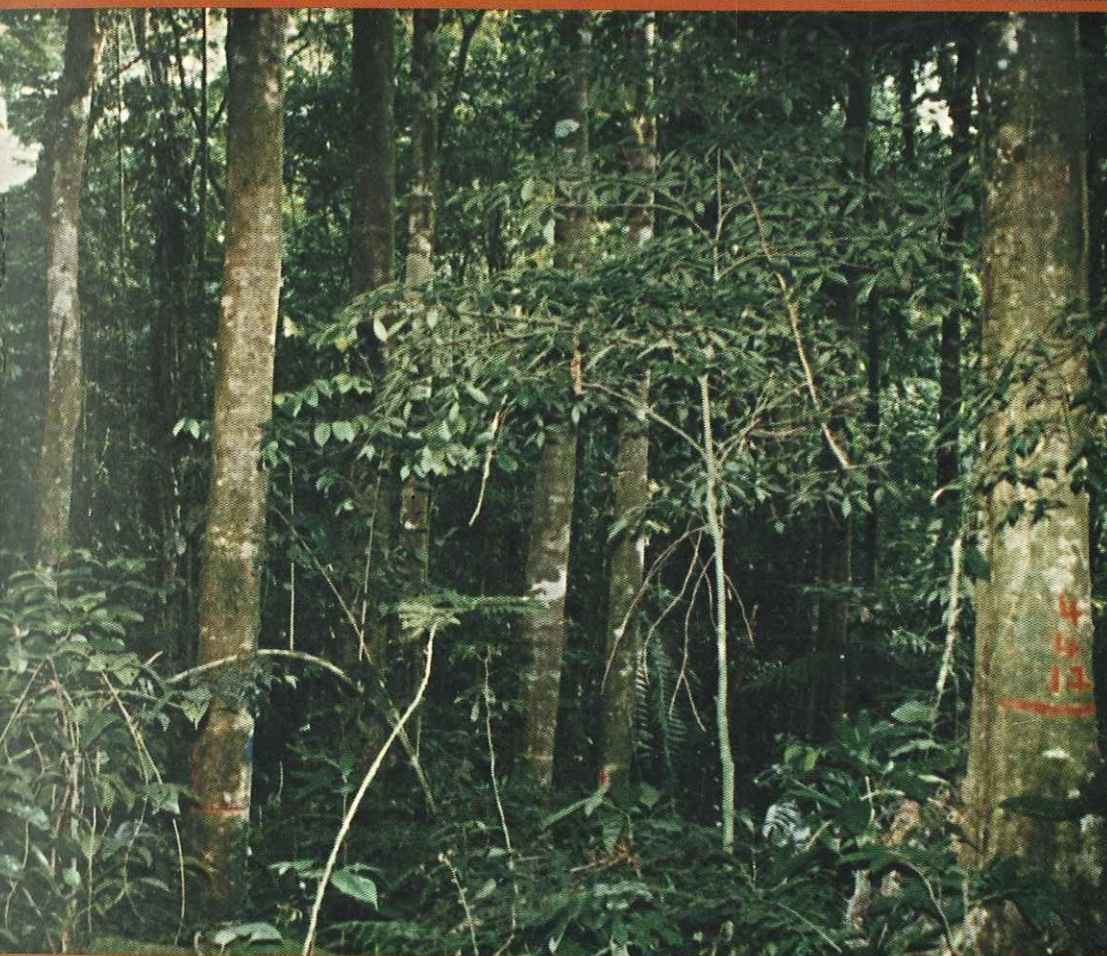


# Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical

Guía para el establecimiento y medición



**CATIE**

Serie Técnica  
Manual Técnico No. 42

# **Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical**

**Guía para el establecimiento y medición**

Compilado por Marlen Camacho Calvo

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Unidad de Manejo de Bosques Naturales  
Turrialba, Costa Rica, 2000

El CATIE es una asociación civil, sin fines de lucro, autónoma, de carácter internacional, cuya misión es mejorar el bienestar de la humanidad, aplicando la investigación científica y la enseñanza de posgrado al desarrollo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. El Centro está integrado por miembros regulares y miembros adherentes. Entre los miembros regulares se encuentran: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2000

**ISBN 9977-57-350-6**

634.9285

P225 Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical: guía para el establecimiento y medición / Marlen Camacho Calvo, comp. --Turrialba, Costa Rica : CATIE, 2000  
52 p. ; 27 cm. . - (Serie técnica. Manual técnico/CATIE ; no 42)

ISBN 9977-57-350-6

1. Bosque natural tropical 2. Parcelas permanentes 3. Muestreo  
4. Medición 5. Vigilancia I. Camacho Calvo, M., comp. II. CATIE  
III. Título IV. Serie

Publicación patrocinada por la Cooperación Suiza al Desarrollo (COSUDE)  
a través del Proyecto Transferencia de Tecnología y Promoción de la  
Formación Profesional en Manejo de Bosques Naturales (TRANSFORMA).

# Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>PARCELAS PERMANENTES DE MUESTREO</b> .....	2
Objetivos .....	2
Diseño de muestreo .....	2
<b>INSTALACIÓN DE PPM</b> .....	4
Tamaño y ubicación de la muestra .....	4
Tamaño y forma de las PPM .....	5
Zona de amortiguamiento .....	7
Demarcación de la parcela y subparcelas .....	7
<b>PRIMERA MEDICIÓN DE LA PPM</b> .....	8
Identificación numérica de los árboles de cada subparcela .....	8
Ubicación de los árboles en las subparcelas .....	9
Árboles en linderos .....	10
Determinación de la especie .....	11
Variables por medir .....	11
Instrumentos de medición de diámetros y alturas .....	17
Otras mediciones complementarias .....	17
Evaluación del sitio .....	18
<b>MONITOREO DE LA PPM</b> .....	19
Intervalos de medición y mantenimiento .....	19
Recomendaciones prácticas para el monitoreo de PPM .....	20
Reclutamiento y mortalidad .....	21
<b>MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD</b> .....	21
Plantas con dap $\geq 10$ cm .....	21
Plantas de sotobosque .....	22
<b>MONITOREO DE LA REGENERACIÓN</b> .....	24
Diseño de muestreo .....	24
Instalación y medición de las unidades de muestreo .....	25
<b>FICHAS TÉCNICAS Y FORMULARIOS</b> .....	27
Ficha descriptiva del estudio .....	27
Descripción del sitio .....	27
Formularios para la primera medición y para mediciones posteriores .....	27

<b>MANEJO DE LA INFORMACIÓN</b> .....	28
Bases de datos .....	28
Grabación de datos .....	29
Almacenamiento de datos .....	30
<b>COSTOS Y RENDIMIENTOS</b> .....	31
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	35
<b>ANEXOS</b> .....	37

# Agradecimientos

Si bien el presente manual constituye una recopilación de información proveniente de varias fuentes bibliográficas, el mismo se ha visto enriquecido con el conocimiento y la experiencia de los investigadores de la Unidad de Manejo de Bosques Naturales del CATIE, quienes por casi dos décadas han conducido diversas investigaciones en sitios de investigación a largo plazo a lo largo del territorio centroamericano.

En este contexto, se reconoce y agradece la contribución de las personas que tuvieron a cargo la elaboración de diversas secciones: M.Sc. Grace Sáenz (Monitoreo de la regeneración), M.Sc. Diego Delgado (Monitoreo de la biodiversidad), Téc. Prog. Hugo Brenes (Manejo de la información) y al Ing. Fo. Geoffrey Venegas, quien brindó valiosa información sobre costos y rendimientos en la instalación y monitoreo de parcelas permanentes.

Se extiende este agradecimiento a las personas que ofrecieron su tiempo y experiencia para mejorar este documento con sus valiosos comentarios: Dr. José Joaquín Campos, Dr. Bryan Finegan, Dr. Daniel Marmillod, Dr. Manuel Guariguata, Dr. Glenn Galloway, M.Sc. Bastiaan Louman y al estudiante de doctorado M.Sc. Alberto Siteo.



# Introducción

El manejo sostenible de los bosques naturales requiere del desarrollo de procesos y herramientas, tales como los criterios e indicadores para la certificación forestal, o la elaboración de modelos de predicción del crecimiento y rendimiento. Dichas herramientas demandan información veraz que solo puede obtenerse de sitios de investigación a largo plazo, mediante parcelas permanentes de muestreo (PPM). En el ámbito neotropical, esa información era escasa hasta la década de los ochentas; época en la que se comenzó a generar información en algunos bosques bajo manejo forestal. Entre los trabajos más representativos están los realizados en Surinam, Guyana, la Amazonia brasileña y Costa Rica (de Graff 1986, Jonkers 1987, Schmitt y Bariteau 1990, Silva *et al.* 1995, citados en Finegan y Camacho 1999). A pesar de estos esfuerzos, aún es notable la falta de estandarización en los procedimientos y la ausencia de recursos humanos con formación apropiada para el establecimiento y seguimiento de PPM, que conlleven a una ejecución adecuada de las pautas por seguir en el campo metodológico y en el análisis e interpretación de la información y que permitan, además, la replicabilidad de los resultados bajo diferentes condiciones de manejo.

La Unidad de Manejo de Bosques Naturales (UMBN) del CATIE cuenta con una serie de sitios de investigación a largo plazo que cumplen objetivos múltiples: el monitoreo de la biodiversidad y de la dinámica de bosques primarios, sin intervención o con diferentes intensidades de aprovechamiento y/o tratamiento silvicultural; la evaluación de operaciones de aprovechamiento mejorado y el análisis de los costos y rendimientos de estas actividades. Además, se han realizado esfuerzos significativos en la investigación a largo plazo sobre manejo de bosques secundarios establecidos en campos agrícolas abandonados o en descanso.

La experiencia generada por la UMBN en el manejo de la investigación forestal a largo plazo permitió consolidar la *Red Neotropical de Sitios de Investigación para el Manejo Diversificado y Sostenible de Bosques Naturales*, creada en 1997. La Red pretende ser el principal mecanismo colaborativo que agrupe a las instituciones, organismos y empresas forestales del trópico americano que desarrollan actividades en sitios de investigación a largo plazo o en parcelas permanentes de muestreo.

Con esta guía, la UMBN pretende contribuir a mejorar la eficiencia de los esfuerzos realizados o por realizar en sitios de investigaciones a largo plazo. El documento incluye una metodología estándar para el establecimiento y medición de PPM en bosques primarios y secundarios latifoliados del neotrópico. Tal metodología se sustenta en literatura actual y en la experiencia forjada en los sitios de investigación de la UMBN.

El objetivo del trabajo es brindar al usuario la información que le guíe en las diferentes decisiones que debe tomar, desde la planificación del conjunto de parcelas permanentes hasta el momento en que las bases de datos permiten la generación del conocimiento. Sin embargo, se reconoce que las situaciones locales son variables, por lo que se recomienda al usuario adaptar las pautas aquí establecidas a su entorno.

En un futuro cercano, la metodología se complementará con manuales sobre el SEMAFOR (Sistema para Evaluación y Monitoreo de Análisis Forestal) y el SciBos (Sistema Científico de Manejo de Información), ambos programas de manejo de información forestal orientados al proceso de investigación científica y desarrollados en el seno de la UMBN, como apoyo al manejo y análisis de bases de datos de PPM.

# Parcelas Permanentes de Muestreo

## Objetivos

Las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son dispositivos de investigación a largo plazo, permanentemente demarcados y periódicamente medidos. La instalación y monitoreo de un conjunto de PPM conlleva uno o varios de los siguientes objetivos, los cuales deben ser claramente definidos antes de iniciar el estudio:

- monitorear cambios y pronosticar tendencias en la estructura y composición en rodales con y sin manejo
- monitorear el crecimiento, la mortalidad y el reclutamiento de rodales con y sin manejo
- obtener información que permita el desarrollo de modelos de crecimiento y rendimiento
- evaluar el efecto de variables ambientales (sitio) en la dinámica, estructura y composición del bosque

Las PPM son de utilidad tanto en estudios con fines descriptivos como en ensayos formales. En los primeros, el conjunto de parcelas establecidas en rodales diferentes permite generalizar sobre el comportamiento del bosque con relación a ciertos parámetros, tales como el régimen de lluvias, el tipo de suelo o las actividades de manejo. En estos estudios es importante instalar parcelas en diferentes tipos de bosque, de manera que cubran un ámbito amplio de variación de los parámetros evaluados. Aunque no se puede hacer inferencias estadísticas con parcelas descriptivas, sí es posible evaluar estadísticamente la confianza de un modelo mediante la validación con datos independientes de los utilizados para desarrollar dicho modelo.

En ensayos formales, el conjunto de parcelas permite probar diferentes tratamientos para dar respuesta a una o más hipótesis específicas dentro del marco del método científico y con un nivel de confianza estadística. Un ensayo formal comprende factores (tipos de tratamiento), niveles (intensidad del tratamiento aplicado) y repeticiones (instancias de cada tratamiento específico). En ensayos de manejo silvicultural es común probar un solo factor o tipo de tratamiento con diferentes intensidades de aplicación.

## Diseño del muestreo

En estudios descriptivos, las unidades de una red de PPM pueden ser distribuidas completamente al azar, de manera aleatoria estratificada, o seguir un diseño sistemático. En estos dos últimos casos, la división del bosque por estratos con base en tipos de vegetación, suelos, topografía, manejo, etc. puede ayudar a lograr una mayor precisión.

Para un diseño sistemático, Synnott (1979) recomienda un sistema de cuadrículado rectangular, donde cada parcela se ubica en la intersección de las cuadrículas o a una distancia fija de estas (Fig. 1a).



Independientemente del diseño de muestreo utilizado, cada parcela de un estudio descriptivo debe ser homogénea en cuanto a condiciones de sitio y de vegetación; con ello se busca reducir la variación dentro de la parcela y mostrar una amplia variedad de condiciones entre parcelas.

En ensayos formales, el diseño experimental más utilizado es el de bloques completos al azar, donde los bloques están localizados de manera que las variaciones ambientales entre ellos sean más grandes que las variaciones al interior de ellos (Fig. 1b). El diseño debe cumplir los principios de replicabilidad, ortogonalidad y aleatoriedad; es decir:

- cada bloque contiene una sola repetición de cada tratamiento
- cada tratamiento debe tener al menos tres repeticiones
- todos los tratamientos son replicados el mismo número de veces
- uno de los tratamientos debe ser un tratamiento nulo (testigo)
- la asignación de los tratamientos a las parcelas debe ser realizada al azar

Más información sobre el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para ensayos formales se puede encontrar en Alder y Synnott (1992) y Synnott (1979) o en volúmenes de estadística, especialmente elaborados para el campo biológico.

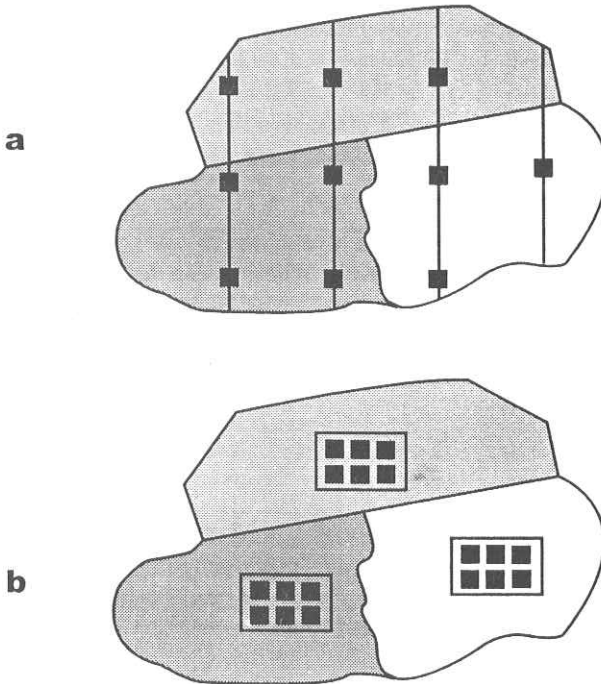


Figura 1. Diseños de muestreo en rodales estratificados. a) PPM ubicadas de manera sistemática; b) PPM en bloques completos al azar, en cada estrato. Figura adaptada de Synnott (1979).

# Instalación de PPM

## Tamaño y ubicación de la muestra

El tamaño y la ubicación de un conjunto de PPM parte del análisis de cierta información básica:

- variabilidad de las condiciones abióticas del sitio: altitud, topografía, exposición de las pendientes, suelo
- tipos de bosque, en términos de composición florística, densidad de individuos, área basal, volúmenes totales y comerciales
- tipo de estudio conducido: descriptivo o ensayo formal
- diseño de muestreo elegido
- tamaño de la superficie boscosa
- recursos disponibles

La información de los dos primeros puntos permite la identificación de estratos en el área de estudio. Los últimos proporcionan la base para determinar el número de PPM necesarias por cada estrato.

A manera de guía, Alder y Synnott (1992) recomiendan, para un programa de PPM con objetivos descriptivos, la instalación de una PPM de una hectárea por cada 1000 ha de un determinado tipo de bosque, y en caso de contar con recursos limitados, aconsejan reducir la muestra antes que bajar los estándares de calidad y comprometer la confiabilidad de los datos.

En ensayos formales, el número de PPM se decide en función del diseño experimental; es decir, del número de tratamientos o niveles de un tratamiento y número de repeticiones por nivel. En la UMBN, Quirós y Finegan (1994) establecieron un ensayo que sigue un diseño de bloques completos al azar y que consta de nueve PPM; el factor es el tipo de liberación de los árboles de la futura cosecha y los niveles son: a) la eliminación de árboles comerciales y no comerciales que compiten con árboles de futura cosecha; b) el corte de árboles del dosel intermedio e inferior que compiten con los árboles de futura cosecha, dejando un dosel protector y c) el testigo (no liberación). En cada nivel del tratamiento hay tres repeticiones (Fig. 2).

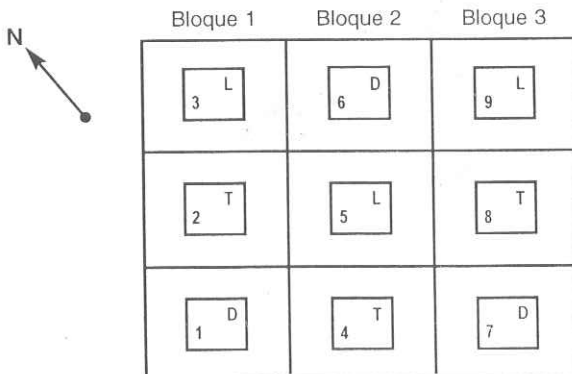


Figura 2. Diseño del ensayo de parcelas permanentes de muestreo instalado por la UMBN en La Tirimbina Rainforest Center, Sarapiquí, Costa Rica. La letra indica el tratamiento aplicado: T: testigo, L: liberación, D: dosel protector. Adaptado de Finegan y Camacho (1999).

Cualquiera sea el tipo de estudio conducido, la ubicación del conjunto de PPM se realiza primero sobre mapas, hojas cartográficas o fotografías aéreas; luego se visitan en el campo todos los sitios donde potencialmente se pueden establecer las parcelas, con el objeto de verificar la representatividad de cada uno de ellos (Dallmeier 1992).

En áreas de bosque que no exceden los cientos o varios miles de hectáreas, la localización de cada PPM en el campo se facilita con el levantamiento de una línea madre, sobre la cual se establecen las líneas de acceso a las parcelas. En grandes áreas de bosque, donde la apertura de una línea madre no es posible, se recomienda el establecimiento de puntos de control a partir de los cuales se practican las líneas de acceso a las parcelas. En esta labor, el uso de un sistema de localización por satélite (*Global Positioning System* –GPS) puede ser de gran utilidad.

La información sobre la ubicación final del conjunto de PPM, así como la ubicación de la línea madre o los puntos de control y de las líneas de acceso, debe ser vertida en un mapa del bosque que posibilite y facilite su ubicación en los monitoreos posteriores.

La posición de una parcela puede corregirse en el campo si cae en uno de los sitios enumerados a continuación:

- dentro de un tipo de vegetación diferente a la representativa del estrato
- dentro de un tipo de vegetación especialmente improductivo (en estudios de productividad comercial)
- dentro de los límites de la zona de borde de otra parcela
- cerca de grandes ríos, grandes claros o áreas devastadas por fenómenos naturales, límite del bosque, caminos principales, vías férreas

No es recomendable variar la posición de una parcela si esta cae dentro de un parche de bosque localmente pobre, a no ser que el mismo sea mapeado y excluido del área en estudio (Synnott 1979).

## *Tamaño y forma de las PPM*

El tamaño óptimo del área efectiva de la parcela depende de varios factores:

- el tipo de bosque (primario, secundario, con o sin intervención)
- la riqueza de especies
- el conjunto diamétrico a considerar en la muestra
- el tamaño máximo de los individuos y su densidad
- el tamaño de claros en el rodal
- los objetivos del estudio
- la precisión requerida en función de los costos de instalación y monitoreo

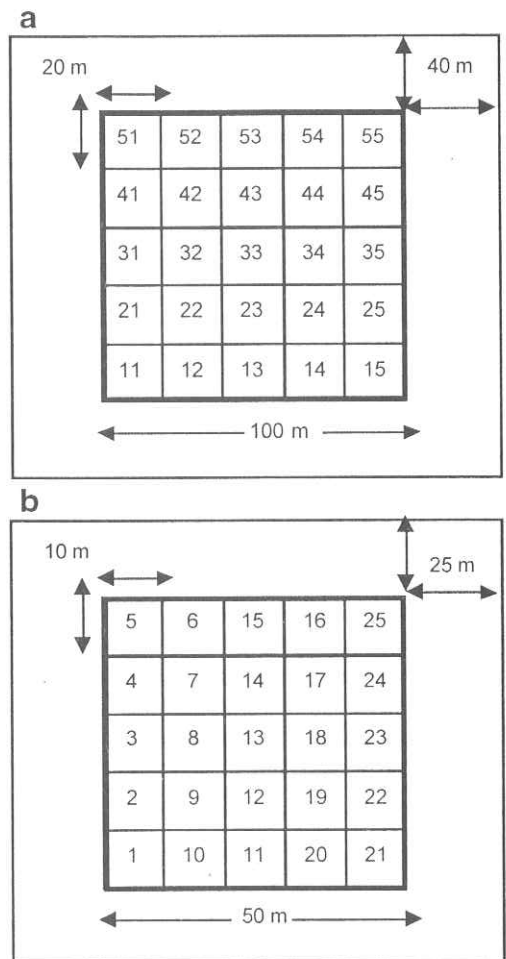
Alder y Synnott (1992) aconsejan instalar parcelas con áreas efectivas de medición de una hectárea, de forma cuadrada o rectangular, donde la relación largo/ancho no exceda de 4. Entre menor sea esta relación, hasta la forma cuadrada, mayores ventajas habrá (Alder y Synnott 1992, Synnott 1979); entre ellas:

- menores costos de instalación para áreas similares
- menores superficies de amortiguamiento
- menor posibilidad de cometer errores de medición en los árboles de borde, debido a que la forma cuadrada tiene el perímetro mínimo posible (400 m en PPM de 1 ha), con lo cual disminuyen las posibilidades de sobre o subestimar los parámetros del bosque
- reducción de efectos de caminos y pistas de arrastre
- menor error de muestreo

En los bosques primarios húmedos del trópico centroamericano, el conjunto de individuos con  $\text{dap} \geq 10$  cm se caracteriza por una alta riqueza de especies (más de 80 especies/ha), con individuos que alcanzan grandes proporciones en diámetro (más de 60 cm) y en altura (más de 30 m). La UMBN recomienda, para estos bosques, la instalación de PPM cuadradas con áreas efectivas de medición de 100 m x 100 m (1 ha), divididas en subparcelas de 20 m x 20 m (25 en total) para facilitar la toma de datos (Fig. 3a). Este tamaño de parcela es suficientemente grande como para caracterizar la variabilidad de los diferentes parámetros del rodal (abundancia, área basal y volumen comercial o total) y absorber la variabilidad debida a los claros.

En bosques tropicales menos heterogéneos, como algunos bosques secos, inundables, sucesionales y/o con individuos que no alcanzan grandes dimensiones, se pueden instalar parcelas con áreas efectivas de medición de menor tamaño. En este caso, la UMBN estableció en bosques penteros de Guatemala y en bosques sucesionales de Costa Rica (Hutchinson 1993, Pinelo 1997, Pinelo 1999) una serie de PPM de 50 x 50 m (0.25 ha), divididas en 25 subparcelas de 10 x 10 m (Fig. 3b). Se recomienda consultar Pinelo (2000) para una descripción detallada de este tipo de parcelas.

Figura 3. Sistema de subdivisión y numeración de parcelas permanentes de muestreo en a) bosque primario y b) bosque secundario, en sitios de investigación de la UMBN. Fuente: a) Alder y Synnott (1992) y b) Pinelo (2000).



Como norma general, en bosques naturales tropicales heterogéneos no se recomienda el establecimiento de PPM circulares debido a que la densa vegetación de los estratos inferiores dificulta la demarcación y la subdivisión en subparcelas.

## Zona de amortiguamiento

Para evitar el efecto de borde en el área efectiva de medición de la PPM se debe dejar una zona de amortiguamiento de ancho igual o superior a la altura máxima del dosel, la cual recibe el mismo tratamiento que el resto de la parcela, aunque allí no se toman mediciones de la vegetación. En bosques secundarios jóvenes, la altura del rodal puede cambiar con el paso de los años, por lo que se debe prever la altura esperada del rodal en el futuro.

La zona amortiguadora contempla un área dos o más veces mayor que el área útil de la parcela; por consiguiente, su establecimiento tiene un efecto sobre los recursos disponibles. Sin embargo, esta zona es indispensable para aislar el área efectiva de medición de intervenciones antropogénicas conducidas en el área de bosque adyacente a la parcela y que no estén contempladas en las operaciones de manejo objeto del monitoreo. En este contexto, no es conveniente instalar áreas efectivas de medición contiguas y con una zona de amortiguamiento compartida, puesto que las operaciones que se realicen en un área tendrán inferencia en la otra y los resultados obtenidos no serán estadísticamente independientes.

En los sitios instalados por la UMBN, donde el área efectiva de medición es de una hectárea, la zona de amortiguamiento es de 40 m de ancho, y de 25 a 30 m en aquellas con área efectiva de medición de 0,25 ha (Fig. 3a y 3b).

## Demarcación de la parcela y subparcelas

La demarcación de una PPM comienza con un levantamiento topográfico de los linderos del área efectiva de medición. En terrenos con pendientes pronunciadas, la distancia horizontal puede ser medida en tramos cortos mediante el 'método del banqueo' (Fig. 4), o aplicando la fórmula de corrección de pendiente que se presenta a continuación (tomada de Dallmeier 1992):

$$\text{Distancia sobre el terreno} = \text{Distancia horizontal} * (1 / \arctan (\% \text{ pendiente} / 100))$$

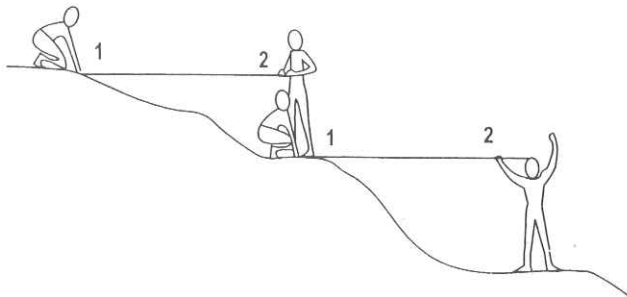


Figura 4. Medición de distancias horizontales por el "método del banqueo".

En este último caso, se facilita la corrección de pendientes en el campo si se construye previamente una tabla con los factores de corrección y se aplican estos a las distancias sobre el terreno.

Para la delimitación de las subparcelas, se coloca un poste o estaca en el terreno cada cierta distancia (por ejemplo, cada 20 m en PPM de 100 x 100 m) sobre el lindero del área efectiva de medición. Posteriormente, se miden solo los carriles que van de este a oeste, demarcando con postes o estacas los linderos de las subparcelas. Una vez establecida el área efectiva de medición y las subparcelas, se trazan los linderos de la zona de amortiguamiento, la cual se delimita con postes o estacas cada cierta distancia (40 m).

Es importante señalar que durante todo este proceso se debe evitar la corta de árboles y observar una mínima alteración de la vegetación de menor tamaño. Dentro del área efectiva de medición se debe evitar el uso de machetes, tanto para la demarcación de las subparcelas, como en la medición de los diámetros.

Las esquinas del área efectiva de medición deben ser señaladas permanentemente con mojoneros de un material durable, como el cemento; en la zona de amortiguamiento y subparcelas, las esquinas pueden ser marcadas con postes o estacas de madera tratada o PVC. Todos estos puntos son pintados con un color llamativo y revisados periódicamente; en especial después de una intervención silvicultural.

Cada subparcela lleva un número de identificación que se coloca en el poste de una esquina predeterminada; por lo general la esquina suroeste (SO). El tipo de numeración utilizado en los sitios de investigación de la UMBN es de dos dígitos, cada uno del 1 al 5, que identifican el eje horizontal (eje X) y el eje vertical (eje Y) en la parcela de 1 ha; las PPM de 0,25 ha se enumeran del 1 al 25 (Fig. 3a y 3b).

## Primera medición de la PPM

Una vez realizada la delimitación de los linderos de las subparcelas dentro del área efectiva, así como de la zona amortiguadora, se procede a efectuar la primera medición de los individuos que conforman la parcela permanente. Esta labor debe ser realizada de forma cuidadosa y precisa, pues de la misma depende la calidad de la información que se obtenga a largo plazo.

### *Identificación numérica de los árboles de cada subparcela*

El levantamiento de los árboles puede hacerse en forma de zigzag, empezando siempre en la misma esquina de cada subparcela; por ejemplo, la esquina SO. A cada árbol se le asigna un número único y, en el caso de que el árbol desaparezca o muera entre mediciones, este número

no se utilizará más. Al observar esta práctica se evitan confusiones en las mediciones posteriores con la consiguiente pérdida de tiempo, así como imprecisiones en el análisis de los datos, donde el número del árbol puede ser una variable del estudio.

Cada individuo debe portar el número de subparcela y su número de identificación en una etiqueta de aluminio, plástico u otro material durable, pregrabada o no, y fijada por medio de clavos de aluminio a una altura predeterminada, que puede ser 20 cm sobre el punto de medición (Fig. 5). Si en el área de las parcelas se dieran visitas frecuentes de personas ajenas a la investigación, resulta apropiado pintar ambos números en la corteza del árbol; no obstante, este método conlleva mayores costos de mantenimiento.

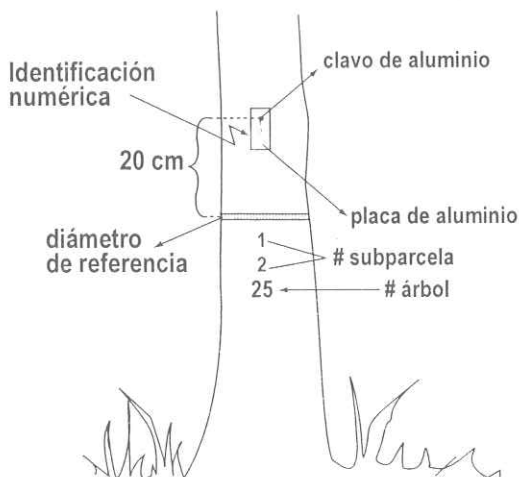


Figura 5. Identificación de los árboles de cada subparcela en una parcela permanente de muestreo.

Es necesario, además, identificar el punto en el fuste donde se realizó la primera medición del diámetro para asegurar que las mediciones posteriores sean tomadas en el mismo sitio. Durante la medición, se recomienda marcar con tiza un anillo debajo del margen inferior de la cinta diamétrica; después de recoger la cinta, se remarca con pintura y se coloca la etiqueta que identifica el árbol a una altura fija sobre el sitio donde se midió el diámetro. Cualquier método de identificación del árbol o del punto de medición debe practicarse siempre en la misma posición dentro de la parcela; por ejemplo, en la cara sur de cada individuo.

## *Ubicación de los árboles en las subparcelas*

La ubicación de los árboles en la subparcela por medio de un sistema de coordenadas X - Y permite preparar mapas de la parcela, calcular índices de espaciamiento, niveles de competencia y posición sociológica. Todos ellos resultan útiles para el desarrollo de modelos de crecimiento y rendimiento que involucran la ubicación espacial del individuo. A un nivel práctico, esta información permite localizar los árboles en las mediciones subsiguientes.



Una forma sencilla de medir las coordenadas  $X - Y$  para la ubicación de cada árbol en la subparcela es la siguiente (Fig. 6):

- Se colocan dos cintas métricas (de 20 m o de largo igual al lado de la subparcela) de manera perpendicular, a partir de la esquina que lleva el número de identificación de la subparcela (esquina SO).
- Una persona se desplaza a lo largo de cada cinta hasta llegar a colocarse en un ángulo de  $90^\circ$  entre el lado de la subparcela y el árbol seleccionado. Para ello es útil que cuente con una brújula o un prisma.
- La lectura de la cinta en posición SO-SE da la coordenada  $X$  y la lectura en posición SO-NO da la coordenada  $Y$ .

Una precisión de un metro es adecuada para la mayoría de los estudios en bosques naturales.

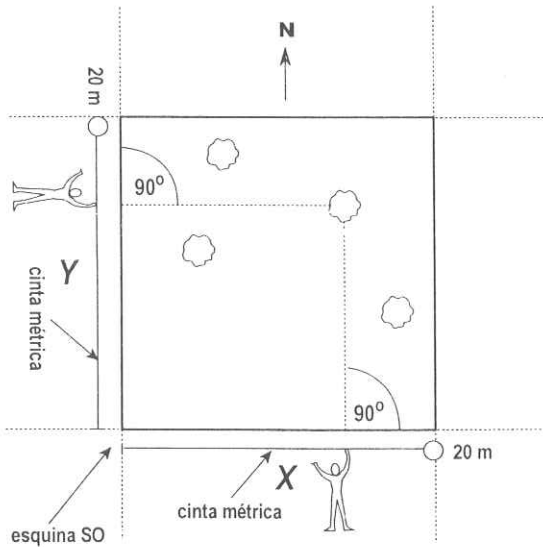


Figura 6. Ubicación de los árboles en cada subparcela: medición de las coordenadas  $X - Y$ .

## Árboles en linderos

La decisión de incluir un árbol ubicado en la línea de borde de la parcela o de una subparcela es de suma importancia, ya que tiene un efecto sobre la estimación de la abundancia, el área basal y el volumen. La decisión debe basarse en estos criterios:

- En fustes con secciones transversales regulares, si a la altura del pecho al menos la mitad del fuste está dentro de la parcela o subparcela, el árbol se considera en la medición.

- En fustes con secciones transversales irregulares, el examen de la distribución de la proyección de la copa da mejores criterios para tomar una decisión. Si al menos la mitad de la copa se ubica dentro de la parcela o subparcela, el individuo entra en la medición.

## Determinación de la especie

Una correcta identificación de la especie es de suma importancia para el análisis de los datos. En el momento de la primera medición se realiza una identificación preliminar de la especie, la cual se registra por su nombre vernacular; sin embargo, la identificación definitiva del individuo debe ser realizada por un botánico reconocido en taxonomía, cuyo nombre queda registrado en el historial o ficha del estudio. En los años posteriores, se puede verificar la identificación de los árboles, aunque probablemente solo sea necesario identificar los reclutas mediante el mismo proceso que se usó para los otros árboles.

En la UMBN se ha comprobado que es posible evitar confusiones si solamente se permite a un especialista registrar el nombre científico de la especie, y hasta tanto no se haya cumplido con este paso, no se deben realizar análisis en los que el nombre científico de la especie sea una variable de estudio.

Una vez identificada la especie es posible utilizar un código numérico o alfabético para nombrarla. En la UMBN se usa un código de seis letras: las cuatro primeras corresponden a las primeras cuatro letras del género y las restantes a las primeras dos letras de la especie. Cuando los códigos descriptivos de dos especies son iguales (por ejemplo, *Casearia arborea* y *Casearia arguta*), se toma la tercera letra de la segunda especie para formar el código (CASEAR para *Casearia arborea* y CASEAG para *Casearia arguta*). Para dos especies cuyas cuatro primeras letras del género sean iguales (pe. *Jacaranda copaia* y *Jacaratia dolichaula*), el código de la segunda especie se compone de las tres primeras letras, más la primera letra diferente que aparezca en el género, en este caso JACTDO.

## Variables por medir

Las variables por medir dependen de los objetivos del estudio, pero siempre se incluye el diámetro del árbol y uno o varios códigos para la condición actual (Anexos 1a y 1b). Otras variables pueden ser la altura (total o comercial), la posición del individuo en la parcela, el diámetro de la copa y algunas que se refieren a diferentes atributos del árbol: posición con relación a la luz, forma de la copa, presencia de lianas, condición comercial o forma del fuste (códigos en Anexo 2).

**Diámetro del árbol.**- El diámetro de referencia se mide sobre la corteza del árbol a 1,30 m del suelo (diámetro a la altura del pecho, dap), o a una distancia específica sobre las gambas u otra irregularidad en el fuste (Fig. 7). Generalmente, esta distancia se ubica a un metro sobre las gambas o en los primeros 30 cm sobre la irregularidad, donde el fuste sea uniforme y se encuentre libre de excrecencias. En sitios de pendiente, el diámetro se mide del lado más alto de la pendiente. Si el fuste del árbol está bifurcado por debajo de 1,30 m, se numera, marca y mide cada eje por separado pero con el mismo número del árbol. Si la bifurcación se ubica al menos 50 cm sobre la

altura de pecho, se registra un solo eje y se codifica como árbol bifurcado. En todos los casos en que la medición del diámetro no sea a 1,30 m, se debe anotar la altura a la cual se realizó.

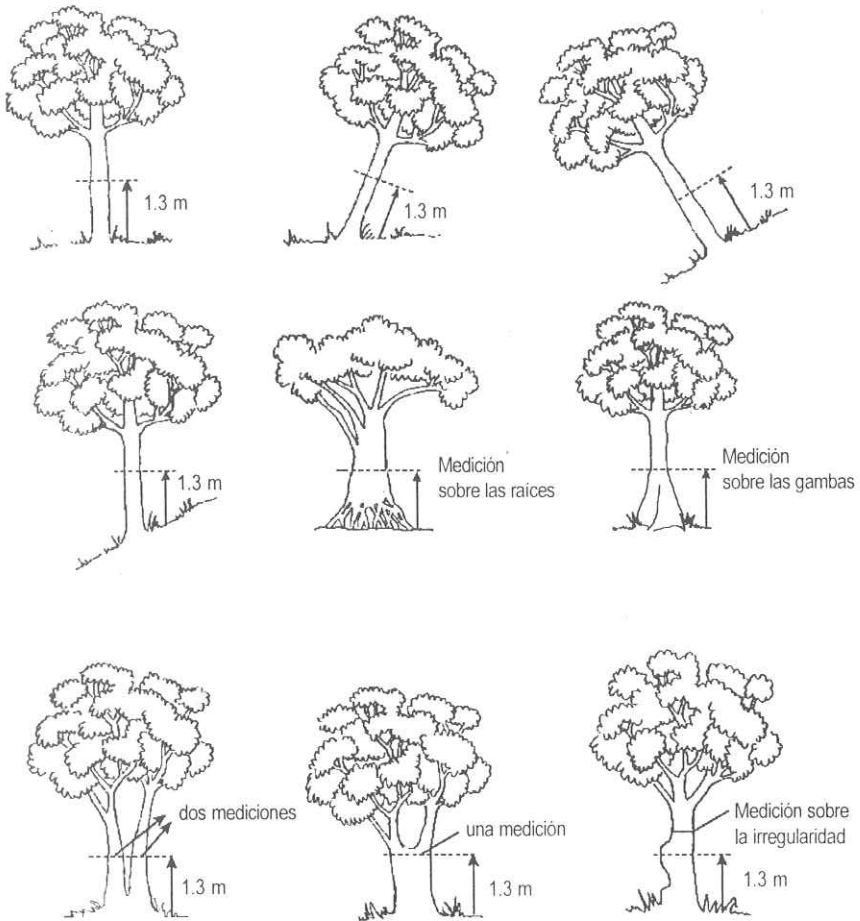


Figura 7. Localización del diámetro de referencia en árboles con diferentes forma de fuste.

Altura del árbol.- Debido a la dificultad de una medición precisa, la altura no siempre se incluye entre las variables por medir en un árbol. Dependiendo del tipo de estudio, es necesario definir la clase de altura que se va a medir: altura total, altura comercial del fuste (hasta la primera bifurcación o hasta un diámetro mínimo), altura hasta la base de la copa (Fig. 8). Generalmente se recomienda la medición de la altura comercial (hasta la primera torcedura importante o hasta el inicio de las ramas), ya que es más fácil de obtener que la altura total y tiene una mayor correlación

con el volumen comercial de madera (Alder y Synnott 1992). En el caso de árboles con ejes múltiples, se puede medir la altura de cada eje o la altura del eje más alto; en cualquier caso, es imprescindible que se documente de manera adecuada cómo se mide la altura para correlacionar datos de diferentes fechas de medición.

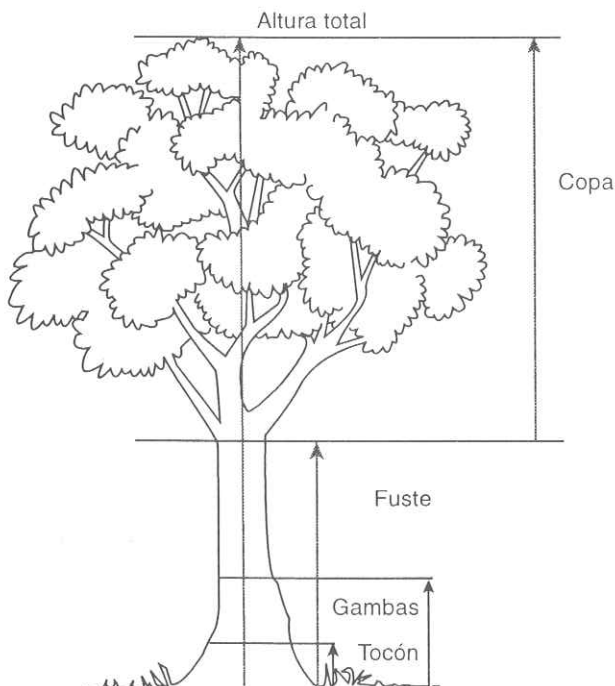


Figura 8. Localización de diferentes alturas del árbol.

En estudios sobre el efecto del sitio, algunas veces será necesario medir la altura total de los árboles dominantes, para lo cual comúnmente se mide la altura de los cien árboles más gruesos por cada hectárea de parcela útil (Herrera 1996).

Condición del individuo.- Con esta variable se evalúan los factores que pueden predisponer a la muerte de un árbol o a una merma en su crecimiento, ya sean naturales o inducidos por una intervención silvicultural. También se consideran los factores que pueden afectar la confiabilidad en la estimación del incremento (códigos en Anexos 1a y 1b).

Atributos del árbol.- La descripción del estado del árbol, con base en las características de copa y fuste, puede ser de gran utilidad para la construcción de modelos de predicción del crecimiento y rendimiento, debido a que algunas de estas variables pueden correlacionarse significativamente con el crecimiento y la mortalidad de los árboles.

- Iluminación de la copa: se refiere a la posición relativa de la copa de cada árbol y sus vecinos de igual o mayor tamaño. Independientemente de la altura total del árbol, se ha encontrado que la posición de la copa con relación a la luz disponible puede tener un efecto significativo sobre el crecimiento diamétrico del individuo. La clasificación más utilizada de la exposición de la copa a la luz es la desarrollada por Dawkins (1958) y se muestra en la Fig. 9 y Anexo 2.

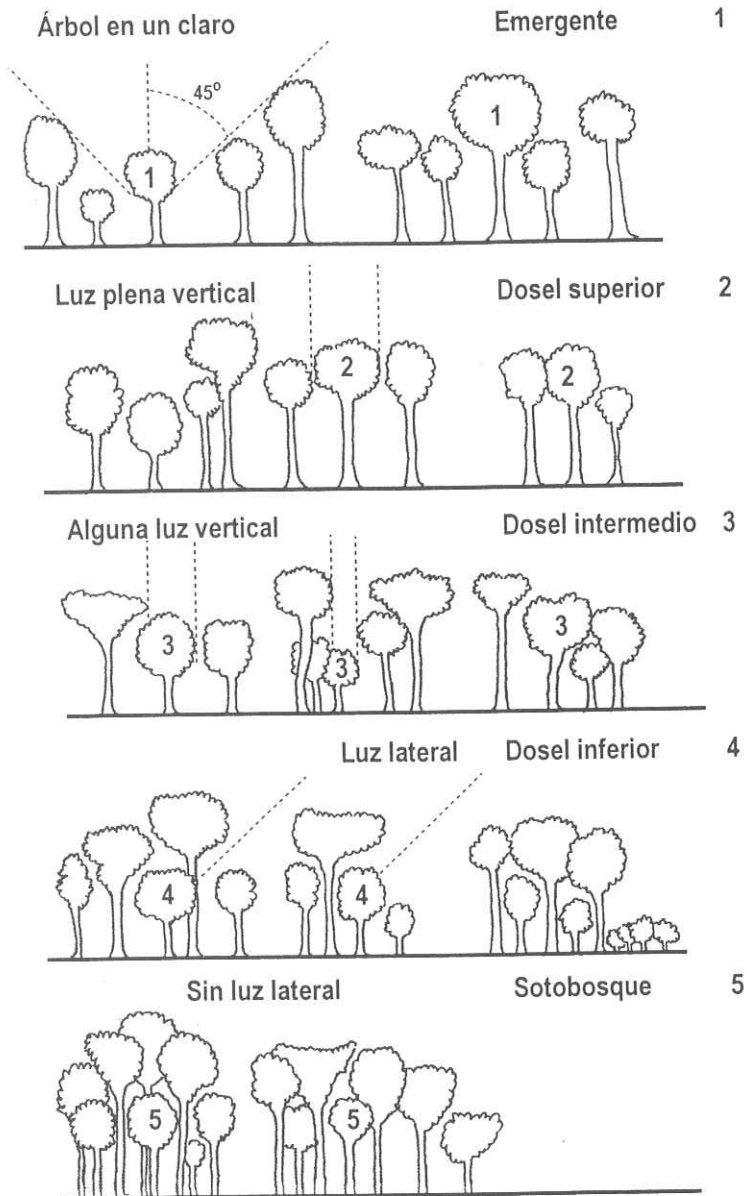


Figura 9. Iluminación de copa. Según la clasificación de Dawkins (1958).

- Forma de la copa: para cualquier población arbórea, la forma de la copa representa un índice del vigor del individuo y por lo general está relacionada con las probabilidades del árbol de crecer y sobrevivir. La clasificación utilizada para estimar esta variable es la que aparece en Synnott (1979), adaptada de Dawkins (1958) y se muestra en la Fig. 10 y Anexo 2.

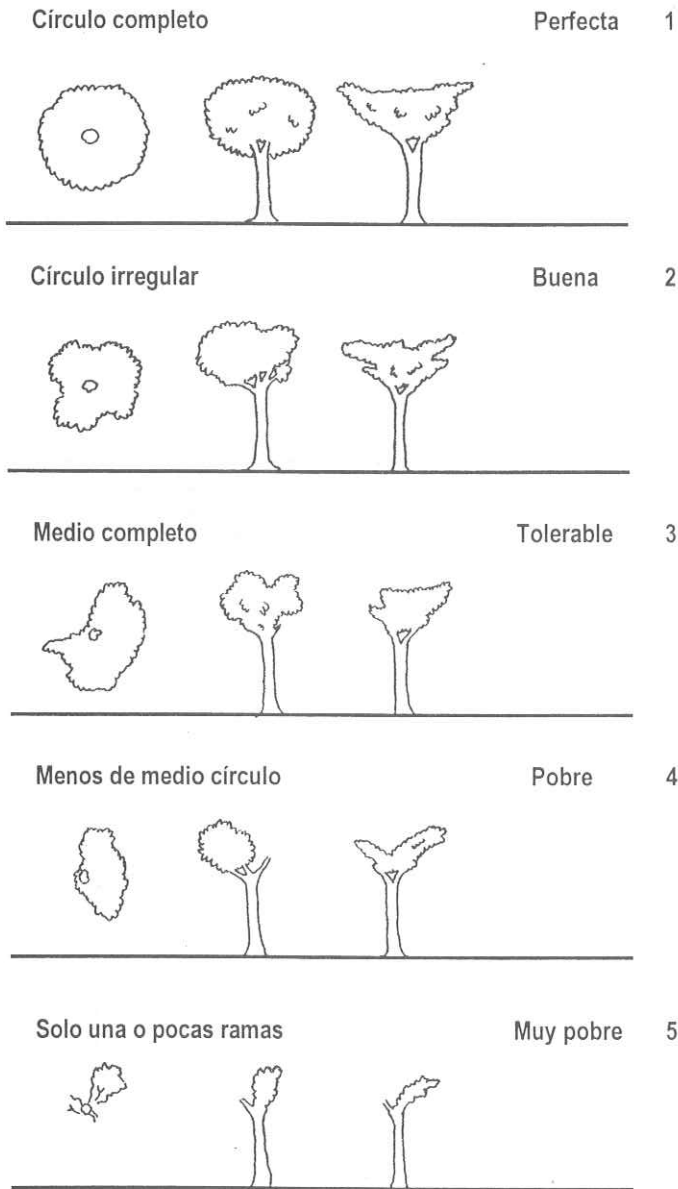


Figura 10. Forma de la copa. Según la clasificación de Dawkins (1958), que aparece en Synnott (1979).

- Calidad o valor comercial del fuste: ciertos defectos, como bifurcaciones, torceduras y nudos, no tienen efecto sobre la predicción del crecimiento, aunque sí revisten importancia para la predicción del rendimiento del rodal. A corto plazo, esta variable puede ser evaluada una sola vez y se recomiendan seguimientos espaciados (cada cinco años, por ejemplo) para monitorear la aparición de daños ocasionados por patógenos, labores silviculturales, incendios, lianas y otros. La clasificación recomendada para esta variable fue desarrollada por Hutchinson (citada en Pinelo 1997) y se muestra en la Fig. 11 y Anexo 2.

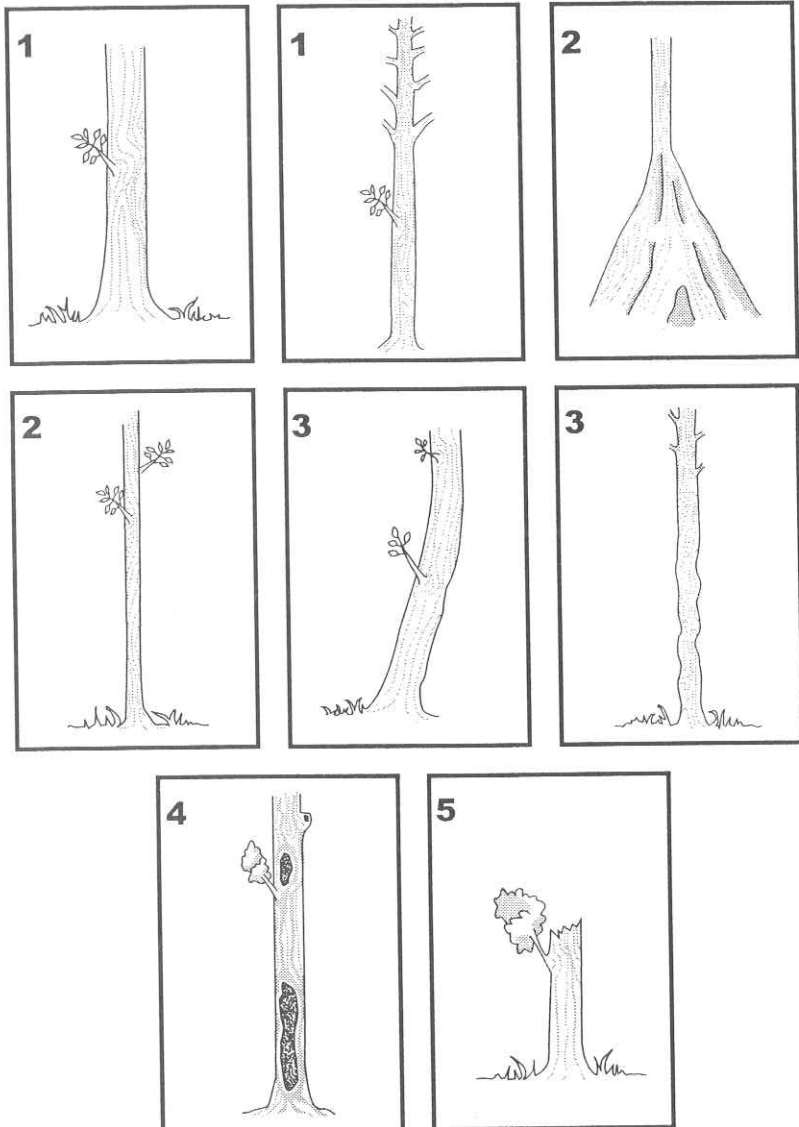


Figura 11. Forma de fuste. Adaptado de la clasificación de Hutchinson, citada en Pinelo (1997).



- Presencia de lianas en el fuste y la copa: la infestación de lianas y trepadoras puede tener un efecto importante en el crecimiento y sobrevivencia de los árboles. La clasificación recomendada es una adaptación de la de Alder y Synnott (1992) y se presenta en el Anexo 2.

## *Instrumentos de medición de diámetros y alturas*

El instrumento más utilizado en la medición del diámetro es la cinta diamétrica, graduada en centímetros y milímetros. Las cintas pueden ser de acero, fibra de vidrio o tela reforzada; esta última es la menos recomendada para mediciones que requieran precisión.

Según la experiencia de la UMBN, se recomienda seguir las siguientes pautas:

- evitar el uso de forcípulas en la medición del diámetro, debido a que la medición con este instrumento es menos confiable que con la cinta diamétrica (Alder 1980)
- nunca utilizar cinta y forcípula a la vez, entre mediciones o en una misma medición
- no usar cintas desgastadas o en mal estado
- no mezclar escalas de medición (diámetro/circunferencia) ni unidades de medición (milímetros /centímetros/pulgadas) entre mediciones o en una misma medición
- redondear al milímetro inferior.

Las bandas de circunferencia, los microdendrómetros y los dendrógrafos son instrumentos que permiten medir el incremento. Si bien son de mayor costo, el nivel de precisión también es mayor. Algunos de los dendrógrafos pueden mostrar las fluctuaciones del incremento diario e incluso horario.

En árboles con gambas o contrafuertes grandes, donde la medición directa con cinta diamétrica no es posible, se puede recurrir a instrumentos ópticos como el relascopio y telerelascopio de Bitterlich, o el pentaprisma de Wheeler para estimar el diámetro. Este método, sin embargo, no es confiable para estimar incrementos diamétricos.

La medición de la altura se puede realizar con clinómetro, hipsómetro o con barra telescópica; esta última es más precisa, pero su uso se limita a árboles con alturas hasta de 15 m. Entre los hipsómetros más utilizados están el Blume-Leiss, el Haga y el Suunto, que parten de principios trigonométricos para estimar alturas. Nuevos instrumentos como los hipsómetros Vertex, el Laser-Pro y el Criterion, emplean sistemas electrónicos, tecnología láser e impulsos ultrasónicos para la medición de ángulos verticales y horizontales y distancias, que permiten determinar alturas en forma más rápida.

De acuerdo con el nivel de precisión del instrumento de medición empleado, la altura del árbol se registra al decímetro o al metro.

## *Otras mediciones complementarias*

La medición o estimación de algunas variables complementarias pueden permitir una mejor caracterización del estado de competencia del árbol y de su ambiente circundante.

Diámetro de la copa.- Representa una forma de definir el espacio de crecimiento del árbol. Entre los diversos métodos empleados para estimar las dimensiones de la copa, el más sencillo consiste en medir la proyección de varios puntos de su contorno o diámetros perpendiculares sobre el terreno. Esta medición se efectúa entre dos personas con una cinta métrica y el valor se reporta en metros (Fig. 12).

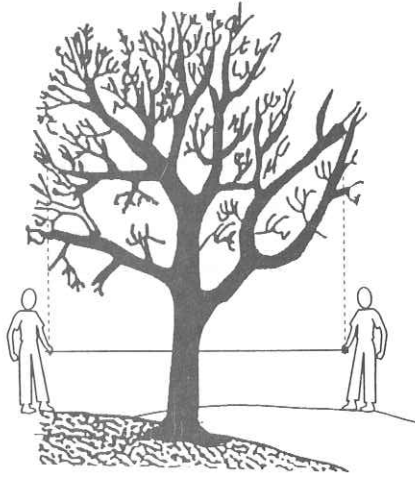


Figura 12. Medición del diámetro de copa.

Diámetro a la base de la copa y diámetro superior del fuste.- Permiten dar seguimiento a los cambios en el factor de forma y predecir rendimientos. Ambos diámetros se pueden medir con instrumentos ópticos, como el pentaprisma de Wheeler, el relascopio de Bitterlich y los dendrómetros de Stroud y Barr.

Altura y diámetro del tocón.- Al igual que las anteriores, estas variables se utilizan en la predicción de los rendimientos. Su medición es directa y sencilla y puede realizarse con cinta métrica y diamétrica, respectivamente.

## *Evaluación del sitio*

Debido a que el incremento diamétrico de los árboles puede variar con las condiciones del sitio, se hace necesario incluir una descripción del mismo utilizando indicadores que se evalúan a nivel de subparcela (formulario en Anexo 4). Algunas de las variables de esta descripción deben ser actualizadas cada cierto tiempo, para detectar posibles cambios en el sitio.

- Indicadores topográficos
  - posición de la pendiente (N-S-E-O)
  - aspecto de la pendiente (plana, inclinada, cóncava, convexa)
  - porcentaje de pendiente
  - elevación (msnm)

- Indicadores visuales de grados y tipos de disturbio que pueden haber modificado el desarrollo del bosque
  - corta reciente de lianas y bejucos
  - corta y extracción reciente de productos no maderables (palmas, ornamentales)
  - fuego reciente
  - huracanes o vientos fuertes recientes
  - presencia de áreas anegadas permanentes o intermitentes
  - presencia de trochas o vías de arrastre
- Hábitat
  - fase de claro
  - fase de reconstrucción (antiguos claros)
  - fase madura
- Características visibles del suelo (pedregosidad superficial, drenaje, color, presencia de materia orgánica acumulada)
- Asociaciones vegetales o presencia de especies indicadoras
- Altura y especie del árbol más alto o de la especie dominante

## Monitoreo de la PPM

La meta en el monitoreo de las PPM es obtener información de los cambios que ocurren en el bosque a través del tiempo, mediante la medición repetitiva de los árboles. Debido a que los procesos dinámicos en bosques naturales son relativamente lentos, la precisión en las mediciones es fundamental para discriminar cambios pequeños en los árboles individuales. Por ello, es de suma importancia que el equipo humano que participa en las mediciones esté altamente motivado y conciente del valor de la precisión en la ejecución de esta labor.

### *Intervalos de medición y mantenimiento*

La frecuencia de medición depende de la rapidez con que cambia el bosque y los objetivos del estudio. En general, durante los primeros años se realizan mediciones a intervalos cortos (cada año o cada dos años) y luego a intervalos más largos (cada cinco años), pero con visitas de mantenimiento para la demarcación de las parcelas y la numeración de los árboles.

En PPM instaladas en bosques húmedos de bajura, la UMBN realiza una medición anual durante los primeros tres a cinco años de instalada la parcela, antes y después de una intervención silvicultural y cada dos o tres años en periodos posteriores. En bosques montanos, donde algunos procesos dinámicos ocurren más lentamente, se realizan mediciones anuales en los dos o tres primeros años, antes y después de cualquier intervención silvicultural y cada cuatro a cinco años, posteriormente. En bosques secundarios, los cambios pueden ocurrir en lapsos cortos, por lo que se recomienda realizar las mediciones en periodos anuales o cada dos años.

Para la obtención de por lo menos una medida de incremento de la masa original, se recomienda cumplir con un mínimo de dos periodos de mediciones antes de ejecutar cualquier intervención silvicultural.

El mantenimiento de la PPM se puede realizar con la siguiente frecuencia:

- cada año: limpieza de la línea de acceso y de los linderos de la zona de amortiguamiento y del área efectiva de medición. Se debe aclarar que los bordes de las subparcelas no reciben nunca este tipo de mantenimiento
- durante cada medición: revisión y reemplazo de etiquetas dañadas y extracción de clavos para evitar que sean ocluidos
- cada dos o tres años: repinte de anillos en el punto de medición (si es necesario)
- cada cinco o más años: revisión y reemplazo de estacas de esquinas de zonas de amortiguamiento, área efectiva de medición y subparcelas

## *Recomendaciones prácticas para el monitoreo de PPM*

A continuación se detallan algunas recomendaciones prácticas adoptadas en la UMBN para el monitoreo y mantenimiento de una PPM:

- El formulario de mediciones debe mostrar una o varias mediciones anteriores de las variables a evaluar, lo cual permite verificar cualquier diferencia anormal en el tamaño o estimación, así como la identificación correcta de una especie (ejemplo en el Anexo 4, Formulario 2).
- La fecha de medición debe anotarse claramente en el formulario de campo.
- Las mediciones deben realizarse aproximadamente en la misma época del año para evitar posibles efectos de los cambios estacionales (temperatura y humedad, principalmente) o del ritmo anual de crecimiento, sobre el tamaño del árbol. De ser posible, las mediciones y el mantenimiento de la PPM deben realizarse en la época seca.
- Las dificultades que se encuentren al medir los diámetros deben ser anotadas de manera detallada.
- Se debe verificar el buen estado de todos los instrumentos que se empleen y realizar una calibración de los mismos.
- Cuando en el sitio de medición del diámetro se ha producido un daño, o es alcanzado por gambas o raíces fúlreas, se elige un nuevo punto de medición y se miden ambos puntos; después de dos mediciones subsiguientes se abandona el viejo punto de medición. Nótese, sin embargo, que el cambio del punto de medición anula al individuo para la estimación del crecimiento entre mediciones, por lo que es esencial elegir, desde el inicio, un punto de medición conveniente que evite la pérdida de registros durante el análisis de los datos.
- En la medida de lo posible, se debe evitar la corta de las lianas y bejucos que obstaculizan la medición del diámetro. Lo recomendable es separar con las manos esta vegetación.
- El único mantenimiento que se debe dar a los bordes de las subparcelas es el reemplazo de estacas dañadas o podridas; no se debe cortar la vegetación en estos sitios.
- Para identificar la especie, debe evitarse la práctica de efectuar un corte en el fuste, con el fin de exponer la madera y contar con más criterios de identificación. Aún cuando el corte se

realice con cuidado y en una parte distante del punto de medición del diámetro, la herida causada puede ser foco de infección.

- No se deben llevar a cabo actividades que involucren algún efecto sobre los procesos dinámicos del rodal y que no estén en el programa de intervenciones. En este sentido, es importante restringir el acceso a la parcela y no utilizarla para otros usos; por ejemplo, prácticas con estudiantes.

## *Reclutamiento y mortalidad*

A partir de la segunda medición, se incluyen los reclutas, es decir aquellos árboles que han alcanzado el diámetro mínimo del conjunto estudiado. Estos individuos se numeran consecutivamente, siguiendo la numeración del último árbol medido en la subparcela; además, se les marca el punto de medición, se registra su posición, se identifican taxonómicamente y se miden o estiman las mismas variables que a los otros árboles de la parcela. Un ejemplo de formulario para la anotación de los reclutas aparece en el Anexo 4 (Formulario 3).

Los árboles muertos o desaparecidos entre mediciones deben anotarse como tales, e identificar la causa de la muerte mediante un código. Un ejemplo de codificación se muestra en el Anexo 1a y 1b.

# Monitoreo de la biodiversidad

Para el monitoreo de los cambios en la biodiversidad vegetal en bosques sometidos a manejo para producción de madera, la UMBN sigue la metodología descrita en Delgado *et al.* (1999). Esta metodología evalúa dos clases de tamaño de vegetación: plantas con  $dap \geq 10$  cm y plantas de sotobosque ( $2,5 \leq dap \leq 9,9$  cm), debido a que las operaciones de manejo podrían tener un efecto diferente en la vegetación, dependiendo de su tamaño.

A continuación se describe la metodología propuesta para evaluar distintos componentes de la biodiversidad vegetal de un bosque.

## *Plantas con $dap \geq 10$ cm*

La metodología para evaluar el impacto del aprovechamiento y la aplicación de los tratamientos silviculturales sobre la vegetación arbórea es una adaptación muy sencilla de la metodología estándar para estudios en parcelas permanentes: identificar y medir todos los individuos  $\geq 10$  cm de  $dap$  en cada una de las PPM de 1 ha. Los registros se llevan en formularios semejantes al que aparece en el Anexo 4 (Formulario 4).

Uno de los aspectos a tomar en cuenta en las evaluaciones de la biodiversidad vegetal en ecosistemas forestales naturales, es la identificación de distintas asociaciones florísticas o tipos de bosques, los cuales varían en composición y, potencialmente, en número de especies. Esta identi-

cación permite estratificar el bosque de acuerdo con criterios como sitios de mayor o menor riqueza de especies, o con composiciones florísticas distintas. La estratificación permite al forestal evaluar la necesidad de desarrollar diferentes alternativas de manejo para cada uno de los estratos establecidos, de manera que se consideren aspectos no solo de producción sino también de conservación.

Entre las causas de diferenciación de tipos de bosque en una área dada, están las variaciones de sustrato, como fertilidad del suelo, humedad y topografía, o variaciones en el historial de perturbación, entre otras. Así, si uno de los objetivos planteados considera la identificación de tipos de bosque y la evaluación de la biodiversidad vegetal en cada uno de ellos, es necesario evaluar las condiciones particulares de cada bosque, para determinar si existen diferencias a nivel de vegetación, y encontrar las posibles causas de esas diferencias.

En el caso particular de uno de los bosques manejados por la UMBN del CATIE, donde se lleva a cabo investigación sobre biodiversidad vegetal, se han identificado variaciones importantes de sustrato que responden a un gradiente topográfico (Mata 1997). Esta diferenciación de suelos constituye uno de los gradientes ambientales naturales más importantes del bosque, por lo que se decidió investigar si la biodiversidad vegetal responde a esta variación topográfica.

Para relacionar los parámetros florísticos con la variación natural ambiental (en este caso topografía), se propuso determinar la ubicación topográfica de las 25 subparcelas de 20 m x 20 m en que se dividen las PPM, en términos de tres categorías: cima, ladera y bajos de ladera. Las categorías fueron establecidas según criterios de ubicación de la subparcela en la colina. De este modo se puede comparar, en forma estadística y/o descriptiva, los parámetros florísticos registrados dentro de las subparcelas de 20 m x 20 m (número de individuos y especies, abundancias relativas de las especies, etc.) y ver si existen diferencias entre categorías topográficas.

## *Plantas de sotobosque*

Para determinar el impacto de la intervención sobre la comunidad de plantas del sotobosque se siguen algunos de los criterios propuestos por Gentry (1982) para estudios de riqueza de especies en bosques primarios no intervenidos.

La metodología propuesta para determinar la biodiversidad vegetal de plantas de sotobosque consiste en establecer subparcelas de 5 m x 5 m distribuidas en forma aleatoria dentro de cada una de las PPM. Para cada PPM de 1 ha, se propone una intensidad de muestreo del 20%, lo que equivale al establecimiento de 80 subparcelas de 5 m x 5 m por hectárea. Dentro de cada subparcela de 5 m x 5 m, se localiza, identifica y mide toda planta con  $25 \text{ mm} \leq \text{dap} \leq 99 \text{ mm}$ , las cuales se registran en formularios del tipo que aparece en el Anexo 4 (Formulario 5). La muestra incluye árboles, arbustos, lianas, helechos, hierbas grandes y palmas.

A cada individuo se le mide el diámetro a 1,30 m de altura y se le coloca una etiqueta sostenida por un clavo de aluminio, 20 cm arriba del punto de medición, la cual lleva un código numérico para su identificación en evaluaciones.

Las lianas que arraigan dentro de la subparcela, pero ascienden fuera de ella, son medidas en la parte más gruesa del tallo ubicado dentro de la subparcela; si ascienden dentro de la subparcela, la medición se toma a una altura no mayor de 2 m, donde se coloca la etiqueta con la identificación. En las plantas ramificadas por debajo de 1,30 m, se mide cada tallo entre  $25 \text{ mm} \leq \text{dap} \leq 99 \text{ mm}$ ; sin embargo, se considera que cada tallo pertenece al mismo individuo. Para la determinación de un individuo (particularmente problemático en lianas y algunas palmas) se considera que grupos de tallos de lianas interconectados constituyen un solo individuo, lo mismo que grupos de tallos de palmas que presentan una base común (por ejemplo para algunas especies de los géneros *Bactris*, *Geonoma* y *Prestoea*). Para este tipo de palmas, cada tallo entre  $25 \text{ mm} \leq \text{dap} \leq 99 \text{ mm}$  es registrado, marcado y medido.

Dependiendo de la altura total alcanzada por los individuos adultos, cada especie es clasificada en una de las siguientes categorías: *sotobosque* (individuos adultos con menos de 5 m de altura), *intermedio* (individuos adultos entre 5 y 25 m), *subdosel* (entre 25 y 35 m de altura), *emergente* (capaz de alcanzar más de 35 m de altura), y finalmente, *liana*. La diferenciación de estos grupos de plantas, en estudios de estructuras de comunidades vegetales se realiza con base en el conocimiento de que los grupos mantienen diferentes relaciones con otros organismos. Por ejemplo, existen estudios que demuestran que el sotobosque contiene una fauna diferente a la del dosel (McClearn *et al.* 1994); muchas especies de insectos, pájaros y mamíferos están restringidos al sotobosque, donde se ubican sus fuentes principales de alimento.

En el caso de las palmas, se diferencian también las siguientes categorías (de acuerdo con los criterios de Kahn y Mejía 1991): palma arborescente (individuo adulto con más de 10 m de altura), palma de sotobosque alto (adulto de 6 – 10 m de alto), palma de sotobosque bajo (adulto de menos de 6 m de altura). Dentro de estos tres grandes grupos se establecen, además, las categorías de palmas con un solo tallo y palmas con tallos múltiples o clonales.

Los registros deben considerar tanto la variación ambiental natural como la inducida por las operaciones de manejo del bosque. Al igual que para las subparcelas de 20 m x 20 m, podría captarse la variación espacial dentro de un bosque categorizando cada subparcela de 5 x 5 m de acuerdo a su posición en las colinas del bosque (cima - ladera - parte baja).

Con relación a la intervención del bosque, se registra en cada medición el tipo de hábitat en que se encuentra establecida la subparcela. Los hábitats considerados son: 1) *camino o pista de arrastre*: subparcela en que >50% del área fue ocupada por sitios limpiados de vegetación y nivelados para el tránsito del tractor durante el aprovechamiento; 2) *orilla de pista*: orilla de pista cuando parte de la subparcela se ubica en caminos pero donde >50% se encuentra establecida dentro del bosque adyacente al camino; 3) *claro*: apertura en el dosel del bosque, que se extiende hacia abajo a través de todo el follaje hasta una altura promedio de 2 m sobre el suelo; 4) *fase de reconstrucción*: subparcelas ubicadas en mediciones anteriores en claros y cuya vegetación se encuentra en plena recuperación, con una altura promedio mayor a 2 m; y 5) *sitios sin perturbación del sotobosque*: que constituye aquellos sitios del bosque que no han sufrido la remoción del sotobosque, ya sea por la construcción del camino o por la formación de claros producto de la caída de árboles o ramas. De esta forma, se puede establecer el efecto del manejo sobre el ambiente en general del bosque y sobre la vegetación que se establece en los sitios específicos que resultan de la intervención.



# Monitoreo de la regeneración

Bajo el término de regeneración se incluye la vegetación de especies leñosas comerciales de un diámetro menor al diámetro mínimo de medición que, para los efectos de este manual, es de 10 cm. Por lo general, esta vegetación menor es muy numerosa y debe ser muestreada en unidades pequeñas, cuya superficie y número depende de los recursos disponibles, de los objetivos del estudio y de la categoría de tamaño de la vegetación. En el Cuadro 1 se muestran las categorías de regeneración utilizadas en este tipo de estudio, aunque queda a criterio del investigador el excluir algunas categorías o crear nuevas a partir de la clase de latizales (Sáenz *et al.* 1999).

Cuadro 1. Categorías de regeneración y tamaño de las unidades de muestreo a establecer en PPM de una hectárea.

Categorías	Dimensiones del individuo	Tamaño de la unidad de muestreo(m)	Cantidad de u.m. por PPM
Plántula	$0,1 \text{ m} \geq \text{altura} < 0,3 \text{ m}$	1 x 1	50
Brinzal	$0,3 \text{ m} \geq \text{altura} < 1,5 \text{ m}$	2 x 2	25
Latizal bajo	Altura $\geq 1,5 \text{ m}$ y diámetro $< 5 \text{ cm}$	5 x 5	10
Latizal alto	5,0 cm a 9,9 cm de diámetro	10 x 10	5

## Diseño de muestreo

El monitoreo de la regeneración puede efectuarse en un diseño anidado, tomando como base las parcelas de 1 ha. En cada PPM establecida se seleccionan cinco subparcelas de manera aleatoria y en cada una de ellas se ubican sistemáticamente las unidades de muestreo de la regeneración, como se muestra en la Fig. 13. Cualquier diseño de muestreo anidado debe tratar de evitar que unidades de muestreo de plántulas o brinzales se ubiquen en el mismo sitio que las unidades de muestreo de los latizales, debido a la perturbación que puede ocasionarse a la vegetación de menor tamaño durante las mediciones.

Cuando el objetivo del estudio es monitorear ciertas especies cuya ubicación en un área restringida se dificulta por su distribución, densidad y/o dimensiones, en la UMBN se sigue una metodología práctica que permite la ubicación de cada individuo. En las parcelas instaladas para los árboles con dap mayor a 10 cm se localiza un individuo de la especie y tamaño de interés, y se le ubica tomando como referencia el árbol vecino más cercano con diámetro mayor o igual a 10 cm, el cual a su vez ha sido ubicado por medio de coordenadas cartesianas. Para el monitoreo periódico, se busca el "árbol vecino" y se localiza el individuo de regeneración en un área restringida no mayor a 2 o 3 m a la redonda.

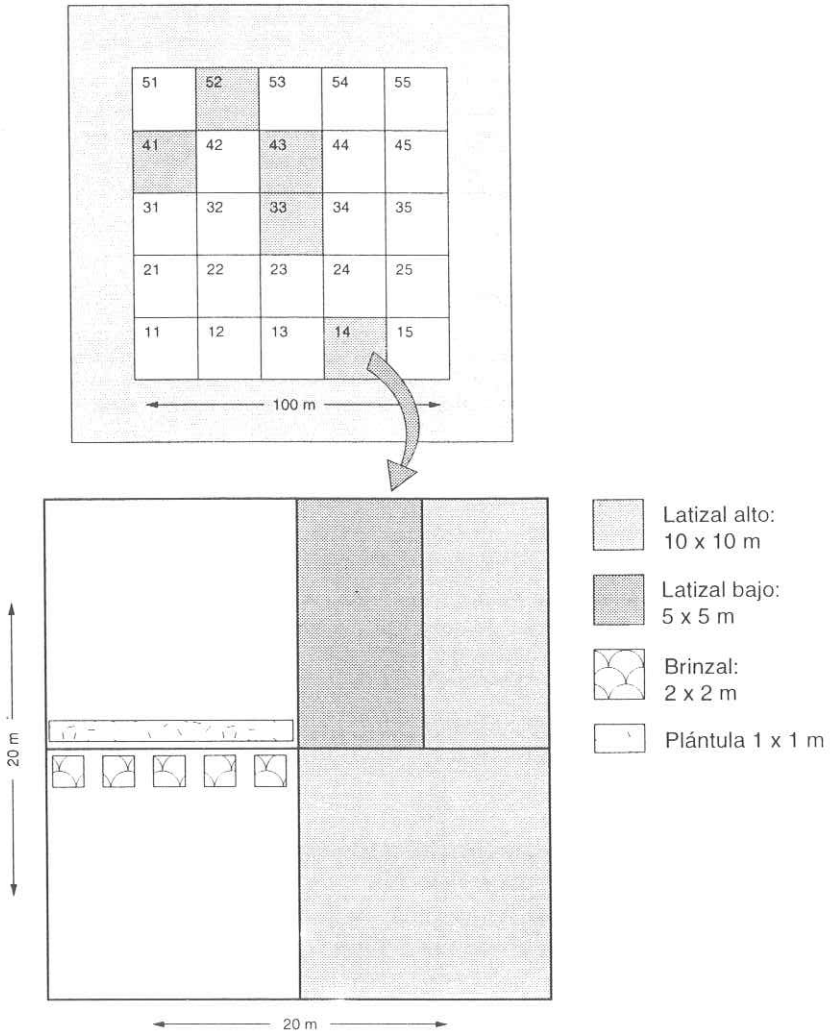


Figura 13. Diseño anidado con unidades de muestreo de tamaño variable de acuerdo con la categoría de regeneración.

## Instalación y medición de las unidades de muestreo

Al igual que una PPM, la demarcación de las unidades de muestreo para el monitoreo de la regeneración debe ser permanente, utilizando postes o estacas de material durable (PVC, madera, cemento), pintadas con un color llamativo en su extremo superior y revisadas de manera periódica. De especial importancia es el cuidado que se tenga para ocasionar un impacto mínimo sobre la vegetación de especies leñosas.

La marcación de los individuos en la categoría de latizal alto se puede realizar de la misma forma que los fustales sobre 10 cm dap. Los brinzales, plántulas y latizales bajos pueden ser marcados con tarjetas amarradas al fuste, con alambre de cobre o aluminio.

Las variables por medir se relacionan con la categoría de regeneración monitoreada y se presentan en el Cuadro 2 (Sáenz 1994). En el Anexo 4 (Formulario 6) se muestra un ejemplo de formulario de campo utilizado en el monitoreo de la regeneración.

Cuadro 2. Variables por medir según la categoría de regeneración en estudio

Variable	Categoría de regeneración			
	Plántula	Brinzal	Latizal bajo	Latizal alto
Conteo de individuos	X			
Especie	X	X	X	X
Altura		X		
Diámetro a 10 cm de altura	X			
Diámetro a 1,30 m de altura			X	X
Iluminación de copa*		X	X	X
Forma de copa				X
Infestación de lianas				X
Forma de fuste			X	X
Forma de vida	X	X	X	X

\* Según clasificación de Clark y Clark (1992).

Tanto en latizales bajos como en brinzales, el diámetro de medición es muy pequeño para ser medido con una cinta diamétrica, por lo que se recomienda el empleo de un vernier o calibrador de precisión. En el caso de los latizales altos, la medición puede ser realizada con cinta diamétrica. Para individuos en categorías de regeneración donde la altura puede ser una variable importante a medir, se recomienda el uso de varas telescópicas de 5 a 15 m de largo, graduadas en centímetros.

En el caso de brinzales, se recomienda estimar la iluminación en el centro de la unidad de muestreo de 2 x 2 m, con la escala desarrollada por Clark y Clark (1992). Para el resto de vegetación, se realiza una estimación individual siguiendo la escala de Dawkins (1958).

Los individuos que mueren entre mediciones pueden desaparecer sin dejar trazas, e incluso la tarjeta de identificación se puede perder, por lo que es importante realizar un esfuerzo por determinar los individuos muertos o presumiblemente muertos, así como la causa de muerte. Cuando un individuo definitivamente no se logra encontrar, deberá hacerse una anotación y si en la siguiente medición de nuevo no se logra localizar se anotará como muerto (indicando como año de muerte la medición anterior).

Los nuevos individuos (reclutas) que alcanzan el tamaño mínimo de medición de cada categoría deben ser marcados, identificados y medidos. Los individuos que sobrepasan el tamaño máximo de medición de su categoría se anotan como egresos y entran como reclutas en la categoría siguiente.

# Fichas técnicas y formularios

## *Ficha descriptiva del estudio*

Esta es una ficha técnica donde se describe el estudio o investigación que se está conduciendo. En ella se consigna información básica sobre los objetivos del estudio y la metodología seguida en la instalación y monitoreo de las PPM, las instituciones involucradas y las personas responsables del estudio. Se incluye, además, una monografía del sitio, donde algunos elementos importantes pueden ser la ubicación geográfica del conjunto de PPM, de las líneas de acceso y de los puntos de control, así como una descripción de los suelos, clima, topografía del sitio y uso de la tierra en el pasado (si se conoce). Esta información debe ser tan detallada como sea posible y respaldada con mapas o planos.

Se documentan, además, la información temporal sobre el sitio y las mediciones. Ejemplos de información que pueden incluirse son la ocurrencia de desastres naturales que afecten el bosque durante la vida útil de la PPM, actividades de manejo planificadas y realizadas en la PPM, actividades antropogénicas no planificadas, cambios en el manejo del bosque o en la mecánica de ejecutar las mediciones.

En el Anexo 4 se presenta un ejemplo de ficha técnica del estudio.

## *Descripción del sitio*

En este formulario se describe el sitio a nivel de subparcela. En él se exponen detalles sobre la topografía, la vegetación, el hábitat y los factores de disturbio que pudieron haber modificado el desarrollo del bosque (ejemplo en Anexo 4).

## *Formularios para la primera medición y para mediciones posteriores*

El formulario básico para la primera medición incluye el nombre del sitio, la fecha de medición y los números de parcela y subparcela, además de columnas en blanco para el número de cada árbol, número de eje (si hay más de uno), nombre común de la especie, coordenadas de ubicación, altura de la medición del diámetro, diámetro, validación del punto de medición y daños. Otras variables son determinadas por el investigador, tomando en cuenta los objetivos del estudio y la condición del bosque: altura total o comercial de los individuos, variables silviculturales como exposición a la luz, forma de copa, presencia de lianas en el fuste y calidad de fuste (ejemplo en Anexo 4, Formulario 1).

Los formularios utilizados en las mediciones posteriores deben ser elaborados específicamente para la parcela de interés, con información tomada de la base de datos e impresos por medio del sistema de manejo de información utilizado. El formulario básico incluye los valores de los diámetros de

una o varias mediciones anteriores, así como la condición del individuo en la última medición (ejemplo en Anexo 4, Formulario 2), además de columnas en blanco para nuevas variables por medir.

Para evitar errores, el orden de las variables en el formulario debe ser el mismo que se utiliza en la entrada de los datos en el sistema de manejo de información. El uso de un formulario bien estructurado facilita tanto la toma de datos en el campo como la verificación de la información de la base de datos.

Para cada medición, el sistema de manejo de información debe suplir:

- el formulario para la toma de datos
- formulario para la medición de los reclutas, con espacios y/o columnas para anotar la información de las variables por medir; estas son determinadas por el investigador
- una impresión de los códigos que se utilizan
- un croquis de la parcela con la ubicación de los árboles (opcional)
- un listado con el código y nombre de las especies (opcional)

En sitios donde la época de lluvias es impredecible, o cuando las mediciones se realizan durante esta época, es importante imprimir los formularios en hojas resistentes al agua ("*all-weather paper*").

## Manejo de la información

Se usa el término sistema de información para referirse a las bases de datos y a los programas para grabar y verificar datos, realizar análisis y presentar resultados.

### *Bases de datos*

Una base de datos es un conjunto de tablas de datos correspondientes a diferentes niveles de información. Por lo general, la base de datos contiene una o varias tablas asociadas, las cuales a su vez contienen información adicional sobre cualquier nivel del ensayo. Cada tabla consiste en columnas correspondientes a los campos o variables y filas correspondientes a entidades observadas.

Tabla de datos principal. La tabla de datos principal contiene la información de las mediciones periódicas del conjunto de PPM y se compone de varios niveles o entidades. La información vertida en algunos de estos niveles no cambian con el tiempo: el nombre del experimento y número de parcela o subparcela, pero otros crecen y se actualizan a medida que se incorporan nuevas mediciones. Se pueden identificar los siguientes niveles de información en la tabla principal:

- código del experimento
- código del sitio

- subdivisiones dentro del sitio: incluye los códigos que identifican la existencia de más de una subdivisión en el sitio (número de bloque, si lo hay; número o código de tratamiento, si lo hay; número de parcela; número de subparcela dentro de cada parcela)
- fechas de medición
- variables de las observaciones realizadas (alturas, diámetros, atributos del árbol, etc.)

Tablas asociadas. Cada base de datos puede contener una o varias tablas asociadas con información adicional sobre cualquier nivel de información de la tabla principal. A continuación se muestran algunos ejemplos de tablas asociadas.

- Lista de especies.- Esta tabla asociada se considera un componente fundamental en el sistema de información que manipula las bases de datos provenientes de una red de PPM. La lista de especies se compone de varias columnas, una de las cuales contiene un código o número de especie y es la clave que usa internamente el sistema de información como vínculo entre la lista y las bases de datos. Otras columnas registran el nombre completo de la especie, el género, la familia botánica, la autoridad en la descripción de la especie, las sinonimias de la especie, el nombre común (opcional), el sitio de recolección de la muestra base y el nombre de la persona que realizó la identificación. Además, se pueden incluir columnas que contienen ciertas variables de la especie por medio de códigos tales como: grupo comercial, grupo ecológico, estrato de madurez, forma de vida (códigos en Anexo 1).
- Ficha técnica del estudio. Ya discutida en la sección anterior. Un ejemplo se muestra en el Anexo 4.
- Identificador de la colección de códigos. Esta tabla contiene la colección de los códigos usados en el campo y su descripción (Anexos 1 a 3).

## Grabación de datos

El manejo de los datos requiere de tiempo y dedicación para mantener la más alta calidad de la información recolectada. El sistema de manejo de las bases de datos debe:

- ser flexible, eficiente, y de costo mínimo
- permitir la actualización rápida de las bases de datos y hacer cambios sin necesidad de nuevos códigos
- no ser redundante: datos redundantes ocupan espacio y disminuyen la velocidad de procesamiento
- tener capacidad de búsqueda
- ser seguro y contar con respaldo

A partir de estos conceptos, la UMBN ha desarrollado un "software" denominado SEMAFOR (Sistema de Evaluación y Monitoreo para Análisis Forestal) y otro está en proceso (SciBos, Sistema Científico de Información para Bosques Naturales); ambos sistemas de información permiten la administración, control y análisis de la información generada a partir de la investigación en PPM.

Sin embargo, si no se cuenta con un sistema de información, el administrador de las bases de datos de PPM puede emplear cualquier programa de computación que posea una hoja electrónica: DBa-

se (FoxPro y Clipper), Paradox, Excel. La selección depende del conocimiento que tenga el usuario para manejar dicho programa eficientemente.

Antes de la digitación, los formularios de campo deben ser revisados para comprobar la existencia de mediciones u observaciones en todos los individuos que componen las parcelas de un sitio, verificar la fecha de medición y codificar los folios que componen las mediciones. El proceso de digitación comprende la actualización de la base de datos con la información traída del campo; y por regla general, no se recomienda que sea realizada por la misma persona que obtuvo la información.

Una vez digitada la información, se procede a verificar en dos pasos:

- se imprimen los datos grabados y se compara cada registro contra los formularios de campo
- el programa de cómputo verifica la validez de los códigos grabados, su ubicación dentro de un rango real y la comparación de las mediciones actuales con las mediciones anteriores. Así, se detectan errores por:
  - cambio de código de identificación
  - códigos no existentes
  - incrementos fuera de un límite "aceptable"

En la UMBN se consideran aceptables los incrementos diamétricos que sean menores a 50 mm año<sup>-1</sup> y mayores de -2 mm año<sup>1</sup>. Incrementos fuera de este rango se consideran inaceptables y son eliminados del análisis de incrementos, aunque permanecen en la base de datos para otros propósitos, como la estimación de los parámetros estructurales del rodal o de las tasas de mortalidad y reclutamiento.

Finalizado el proceso de digitación y verificación, es aconsejable elaborar resúmenes de la información y anexarlos a las hojas de campo, antes de archivarlas en un lugar seguro.

## *Almacenamiento de datos*

El almacenamiento seguro de las bases de datos es de gran importancia, debido a que la investigación en PPM conlleva largos periodos de tiempo.

Cada nueva medición de la PPM debe ser grabada en el disco duro de la computadora, con dos copias en diskette, CD-ROM, JAZ o cualquier otro dispositivo disponible y seguro. Los formularios de campo y sus correspondientes listados impresos se almacenan por separado y en sitios diferentes, cada uno de ellos con una copia electrónica. Este material debe ser resguardado del fuego, la humedad, el calor y el ataque de insectos y hongos.



# Costos y rendimientos

La instalación y medición de un conjunto de parcelas permanentes es una labor que puede tener un alto costo, y que conlleva un trabajo cuidadoso realizado por un equipo humano con experiencia.

El tiempo requerido para la instalación, primera medición y monitoreo de una PPM depende de factores como: tamaño de la parcela, accesibilidad, condiciones topográficas y climáticas, densidad y tamaño máximo de los individuos por monitorear, clase diámetrica mínima por medir, número de variables por medir o estimar en cada individuo y disponibilidad de personal experimentado. El costo final varía en función de los costos de mano de obra en el país, de la experiencia del equipo humano y del tiempo invertido.

Synnott (1979) considera que bajo condiciones favorables de clima y topografía, buena accesibilidad y medición de individuos con  $\text{dap} \geq 15 \text{ cm}$ , una cuadrilla de cinco personas puede instalar y medir una PPM de una hectárea en tres a cuatro días. El monitoreo de dicha parcela se puede realizar en un día si ha transcurrido poco tiempo después de la primera medición y dos días si han transcurrido más de dos años.

Castillo (1995) y Salas (1995) citados por León (1996), consideran que la demarcación y primera medición de una parcela de 0,25 ha con borde de 10 m, se puede realizar en 3 y 4 días, respectivamente, con una cuadrilla de trabajo compuesta por un técnico y un obrero.

Dallmeier (1992) detalla el tiempo invertido en la instalación y medición de una parcela permanente de 1 ha para el conjunto diamétrico superior a 10 cm, de la siguiente manera:

- demarcación de linderos de la parcela y subparcelas.- una semana de trabajo (168 horas en total) para un equipo experimentado de tres personas
- marcación y primera medición.- 5 días (120 horas) para un equipo de tres personas.
- mapeo de la parcela y de todos los árboles medidos.- 13 días para un equipo de seis personas.
- identificación y preparación de un miniherbario.- cerca de 60 días (480 horas) para un botánico experimentado.
- entrada de datos y generación de mapas de las subparcelas.- 16 días (160 horas) para un equipo de dos personas
- mantenimiento de la base de datos y preparación de formularios, mapas y guías de usuarios.- tres meses (960 horas) para un equipo de dos personas

Pinelo (1999) señala que en la Reserva Forestal Comunitaria Bio-Itzá, en Petén, Guatemala, los rendimientos en la instalación y monitoreo de una PPM de 0,25 ha (50 x 50 m), se pueden resumir de la siguiente forma:

- un día de técnico y dos días de obrero para la delimitación total de la PPM (linderos del área efectiva, subparcelas y zona de amortiguamiento)
- un día de técnico y un día de baqueano (identificador de especies a nivel de campo) para la primera medición
- un día de técnico y un día de baqueano para el primer monitoreo

El mismo autor indica que los costos de delimitación ascienden a \$73; \$75 la primera medición y \$61 la primera medición de monitoreo. Estos montos incluyen los salarios de personal técnico, obrero y de apoyo y los gastos incurridos para su manutención, así como los materiales utilizados para la ejecución del trabajo.

Según la experiencia generada en la UMBN, la cuadrilla básica de trabajo para la demarcación y primera medición de parcelas permanentes de una hectárea debe estar constituida por cuatro personas (un técnico, un baqueano y dos obreros). Para las mediciones de monitoreo, la cuadrilla puede estar constituida por las mismas cuatro personas o se puede prescindir de uno de los obreros, dependiendo del mantenimiento que se le ha dado a la parcela. En labores de mantenimiento se puede prescindir del baqueano y de un obrero.

En cuanto a la duración de las actividades, el Cuadro 3 resume la experiencia de la UMBN en la instalación, primera medición y monitoreo de PPM en bosques primarios y secundarios.

**Cuadro 3.** Rendimientos en el establecimiento, monitoreo y mantenimiento de parcelas permanentes, en diferentes tipos de bosque, según la experiencia generada en la UMBN/CATIE.

	Tamaño del área efectiva	Instalación <sup>(1)</sup>		Primera medición		Monitoreo		Mantenimiento	
		TC <sup>(2)</sup>	Días	TC <sup>(2)</sup>	Días	TC <sup>(2)</sup>	Días	TC <sup>(2)</sup>	Días
Dap ≥ 10 cm									
Primario de bajura	1 ha	T1	1	T1	2	T1	1,5	T3	1,5
Primario montano	1 ha	T1	3	T1	2	T1	1,5	T1	1
Secundario de bajura	0,24 ha	T1	1	T1	1		0,5	T3	
Secundario montano	0,45 ha	T1	2	T1	1	T1	1	T2	1
Regeneración									
Primario de bajura, monitoreo de 12 especies <sup>(3)</sup>	1 ha			T1	2	T2	1	T3	1
Primario intervenido montano	40 u.m. <sup>(4)</sup> 100 m <sup>2</sup> c/u	T2	2	T1	3	T2	2	T3	1
Secundario de bajura	0,24 ha	T1	0,5	T1	1	T2	0,5	T3	0,5
Biodiversidad									
Primario de bajura	80 u.m. de 25	T2	2	T2	2,5	T2	1,5	T2	1

(1) No se considera la identificación de especies por un especialista.

(2) TC: tipo de cuadrilla; T1: 1 técnico, 1 baqueano (identificador de especies en el campo), 2 obreros; T2: 1 técnico, 1 baqueano, 1 obrero; T3: 1 técnico, 1 obrero.

(3) Siguiendo la metodología del "árbol vecino"

(4) u.m.: unidades de muestreo, utilizadas en estudios de la regeneración natural y de la biodiversidad.

# Bibliografía

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol. 1. FAO, Roma. 80 p.
- Alder D.; Synnott, T.J. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. Oxford Forestry Institute. 124 p.
- Clark, D.; Clark, D. 1992. Life history diversity of tropical trees. Ecological Monograph. 623: 315-344
- Dallmeier, F. (ed). 1992. Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas: methods for establishment and inventory of permanent plots. MAB Digest 11. UNESCO, Paris. 72 p.
- Dawkins, H.C. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Institute Paper, Imperial forestry Institute, University of Oxford, No. 34, 155 p.
- Delgado, D.; Finegan, B.; Zamora N. 1999. Metodología para el monitoreo de la biodiversidad vegetal en un bosque húmedo tropical manejado para producción de madera en Costa Rica. Revista Forestal Centroamerica 25: 14-20 p.
- Finegan, B.; Camacho, M. 1999. Stand dynamics in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest, 1988-1996. Forest Ecology and Management 121: 177-189.
- Gentry, A.H. 1982. Patterns of neotropical plant species diversity. Evolutionary Ecology 15: 1-84.
- Herrera, B. 1996. Evaluación del efecto del sitio en la productividad de las poblaciones de dos especies dominantes en un bosque de la tercera etapa de la sucesión secundaria en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 157 p.
- Hutchinson, I. 1993. Silvicultura y manejo en un bosque secundario tropical: caso de Pérez Zeledón, Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana 2: 13-18.
- Kahn, F.; Mejía, K. 1991. The palm communities of two "terra firme" forest in peruvian amazonia. Principes 35(1): 22-26.
- León C., L. 1996. Establecimiento de dos parcelas permanentes en bosque natural para el monitoreo del crecimiento en el Area de Conservación Cordillera Volcánica Central. Programa de Prácticas de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 74 p.
- Mata, R. 1997. Estudio detallado de suelos: área de demostración e investigación La Tirimbina, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). 52 p.
- McClearn, D.; Kohler, J.; McGowan, K.J.; Cedeño, E.; Carbone, L.G.; Miller, D. 1994. Arboreal and terrestrial mammal trapping on Gigante Peninsula, Barro Colorado Nature Monument, Panama. Biotropica 26(2): 208-213.
- Pinelo, G. 1997. Dinámica del bosque petenero: avances de investigación en Petén, Guatemala. CATIE/CONAP, 48 p.
- Pinelo, G. 2000. Manual de parcelas permanentes de muestreo para la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. CATIE/CONAP, Serie Técnica. Manual Técnico no. 40. 52p.
- Quirós, D.; Finegan, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica. CATIE, Serie Técnica. Informe Técnica no. 225. 26 p.

- Sáenz, G.P.; Finegan, B.; Guariguata, M. 1999. Crecimiento y mortalidad en juveniles de siete especies arbóreas en un bosque muy húmedo tropical intervenido de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 47(1-2): 45-57.
- Sáenz, G. 1994. Protocolo de investigación sobre tópicos de regeneración natural. Informe Interno Proyecto COSUDE/CATIE. 8 p.
- Synnott, T. J. 1979. A manual of permanent plot procedures for tropical rainforest. *Tropical Forestry Papers*, CFI, University of Oxford. 67 p.

# ***ANEXOS***

# Anexo 1a

## *Codificaciones para condición del individuo*

### Validación del punto de medición del dap

- 1- punto de medición a 1.3 m
- 2- punto de medición sobre 1.3 m
- 3- diámetro inaccesible, medido con instrumento óptico
- 4- diámetro inaccesible, estimado
- 5- diámetro cambiado de una medición a otra

### Daños en el individuo (sin muerte del individuo)

- 1- fuste quebrado
- 2- fuste inclinado o volcado
- 3- árbol descopado
- 4- corteza con daño mecánico
- 5- árbol defoliado
- 6- excrecencias causadas por hongos, plagas o fuegos
- 7- moribundo (prob. el árbol estará muerto para la próxima medición)

### Causas de muerte, en general

- 1- por causas naturales, de pie
- 2- por causas naturales, en el suelo
- 3- por operaciones de manejo (ver anexo 1b)
- 4- Muerto sin causa conocida
- 5- Desaparecido

### Causas naturales de muerte

- 1- sequía
- 2- encharcamiento
- 3- derrumbe
- 4- rayos
- 5- caída de un árbol vecino
- 6- desraizamiento

# Anexo 1b

## *Codificaciones para condición del individuo por operaciones de manejo*

Intensidad de daños por causas de aprovechamiento (sin muerte del individuo)

- 1- leve
- 2- moderado
- 3- severo

Causas de muerte por operaciones de manejo

- 1- por tratamiento silvicultural
- 2- por daños en el aprovechamiento
- 3- por cosecha
- 4- desaparecido durante operaciones de manejo

Árbol afectado por tratamiento silviculturales

- 1- seleccionado como árbol Deseable Sobresaliente
- 2- cosechado
- 3- anillado
- 4- envenenado
- 5- anillado y envenenado
- 6- talado y extraído por tratamiento
- 7- talado y extraído por extraños al experimento
- 8- lianas eliminadas
- 9- otros



## Anexo 2

### *Codificaciones para atributos del árbol*

Iluminación de la copa, según la clasificación de Dawkins (1958), adaptado de Alder y Synnott (1992), para individuos con altura  $\geq 1,5$  m

- 1 Emergente – copa recibe completa iluminación vertical y lateral
- 2 Plena iluminación vertical
- 3 Parcial iluminación vertical
- 4 Iluminación lateral solamente
- 5 Ninguna iluminación directa

Iluminación de la copa de Clark y Clark (1992), modificada de la clasificación de Dawkins, para individuos con altura  $< 1,5$  m

- 1 Copa recibe completa iluminación vertical y lateral
- 2 Plena iluminación vertical
- 3 Parcial iluminación vertical
- 3.5 Iluminación lateral alta
- 4 Iluminación lateral media
- 4.5 Iluminación lateral baja
- 5 Ninguna iluminación directa

Forma de la copa, según la clasificación de Dawkins (1958), adaptado de Alder y Synnott (1992)

- 1 Circular y simétrica
- 2 Circular irregular
- 3 Medio círculo o delgada
- 4 Menos de medio círculo
- 5 Pocas ramas

Presencia de lianas, adaptado de Alder y Synnott (1992)

- 1 Sin lianas
- 2 Lianas que no alcanzan el nivel de la copa del árbol huésped
- 3 Lianas que alcanzan la copa del árbol y comienzan a competir por luz
- 4 Lianas dominando la copa del árbol huésped
- 5 Lianas estrangulando y oprimiendo el árbol huésped

Valor comercial del fuste o calidad de fuste, adaptada de la clasificación de Hutchinson, citada en Pinelo (1997).

- 1 Actualmente maderable (dap  $\geq 60$  cm, o diámetro mínimo de corta, con troza de al menos 4 m)
- 2 Potencialmente maderable (dap  $\geq 10$  cm, con troza comercial de al menos 4 m)
- 3 Deformado
- 4 Dañado, podrido
- 5 3 + 4, quebrado bajo 4 m de altura o descopado totalmente

# Anexo 3

## *Codificaciones para atributos de las especies*

### Forma de vida

- 1 Árbol
- 2 Arbusto
- 3 Herbácea
- 4 Epífita
- 5 Helecho
- 6 Liana

### Estrato de madurez

- 1 Liana
- 2 Sotobosque
- 3 Dosel inferior
- 4 Dosel intermedio
- 5 Dosel superior
- 9 Desconocido

### Grupo ecológico

- 1 Heliófitas efímera
- 2 Heliófitas durable de crecimiento rápido
- 3 Heliófitas durable de crecimiento lento
- 4 Esciófitas parcial
- 5 Esciófitas total
- 9 Desconocido

### Grupo comercial

- 1 Comercial aceptable
- 2 Comercial deseable
- 3 Potencialmente comercial
- 4 No comercial
- 5 Palmas
- 6 Vedado
- 9 Desconocido

## **Anexo 4**

# **Ejemplos de formularios de campo para el monitoreo de PPM**

- Ficha descriptiva del estudio
- Evaluación del sitio por subparcelas
- Formulario de campo No. 1: PRIMERA MEDICIÓN de parcela permanente de muestreo
- Formulario de campo No. 2: MONITOREO de parcela permanente de muestreo
- Formulario de campo No. 3: RECLUTAS de parcela permanente de muestreo
- Formulario de campo No. 4: BIODIVERSIDAD,  $dap \geq 100$  mm
- Formulario de campo No. 5: BIODIVERSIDAD,  $25 \leq dap \leq 99$  mm
- Formulario de campo No. 6: REGENERACIÓN NATURAL

# Ficha descriptiva del estudio

## *Parcelas Permanentes de Muestreo en Bosque Natural*

### **Antecedentes**

Nombre del estudio:

Objetivos:

Institución(es) involucrada(s):

Aportes y compromisos de cada institución involucrada:

Persona (s) responsable(s) del estudio:

### **Descripción del sitio**

Ubicación geográfica en el ámbito nacional (adjuntar mapa):

Régimen de propiedad donde se ubican las PPM:

Descripción general de la vegetación:

Descripción general de los suelos:

Estación climática más cercana:

Descripción general del clima:

Descripción general de la topografía:

### **Metodología de instalación y monitoreo del conjunto de PPM**

Diseño de muestreo:

Fecha de instalación:

Tamaño de la muestra:

Tamaño y forma de las PPM:

Tamaño de la zona de amortiguamiento:

Fecha de identificación de las especies y nombre del profesional:

Variables medidas:

Fechas de medición y mantenimiento futuros:

Diseño de muestreo para el monitoreo de la regeneración (si lo hay):

Diseño de muestreo para el monitoreo de la biodiversidad (si lo hay):

## Historial del conjunto de PPM

<b>Intervenciones silviculturales:</b>	<b>No. PPM</b>	<b>Fecha</b>	<b>Responsable</b>
• Aprovechamiento			
• Tratamiento 1: <i>Testigo</i>			
• Tratamiento 2:			
• Tratamiento 3:			
<b>Mediciones</b>	<b>No. PPM</b>	<b>Fecha</b>	<b>Responsable</b>
• Primera medición			
• Segunda medición			
• Tercera medición			
• Cuarta medición			
• Quinta medición			
<b>Disturbios que modifiquen desarrollo del bosque</b>	<b>No. PPM</b>	<b>Fecha</b>	<b>Tipo de el disturbio</b>
• Naturales			
• Provocados por el hombre			

### Manejo de la información

Sistema de manejo de información utilizado:

Nombre de la (s) base (s) de datos:

Fecha de grabación de los datos:

Almacenamiento de datos:

### Rendimientos

<b>Actividad</b>	<b>Personal</b>	<b>Tiempos</b>
Delimitación linderos: área efectiva y subparcelas		
Delimitación linderos: zona amortiguadora		
Demarcación con mojones		
Primera medición		
Determinación de especies		
Monitoreo		

# Evaluación del sitio por subparcelas

## *Parcelas Permanentes de Muestreo en Bosque Natural*

Nombre del sitio:	No. PPM:	Subparcela	Fecha:	Anotador:	No. Página:
-------------------	----------	------------	--------	-----------	-------------

CRITERIO	DESCRIPCION		
<b>Indicadores topográficos</b>			
• Exposición de la pendiente (N-S-E-O)			
• Aspecto de la pendiente (cóncava, convexa, plana, inclinada)			
• Posición en la pendiente (bajo de colina, ladera, cima)			
• Porcentaje de pendiente			
• Elevación (msnm)			
<b>Descripción de la capa superficial del suelo</b>			
<b>Indicadores de disturbios que pueden haber modificado el desarrollo del bosque</b>	<b>Ausencia</b>	<b>Presencia</b>	<b>% Area</b>
• Aprovechamiento de productos maderables			
• Aprovechamiento no maderables (palmas, ornamentales, etc.)			
• Corta de lianas y bejucos			
• Presencia de trochas o vías de arrastre			
• Claro por caída natural de árbol o ramas			
• Fuego reciente			
• Huracanes o vientos fuertes recientes			
• Anegamiento (permanente o temporal)			
• Cursos de agua (río, quebrada, etc.)			
<b>Hábitat</b>			
• Fase de claro			
• Fase de reconstrucción (antiguos claros)			
• Fase madura del bosque (sin perturbación)			
<b>Asociaciones vegetales o especies indicadoras</b>			
<b>Altura y especie del árbol más alto</b>			







## Formulario de campo No. 3

*Registro de ingresos en Parcelas Permanentes de Muestreo  
Bosque Natural, dap  $\geq$  100 mm*

País:	Sitio:	No. PPM:	Subparcela	Fecha:	Anotador:	No. Página:
-------	--------	----------	------------	--------	-----------	-------------

NA	NE	Especie	X	Y	HDap	VDap	Dap	CD	EC	FC	LC	FF	OBSERV.

**Na:** número de árbol

**Ne:** número de eje

**Especie:** nombre vernacular de la especie

**CX - CY:** coordenadas de ubicación del árbol en la subparcela (SO-SE y SO-NE) (dm);

**Hdap:** altura de medición del dap medido arriba de 1,3 m del suelo (m)

**VDap:** validación del punto de medición (codificaciones en anexos 1a)

**Dap:** diámetro de referencia (mm)

**Cd:** condición del individuo

**Ec:** exposición a la luz

**Fc:** forma de copa

**Lc:** presencia de lianas en fuste y copa

**Ff:** forma del fuste

# Formulario de campo No. 5

## BIODIVERSIDAD - Bosque Natural

$25 \leq dap \leq 99$  mm - Cuadrado de 5 m x 5 m

Nombre del sitio:	Fecha : d/m/a _ / _ / _	Anotador:	No. Página: _ de _
No. Parcela:	No. Subparcela: - -	Existencia individuos Si   No	No. Cuadrado:

Hábitat <sup>1</sup> :	* Posición <sup>2</sup> :	* Pendiente: %
------------------------	---------------------------	----------------

No. Árbol	No. Eje	Condición <sup>3</sup>	Nombre científico	Dap	Observac.

### 1. Hábitat:

- 1: Camino
- 2: Orilla de Camino
- 3: Claro
- 4: No perturbado
- 5: Reconstrucción

### 2. Posición de subparcela:

- 1: Cima
- 2: Ladera
- 3: Bajo de colina

### 3. Condición:

- 1: Muerto en pie
- 2: Desraizado
- 3: En el suelo sin causa aparente de mortalidad
- 4: Muerto por caída de ramas/lianas de árbol no anillado
- 5: Muerto por caída de ramas/lianas de árbol anillado
- 6: Muerto por caída de árbol no anillado/aprovechado
- 7: Muerto por caída de árbol anillado/aprovechado

8.1: Dañado por caída de árbol no anillado/aprovechado o por fragmento de árbol; daño muy severo: se arrancó la copa o se rajó completamente el fuste, o se arrancó parcial o completamente el árbol.

8.2: Dañado por caída de árbol no anillado/aprovechado o por fragmento de árbol; daño severo: extensivo en fuste y/o copa; se arrancó la corteza por al menos e m del fuste, o 1/3 de la circunferencia del fuste. Se arrancó por lo menos la mitad de la copa.

8.3: Dañado por caída de árbol no anillado/aprovechado o por fragmento de árbol; cualquier daño visible pero menos severo que 1 y 2.

9.1: Dañado por caída de árbol anillado/aprovechado o por fragmento de árbol; daño muy

severo: se arrancó la copa o se rajó completamente el fuste, o se arrancó parcial o completamente el árbol.

9.2: Dañado por caída de árbol anillado/aprovechado o por fragmento de árbol; daño severo: extensivo en uste y/o copa; se arrancó la corteza por al menos e m del fuste, o 1/3 de la circunferencia del fuste. Se arrancó por lo menos la mitad de la copa.

9.3: Dañado por caída de árbol anillado/aprovechado o por fragmento de árbol; cualquier daño visible pero menos severo que 1 y 2.

\* Variables evaluadas solo durante la primera medición

# Formulario de campo No. 4

BIODIVERSIDAD - Bosque Natural

Dap  $\geq$  100 mm - Cuadrado de 20 m x 20 m

Nombre del sitio:	Fecha : d/m/a ____/____/____	Anotador:	No. Página: ____ de ____
No. Parcela:	No. Subparcela: - -	Existencia individuos Si   No	No. Cuadrado:

Hábitat <sup>1</sup> :	* Posición <sup>2</sup> :	* Pendiente: %
------------------------	---------------------------	----------------

No. Árbol	No. Eje	Coordenadas		Nombre científico	Condición <sup>2</sup>	Dap (mm)	Observaciones
		CX	CY				

## 1. Posición de subparcela:

- 1: Cima
- 2: Ladera
- 3: Bajo de colina

## 2. Condición:

- 1: Muerto en pie
- 2: Desraizado
- 3: En el suelo sin causa aparente de mortalidad
- 4: Muerto por caída de ramas/lianas de árbol no anillado
- 5: Muerto por caída de ramas/lianas de árbol anillado
- 6: Muerto por caída de árbol no anillado/ aprovechado
- 7: Muerto por caída de árbol anillado/ aprovechado
- 8.1: Dañado por caída de árbol no anillado/ aprovechado o por fragmento de árbol; daño muy severo: se arrancó la copa o se rajó completamente el fuste, o se arrancó parcial o completamente el árbol.
- 8.2: Dañado por caída de árbol no anillado/ aprovechado o por fragmento de árbol;

daño severo: extensivo en fuste y/o copa; se arrancó la corteza por al menos e m del fuste, o 1/3 de la circunferencia del fuste. Se arrancó por lo menos la mitad de la copa.

- 8.3: Dañado por caída de árbol no anillado/ aprovechado o por fragmento de árbol; cualquier daño visible pero menos severo que 1 y 2.
- 9.1: Dañado por caída de árbol anillado/ aprovechado o por fragmento de árbol; daño muy severo: se arrancó la copa o se rajó completamente el fuste, o se arrancó parcial o completamente el árbol.
- 9.2: Dañado por caída de árbol anillado/ aprovechado o por fragmento de árbol; daño severo: extensivo en uste y/o copa; se arrancó la corteza por al menos e m del fuste, o 1/3 de la circunferencia del fuste. Se arrancó por lo menos la mitad de la copa.
- 9.3: Dañado por caída de árbol anillado/ aprovechado o por fragmento de árbol; cualquier daño visible pero menos severo que 1 y 2.

\* Variables evaluadas solo durante la primera medición

# Formulario de campo No. 6

*REGENERACIÓN - Bosque natural*

*Altura  $\geq 30$  cm hasta dap  $\leq 99$  mm*

Nombre del sitio:	Fecha :	Hora de inicio:	No. Página:
No. Parcela:	No. Subparcela:	Tamaño Unidad Muestreo	Anotador:

Árbol vecino	No. placa	Clase regeneración	Especie	diámetro basal (mm)	Dap (mm)	Altura	Iluminación

Categoría de vegetación	Dimensiones
Latizal alto (I)	5,0 cm $\geq$ dap $\leq$ 9,9 cm
Latizal Bajo (II)	Altura $\geq$ 1,5 m hasta dap $\leq$ 4,9 cm
Brinzal (III)	0,3 m $\geq$ altura $\leq$ 1,49 m