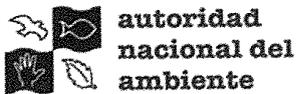
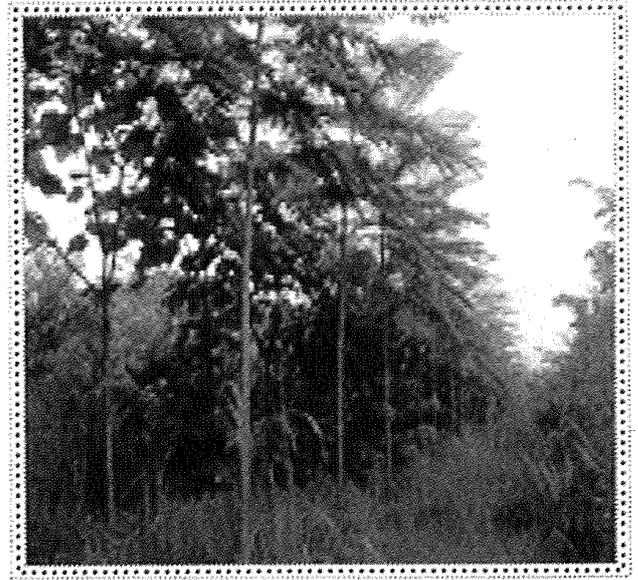
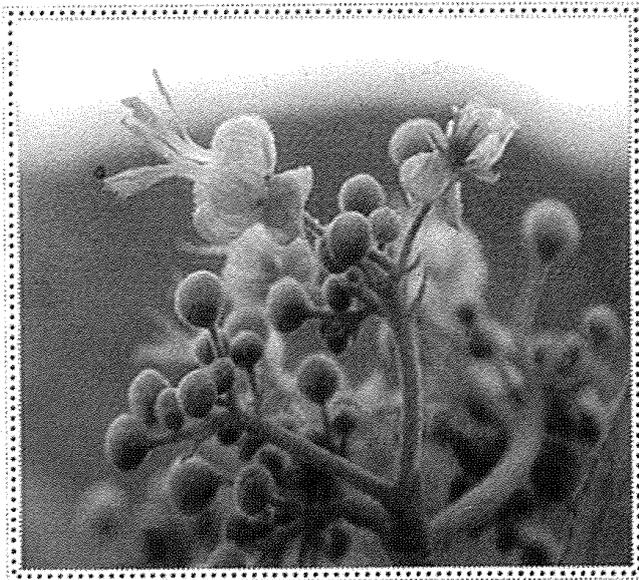


# MANUAL de MANEJO DE BOSQUES NATURALES



130

# Manual de MANEJO DE BOSQUES NATURALES

---

---

Autoridad Nacional del Ambiente – ANAM  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA  
Proyecto de Desarrollo Técnico de la Conservación de los Bosques -  
CEMARE

Río Hato, Panamá  
-2000-

Autoridad Nacional del Ambiente - ANAM -  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón - JICA -

Todos los derechos reservados.

Proyecto de Cooperación Técnica entre el Gobierno de Panamá y el  
Gobierno de Japón, denominado *Proyecto de Desarrollo Técnico de la  
Conservación de los Bosques - CEMARE* - ejecutado en el Centro  
para el Desarrollo Sostenible - CEDES -

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio electrónico, audiovisual y escrito sin autorización de la  
Autoridad Nacional del Ambiente y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón

Manual elaborado por:

Autores: Emilio Mariscal, Regino Martínez, Takayuki Hagiwara.

Contribuyeron con trabajo e información: Expertos Japoneses y Funcionarios de la ANAM que participaron en el Proyecto.

Colaboración: Bolívar Navas, Durkein Martínez, Amargit Gisell Pinzón Montenegro, Oderay Bethancourt Navas.

Revisión de texto: Eric Fernando Rodríguez Rivera.

Fotos: Emilio Mariscal, Regino Martínez, Takayuki Hagiwara, Durkein Martínez.

Dibujos: Rigoberto Morales M.

Impreso en Prestocopias S.A

Este Manual fue financiado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón - JICA-

Publicado por el Proyecto *Desarrollo Técnico de la  
Conservación de los Bosques - CEMARE*.

Río Hato, Panamá  
- 2000 -

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON  
- JICA -

## CONTENIDO

1.	Introducción	1
2.	Estructura del Bosque	2
2.1.	Composición Florística	2
2.2.	Estructura Horizontal	2
2.3.	Estructura Vertical	3
3.	Concepto Base del Inventario Forestal	4
3.1.	Importancia del Inventario Forestal	4
3.2.	Clases de Inventario Forestal	4
3.3.	Términos relacionados a los tipos de medidas forestales	5
3.4.	Base Conceptual del Inventario Forestal	5
3.5.	Tamaño de la Unidad de Muestra	6
3.6.	Diseño de la Muestra	7
3.7.	Tipo y Métodos de Inventario Forestal	9
4.	Ejecución del Inventario Forestal	15
4.1.	Establecimiento de Parcelas	15
	Localización de las parcelas	15
	Medición de Distancia Horizontal	16
4.2.	Mediciones a realizar	17
	Marcación de los árboles	18
	Enumeración	18
	Medición del Diámetro	20
	Medición de Altura	21
5.	Análisis de Datos	23
5.1.	Análisis de la Composición Florística	23
5.2.	Análisis de la Distribución Diamétrica	24
5.3.	Estimación de Altura mediante Análisis de regresión	27
5.4.	Estimación del Volumen mediante Análisis de regresión	29
	5.4.1. Cubicación de árboles	30
	5.4.2. Modelo de regresión para Volumen	34
	5.4.3. Estimativa del Volumen por Clase de DAP	37
	5.4.4. Generación de Tabla de Volumen	38
6.	Procesamiento de datos para Análisis en Excel	40
6.1.	Instalación de Herramienta "Análisis de datos en Excel"	40
6.2.	Preparación de datos para Análisis.	45
6.3.	Elaboración de Tabla de Composición Florística	49
6.4.	Elaboración de Histograma de Distribución Diamétrica.	52
6.5.	Análisis de Regresión para Estimación de Altura	63
6.6.	Análisis de Regresión para Estimación de Volumen	80
6.7.	Estimativa del Volumen por Clase de DAP	86
6.8.	Uso de las Ecuaciones para generar Tablas de Volumen	88
	ANEXOS.	

# 1. INTRODUCCIÓN

En los bosques naturales del trópico, ocurre una gran variedad de tipologías forestales, con diferentes estructuras y composición florística, asociada también a una gran diversidad biológica. Bajo estas condiciones, se torna imposible usar recetas universales en la gestión silvicultural de los bosques naturales tropicales.

Para el conocimiento de los procesos dinámicos de sucesión natural, crecimiento y producción forestal de los bosques naturales se hace necesario el diseño y desarrollo de metodología que permita acompañar la evolución en el tiempo y espacio de estos procesos.

En la América Tropical, particularmente en Panamá, existen pocos estudios sobre el comportamiento dinámico de la sucesión natural, crecimiento y producción sostenida de los bosques, así como de los distintos factores que influyen estos procesos y sus relaciones.

La Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), conjuntamente con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), ejecutan el Proyecto CEMARE, el cual tiene entre sus objetivos básicamente la Capacitación y el Desarrollo de Investigación, que conduzcan a un mejor uso de los recursos naturales, en especial los recursos forestales.

En este sentido, la Sección Manejo de Bosques Naturales, ha adelantado trabajos en diferentes regiones del país, donde se presentan remanentes de bosques naturales, con la intención de generar Metodologías de Manejo para un uso sostenido de los bosques, así como el mantenimiento de áreas permanentes de Capacitación y Demostración. Sin embargo, la aplicación de cualquier metodología de manejo al bosque implica conocer su estructura, asociación y grado de participación de las especies componentes, lo que hace obligante el uso de alguna de las técnicas de Inventario Forestal.

Este documento presenta metodología de análisis de datos provenientes de parcelas permanentes de una hectárea para fines de inventario forestal y en especial para el monitoreo de la dinámica de crecimiento forestal, utilizada por la Sección Manejo de Bosques Naturales del Proyecto CEMARE, procurando que ésta, pueda ser aplicada por los técnicos dedicados a los trabajos de campo en las distintas instituciones y/o empresas dedicadas al sector forestal.

## 2. ESTRUCTURA DEL BOSQUE

La Estructura del bosque puede ser estudiada desde el punto de vista cualitativo a través de su Composición Florística y por medios cuantitativos, a través de los parámetros de la estructura horizontal y vertical, así como de los parámetros volumétricos.

### 2.1. Composición Florística

La Composición Florística está representada por el número de especies presentes en determinado período de desarrollo del bosque y da idea del grado de evolución de la vegetación. Es medida en función de la **Diversidad de especies** presentes en un área determinada. De acuerdo a Lamprecht (1964), la diversidad florística de determinada comunidad vegetal puede ser estimada por el parámetro denominado *Cociente de Jentsch*, el cual es obtenido por la razón entre el número de especies y el número total de individuos de todas las especies; sin embargo, otros índices de diversidad también pueden ser utilizados, como el de *Shannon-Weaver*, por ejemplo.

### 2.2. Estructura Horizontal

La Estructura Horizontal cuantifica la participación de cada especie en relación a las otras y da idea sobre la distribución espacial de cada especie. Se compone de parámetros como: *Frecuencia, Densidad y Dominancia*.

La frecuencia expresa el porcentaje de las unidades de muestras en que la especie ocurre. La densidad absoluta se refiere al número total de individuos de cada especie presentes en el área de muestra.

La dominancia absoluta define la expresión del área transversal (g) de cada individuo por especie, se calcula mediante el área basal de los troncos, estimada a 1.30 m del suelo, en virtud de la alta correlación entre el diámetro del tronco y el diámetro de la copa.

Para conocer estos parámetros de las especies, el levantamiento florístico se realiza en base al establecimiento de parcelas, donde son identificadas las especies, se miden los diámetros a la altura de pecho (DAP) y la altura de los árboles. La información proveniente de la estructura horizontal sirve de base para conocer aspectos como:

- > Biodiversidad
- > Volumen
- > Edad
- > Etc.

Por ejemplo, los bosques naturales en las regiones tropicales presentan una alta diversidad de especies (tabla 2-1). Para conocer esta diversidad, la investigación de la estructura horizontal es muy importante.

Figura 2-1. Perfil Estructura del Bosque

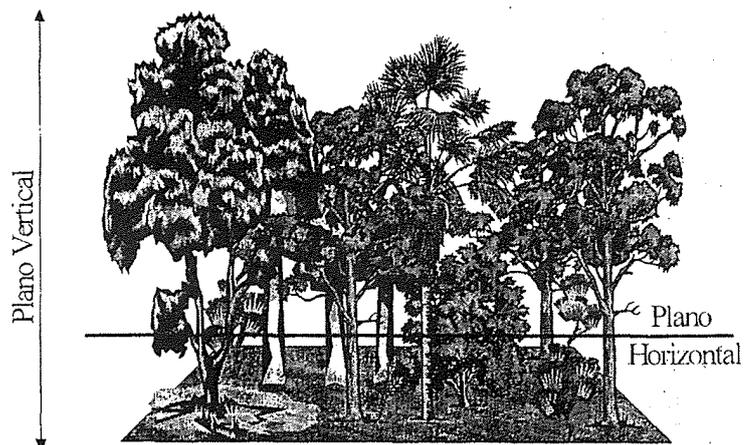


Tabla 2.1. Número de especies arbóreas en parcelas de muestra, en bosque tropical lluvioso de tierras bajas

Lugar	Tipo de Bosque	Superf.	Número de individuos		Número de especies		Fuente de Datos
			Parcela	Por ha.	Parcela	Por ha.	
<b>América Tropical</b>							
Cuyabeno Reserva, Ecuador	Mixto	1.0	697	697	313	313	Korning & Balslev (1994)
Yanamono, Peru	Mixto	1.0	580	580	283	283	Gentry (1988)
Manaus- Itacoatiara road, Brazil	Mixto	1.0	350 <sup>a</sup>	350	179 <sup>a</sup>	179	Prance et al. (1976)
Mocambo, Brazil	Mixto	2.0	897	449	153	144	Cain et al. (1956)
Morabali Creek, Guyana	Mixto	1.5	644	432	91	-	Davis & Richards (1993-4)
Belem, Brazil	Tierras Inundables	1.0	430	430	60	60	Black et al. (1950)
La Selva, Costa Rica	Mixto	2.0	845	423	118	-	Hartshorn (1983)
Rio Hato, Panamá	Mixto	0.61	751	-	49 <sup>b</sup>	-	CEMARE
<b>Africa</b>							
Okomu, Nigeria	Mixto	1.5	582	390	90	-	Richards (1939)
Sur de Bakundu F.R., Cameroon	Mixto	1.5	551	367	109	-	Richards (1963)
Korup F.R. Cameroon	Mixto	0.64	-	471 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>	-	Garlan et al. (1986)
Douala-Edea F.R., Cameroon	Mixto	0.64	-	376 <sup>c</sup>	39 <sup>c</sup>	-	Newbery et al. (1986)
Akilla, Nigeria	Tierras Inundables	1.5	536	360	38	-	Richards (1939)
<b>Asia y Australia</b>							
Sungei Menyala, W. Malaysia	Dipterocarpacea mixta	1.6	791	488	210	155 <sup>d</sup>	Wyatt-Smith (1966)
Pasoh, W. Malaysia	Dipterocarpacea mixta	4.0	2280	570	328 <sup>e</sup>	-	Wong & Whitmore (1970)
Wanariset, E. Kalimantan	Dipterocarpacea mixta	1.6	866	571	239	173	Kartawinata et al. (1981)
G. Mulu, Sarawak	Dipterocarpacea mixta	1.0	778	778	223 <sup>f</sup>	223 <sup>f</sup>	Proctor et al. (1983)
G. Mulu, Sarawak	Rastrojo	1.0	708	708	105 <sup>f</sup>	-	Proctor et al. (1983)
Toraut, Sulawesi	Mixto	1.0	408	408	109	-	Whitmore & Sidiyasa (1986)
Rango Hidrográfico, PNG	Mixto	0.8	528	636	122	-	Paljmans (1970)
Davies Creek, Queensland	Mixto con <i>Agathis</i>	1.7	1372	807	121	-	Williams et al. (1969)

Datos de árboles con DAP > 10cm

a: Campbell et al. (1986)

b: Árboles con DAP > 15cm

c: Media de 135 parcelas (40,668árboles, 411 especies).

d: Media de 104 parcelas (24,997 árboles, 230 especies).

e: Árboles con DAP > 30cm

f: Árboles con DAP > 5 cm

Fuente: Richards, P.W. (1996)

### 2.3. Estructura Vertical

La Estructura Vertical da idea sobre el nivel de sucesión en que se encuentra el bosque. La información proveniente de esta investigación, permite conocer los parámetros referentes a *Posición Sociológica* o sea, la composición florística en los distintos estratos verticales del bosque y *Regeneración natural* de las especies del bosque, que constituye el apoyo ecológico para su sobrevivencia, representado por el número de individuos de cada especie en las categorías de tamaño inferior, así como los procesos naturales de establecimiento de esa regeneración.

Los parámetros *Volumétricos*, expresan la estructura del bosque en términos de su distribución diamétrica, crecimiento en altura, producción en volumen, calidad de fuste, vitalidad, etc. Estas variables son las que más comúnmente se expresan en la realización de inventarios forestales de tipo comercial.

### 3. CONCEPTO BASE DEL INVENTARIO FORESTAL

#### 3.1. La Importancia del Inventario Forestal

El inventario forestal, es considerado una técnica muy importante para conocer los recursos forestales de un país. A partir del inventario forestal, se podrá planificar eficazmente la ordenación y gestión de los recursos forestales, siempre y cuando la información obtenida, sea confiable.

De acuerdo a Prodan et al (1997), el proceso de inventario forestal puede definirse en forma general como una metodología cuyos objetivos de información son los siguientes:

- Localización de los recursos de superficie mediante mapas, con el objeto de planificar su estrategia de manejo y observar su interrelación con la infraestructura y centros de consumo de importancia.
- Captación de información sobre los recursos boscosos de un área, los que pueden ser medibles, estimables o contables.
- Estimación de existencias totales y parciales, obtenidas mediante la multiplicación de la superficie de las unidades básicas de inventariación por las existencias promedio por unidad de superficie; y mediante el cálculo de su respectivo error de estimación.

Puesto que, generalmente se trabaja con áreas bastante grandes de bosques, se hace difícil medir todas las características y todos los componentes del mismo, lo que llevaría a tener una alta inversión de tiempo, personal y dinero; es por ello, que generalmente se trabaja con sistemas de muestreo, basados en principios estadísticos, que permiten hacer estimaciones de las variables de crecimiento y producción del bosque, así como de su composición.

Prodan et al (1997), señala que uno de los objetivos centrales de la mensura forestal es describir poblaciones (bosques) en términos del valor total de algún atributo de todos los árboles (área basal, volumen) y que, dado que las poblaciones forestales son por lo general muy extensas y de difícil acceso, su descripción se basa en una pequeña muestra de árboles, seleccionados de modo que representen a toda la población.

#### 3.2. Clases de Inventarios Forestales

De acuerdo, a los niveles de precisión en la ejecución de un inventario forestal, estos se han clasificado en:

➤ ***Inventarios exploratorios***

El objetivo principal de este inventario, es obtener información sobre acceso al bosque, especies de árboles y variabilidad del bosque y si la riqueza del mismo justifica el tiempo y gasto que costaría un inventario más intensivo. En este tipo de inventario el Error de Muestreo podrá ser más de +/- 20%.

➤ ***Inventarios de Disponibilidad de Recursos Forestales***

Estos inventarios pueden llamarse "inventarios de áreas extensas" que mejor se prestan a inventarios a nivel nacional o regional. Están diseñados para proveer información, a un nivel determinado de precisión, sobre el recurso forestal total de un país o de una región y, a un menor nivel de precisión, para estimar el recurso en cada

tipo de bosque o unidad administrativa. Su nivel de precisión es del orden de +/- 20%.

➤ **Inventarios para Manejo Forestal**

Estos inventarios proveen, a un nivel de precisión más alto, una información diagnóstica sobre unidades más pequeñas de bosques que permite la formulación de planes de manejo forestal incluyendo, requerimientos infraestructurales, programación de aprovechamiento, sistemas de protección, programas de reforestación, etc. Generalmente se requiere un nivel de precisión de alrededor de +/- 15%.

➤ **Inventarios Operacionales**

Estos están diseñados para proveer, a un alto nivel de precisión, los volúmenes netos comerciales por especie y dimensión con el objetivo de planificar el aprovechamiento forestal y gestionar ventas de madera. Estos inventarios se efectúan en pequeñas áreas operacionales tal como cuarteles de corte anual. En este caso se esperaría una precisión en el muestreo de +/- 10%. En el caso de bosques tropicales mixtos, en un inventario operacional, es usual medir todos los árboles dentro del cuartel.

### 3.3. Términos Relacionados con Tipos de Medidas Forestales

Cuando se trabaja en el campo forestal, es conveniente esclarecer algunos términos relacionados a las medidas que son tomadas de las distintas variables de los árboles:

➤ **Medida directa:**

Se refiere a las medidas hechas por el hombre directamente sobre el árbol, por ejemplo, D.A.P., C.A.P., largo de troza, espesor de cáscara, número de anillos de crecimiento, altura de árboles derribados, entre otras. Por tanto, cuando usamos una medida directa, estamos en realidad haciendo una *determinación*, que no debe ser confundida con *estimación*, que implica una medición indirecta o estimativa.

➤ **Medida indirecta:**

Son medidas que están fuera del alcance directo del hombre, tomadas la mayoría de las veces con auxilio de métodos ópticos, como por ejemplo, altura de árboles en pie (parados), área basal y diámetro a varias alturas, usándose *relascopio de Bitterlich*, volumen de árbol en pie usando *penta prisma de Wheller*, etc.

➤ **Medida estimativa:**

Son basadas en métodos estadísticos, donde son estimadas variables medibles de árboles o del bosque. Es un tipo de medida bastante utilizada por el hecho de ser económica y ganarse tiempo, pues, las medidas son tomadas en áreas de muestra y extrapoladas para el conjunto total, a través de curvas, ecuaciones, tablas, histogramas, etc. Es un tipo de medida que cuando bien planeada, ofrece resultados bastante precisos a un determinado nivel de probabilidad.

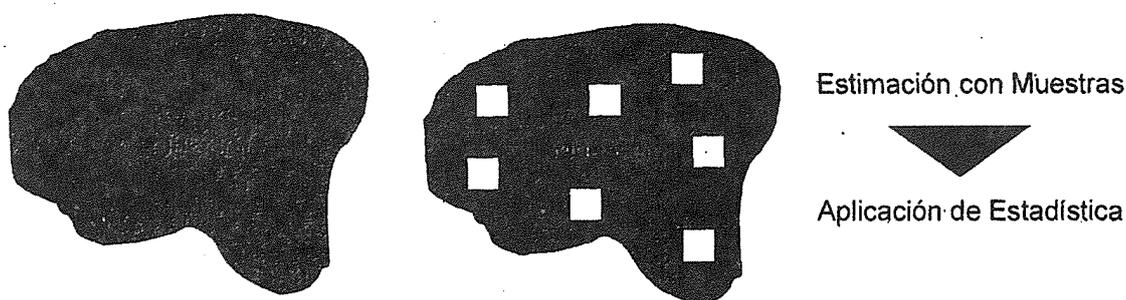
### 3.4. Base Conceptual del Inventario Forestal

Para las estimativas de volumen o diversidad de bosques se utilizan los datos registrados en la medición, para a partir de estos, realizar las estimativas del bosque en su conjunto. Un aspecto importante para la estimación, es el hecho que el número y la distribución de las muestras debe obedecer a criterios estadísticos. Sin embargo, si el objetivo de la investigación no es para estimación, entonces, no necesariamente se debe tener la cantidad de muestras que los principios estadísticos requieren.

Por razones prácticas, los árboles no se seleccionan individualmente, sino en grupos, llamados unidades muestras. El concepto del inventario se basa fundamentalmente en muestras, o en otras palabras, el establecimiento de las parcelas para muestras es la fase inicial del inventario. Si el área del bosque es pequeña, menos de 1 a 5 hectáreas, se puede realizar inventario completo, o sea midiendo todos los árboles dentro del bosque. Sin embargo, muchas veces esto no ocurre. Generalmente, la superficie del bosque es grande y no se puede medir todos los árboles por razones económicas y físicas. Por esto, en el inventario, se establecen parcelas llamadas unidades de muestra y se estiman los parámetros de la población en base a los datos de muestreo.

Por estas razones, el inventario hace uso de conceptos de probabilidad y de estadística. También se puede decir que el inventario se basa fundamentalmente en la estadística.

Figura 3-1. Población y Muestra



Las unidades probabilísticas de muestra deben cumplir las siguientes condiciones:

- Se asigna a cada árbol de la población una determinada probabilidad de ser seleccionado en una unidad de muestreo.
- Se localizan aleatoriamente puntos de muestreo, de modo que cualquier lugar de la superficie donde se distribuye la población de árboles tenga la misma probabilidad de ser elegido.
- Todos los árboles de la población son susceptibles de ser seleccionados en cada punto de muestreo instalado, con la probabilidad pre asignada.

### 3.5. Tamaño de Muestra (Parcela)

Para obtener una determinada precisión en inventarios forestales, cuanto mayor el área de las parcelas, menor será el número necesario, pero al mismo tiempo, mayor será el área total a ser medida.

La decisión sobre el tamaño ideal de la parcela dependerá de, los objetivos, la precisión requerida, de la variabilidad del bosque y de los costos del inventario. Existe una recomendación en estandarizar el tamaño de las parcelas permanentes en 1 ha, para que los métodos de procesamiento, análisis e interpretación de los datos puedan ser uniformes y los resultados puedan ser comparados internacionalmente.

El Proyecto CEMARE, ha establecido parcelas de 1 ha cada una, dividiendo 1 ha en cuadrantes de 400m<sup>2</sup> (20m X 20m). De esta manera, fueron establecidas un total de 4 ha. en

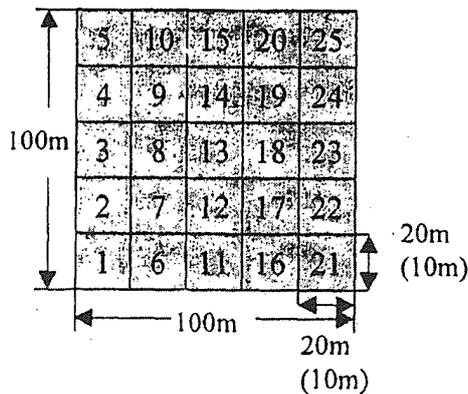
río Balsa, provincia del Darién. También, se han instalado parcelas de 100m<sup>2</sup> cada una, en total 61 parcelas en el bosque secundario en Río Hato. El tamaño y diseño de las parcelas van a depender del objetivo y área física (topografía) del bosque. En el bosque de Río Hato, su condición de topografía no permitió establecer parcelas de 1 hectárea de manera continua (figura 3-2 y 3-3).

### 3.6. Diseño de Muestra (Parcela)

El diseño preferido en inventarios forestales es la distribución sistemática de unidades de muestra. Los motivos son varios:

- En la mayoría de los casos se logra una representación más uniforme de la población.
- Es posible distribuir las unidades de muestra en el terreno, aun careciendo de una representación cartográfica del bosque. La localización de las unidades es generalmente más eficiente.
- Con frecuencia resulta más eficiente que el muestreo aleatorio simple, ya que se obtiene un menor error de estimación para un mismo tamaño de muestra.

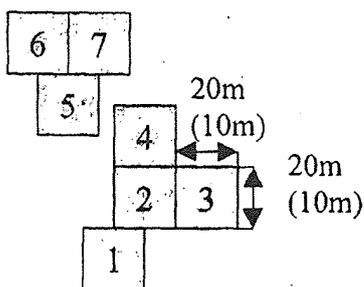
Figura 3-2. Áreas de estudio mayor de 1 ha.



En este sistema, debe atenderse el hecho de que una muestra representativa debe distribuirse sobre todas las condiciones ambientales del terreno.

Entre las unidades de muestra probabilística más comunes se encuentran las parcelas convencionales, las parcelas concéntricas y las unidades de muestreo puntual y lineal horizontal, conforme citado por Prodan et al (1997).

Figura 3-3. Áreas de estudio Menor de 1 ha.



Las parcelas cuadradas y parcelas rectangulares o fajas también son un tipo de parcelas convencionales. Las parcelas de forma cuadrada se emplean principalmente cuando las unidades de muestra son de gran tamaño. Este tipo de parcelas ha sido utilizado por el Proyecto CEMARE en Río Balsa, Provincia del Darién, en los estudios y ensayos de bosques naturales, conforme figura 3-2.

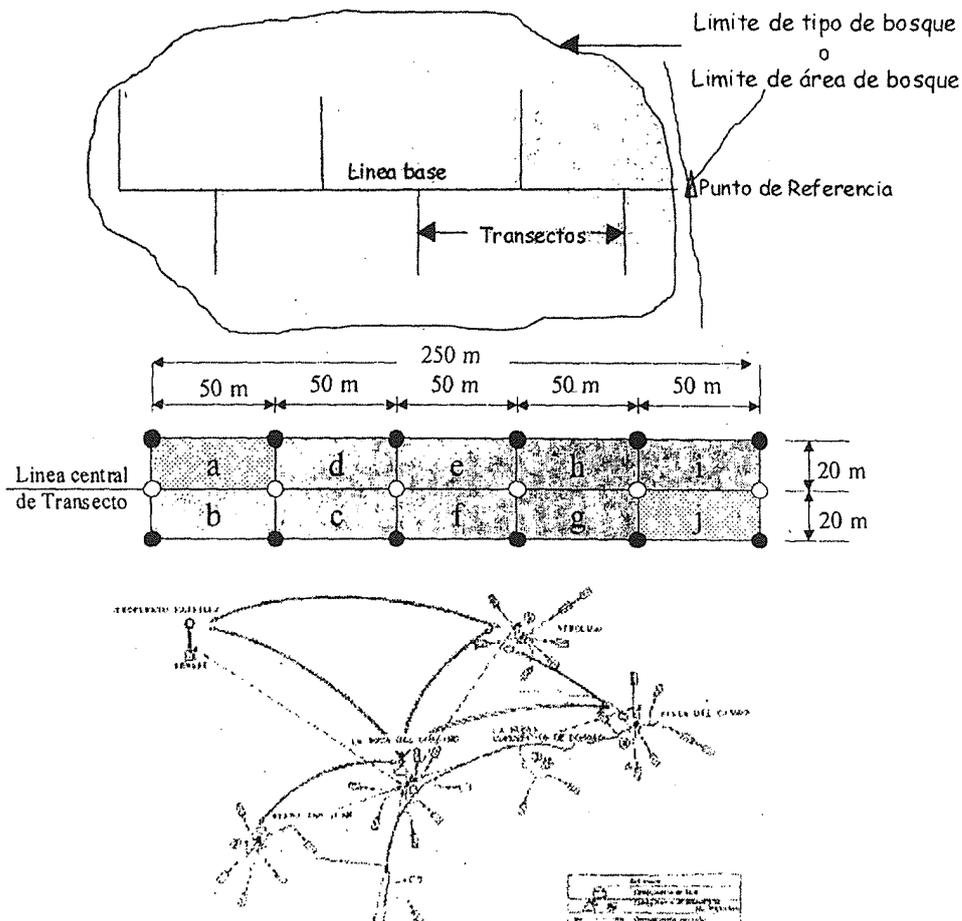
Cuando se realizan estudios del bosque tropical en parcelas permanentes, es recomendable utilizar parcelas cuadradas, puesto que tienen varias ventajas, entre las que se pueden señalar de acuerdo a Synnott (1979), las siguientes:

- Los cuadrados presentan menor perímetro que las fajas ó rectángulos de misma área. Consecuentemente, los costos de establecimiento y mantenimiento son menores.
- Se facilita el cálculo de superficie, además de que al no haber subjetividad en los límites, se puede mantener precisión en los cálculos.

En el caso que el área de bosque no permita establecer las parcelas de forma continua, se puede establecer parcelas no continuas (caso del bosque de Río Hato). Este método sirve para bosques pequeños o fragmentados. Sin embargo, este tipo de diseño tiene limitante, puesto se puede correr el riesgo que las parcelas no se distribuyan al azar. Las personas que establecen las parcelas pueden tener tendencia a establecerlas subjetivamente de tal manera que pareciesen representar adecuadamente el área. Debido a esta situación, puede ocurrir que las parcelas no representen adecuadamente el área o tener el riesgo de no representar las especies que ocurren en el borde del bosque.

En muchos inventarios de tipo comercial, se hace uso del sistema de Transectos o Fajas para realizar el inventario (Figura 3-4). Los transectos pueden partir de determinados puntos a lo largo de una línea base o, dependiendo del diseño del inventario, de puntos de referencia. Estos puntos de partida deben señalarse con estacas de madera sólida y con dos colores de banderines además de una etiqueta de aluminio que incluya el número de transecto, rumbo y longitud.

Figura 3-4. Representación esquemática del sistema de transecto en inventarios forestales.



Fuente: JICA (1985)

En el inventario de Donoso, provincia de Colón realizado por JICA y ANAM (1985), se utilizó este sistema, indicado en la figura 3-4. Fueron establecidas un total de 38 parcelas de 40m x 250m (1 hectárea cada una) en forma de faja. Cada una de estas parcelas fue subdividida en 5 secciones de 40m x 50m, siendo que cada bloque de inventario tenía una superficie de 20m x 50m, tal como es indicado en la figura 3-4. Las parcelas rectangulares o fajas se emplean corrientemente en inventarios de bosques naturales (Malleux 1982, citado por Prodan 1997). El ancho de las fajas corresponde a una distancia que permita comprobar fácilmente la situación de árboles en el límite aun en condiciones de visibilidad muy adversas. El ancho de las fajas varía en general entre 5 y 20 metros, mientras que su longitud puede variar entre 50 y varias centenas de metros.

Las fajas permiten delimitar con facilidad, unidades de gran magnitud, a la vez que captan una alta proporción de la variabilidad del bosque.

### 3.7. Tipo y Método de Inventario Forestal

El inventario forestal se puede ejecutar haciendo uso del tipo de Inventario Forestal Continuo (IFC) y el Temporal. El uso de uno de estos va a depender de los objetivos. En ambos, el establecimiento de parcelas es necesario. Las parcelas pueden distribuirse en base a métodos de muestreo Sistemáticos, Estratificados y Aleatorios ó al Azar.

#### *El Inventario Forestal Continuo (IFC)*

Para estudios a largo plazo del bosque se hace uso del Inventario Forestal Continuo. Este se puede considerar una herramienta básica que debe ser utilizada por los forestales para conocer los cambios que ocurren en el bosque, producto de perturbaciones naturales y también perturbaciones humanas, como son la explotación y los tratamientos silviculturales. Conociendo estos cambios en diversos grados de intervenciones, se hace posible planear la utilización del bosque, sin causar daños irreversibles al ecosistema forestal, generando beneficios socio-económicos permanentes a la población que depende de estos recursos.

El IFC comprende todos los métodos por medio del cual el muestreo es realizado en ocasiones sucesivas. La característica más notable de la parcela permanente es la factibilidad de estudiar repetidas veces de manera continua el bosque en el mismo lugar. Por esto, cuando se hace necesario conocer las alteraciones en el tiempo y dirección referente al bosque en particular, la parcela permanente es indispensable.

De acuerdo a la FAO, los objetivos del IFC son básicamente:

- Conocer las características existentes del bosque en la época del primer inventario.
- Hacer lo mismo, al momento del segundo inventario.
- Estimar los *cambios* ocurridos en el bosque durante el periodo correspondiente entre los dos inventarios.

El IFC proporciona un sistema de control de existencia actual, del desarrollo del bosque y de la tasa de producción. También proporciona los datos esenciales para la construcción de tablas de producción y modelos de crecimiento, que utilizados conjuntamente con los datos del inventario, permiten realizar las proyecciones de crecimiento y producción del bosque.

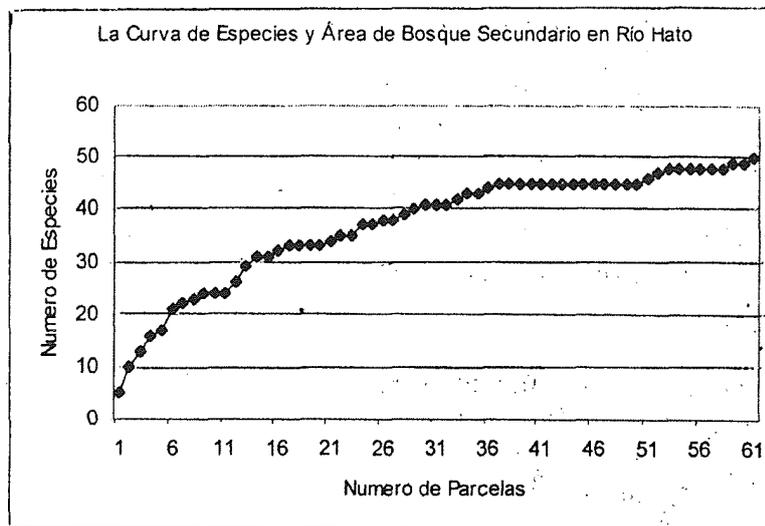
### ***Número de parcelas Permanentes a establecer en IFC***

El Inventario Forestal Continuo es un sistema de muestreo, por tanto la precisión de sus estimativas depende del método de muestreo utilizado, de la variabilidad (diversidad) del bosque y del número de muestras.

Normalmente al inicio de un programa de estudios sobre el bosque no se cuenta con información referente a la diversidad del bosque, especialmente en cuanto a sus parámetros de incremento, existencia, ingreso y mortalidad, entonces es bastante difícil decidir el número ideal de parcelas, hasta tanto la diversidad ó variabilidad sea conocida.

La relación entre especie y cantidad de parcelas es importante. Para conocer toda la diversidad de especies, debe investigarse todas las áreas. Sin embargo, esto no es tan práctico en la realidad, en sentido de costo y tiempo. Por esto, se debe encontrar el punto que represente la cantidad legitima de muestras.

Figura 3-5. Representación de relación entre especies y cantidad de parcelas.



La curva de especies y área del bosque secundario en Río Hato representado, es un ejemplo de esta relación. En el caso de Río Hato, tenemos 61 parcelas de 100m<sup>2</sup> cada una, y un total de 49 especies representadas, con 755 individuos arbóreos en total. Hasta encontrar 40 especies, fueron necesarias 30 parcelas. Sin embargo, para aumentar 9 especies adicionales, se ha necesitado de otras 30 parcelas. Probablemente, para encontrar otras 5 nuevas especies en el bosque secundario de Río Hato, se necesitará de unas 10 o 20 parcelas nuevas, pudiendo ocurrir que no aparezcan nuevas especies. Entonces, para investigar la diversidad de bosques, tendremos que reflexionar sobre esto, de manera que el número de parcelas a establecer represente adecuadamente el bosque en estudio.

De acuerdo a **Synnot, T.J.**, en bosques que presenten una relativa homogeneidad, se puede considerar una intensidad de muestreo inicial de una parcela de 1 hectárea por cada 250 - 400 hectáreas de bosques.

### **Método de Muestreo Sistemático:**

Para realizar estimativas, se requiere tener la información de área total del bosque. Sin saber el área total, no se puede estimar la cantidad necesaria de muestras.

Sobre una población (bosque) se distribuye una muestra de  $n$  unidades o parcelas, ordenadas sistemáticamente, con un punto de partida al azar.

El muestreo sistemático empleado en inventarios forestales consiste en distribuir una red de parcelas ordenadas conforme a una geometría regular, sobre el área de muestra. Este ordenamiento puede ser en red rectangular, cuadrada o de otro tipo.

Para calcular la cantidad de muestras para el área total del bosque, podemos hacer uso de la metodología empleada en:

- Método de muestreo simple al azar:

$$n = \left( \frac{tC}{E} \right)^2$$

donde:

$n$ : Número de muestras requeridas

$t$ : Coeficiente de aceptación

$E$ : Proporción de error

$C$ : Coeficiente de variación

$$C = \frac{s_i}{\bar{x}_i} * 100$$

donde:

$s_i$ : Desviación estándar

$\bar{x}_i$ : Volumen promedio ( $m^3/ha$ )

- Método de muestreo estratificado al azar:

$$n = \left( \frac{t}{E} \right)^2 \cdot \frac{\sum Ni(\bar{x}_i Ci)^2}{\left( \sum Ni\bar{x}_i \right)^2} \cdot \frac{N}{S}$$

donde:

$n$ : Número de muestras requeridas

$t$ : Coeficiente de aceptación

$E$ : Proporción de error

$N$ : Superficie total del bosque

$N_i$ : Superficie por estratos

$S$ : Tamaño de parcela

$C_i$ : Coeficiente de variación por estrato

Si el área total de bosque es homogéneo, se puede aplicar el método de muestreo simple al azar. En caso de cativales, como el bosque es considerado bastante homogéneo, este método es aplicable. Sin embargo, en área de montañas que contienen diferentes tipos de bosques, como el bosque mixto en Donoso, provincia de Colón, se recomienda utilizar el método de muestro estratificado al azar.

El proceso de estratificación consiste en dividir una población en sub-poblaciones o estratos que son muestreados en forma independiente, de modo que puedan efectuarse estimaciones por estrato y una estimación global de sus parámetros.

Los estratos pueden corresponder a diferentes tipos boscosos delimitados sobre fotografías aéreas, imágenes de satélites o escenas aéreas de video. Los tipos de bosques pueden diferenciarse según la composición de especies, manejo o estado de intervención, estructura, estado de desarrollo, etc.

Los estratos pueden constituirse en base a cartografía ordinaria, al subdividir el área boscosa conforme a variables ambientales, como altitud, exposición, etc.

El tamaño mínimo de las superficies o rodales que integran un estrato puede variar entre fracciones de una hectárea y cientos de hectáreas, dependiendo entre otros factores, del tipo de inventario y de los sensores remotos empleados.

El efecto de la estratificación es una reducción del error de estimación para la población, como resultado de una menor variabilidad entre individuos dentro de los estratos, en comparación con la varianza entre individuos de la población sin estratificar. Mientras más pequeña es la variación dentro de los estratos, más eficiente es la estimación con estratificación. La forma en que se distribuyen las unidades en los diferentes estratos también influye en la reducción del error.

De acuerdo a **Synnot** (1979), desde el punto de vista Estadístico, cada método tiene ciertas ventajas en relación a otro, sin embargo, dependerá de los objetivos del estudio, del nivel de precisión y del tipo de bosque, la escogencia del método apropiado.

Siempre que fuese posible, el bosque debe ser dividido en varios sectores, realizándose un muestreo independiente en estos. Cada sector puede ser constituido por tipos de bosques, concesiones en explotación ó áreas de corte anual, y en estos, localizar las parcelas.

Cualquiera que sea el método de muestreo y localización de las parcelas escogidas, es importante que estas sean representativas del bosque en estudio.

Como ejemplo se cita el Inventario Forestal del Distrito de Donoso, realizado en 1985, donde se utilizó el método de Muestreo Estratificado al Azar, con garantía de precisión representada por el 95% del nivel de aceptación y el 15% de proporción de error.

Aquí, presentamos los ejemplos de dos métodos de muestreo.

En el caso de inventario de Río Balsa en Darién "Método de Muestreo Simple al Azar":

$N$ (Número de muestras)	$T$ Coeficiente de aceptación	$C$ (Coeficiente de variación)	$E$ (Proporción de error)	$s_i$ (Desviación estándar)	$\bar{x}$ (Volumen promedio)
9	2	0.2293	0.15	67.77	295.4404

$$n = \left( \frac{tC}{E} \right)^2$$

$$n = \left( \frac{2 \times 0.23}{0.15} \right)^2$$

$$n = 9.4 \text{ unidades}$$

En el caso de inventario de Donoso en Colon con "Método de Muestreo Simple al Azar"

$N$ Número de muestras	$T$ Coeficiente de aceptación	$C$ Coeficiente de variación	$E$ Proporción de error	$s_i$ Desviación estándar	$\bar{x}$ Volumen promedio
26	2	0.38	0.15	25.07	66.01

$$n = \left( \frac{tC}{E} \right)^2$$

$$= \left( \frac{2 \times 0.38}{0.15} \right)^2$$

$$= 25.67$$

En caso de inventario de Donoso en Colon con "método de Muestreo Estratificado al Azar":

$N$ Número de muestras	$T$ Coeficiente de aceptación	$E$ Proporción de error	$S$ Superficie de parcela	$N$ Superficie total de bosque
25	2	0.15	1.0	36,381

Tipo de Bosque	$N_i$	$\bar{x}_i$	$s_i$	$C_i$
Colina de gran relieve	10,997 ha	79.90 m <sup>3</sup> /ha	25.08	0.32
Colina de poco relieve	24,862 ha	62.43 m <sup>3</sup> /ha	25.00	0.40
Bosque de llano	558 ha	47.06 m <sup>3</sup> /ha	19.91	0.42

Tipo de Bosque	$\bar{x}_i C_i$	$(\bar{x}_i C_i)^2$	$N_i (\bar{x}_i C_i)^2$	$N \bar{x}_i$
Colina de gran relieve	25.57	653.72	7,188,987.7	878,660.3
Colina de poco relieve	24.97	623.60	15,503,962.7	1,552,134.7
Bosque de llano	19.77	390.66	217,990.0	26,259.5
Total	70.31	1,667.99	22,910,940.4	2,457,054.4

$$n = \left( \frac{t}{E} \right)^2 \cdot \frac{\sum N_i (x_i C_i)^2}{(\sum N_i x_i)^2} \cdot \frac{N}{S}$$

$$= \left( \frac{2}{0.15} \right)^2 \cdot \frac{22,910,940.4}{(2,457,054.4)^2} \cdot \frac{36,381}{1}$$

$$= 24.55$$

### Asignación de muestras (parcelas)

El número de muestras calculado se refiere al número de parcelas requeridas para el área total del bosque. Sin embargo, en el caso de utilizar el método de muestreo estratificado al azar, se utiliza el cálculo para asignar muestras para cada uno de los estratos. Se señala a continuación la fórmula de asignación más adecuada de muestras según el método de muestreo estratificado al azar.

$$n_i = \frac{N_i S_i}{\sum N_i S_i} \cdot n$$

donde:

$n_i$ : Número de muestras

$N_i$ : Superficie de cada estrato / superficie de la parcela (1ha)

$S_i$ : Desviación típica del volumen por hectárea

$S_1$ (Bosque de colina de poco relieve): 25.00

$S_2$ (Bosque de colina de gran relieve): 25.08

$S_3$ (Bosque de llano y bosque de pantano): 19.91

$n$ : Suma total del número de muestra

Estrato Tipo de bosque	$N_i$	$S_i$	$N_i S_i$	$N_i S_i / \sum N_i S_i$	$n_i$
Bosque de colina de poco relieve	27,542	25.00	688,550.0	0.72	25.92
Bosque de colina de gran relieve	10,392	25.08	260,631.4	0.27	9.72
Bosque de llano y bosque de pantano	409	19.91	8,143.2	0.01	0.36
Total	38,343		957.324.6	1	36.00

Por lo tanto, se decidió escoger por lo menos el siguiente número de muestras en Donoso, Colón.

Bosque de colina de poco relieve:	26 puntos
Bosque de colina de gran relieve:	10 puntos
Bosque de llano y bosque de pantano:	2 puntos
(un emplazamiento de cada tipo de bosque)	
Total	38 puntos

## 4. EJECUCIÓN DEL INVENTARIO FORESTAL

La Sección Manejo de Bosques Naturales del proyecto CEMARE, está utilizando para el desarrollo de sus estudios y ensayos en Río Balsa, Provincia de Darién, parcelas cuadradas de 1 hectárea de superficie, siempre que las características del bosque lo permitan. Cada parcela está dividida en 25 cuadrantes de 400m<sup>2</sup> c/u (20m x 20m).

En los trabajos de Inventario Forestal, se hace necesario disponer de cierto equipo básico para la realización del mismo. A continuación se presenta una ilustración y cuadro descriptivo del equipo básico utilizado en un Inventario.

Figura 4-1. Equipo para inventario forestal



### 4.1. Establecimiento de las Parcelas

#### Localización de las Parcelas

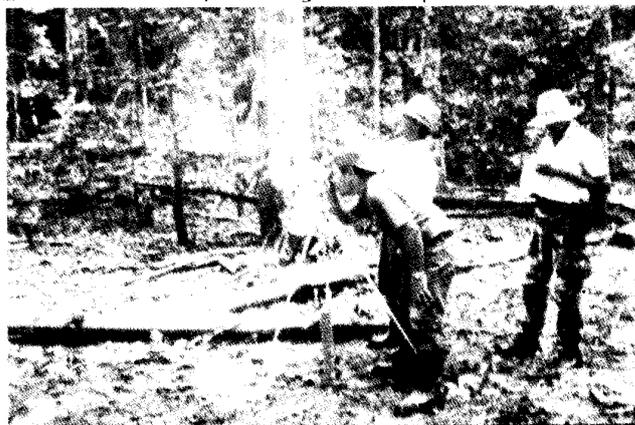
La localización de las parcelas debe ser realizada inicialmente en mapa y después en el bosque. Debe observarse la existencia de ríos, carreteras, afloramiento rocosos, etc., de manera que los mismos no estén dentro de la parcela.

Es conveniente colocar una estaca al inicio de las trochas de acceso, con una placa indicadora del número de parcelas.

Debido al carácter permanente de las parcelas es conveniente utilizar materiales que tengan una alta durabilidad, de manera que las mismas puedan ser localizadas fácilmente en los siguientes años de medición.

Para la delimitación de la Parcela se utiliza un Compás de agrimensor (Figura 4-1 y 4-3) para una mayor exactitud, colocándose estacas a cada 20 metros, de no contarse con este equipo se utilizará la Brújula.

Figura 4-2 y 4-3. Uso del Compás de Agrimensor para delimitación de parcelas.



La brújula es un instrumento de campo con un buen grado de precisión, que sirve para indicar la orientación o rumbo desde un objeto (el usuario) a otro objeto o para trazar un rumbo determinado según las indicaciones de un mapa. Todas las brújulas están compuestas por tres elementos:

- La aguja magnética que se orienta hacia el polo norte magnético. Esta aguja siempre señala el norte magnético.
- Una esfera graduada en 360 grados o cuatro cuadrantes de 90 grados cada uno.
- Un marco o base de brújula que también sirve para orientar el instrumento.

### ***Medición de Distancia Horizontal***

La medición de distancias horizontales es uno de los aspectos más importantes que determinan la precisión del inventario forestal. Toda la información en el mapa, incluyendo cálculos de área, se basa en distancias horizontales.

Cuando se miden distancias cortas sobre un terreno razonablemente plano, es posible medir la distancia horizontal simplemente manteniendo la cinta paralela al suelo. Sin embargo, sobre terrenos accidentados, debe medirse el ángulo de pendiente usando un Clinómetro, que puede ser el Suunto. Este ángulo, expresado en porcentaje se usa para calcular la Distancia Horizontal (DH) de la distancia de pendiente (DP) que se acaba de medir (figura 4-4).

Un procedimiento para medir líneas base o transectos en terrenos accidentados, presentada por documento de Kenneth Rodney, A.Sc.T. (Simons Reid Collins), es la siguiente: