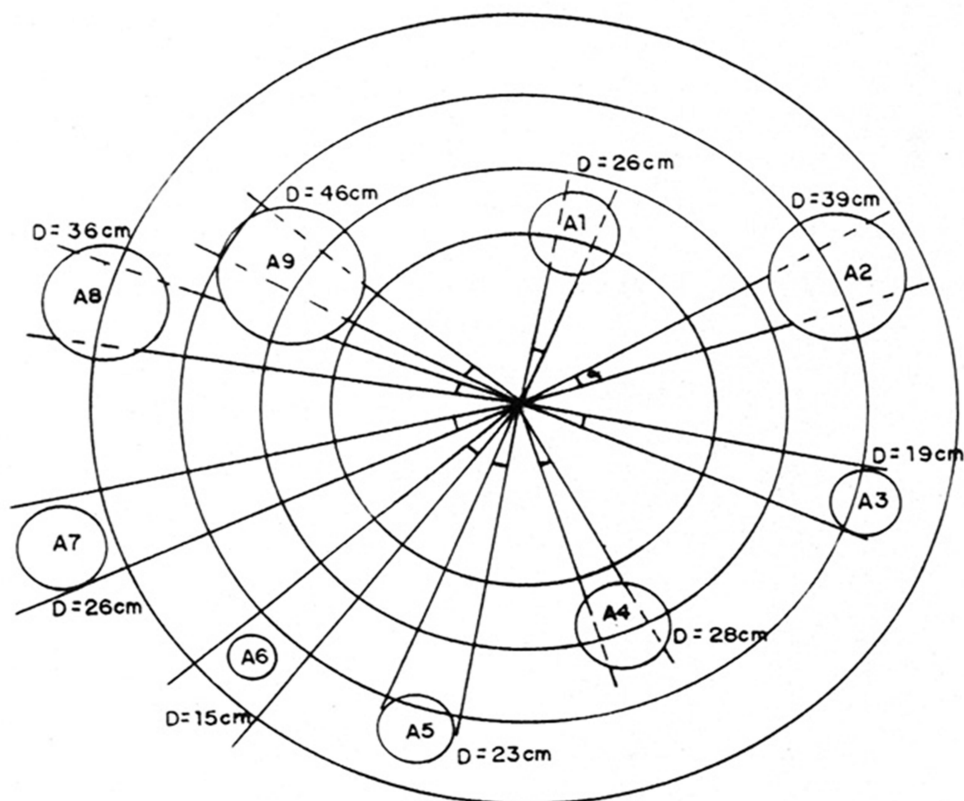


Figura 18. Parcela de área variable de Bitterlich.  
Fuente: Imaña, 1998. Dasometría práctica, p 21.

Al usar un factor de área basal pequeño, se contará con un número grande de árboles, cuyo diámetro normal será mayor que el ángulo proyectado. Se recomienda usar un FAB grande para contar pocos árboles por parcela; sin embargo, ese conteo implicará en menor precisión en la estimación. La literatura recomienda contar entre 7 y 12 árboles por punto de la parcela variable. Una vez seleccionado el factor basaimétrico adecuado, se debe utilizar el mismo valor en cada parcela de área variable (Bitterlich, 1984).

Siguiendo las fórmulas establecidas por Bitterlich (1984) es posible obtener, por un procedimiento muy sencillo, el número de árboles por hectárea y su respectivo volumen de madera en pie (Romahn, 1998).

Cuadro 16. Fórmulas de cálculo utilizando  $K$  igual a 4.

Item	Procedimiento
Constante $K$	$K = \sqrt{\frac{10000}{K}}$
Área Basimétrica por hectárea	$G / ha = K \cdot m^2$
Número de árboles por ha	$N / ha = K \sum_{j=1}^m \frac{1}{g_j} a$
Distancia crítica	$r_0 = K \frac{d}{2}$

Conociendo el área basimétrica ( $g$ ) por hectárea, el cálculo del volumen ( $V$ ) de madera se procederá utilizando los correspondientes  $m^2$  multiplicados por la altura comercial o total promedio ( $h$  en metros) de los árboles contados, veces el pertinente factor de forma ( $f$ ). Conocido el volumen individual de cada árbol contado, la siguiente expresión matemática proporcionará el correspondiente volumen de madera en pie por hectárea:

$$V_i = g_i \cdot f_i \cdot h_i$$

$$V_{ha} = k \cdot f_i h_i$$

siendo que  $k$  = área basimétrica por hectárea;  $f$  = factor de forma que puede ser único para todos los árboles o existiendo cubicación será independiente por individuo;  $h$  = altura total o comercial.

Un estudio realizado en una plantación de *Pinus* en el sur del Brasil (Cunha y Finger, 2008), mostraron la eficiencia del levantamiento de diez parcelas de área variable, a través del uso del relascopio. Utilizando los factores de área basal 1, 2 y 4, obtuvieron los siguientes resultados: densidad por hectárea 1099, 1196 y 1150 respectivamente, área basal por hectárea 30, 34,2 y 34,4 y el tiempo total empleado en horas: 15,1, 8,6 y 4,3. respectivamente.

Para la estimación del volumen y la altura del árbol, normalmente se aplican ecuaciones volumétricas y relaciones hipsométricas. Esas fórmulas matemáticas en la mayoría de los casos, deben ser elaboradas paralelamente, durante la ejecución del levantamiento pertinente. La mayor dificultad que se encuentra en



las parcelas de Bitterlich está en el grado de visibilidad de las tangencias del tronco.

Dependiendo de la estructura del bosque y del grado de luminosidad, que en él se pueda encontrar, no siempre es fácil determinar cuáles árboles deben ingresar dentro de la parcela. Otra crítica que se encuentra sobre las parcelas de área variable o de Bitterlich es que su uso en inventarios de bosques mixtos tropicales no representaría adecuadamente la riqueza de las especies, una vez que se miden pocos árboles por parcela. Sin embargo, en los inventarios forestales de plantaciones de teca realizados en Indonesia usando parcelas de Bitterlich (Lynch y Rusydi, 1999), los resultados presentaron resultados semejantes a los de las parcelas de área fija.

Una ventaja en la realización de un inventario con parcelas de Bitterlich, es que se concentra naturalmente el esfuerzo de medición en los árboles grandes (diámetros gruesos), donde realmente está el volumen de madera aprovechable. Una característica de los inventarios con parcelas de Bitterlich es que supuestamente se requeriría un mayor muestreo al establecido por el principio de Bitterlich para obtener la misma precisión al de las parcelas fijas. Asumiendo inclusive esa crítica o recomendación, el costo por parcela sería bastante menor y en consecuencia se tendría un menor costo del inventario.

## **7.2 INVENTARIO FORESTAL POR LOS SEIS ARBOLES DE PRODAN**

El muestreo de los seis árboles de Prodan también denominado por la literatura de muestreo del árbol-*k* (Kleinn, 2008; Kleinn y Vilčko, 2006) se trata en sí de un concepto de áreas de pruebas, que a partir de un determinado punto en el bosque, son seleccionados los seis árboles más próximos del punto determinado. A nivel internacional los procedimientos de distancias en los inventarios forestales, en el cual se incluyen los seis árboles de Prodan, están poco difundidos, debido principalmente a la problemática del cálculo de extrapolación hacia el total de la población. Por otro lado, las fórmulas de cálculo están asociadas a determinados bias que conducen a errores sistemáticos de estimación, desconociéndose en casos concretos la magnitud de ese error.

La realización del inventario forestal por los seis árboles de Prodan, se refiere a un levantamiento de datos no probabilísticos, si las parcelas correspondientes no estén localizadas en una distribución aleatoria o sistemática. El concepto lanzado por Prodan, considera unidades muestrales donde no se asignan probabilidades de selección *a priori*. Sin embargo, los resultados obtenidos a nivel de investigación, tanto por este proceso de inventario forestal, como el inventario por parcelas de Bitterlich, ofrecen resultados muy satisfactorios que para áreas arboladas con pocas especies coinciden con los resultados obtenidos por los inventarios forestales convencionales de estructura probabilística. Estos inventarios son muy útiles principalmente para estudios y levantamientos silviculturales, que se los llaman también de muestreos por métodos de distancia, donde la probabilidad de un individuo arbóreo de ingresar a la parcela, es resultante proporcional a la distancia del centro de la parcela.

En la estructura del inventario forestal por los seis árboles de Prodan, como su nombre indica, se deben medir por punto muestral, los seis árboles más próximos del centro de una parcela, que corresponde prácticamente a una parcela circular de área variable. Los puntos centrales de la parcela pueden estar distribuidos aleatoriamente, como pueden seguir una pre definida localización. La Figura 19 muestra la inclusión de los correspondientes seis árboles desde un punto muestral.

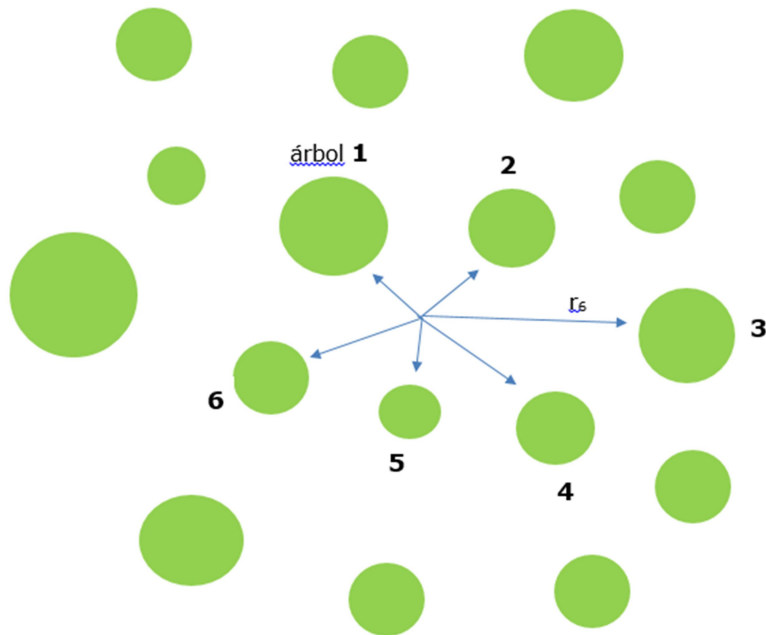


Figura 19. Parcela de los seis árboles de Prodan

Se debe considerar que las dos tangencias de los troncos correspondientes deben estar visibles desde el centro de la parcela. Es permitido variar el centro de la parcela en un o máximo dos pasos para cualquier lado, para que, a partir de esa posición, pueda ser observado con facilidad el tronco del árbol que ingresará en la parcela pertinente. En un giro de 360 grados se deben seleccionar los seis árboles más próximos del centro de la parcela, desde que tengan el diámetro mínimo exigido. La distribución de las parcelas puede seguir un proceso completamente aleatorio o bien sistemático y hasta subjetivo cuando se consideran distribuciones de parcelas en relativas pequeñas áreas estratificadas. En estos inventarios la seguridad estadística se la fundamenta en los cálculos de los pertinentes coeficientes de variación.

En el ejemplo de la Figura 19, el radio (del centro de la parcela al centro del árbol 3, correspondiente al tercer árbol definirá a través de su circunferencia, el tamaño de la parcela, por presentar la mayor distancia (radio) del centro de la parcela. Ese valor (distancia) ciertamente será de valor diferente al de un próximo punto muestral. Consecuentemente se debe medir para cada punto muestral, el radio o distancia del centro de la parcela hasta la tangencia del árbol más lejano del centro ( $r_6$ ), entre uno de los seis árboles que definirán la parcela de Prodan.

Por la definición de Prodan (1968), el sexto árbol contado, aquel que esté más alejado del centro del punto del muestreo, ingresará a la parcela como medio árbol. En ese sentido el principio de medición considera en sí, el valor de 5,5 árboles por unidad de muestreo. En el estado alemán de Baden-Württemberg este procedimiento fue bastante utilizado quedando actualmente en desuso.

El correspondiente procedimiento matemático es relativamente simple, sin embargo, muy eficiente. El área basimétrica por hectárea ( $G_{ha}$ ) está calculado con las siguientes fórmulas matemáticas que representan aproximaciones empíricas (y no forman la base para estimaciones estadísticas insesgadas):

$$G_{ha} = \frac{10.000}{\pi \cdot r_6^2} (\sum^5 g_j + g_6 / 2)$$

$$G_{ha} = \frac{2.500}{r_6^2} (\sum^5 d_j^2 + d_6^2 / 2)$$

donde:  $g$  = área basimétrica en  $m^2$   
 $d$  = DAP en cm.

La parcela de los seis árboles de Prodan se estructura en teoría por la formación de polígonos adyacentes de todos los árboles vecinos de los seis árboles que serán medidos (Kleinn y Vilčko, 2006), permitiendo en ese concepto el correspondiente cálculo del error de muestreo.

Considerando la distribución de los árboles y su correspondiente formación del área de ocupación, se ingresa a considerar que las parcelas de los seis árboles como las de Bitterlich forman lo que se conoce como parcelas anidadas circulares. *Parcelas anidadas* son en realidad unidades de muestreo que contienen sub parcelas de diversos tamaños, donde cada una de esas sub parcelas adquiere su correspondiente tamaño en función de la distancia del centro de la unidad muestral y de la variable que será medida, en este caso el *DAP* o área basimétrica. Consecuentemente si cada árbol tiene su propio tamaño circular de ocupación espacial, se considera que la parcela es anidada y sus cálculos de estimación seguirán los procedimientos metodológicos pertinentes de las parcelas anidadas.

El uso de parcelas anidadas se encuentra con frecuencia en la realización de inventarios forestales nacionales, levantamientos florísticos y fitosociológicos, cuando se pretende conocer la riqueza de las especies, su estructura vertical y abundancia de las comunidades vegetales. La aplicación de parcelas anidadas en planos de manejo se destinan al conocimiento de la regeneración o sucesión natural.

En el ejemplo siguiente se demuestra la factibilidad de realización del inventario de los seis árboles de Prodan. En un bosque de *Pinus* situado en la región sur del Brasil fueron levantadas 19 parcelas, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 16. A partir de puntos escogidos aleatoriamente, fueron medidos los seis árboles más próximos del centro de la unidad muestral.

Cálculo de los estimadores:

$$\begin{aligned} \text{Área basimétrica} \quad \hat{G} &= \frac{2.500}{r_6^2} (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2 + \frac{d_6^2}{2}) \\ \hat{G} &= 232,38 [(0,216)^2 + 0,322^2 + 0,215^2 + \dots + \frac{(0,200)^2}{2}] \end{aligned}$$

$$\hat{G} = 65,54 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$\bar{G} = \frac{65,54+59,44+55,05+\dots+65,89}{19} = 64,34 \text{ m}^2/\text{ha}$$

Cuadro 17. Levantamiento de 19 puntos muestrales de seis árboles

n	DAP en cm						$r_6$ m	$\bar{h}$ m	G m <sup>2</sup> /ha
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$			
1	21,6	32,2	21,5	21,6	12,1	22,0	3,28	14,7	65,54
2	16,2	22,9	21,6	10,8	16,6	23,9	2,85	14,5	59,44
3	20,5	25,2	12,1	17,5	22,0	22,3	3,19	14,6	55,05
4	27,7	19,9	24,2	24,5	22,9	15,9	3,21	15,1	72,79
5	16,4	15,9	15,8	26,1	26,1	15,9	2,90	14,0	67,19
6	13,5	23,2	18,3	21,7	26,1	23,4	3,28	15,8	57,66
7	20,1	24,8	23,9	21,3	23,9	29,3	3,17	16,1	75,74
8	22,0	11,5	33,4	18,5	27,4	23,2	3,42	14,9	66,13
9	26,1	21,0	19,7	24,2	22,6	22,0	3,19	15,9	69,99
10	22,3	20,4	27,1	15,3	24,8	19,1	3,29	15,8	61,88
11	26,1	27,4	22,6	22,0	19,7	27,1	3,32	16,9	72,17
12	16,2	27,7	18,5	19,7	21,6	20,4	3,45	17,0	51,14
13	29,9	22,0	22,3	24,5	18,5	18,5	3,16	17,1	74,83
14	20,4	17,2	16,6	24,2	25,5	27,7	3,24	16,6	62,09
15	20,4	14,3	24,2	18,5	18,1	22,9	2,84	15,3	66,28
16	14,6	21,3	20,4	20,1	17,2	13,1	3,27	15,3	43,69
17	27,4	12,7	22,9	19,1	14,3	19,4	3,09	15,9	57,44
18	20,7	19,7	29,0	20,7	28,7	21,3	3,18	16,4	77,54
19	12,4	16,2	18,1	11,5	17,5	26,4	2,41	14,3	65,89

Fuente: Péllico Netto, 1993 (p.67)

Volumen de madera  $V = \hat{G} \cdot \bar{h} \cdot f$   $f = 0,445$

$$\bar{V} = 64,34 \cdot 15,6 \cdot 0,445 = 446,65 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Radio medio  $\bar{r}_6 = \frac{1}{k} \cdot \sum r_{6i}$

$$\bar{r}_6 = \frac{1}{19} \cdot (3,28 + 2,85 + 3,12 + \dots + 2,41) = 3,144 \text{ m}$$

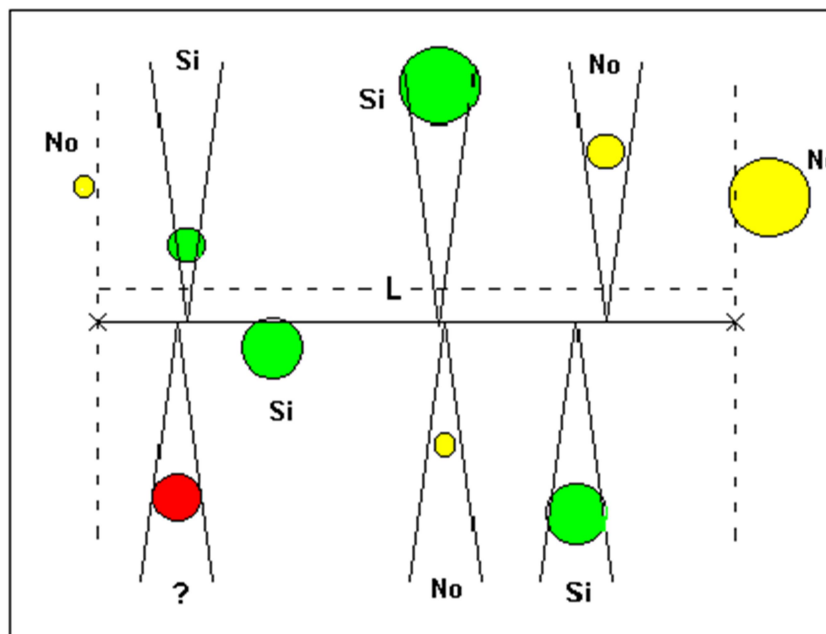
Número árboles  $\bar{N} = \frac{5,5 \cdot 10.000}{\pi \cdot \bar{r}_6^2} = \frac{55.000}{3,144} = 1.771 \text{ árboles/ha}$

Diámetro medio  $\bar{g} = \frac{\bar{G}}{\bar{N}} = \frac{64,34}{1,771} = 0,0363 \text{ m}^2$

$$d_g = \sqrt{\frac{4 \cdot \bar{g}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0363}{3,1416}} = 0,215 \text{ m}$$

### 7.3 INVENTARIO FORESTAL POR EL MÉTODO DE STRAND

El método de la línea o Método de Strand, es una aplicación de la técnica del conteo angular del principio de Bitterlich (LOETSCH, *et al.*, 1973), también conocida como muestreo lineal horizontal (MLH). Strand, focaliza en este método, fundamentalmente, en el criterio probabilístico de la selección de los individuos, que forman parte de la unidad de muestreo, proporcional al diámetro, para hacer las estimativas del área basimétrica y del número de árboles por unidad de superficie, y proporcional a la altura total de los individuos, para obtener el volumen y el número de árboles.



$L$  = longitud de la línea; si = ingresa en el cálculo de la parcela.

Figura 20. Parcelas por el método de Strand

El levantamiento de los datos se realiza en un lado de la línea de 15 a 20 metros (Figura 20) de longitud, o en ambos lados de la línea, dentro del bosque usando el relascope de Bitterlich o instrumento similar, para seleccionar los individuos que forman parte de la muestra. Si la metodología contempla apenas la medición de los DAP's, se denomina de método de muestreo angular

horizontal, cuando las alturas de los árboles son extraídas de curvas hipsométricas. Caso las alturas de los árboles fuesen medidas, se usará el método de Hirata (muestreo lineal vertical), que en si es una variación de las medidas angulares, en forma vertical. Las alturas serán seleccionadas cuando fuesen iguales o superiores al ángulo de observación vertical, conforme se muestra en la Figura 20.

Cosecuentemente en el método de Strand la unidad de muestreo es una línea dentro del bosque a ser medido pudiendo ser usado en inventarios rápidos de determinación del estoque de carbono o de pre-corte, para la regeneración natural, debido a la facilidad de la metodología de su uso. Sin embargo, su ventaja principal consiste en la eliminación de las medidas de alturas de los árboles en la estimativa del volumen de madera por hectárea. De ese modo el método puede ser clasificado también dentro de los probabilísticos.

Sus expresiones matemáticas son.

$$G = \frac{\sqrt{FAB}}{10} \sum d_i \quad N = \frac{10000 \cdot K^2}{L} \cdot \sum \left(\frac{1}{h_i}\right) \quad a_{ij} = 2K \cdot \frac{d_j}{2} \cdot \frac{L}{10000}$$

donde: G = área basal por hectárea, FAB = factor de G, d = DAP en cm de los árboles seleccionados, N = número de árboles por hectárea, L = distancia de la línea en metros,  $h_i$  = altura del árbol, K = factor de proporcionalidad entre la altura de los árboles y la distancia a la línea (SCHUMACHER & CHAPMAN, 1954; KREBS, 1999, PRODAN, et al, 1997).

## 7.4 MUESTREO FORESTAL DIAGNÓSTICO

Por el muestreo diagnóstico es posible conocer las existencias específicas de los individuos arbóreos de las especies deseables o de alto valor comercial y sus condiciones de crecimiento, con la finalidad de establecer conceptos para las decisiones de manejo y planes silviculturales sostenibles.

La característica principal de los muestreos diagnósticos es por tanto, ofrecer informaciones estáticas en relación a determinadas especies, al bosque, rodal o comunidad vegetal en observación. Hutchinson (1993) define el muestreo diagnóstico como el procedimiento de estimar la productividad potencial de un bosque, escogiendo para ello los individuos deseables sobresalientes o líderes

sobresalientes. El muestreo diagnóstico tuvo su inicio en Malasia cuando se identificó que la distribución espacial de los brinzales era más importante que la abundancia absoluta en la observación de la regeneración natural, específicamente la ocupación de los brinzales deseables por metro cuadrado (Stanley, 1997). Hoy en día, la aplicación de inventarios diagnósticos son realizados para planes de ordenación y manejo forestal, tratamientos silviculturales post cosecha, viabilidad técnico económica de posible aprovechamiento sostenible, etc. En varias ocasiones los inventarios diagnósticos son complementos adicionales de inventarios convencionales. En esos casos la información adicional que se pretende adquirir, normalmente se la realiza a un costo adicional bastante reducido.

Árboles o brinzales líderes sobresalientes son los mejores individuos arbóreos. En ese sentido la observación es subjetiva al escoger el individuo líder por parcela. En función de ese árbol, brinzal o latizal seleccionado, es que en él se realizan las mediciones de las variables de interés. Consecuentemente el muestreo diagnóstico, procura determinar la distribución y correspondiente frecuencia de los individuos líderes. Trabajando con brinzales, la literatura (Lamprecht, 1990, Standley, 1997) recomienda una ocupación mínima de 40 individuos por hectárea. Frecuentemente las parcelas de los muestreos diagnósticos, son transectos de longitud variable. Estos transectos se ubican frecuentemente dentro de las parcelas primarias de un inventario forestal de extensas áreas.

Trabajando con árboles sobresalientes, necesariamente se deben incluir observaciones y mediciones de factores ambientales, tales como la iluminación y la forma de la copa, para posteriormente interpretar entre otros aspectos el potencial de carga de semillas y la posibilidad de establecimiento alrededor de ese árbol líder.

Algunos de los inventarios fitosanitarios forestales, realizados en Europa central, pueden ser considerados como variantes del muestreo diagnóstico. Específicamente en los países de lengua alemana, entre las décadas de los años 80 y 90, fueron efectuados varios inventarios forestales, denominados de *Waldschadeninventur* (*inventarios de daños forestales*), que pretendían determinar e identificar el grado de pérdida y de daños que se producía en los



árboles de coníferas como de latifoliadas, perdiendo parte hasta casi el total de las acículas y hojas correspondientes.

En la misma línea de pensamiento se encuadran los inventarios forestales que se realizan en diversas áreas tropicales donde los bosques son manejados por medio de las concesiones forestales. Tanto antes como después del proceso de exploración y correspondiente transporte de los árboles abatidos, los levantamientos o muestreos que se ejecutan se restringen al conocimiento de cuanto y como serán o fueron extraídos los árboles seleccionados.

Entre los inventarios faunísticos, casi todos los relacionados con la fauna silvestre, corresponden a muestreos diagnósticos. La literatura muestra diversos procedimientos de enumeración y conteo de animales como aves, así como también metodologías para el conteo de la vegetación rastrera, pastos y hierbas.

## **7.5 LEVANTAMIENTO DE LA REGENERACIÓN NATURAL**

La regeneración natural también conocida como sucesión natural es la recuperación de un bosque, después de sufrir alteraciones naturales o antrópicas. La acción de esa recuperación resulta en el incremento de la funcionalidad del ecosistema, la complejidad y la estructura en la diversidad de especies vegetales.

Existen varios procedimientos para medir los plantines de la regeneración natural, desde observaciones subjetivas, muestreos en línea y con parcelas de pequeñas dimensiones y en diversos formatos: cuadradas, rectangulares o circulares como se muestra en la Figura 21. En los inventarios forestales nacionales, estas parcelas hacen parte de lo que se conoce como muestreo de parcelas anidadas o sub parcelas de una parcela primaria.

La variable dasométrica principal para los levantamientos de la regeneración natural es la abundancia. Es posible encontrar en pocos metros cuadrados algunas decenas y hasta centenas de individuos arbóreos. En el caso de los brinzales, incluye algunos millares de individuos. En ese sentido, el procedimiento metodológico consistirá en la enumeración o conteo de individuos. En ese

contexto la vegetación a ser levantada debe estar muy bien especificada en el correspondiente manual de campo, a fin de no incluir en el muestreo hierbas o individuos indeseables. La clasificación de la vegetación se la realizará consecuentemente por clases de altura, como se muestra en el Cuadro 18.

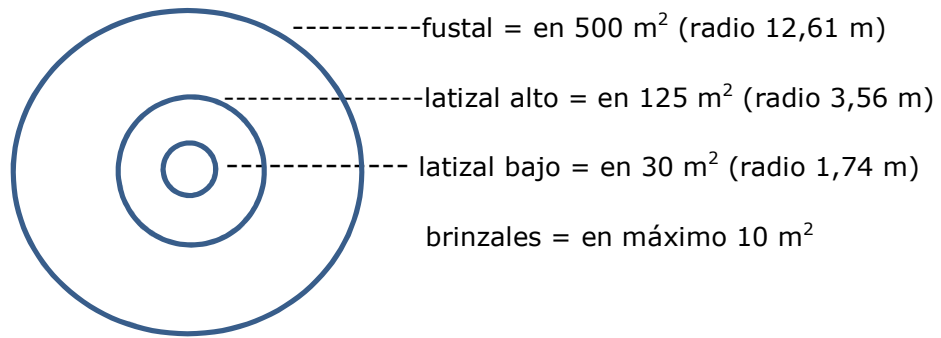


Figura 21. Parcela circular de la regeneración natural

Cuadro 18. Altura de la regeneración natural

clase	medición
A	Individuos con altura hasta 0,5 m
B	Individuos con altura entre 0,5 a 1 m
C	Individuos con altura entre 1 y 2 m
D	Individuos con altura mayor a 2 m y DAP inferior a cm

En un levantamiento realizado en un bosque de galería, fue calculado el valor fitosociológico de la vegetación por clase de altura, su posición fitosociológica, el índice relativo de la regeneración natural y el correspondiente valor de importancia de las especies (Imaña y Paula, 1994). Normalmente, la mayor dificultad que se encuentra en los levantamientos de la regeneración natural, es la identificación botánica. En ese sentido, muchos levantamientos de la sucesión vegetal se limitan a trabajar exclusivamente con las especies de mayor valor económico. En 100 parcelas de 10 x 10 m en el levantamiento arriba mencionado, fueron enumerados 1673 individuos arbóreos (Cuadro 19), distribuidos en 73 especies, cuyos resultados mostraron la abundancia, frecuencia de las especies y el correspondiente orden jerárquico de las especies de la regeneración natural.

A seguir muéstrase un ejemplo de aplicación de la determinación del Valor de Importancia de la regeneración natural:

Cuadro 19. Distribución de la abundancia de especies

Especie	Clase de altura				Total
	A	B	C	E	
Especie A	6	6	3	1	16
Especie B	15	17	17	3	62
Especie C	1	1			2
Especie D	68	58	31	14	171
Especie E	5	10	5	19	39
...					
...					
...					
Totales	437	465	362	409	1673
Valor relativo	26,12	27,79	21,64	24,45	
Valor fitosociológico	2,6	2,7	2,1	2,4	

Fuente: Imaña et al, 1995

Valor realtivo

Clase de altura A:  $(437 \times 100) / 1673 = 26,12$

Valor fitosociológico:  $\text{valor relativo} / 10 = 2,6$

Abundancia relativa: especie A =  $(16 \times 100) / 1673 = 0,96$

Frecuencia relativa: especie A = valor porcentual del número de parcelas en que la especie fue encontrada

Clase de altura reativa: especie A =  $(16 \times 100) / 4328 = 0,37$

Cuadro 20. Parámetros fitosociológicos de la regeneración natural

	Posición Fitosociologica		Ab %	Fr %	CH %	RN %	VI
	abs	rel					
Especie A	40,5	0,94	0,96	1,88	0,37	3,21	4,15
Especie B	151,8	3,51	3,70	2,28	1,43	7,41	10,92
Especie C	5,3	0,12	0,12	0,75	0,05	0,92	1,04
Especie D	432,1	9,98	10,22	4,29	3,95	18,46	28,44
Especie E	96,0	2,22	5,74	2,28	0,90	8,92	11,14
...							
...							
...							
	4328		100	100	100	100	

Posición fitosociológica absoluta

Especie A:  $(6 \times 2,6) + (6 \times 2,7) + (3 \times 2,1) + (1 \times 2,4) = 40,5$

Posición relativa:  $(40,5 \times 100) / 4328 = 0,94$

Índice relativo de la Regeneración Natural (RN%)

$$RN_i \% = \frac{Ab_i \% + Fr_i \% + CH_i \%}{3}$$

Especie A:  $RN_A \% = \frac{0,96 + 1,88 + 0,37}{3} = 3,21$

Valor de Importancia (VI)

Especie A: (suma de RN + Pos Relat) =  $(3,21 + 0,94) = 4,15$

Concluido el cálculo de los parámetros fitosociológicos de la regeneración natural, la columna del Valor de Importancia (VI) deberá ser reordenada en una lista de orden jerárquico, del mayor valor al menor valor. La especie con el mayor valor será considerada como la principal de esa comunidad vegetal.

En los muestreos de la regeneración natural también es común encontrar cálculos sobre el índice de estoque, factor de establecimiento, índice de competición, clasificación de las especies en varias características (pioneras, reclutas, de valor de importancia, dominantes, etc). Una clasificación hoy en día bastante usual, debe identificar los brinzales y latizales en especies raras, vulnerables y en peligro de extinción; especies con potencial económico, especies indicadoras de la calidad del hábitat, y especies exóticas. La dificultad en la identificación de las especies, hace que estos levantamientos fuesen concluidos con información parcial.

## 7.6 LEVANTAMIENTO FORESTAL FITOSOCIOLÓGICO

La fitosociología es una especialidad de la mensura forestal que tiene como objetivo la ordenación de la abundancia de las especies y su distribución en la comunidad vegetal, a partir de los principios emanados por el botánico suizo Josias Braun-Blanquet. Alrededor de los años de las décadas 50 y 60, la literatura registró un sin número de trabajos sobre ecología vegetal y fitosociología. Con la obra de Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) se consolida la especialidad de la fitosociología. Se define como fitosociología al estudio de la ecología vegetal que tiene como principio la identificación de la composición, la distribución, las características y las interrelaciones de las especies vegetales que se desarrollan en las diversas comunidades de plantas. En la filosofía de los inventarios forestales, la fitosociología podrá ofrecer coherente información relativa y relacionada con la biodiversidad, asunto que hoy en día debe hacer necesariamente parte integrante de los inventarios forestales nacionales.

La fitosociología se fundamenta en tres principios: 1) las comunidades de las plantas están estructuradas naturalmente por una vegetación reconocida denominada de composición florística que está íntimamente relacionada con el medio en que se desarrolla; 2) entre las especies que componen esas comunidades, algunas muestran ser mejores indicadores de las inherentes interrelaciones, que conforman las *especies de diagnóstico* (especies de carácter, especies diferenciales y especies compañeras); 3) las especies de diagnóstico organizan las comunidades vegetales en una clasificación jerárquica.

Existen dos tendencias en los levantamientos fitosociológicos, el europeo que básicamente identifica correspondientes parámetros expresados por el Índice de Cobertura, siendo que la dominancia de las especies se la expresa en valores porcentuales de la cobertura vegetal, incluyendo en ellas el estrato arbustivo herbáceo. Los estudios fitosociológicos americanos se fundamentan en la interpretación del Índice del Valor de Importancia, caracterizando en el sistema de levantamiento de datos, apenas variables de la masa arbolada. Hasta fines del siglo pasado era común determinar los factores de sociabilidad y dispersión de las especies, que actualmente cayó en desuso por no aportar información de interés relevante.

La literatura muestra que aún existen distribuciones de las parcelas de medición en el sentido preferencial (bastante subjetiva), distribución al azar y distribución estratificada. Recientemente fueron incorporados en los levantamientos fitosociológicos una base estadística y en ese sentido, son comunes los muestreos estratificados en función de los principales factores ambientales (climáticos o pisos de vegetación, geomorfologías, pedológicos, etc.). En síntesis las unidades muestrales deben interpretar básicamente un listado de las especies presentes en la(s) parcela(s) de estudio, donde la abundancia y dominancia de las especies forman la base de sus relaciones actuales con los aspectos ambientales.

Inventarios que se relacionan con asuntos ecológico ambientales, son ejecutados en el campo en una única vez. Actualmente entre esos levantamientos, los más conocidos son los *levantamientos fitosociológicos* (Imaña *et al*, 2011), por los cuales se pretende identificar el grado de importancia ecológica de las especies ocurrientes en los sitios observados. El parámetro principal de esos levantamientos se concentra en el cálculo del Índice del Valor de Importancia (IVI) de las especies, siendo que la especie que presente la mayor densidad ocupacional, será la considerada para el sitio observado, la de mayor valor ecológico.

En esta línea de pensamiento, además de los estudios fitosociológicos, la literatura también registra la ejecución de los llamados *inventarios por transectos*, que procuran ambos, identificar y cuantificar la riqueza y la correspondiente densidad florística, sea arbórea o sub arbustiva de determinado sitio. Sus procedimientos se fundamentan en el recorrido de senderos lineales donde se efectúan las observaciones y mediciones dendrométricas. La importancia de esos inventarios, que se los puede llamar de *levantamientos exploratorios*, está en que por ellos probablemente se efectúan los primeros ingresos en los sitios escogidos, o cuando las áreas a ser observadas están destinadas a acciones para la conservación, preservación ecológica ambiental, conocimiento de la biodiversidad y de los estoques de carbón acumulado por las plantas.

En ese contexto, estos inventarios ingresan fundamentalmente a medir variables de interés florístico que se los denominaría de *inventarios botánicos*, donde se destacan los levantamientos para interpretar la correspondiente

biodiversidad de la comunidad vegetal a ser observada. En ese mismo contexto, se mencionan los *inventarios faunísticos* que procuran identificar y determinar la riqueza, abundancia y el estado de robustez de las poblaciones de animales salvajes y aves, para posteriormente realizar los correspondientes planos de manejo y de cacería.

Los inventarios forestales edafológicos y los destinados a identificar zonas y características paisajísticas, también se los agrupan en lo que se denomina de *Inventarios de Reconocimiento de los Recursos Naturales*. Una combinación de asuntos de los inventarios mencionados anteriormente conforman los *inventarios integrales*, donde se agrupan varios componentes del ecosistema en observación.

Muchas veces a esos levantamientos se los denominan de *inventarios de la vegetación*. La finalidad de estos levantamientos está en estimar la riqueza de especies y la estructura de la población vegetal. El tamaño de las parcelas de muestreo plantea una problemática específica, en el sentido de que los atributos de la vegetación son dependientes de la escala y por ello las parcelas de muestreo necesariamente deben ser de diferentes tamaños. Sin embargo, es común encontrar tamaños casi idénticos cuando se trata de fitofisionomías semejantes.

La estimación de los parámetros pueden estar fundamentados en métodos paramétricos cuando se asume que los datos coleccionados están próximos a la curva normal y en esos casos son utilizadas las funciones de acumulación (logarítmica, exponencial y la ecuación de Clench). Sin embargo, lo usual en estos levantamientos es usar modelos no paramétricos que están plenamente aceptados por la comunidad científica. En ese sentido se establece el concepto del área mínima que se relaciona directamente con la homogeneidad florística y especial de la vegetación. Empíricamente se puede afirmar que áreas pequeñas registran la existencia de pocas especies vegetales y a medida que esas superficies fuesen aumentando, las posibilidades de registrar más especies son evidentes., así surge la necesidad de construir la curva colectora de especies, que también es conocida como curva especie – área.

Para la construcción de esas curvas, se delimita una parcela de tamaño pequeño. En ella se cuenta el número de especies ocurentes. En un segundo paso se dobla el tamaño de la parcela inicial y se procede a incrementar en número las

especies allí presentes en las parcelas, que no aparecieron en la anterior y así sucesivamente se va aumentando el tamaño muestral hasta que no se aumente más en el número de especies. Los datos pertinentes lococados en un gráfico, ofrecerá la posibilidad de establecer el mejor y eficiente tamaño de la parcela correspondiente, como se muestra en la Figura 22.

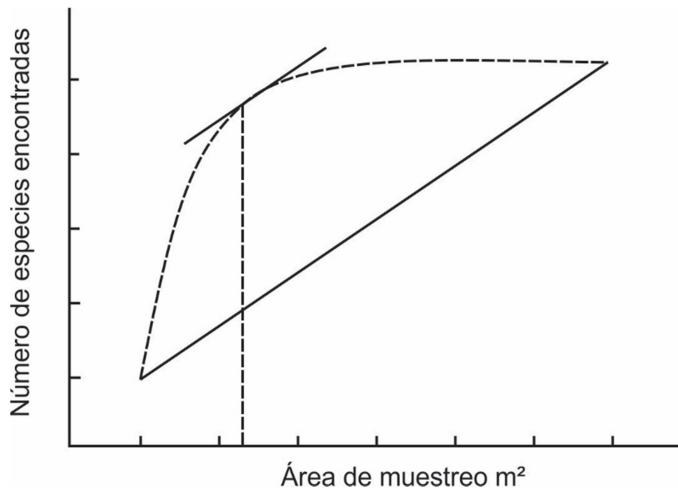


Figura 22. Determinación del tamaño de la parcela  
Fuente: Imaña et al, 2014 (p. 55)

En la Figura 22, el punto de intersección tangencial corresponderá al punto de inflexión de la curva o punto de comienzo de la asíntota de la curva. El tamaño ideal de la parcela, representado por ese punto, deberá contener aproximadamente el 90 % del total de las especies encontradas. Consecuentemente los índices de diversidad biológica (Margalef, Menhinick, Shannon – Weaver, Sorensen, Pielou, Payandeh, cociente de mezcla, etc.) estarán coherentemente representados.

Para la estimación de los parámetros fitosocoológicos se hará necesario realizar cálculos de la densidad ( $D$ ) que expresa el número de individuos de una especie por unidad de área que en general será la hectárea. La densidad absoluta ( $DA$ ) considera el número de individuos de una determinada especie ( $n_i$ ) dentro del área de observación ( $A$ ) y es calculada por la fórmula:

$$DA_i = \frac{n_i}{A}$$



La densidad relativa ( $DR$ ) es la relación entre el número de individuos de una especie ( $n_i$ ) y el número de individuos de todas las especies ( $N$ ), expresada en valor porcentual:

$$DR_i = \left(\frac{n_i}{N}\right) \cdot 100 \quad DR_i = \frac{DA_i}{\sum DA_i}$$

Otro índice de densidad relativa usado en rodales, es el índice de Curtis, calculado por la expresión:

$$DR_i = G \cdot D_g^{-0,5}$$

donde  $G$  = área basimétrica ( $m^2/ha$ );  $Dg$  = diámetro medio cuadrático (cm)

La frecuencia ( $F$ ) considera el número de parcelas en que determinada especie esté presente. La frecuencia absoluta ( $FA$ ) es la relación entre el número de parcelas en que determinada especie ( $P_i$ ) se presenta y el número total de parcelas del muestreo ( $P$ ):

$$FA_i = \left(\frac{P_i}{P}\right) \cdot 100$$

La frecuencia relativa ( $FR$ ) es la relación entre la frecuencia absoluta de determinada especie ( $FA_i$ ) con la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies ( $FA$ ), siendo calculada por la expresión:

$$FR_i = \left(\frac{FA_i}{\sum FA_i}\right) \cdot 100$$

La dominancia ( $Do$ ) está definida como la tasa de ocupación del ambiente por los individuos de una especie, representada por el área basimétrica, siendo que la dominancia absoluta ( $DoA_i$ ) registra el área basal por área determinada:

$$DoA_i = \frac{G_i}{A} \quad G = \sum g_i \quad g_i = DAP^2 \cdot 0,7854 \quad \text{ó} \quad g_i = CAP^2 \cdot 0,0796$$

La dominancia relativa ( $DoR$ ) es la relación en valor porcentual del área basal total de una especie ( $G_i$ ) por el área basimétrica de todas las especies ( $G$ ) encontradas:

$$DoR_i = \left(\frac{G_i}{G}\right) \cdot 100 \quad \text{o} \quad DoR_i = \frac{DoA_i}{\sum DoA_i}$$

El Índice de Valor de Importancia (*IVI*) establece la lista de especies en valores de orden decreciente. La especie con el mayor *IVI* será considerada ecológicamente la más importante de la vegetación en estudio. Su cálculo está dado por:

$$IVI_i = DR_i + FR_i + DoR_i$$

El Índice de Valor de Cobertura (*IVC*) considera solamente los valores relativos de la densidad y de la dominancia relativas:

$$IVC_i = DR_i + DoR_i$$

En una superficie de 110 ha fueron seleccionadas 10 parcelas de 1000 m<sup>2</sup> (mil metros cuadrados de los tamaños 20 x 50 m) cada una, proporcionando una hectárea de muestreo. Todos los árboles con  $D_{base}$  igual o mayor a 5 cm fueron medidos. La curva especie - área se estabilizó con 94 % de las especies en la séptima parcela. El error padrón fue de 5.92 %, formando el intervalo de confianza:

$$[PE (71,02 \leq \mu \leq 92,98) 0,95 \%]$$

Fueron encontradas 54 especies con una densidad total de 882 individuos arbóreos, produciendo 9,53 m<sup>2</sup>/ha, conforme se muestra en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Parámetros fitosociológicos

	DA n/ha	DR %	FA %	FR %	DoA m <sup>2</sup> /ha	DoR %	IVI %
Especie A	98	11,2	100	4,0	1,22	12,8	28,0
Especie B	50	5,6	100	4,0	0,61	6,3	15,9
Especie C	63	7,2	60	3,2	0,39	4,1	14,5
Especie D	22	2,5	80	3,6	0,88	7,1	13,2
...							
...							
...							
<b>totales</b>	<b>882</b>	<b>100</b>	<b>2500</b>	<b>100</b>	<b>9,53</b>	<b>100</b>	<b>300</b>

Fuente: Imaña y Paula, 1994

*IVI* de la *Especie A*:  $IVI = DR + FR + DoR = 28,0$

La sumatoria de los tres parámetros fitosociológicos con unidades diferentes, fue modificada por Imaña y Morais (2003) a través del cálculo de los correspondientes valores relativos fragmentados.

## **7.7 LEVANTAMIENTO ECOLÓGICO RÁPIDO**

Para la ejecución de levantamientos eco forestales fue desarrollado un consistente procedimiento metodológico que se lo conoce de *Evaluación Ecológica Rápida* (The Nature Conservancy, 1992). El procedimiento inicial estaba orientado al rápido reconocimiento de la biodiversidad de los ecosistemas. Posteriormente los levantamientos se fueron perfeccionando para los diversos componentes bióticos. En ese sentido la literatura registra levantamientos rápidos específicos para asuntos florísticos, faunísticos y forestales. Los *inventarios forestales rápidos* además de presentar una lista de los organismos vegetales presentes, sus resultados se orientan prioritariamente en la identificación de las comunidades arbustivo boscosas de los sitios observados, para determinar principalmente si esas comunidades son de calidad sobresaliente y de prioridad para el interés ecológico forestal regional.

El levantamiento ecológico rápido también conocido como Evaluación Ecológica Rápida (*Rapid Ecological Assessment*) es un proceso flexible que se utiliza para obtener y aplicar, en forma acelerada, pertinente información biológica e ecológica, obtenidas de varias fuentes, desde imágenes de satélite hasta evaluaciones realizadas en el campo (The Nature Conservancy, 1992). Estos levantamientos procuran describir y evaluar la vegetación, flora y fauna con la finalidad de ofrecer en forma rápida, recomendaciones del estado actual de los objetos observados y evaluarlos para decisiones finales, empresariales o públicas.

Normalmente los levantamientos ecológicos rápidos determinan inicialmente características y parámetros a nivel de paisaje, ofreciendo posteriormente recomendaciones de evaluaciones más puntuales para ejecutarlas por inventarios convencionales.

Los levantamientos ecológicos rápidos fueron creados inicialmente para realizar eficientemente correspondiente identificación de áreas prioritarias para la preservación y conservación de la naturaleza, ofreciendo coherentes informaciones para la elaboración de procedimientos de ordenación y manejo de

las unidades paisajísticas. En su concepción estos levantamientos deben ser flexibles, de tal forma que se puedan trabajar con procedimientos y procesamiento de productos de los sensores remotos, así como poder emplear técnicas complementarias de mediciones de variables de campo.

Hoy en día los levantamientos ecológicos rápidos se los realizan en el principio de la estratificación de extensas áreas, teniendo como producto final, diversos mapas temáticos. A nivel de campo, los levantamientos son con frecuencia realizados en el sistema del muestreo por transectos lineales de longitud extensa y variable.

El procedimiento recomendado por *The Nature Conservancy* (1992), para la primera evaluación de la vegetación arbórea, consiste en 1) la observación directa y la realización de una revisión bibliográfica y cartográfica; 2) en la extensión o recorrido del área a ser evaluada; 3) georeferenciación de los puntos y marcación de la correspondiente ubicación de los puntos seleccionados; 4) entrevistas. Posteriormente, existiendo la necesidad existirá una recomendación de efectuar un inventario forestal puntual.

## **7.8 VARIABLES DENDRO-DASOMÉTRICAS EN LA COMUNIDAD EUROPEA**

En términos generales cuando se habla de inventarios forestales, la idea básica se concentra en medir las clásicas variables dendrométricas: *DAP* con o sin corteza y las altura del tronco comercial y del total del árbol. Sin embargo, en el primer capítulo se mostró la existencia de otras y diversas variables de medida relacionadas con el diámetro y altura. En la necesidad de una observación más detallada, de las parcelas permanentes de los inventarios forestales nacionales (IFN) se podrán encontrar en la literatura inclusive más otras variables de medida pertinentes a los objetivos establecidos.

Con el intuito de subsidiar la planificación de los inventarios forestales continuos y de grandes áreas, se presenta a seguir la codificación de las variables de colecta de información de algunos de los inventarios forestales nacionales que son realizados en Europa, destinados entre otros para el acompañamiento

intensivo del correspondiente crecimiento y manutención de los bosques, recomendado por la Comisión Europea en su Reglamento 1019/94 CE:

Datos adicionales de identificación de la parcela permanente:

Código de la parcela: (combinación de dígitos correspondiendo al número de orden de la parcela permanente y las siglas de la especie predominante).

Identificación de la sub-parcela:

Datos de localización

(1) Provincia, Comunidad autónoma (estado):

(2) Unidad paisajística: nombre común de la región

(3) Identificación municipal: número de la unidad municipal

Número (código) del mapa: mapa topográfico donde se localiza la parcela

Geología

(4) Tipo de humus: (mull, moder, mor, anmor, turba, otros)

(5) Capacidad aparente de retención del agua: insuficiente, suficiente y excesiva

(6) Declividad: en porcentaje

(7) Tipo de la masa forestal: pura, mezclada, mista,

(8) Daños recientes: danos de insectos, enfermedades bióticas, otros daños bióticos, daños abióticos

(9) Código CORINE: propio para los bosques europeos

(10) Tipo de suelo:

(11) Profundidad del suelo

(12) Fracción de cabida cubierta: grado de sombreadamiento en %

(13) Origen de la masa: semillas, cepas, artificial, mezclado

(14) Forma del macizo boscoso: regulares e irregulares

(15) Situación fundiaría: propiedad del bosque

Datos particulares de la parcela

(16) País

(17) Coordenadas geográficas: longitud y latitud

(18) Altitud: clases de altitud en intervalos de 50 metros

(19) Orientación: rosa de los vientos

(20) Producción absoluta y relativa: calculado por el plan de ordenación u obtenido en forma indirecta

(21) Fecha del establecimiento de la parcela

(22) Superficie total: área en m<sup>2</sup> de la parcela

- (23) Número total de árboles:
- (24) Superficie de la sub-parcela: área en m<sup>2</sup>
- (25) Edad media:
- (26) Especie arbórea principal:
- (27) Densidad: deficiente, normal, excesiva de la cobertura de las copas

Datos adicionales: pirámide de la vegetación:

- a. Marcación del círculo principal.
- b. Lista de las especies. Incluyendo: abundancia, dominancia, sociabilidad o agrupamiento.
- c. Formación del estrato: arbóreo, arborescente, arbustivo, sub-arbustivo, herbáceo.
- d. Grado de evolución: desarrollando, recreciendo, estable.
- e. Estratificación: resultado de la pirámide de la vegetación.

En consecuencia, se observa que la información que debe ser procesada por un inventario forestal de grandes áreas, en cualquier de sus niveles será bastante amplia y debidamente ordenada para atender pertinentes objetivos específicos. Resumidamente en esa filosofía, la situación geográfica del macizo forestal deberá estar bien identificada por medio de correspondientes coordenadas geográficas en sólida y coherente base cartográfica. Esa localización en muchos casos podrá estar acompañada de datos pertinentes sobre la correspondiente posición orográfica, configuración del tipo del suelo y de la declividad del terreno, descripción de la red hidrográfica y características climáticas, además de una observación detallada de la o de las comunidades vegetales que puedan componer el bosque a ser inventariado, considerando siempre el estado peculiar de su vegetación de ese momento y de su correspondiente potencial desarrollo.

## 8. ANEXOS

### 8.1 NÚMEROS ALEATORIOS

Cuadros de números aleatorios se pueden encontrar en varios libros de estadística y hoy en día en casi todas las calculadoras científicas y teléfonos celulares denominados de "handys". Para la selección de las parcelas de muestreo, para el modelo aleatorio simple, se requiere la obligatoriedad de la casualización de apenas la primera parcela, que corresponderá al primer número escogido. Este número será el resultado de la combinación de columnas y líneas en el cuadro de números aleatorios. Una vez escogido el primer número se debe escoger el *camino de selección* para correspondiente separación de las parcelas que formarán la intensidad del muestreo. En el cuadro tanto hace seguir en la columna hacia abajo, arriba, diagonal lateral, horizontalmente a la derecha, etc. Como ejemplo se asume el día de dos aniversarios: días 24 de abril y 21 de agosto. Estas dos fechas (días) corresponderían a la línea y a la columna respectivamente, en ese sentido en la 24ª línea y en la 21ª columna se encuentra el valor de 1180. A partir de ese punto (número) siguiendo la columna en dirección para abajo, el próximo número es el 4992. Siguiendo el ejemplo anterior, se deben escoger 15 parcelas de 473 (analizar capítulos 2 y 5 y especialmente ítem 6.4). Siguiendo los números para debajo de las tres primeras casas de 1180, se tendrán las parcelas números: 118, 191, 333, 5, 96, 18, 143, 344, 342, 313, 263, 135, 327, 159 y 231.

Las 15 parcelas a ser distribuidas en el sistema sistemático, correspondiendo a la primera seleccionada de número 21, por la constante de expansión, las parcelas seleccionadas corresponderán en el mismo rodal a los números: 21, 52, 83, 114, 145, 176, 207, 238, 269, 300, 331, 362, 393, 424 y 455.

Cuadro 22. Números casualizados o aleatórios

	1	... 5	... 9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49
1	4098	8577	2792	8626	4521	8991	7142	6464	5822	7581	7491	4846	1805
2	9581	1532	6355	8777	3229	4500	3134	8405	7290	4427	7822	0762	1737
3	3951	8062	2433	8167	2811	3479	2635	3423	0994	0080	5531	6327	9123
4	2769	3065	0771	3001	8447	4589	7074	1304	9051	2761	3463	8744	4267
5	1461	6086	3833	7113	3372	0816	1350	5648	3093	4566	5129	2905	2283
6	4003	9640	0347	2460	0921	2118	0005	8652	8540	7373	5768	3633	9160
7	9269	7644	5615	4775	7873	7819	8706	9847	4802	6203	4205	3255	0232
8	1027	2040	9317	8224	1990	8087	3274	5984	2449	7917	2375	8342	0079
9	7586	5557	4848	7436	2267	1920	1592	5337	1375	5489	5673	2339	0745
10	8578	7926	3454	7133	8974	6848	2317	4918	8105	5285	7005	7311	1720
11	4129	2825	4789	1165	6520	4223	9641	6420	3089	8764	3793	3696	3567
12	0587	7520	0918	5434	6802	5487	2305	4336	9829	9793	8708	3092	9886
13	8244	2372	8064	3427	2346	1536	1063	2159	6076	0262	3162	3162	4760
14	2024	6318	3827	1078	8884	4232	0097	9200	0494	5005	7582	7080	3555
15	4846	1967	5418	2892	3369	9896	7435	7211	6825	0895	3179	1179	5423
16	6083	3560	8116	6197	2514	7821	2205	2547	2637	8039	1906	4102	0041
17	4352	6676	7291	0563	4846	4401	3353	6228	8059	5505	0216	1317	5403
18	8872	6306	1503	7238	0158	2537	6648	5619	5641	2928	7649	7439	5090
19	9481	9670	8980	6714	2549	2594	6278	2615	2139	4875	6469	6106	3898
20	7445	8853	5213	0482	2300	2636	4744	0408	8480	0744	5152	4159	7674
21	7491	9774	4753	9005	9084	8748	2501	1105	4511	4315	6040	3184	5994
22	6131	1309	1380	4229	6303	2464	1243	2810	0165	6207	7983	0559	6158
23	7650	3269	3346	5819	3403	5928	9731	0265	4747	7039	7417	3022	6531
24	1165	3109	1260	1957	6378	1180	1097	1570	0489	8178	5484	8783	4245
25	9285	3719	5690	7539	0356	4992	7295	2752	8747	1252	5462	4323	1331
26	0115	9111	0063	1963	7458	6903	5138	6036	5356	7706	6903	8991	2469
27	5582	7158	0978	0803	0771	7932	2519	6104	4083	1206	7891	9788	9593
28	6682	4882	6389	9259	1472	1917	2251	9020	0364	9660	4801	9544	8477
29	9627	1171	1723	2925	1385	3335	0769	2568	5792	5711	8444	0133	6637
30	4394	9747	0313	2086	2245	5998	6453	8964	9481	5587	7381	5846	4272
31	0109	6582	8907	1730	2989	8980	9836	2536	5302	4914	3403	5209	2055
32	7007	1059	7512	9884	6893	6816	8760	1150	4656	5845	8872	5046	1169
33	1113	4368	9718	8517	1308	0050	7750	4692	4526	9721	4822	2308	3201
34	7813	3914	3548	6818	3657	0962	4028	8708	7479	9108	2712	4332	0351
35	2748	6010	4121	0069	6377	0189	9460	1902	7086	7233	3888	2060	8658
36	0515	3540	5403	9896	7627	7784	8908	6460	4434	5424	8520	8577	3233
37	7185	1774	6627	8519	5556	5186	4892	3244	4047	1038	2252	4229	9658
38	8020	3280	9800	4092	5751	5283	1455	3199	7223	4007	6454	4499	2172
39	1350	7802	7339	6682	0128	6751	7566	3397	4758	4244	8609	2858	0622
40	6792	6541	4536	7796	4621	1439	5636	7015	7443	6269	8230	7728	7779
41	7256	7344	2504	6281	1535	7926	9957	2822	2594	8062	9548	9823	8609
42	2886	8564	9411	5878	4536	3445	9138	5110	6836	8781	1677	3019	3629
43	0967	4080	4494	6082	9493	9801	4850	5769	6077	6960	7422	0577	1781
44	7120	0330	7925	7417	7834	5445	0477	4259	7578	6499	3703	1803	3644
45	8998	5598	2245	1249	8271	5733	2869	5059	1509	2579	3942	8418	7068
46	5374	8281	1402	0105	7794	6557	7039	4248	5684	3159	1670	4174	6039
47	5054	7381	9107	8126	2545	4961	2288	4120	0015	5993	5160	6565	6354
48	4933	7290	1020	6528	4463	9586	7578	6924	4165	8610	3410	3200	9375
49	1185	0143	6502	8569	5688	3429	6435	4815	7011	7763	0134	8291	0436
50	3422	4641	8474	2702	5777	4793	7202	9563	7574	6969	6134	3192	1329



En los sistemas de los inventarios con estratificación, se debe primeramente estratificar la población para luego efectuar el propio diseño de muestreo o disposición de las unidades de muestreo, siguiendo la norma anteriormente explicada.

El inventario sistemático esta hoy en dia bastante difundido, sobre todo para su aplicación en extensos bosques naturales heterogéneos. La desventaja de estos inventarios radica desde el punto de vista estadístico que el error de muestreo solo se lo podrá conocer cuando se concluya con la tomada de los datos de campo.

## 9. CITACIONES BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, N.; AÑAZCO, M.; CUEVA, K.; ORDOÑEZ, L.; PEKKARINEN, A.; RAMÍREZ, C.; ROMÁN, R.M.; SÁNCHEZ, G.; VELASCO, C. 2010. Proyecto Evaluación Nacional Forestal: metodología para desarrollar el estudio piloto de la ENF en conformidad con el mecanismo REDD+. Quito: Ministerio de Ambiente del Ecuador. 58p.
- AKCA, A. 2001. Waldinventur. Göttingen, Alemania: Cuvillier Verlag. 193p.
- ALBERTIN, W. 1974. Inventario forestal y analisis estructural de la finca La Milena de la Compañia „Maderas Grupo Pozuelo – Marin“. CATIE: 90p.
- ALEMANIA, BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN. 2000. Aufnahmeanweisung für die Bundeswaldinventur II (2001 – 2002). Bonn: 104p.
- AVERY, Th.E.; BURKHART, H.F. 2002. Forest measurements. Boston: McGraw Hill, 5.ed. 456p.
- BITTERLICH, W. 1984. The relascope idea, relative measurements in forestry. Londres: Commonwealth Agricultural Bureaux. 236p.
- CARRETERO PEÑA, A. 2016. Aspectos ambientales, identificación y evaluación. Madrid: Asociación Española de Normalización. 240p.
- CHACKO, U.S.A. 1965. A manual on sampling techniques for forest surveys. New Delhi: Manager of Publications. 172p.
- COCHRAN, W. 1965. Tecnicas de amostragem. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura. 555p.
- COLOMBIA. 2009. Diseño del marco conceptual y metodológico del Inventario Forestal Nacional: Bogota: Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales, Depto. Administrativo Nacional de Estadística. 146p.
- COLOMBIA. 2010. Realización de inventarios estadístico forestales participativos en la zona objeto de reserva campesina. Bogota: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial / ITTO. 37p.
- COMISION EUROPEA. 1994. Reglamento 1019.

- COSTA RICA. 2014. Manual de campo, inventario forestal nacional de Costa Rica, diseño de parcela y medición de variable de sitio y dasométricas. Volumen 2. San José: SINAC, Programa REDD/CCAD – GIZ, FONAFIFO. 74p.
- CUNHA, T.A. da; FIGER, C.A.G. 2008. Selección del factor de área basal del relascopio de Bitterlich para el muestreo de un rodal de *Pinus tadea* L. en el sur de Brasil. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica), 5(15): 11p.
- DETTEN; R: von. 2010. Umweltpolitik und Unsicherheit, zum Zusammenspiel von Wissenschaft und Umweltpolitik in der Debatte um das Waldsterben der 1980er Jahre. Archiv für Sozialgeschichte 50: 217-269.
- FAO. 2004. Inventario forestal nacional, manual de campo, modelo. Roma/Guatemala: Departamento de Montes, Programa de Evaluación de Recursos Forestales, Documento de Trabajo, 94S. 89p.
- FAO. 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales, cómo están cambiando los bosques del mundo? Roma: 47p.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales, términos y definiciones. Roma: Documento de Trabajo 144/S. 30p.
- FAO. 2017. Voluntary guidelines on national forest monitoring. Roma: Departamento de Montes. 75p.
- FISHER, R.A; YATES, F. 1963. Statistical tables for biological, agricultural and medical research. Edimburg: Oliver & Boyd Ltda. 6ª ed. 146p.
- FREESE, F. 1962. Elementary forest sampling. Washington: U.S. Department of Agriculture. 91p.
- HUSCH, B. 1971. Planificación de un inventario forestal. Roma: FAO. 135p.
- HUTCHINSON, I.D. 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques naturales del trópico húmedo. Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales. 32p. (Serie Técnica, Informe Técnico /CATIE no. 7)
- HIGUCHI, N. 1979. Erros em inventário florestal. Jornal dos Reflorestadores, 1: 21-24.

- IMAÑA, J. 1981. Establecimiento das parcelas permanentes para o inventário florestal contínuo dos reflorestamentos no Estado de Goiás e Distrito Federal. Brasília: Universidade de Brasília/Dpto. Engenharia Florestal. 43p.
- IMAÑA, J. 1991. Inventário florestal por faixas de amostragem. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasília, 26(1): 25-30.
- IMAÑA, J. 1998. Dasometria práctica. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 112p.
- IMAÑA, J. Inventario forestal por transectos de muestreo en bosques de galería en el Brasil. In: III Congreso Forestal Español "Montes para la Sociedad del Nuevo Milenio", Granada: 2001. p.431-433.
- IMAÑA, J. 2011. Mensura dasométrica. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 113p.
- IMAÑA, J.; DEUSDARÁ FILHO. R. 1989. Modelo PERT/CPM ex post no planejamento de um inventário florestal. En: Anais, Encontro Brasileiro de Planejamento Florestal, 1ro. Curitiba: EMBRAPA, p.239-252.
- IMAÑA, J.; ENCINAS; O. 2008. Epidometria forestal. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 54p.
- IMAÑA, J.; JIMÉNEZ, J.; REZENDE, A.V.; IMAÑA, C.R.; SANTANA, O.A.; MEIRA JÚNIOR, M.S.de. 2014. Conceptos dasométricos en los inventarios fitosociológicos. Brasília, Brasil / Linares, México: Universidad de Brasília / Universidad Autónoma de Nueva León. 82p.
- IMAÑA, J.; MORAIS, R.de O. 2003. Nueva metodología para el análisis fitosociológico. En: Anales World Forestry Congress, 2003. Quebec: FAO. 6p.
- IMAÑA, J.; PAULA, J.E. 1994. Fitosociologia de la regeneración natural de un bosque de galería. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 29(3): 355-362.
- IMAÑA, J.; PAULA, J.E.; PEREIRA, B.A.da S. 1995. Fitossociologia dos indivíduos jovens da mata ciliar do córrego Capaozinho. Revista Árvore, 19(2): 157-170.
- JIMÉNEZ, J.; AGUIRRE, O.; KRAMER, H. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino – encino en el norte de México. Investigación Agraria, Sist. Recursos Forestales, 10(2): 355-366.

- KLEINN, C. 2015. Lecture notes for the module MONITORING OF FOREST RESOURCES. Göttingen, Alemania: Georg-August-Universität. 197p.
- KLEINN, C.; Vilčko, F. 2008. Anmerkung zur Anwendung der 6-Baum-Stichprobe. AFZ Der Wald, 2: 72-73.
- KLEINN, C., MORALES, D. 2002. Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o plantaciones forestales. Revista Forestal Centroamericana, 39-40: 6-12.
- KLEINN, C.; RAMIREZ, C.; CHAVES, G.; LOBO, S. 2001. Estudio piloto para el inventario forestal nacional en Costa Rica, iniciativa FAO FRA. Roma: FAO, CATIE, Ministerio del Ambiente y Energía. 51p. (Documento de Trabajo 66).
- KLEINN, C.; VILČKO, F. 2006. A new empirical approach for estimation in *k*-tree sampling. Forest and Ecology and Management, 237: 522-533.
- KOCH, B. La teledetección como apoyo a los inventarios forestales nacionales EFN. Roma: FAO, SLU. 17p.
- KREBS, C.J. 1999. Ecological methodology. 2 ed. Menio Park: Wesley Longman. 620 p
- KRUTZCH, H.; LOETSCH, F. 1938. Holzvorratsinventur und Leistungsprüfung der naturgemäßen Waldwirtschaft. Hamburg: Neumann Verlag. 164p.
- LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos, los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas – posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Traducido por D. Carrillo. Bonn, Alemania: GTZ. 335p.
- LANLY, J.P. 1974. Manual de inventario forestal, con especial referencia a los bosques mixtos tropicales. Roma: FAO. 210p.
- LEFSKY, M. A.; COHEN, W.B.; SPIES, T.A. 2001. An avaluation of alternate remote sensing products for forest inventory, monitoring and mapping in Douglas-fir forest of western Oregon. Canadian Journal of Forest Research, 31: 78-87.
- LEFSKY, M. A.; COHEN, W.B.; PARKER, G.G.; HARDING, D.J. 2002. LiDAR remote sensing for the ecosystem studies. BioScience, 52(1): 19-30.
- LOETSCH, F.; HALLER, K.E. 1964. Forest inventory. München: BLV Verlagsgesellschaft. v.1. 436p.

- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. 1973. Forest inventory. München: BLV Verlagsgesellschaft. v.2. 469p.
- LYNCH, T.B.; RUSYDI, R. 1999. Distance sampling for forest inventory in Indonesian teak plantation. *Forest Ecology and Management*, 113(2-3): 215-221.
- MALLEUX, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 441p.
- MATTHEWS, R.W.; MACKIE, E.D. 2007. Forest mensuration, a handbook for practitioners. Edinburgh: Forestry Commission. 330p.
- MELÉNDEZ, N.; GATICA, B.; MOTTA, E. 2015. Guía práctica de inventarios forestales al 100% para concesiones maderables. Lima: Secretaría de Recursos Naturales, *sp*.
- MUELLER, D.; ELLENBERG, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York: Wiley. 547p.
- NÁGERA, F. 2015. Gestión forestal sostenible. Forum Calidad (versión digital). <http://www.eoi.es/blogs/fernandonajera/2015/07/06/gestion-forestal-sostenible/>
- PÁRRAGA, J.; SANTANDER, C.1974. Instructivo para el inventario forestal de la compañía Maderas Grupo POZUELO-MARIN S.A. Turrialba: CATIE. 15p.
- PÉLLICO NETTO, S. & BRENA, D.A. 1993. Inventário Florestal. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 245p.
- PELZ, D. R. 1995. Non-timber variables in forest inventories. The Monte Verità Conference on Forest Survey designs. Simplicity versus efficiency and assessment of non-timber resources, p.103-109. Birmensdorf, Suiza, Instituto Federal Suizo de Bosques, Nieve e Investigación Paisajística.
- PERÚ, MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del Perú, memoria descriptiva. Lima: Dirección General de Evaluación, Valorización y Financiamiento del Patrimonio Natural. 108p.
- PERÚ, SERFOR. 2016. Marco metodológico del inventario nacional forestal y de fauna silvestre - Perú. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego, Ministerio del Ambiente. 38p.
- PHILIP, M.S. 1994. Measuring trees and forests. 2.ed. Cambridge: University Press. 310p.

- PINEDO, G.I. 2004. Manual de inventario forestal integrado para unidades de manejo. Guatemala: WWF/PROARCA. 47p.
- POPESCU, S.C.; ZHAO, K.; NEUENSCHWANDER, A.; LIN, C. 2011. Satellite lidar vs. small footprint airborne lidar: comparing the accuracy of aboveground biomass estimates and forest structure metrics of footprint level. *Remote Sensing of Environment*, 115: 2786-97.
- PRODAN, M. 1968. Punktstichprobe für die Forsteinrichtung (*A point sample for forest sampling*). *Forst- und Holzwirt (Alemania)*, 23(11): 225-226.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P.E. 1997. Mensura forestal. San Jose (Costa Rica), Proyecto IICA GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 568p.
- RAMIREZ, C.; SALGADO, J. 2005. Evaluación Nacional Forestal de Honduras, manual para levantamiento de campo. Tegucigalpa: 80p.
- ROMAHN, C. 1998. Relascopia, una técnica de medición forestal. 2ed. Universidad Autónoma de Chapingo. 136p.
- ROMAHN, C.; RAMIREZ, H.; TREVIÑO, J. 1994. Dendrometria. México: Universidad Autónoma de Chapingo. 354p.
- RONDEAUX, J. Inventarios forestales y biodiversidad. Roma: FAO. (versión digital). <http://www.fao.org/docrep/x0963S/x0963s09.htm>
- RONDEAUX, J. 1993. La mesure des arbres et des pleupements forestiers. Glembloix, Belgica: Presses Agronomiques. 521p.
- SAN ROMÁN, D. 2011. Inventario forestal integral en Uruguay. Montevideo: Dirección Forestal / FAO. (documento digital) <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0197-B4.HTM>
- SCHEUBER, M. 1998. Inventur und Monitoring von Galeriewäldern in Zentralbrasilien. Universität Freiburg, Dissertation Abteilung für Biometrie und Umweltsystemanalyse, 135p.
- SCHUMACHER, F.X.; CHAPMAN, R.A. 1954. Sampling methods in forestry and range management. Durhan: Duke University Press. 222p.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. 2017. Manual de campo, procedimentos para a coleta de dados biofísicos e socioambientais. Brasília: Ministerio do Meio Ambiente, SFB. 64p.

- SHEPHERD, G. 2006. El enfoque ecosistémico, cinco pasos para su implementación. Gland, Suiza: IUCN. 30p.
- SPURR, S.T. 1952. Forest inventory. New York: Ronald. 476p.
- STANLEY, S.A. 1997. Muestreo diagnóstico: una herramienta útil en la tomada de decisiones silvícolas, una guía para la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Turrialba, Costa Rica: Proyecto CATIE/CONAP. 42p. (Serie Técnica, Informe Técnico / CATIE no. 300)
- STRAND, L. 1958. Sampling for volume along a line. Meddelelser fra Det Norske Skogforsoksvesen, v.51, p.327-331.
- SUIZA. 2010. Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der dritten Erhebung 2004 – 2006. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 312p.
- THE NATURE CONSERVANCY. 1992. Evaluación ecológica rápida: un manual para usuarios de América Latina y el Caribe. Arlington, VA-USA: 232p.
- ZÖHRER, F. 1980. Forstinventur, ein Leitfaden für Studium und Praxis. Hamburg: Verlag Paul Parey. 207p.