

Guía para el Establecimiento, Seguimiento y Evaluación de

Sitios Permanentes de Monitoreo

en Paisajes Productivos Forestales

FONDO SECTORIAL PARA LA
INVESTIGACIÓN, EL DESARROLLO
Y LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
FORESTAL



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

José Javier Corral-Rivas

Benedicto Vargas-Larreta

Christian Wehenkel

Oscar Alberto Aguirre-Calderón

Felipe Crecente-Campo



Guía para el Establecimiento, Seguimiento y Evaluación de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Productivos Forestales

Primera edición 2013

ISBN: En trámite

Derechos reservados

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
PRÓLOGO	IV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Propósitos de la guía	1
1.2 Tipos de bosque donde aplica la metodología	3
1.3 Objetivos de un programa de monitoreo forestal	3
2 ANTECEDENTES	5
3 PLANEACIÓN ESTRATEGICA	10
3.1 Diseño de muestreo	10
3.1.1 Recomendación	12
3.2 Tamaño de muestra	14
3.2.1 Recomendación	14
3.3 Forma y tamaño del sitio	15
3.3.1 Recomendación	16
4 ESTABLECIMIENTO	18
4.1 En gabinete	18
4.2 En campo	19
5 REMEDICIÓN	21
5.1 Recomendación	23
6 INFORMACIÓN MÍNIMA A MEDIR	26
6.1 Recomendación	26
FORMATO F-01: INFORMACIÓN DE CONTROL Y ECOLÓGICA DEL SITIO	27
FORMATO F-02: INFORMACIÓN DASOMÉTRICA	35
FORMATO F-03: INFORMACIÓN DE LA REGENERACIÓN NATURAL	41
FORMATO F-04: MUESTREO DEL RECURSO SUELO	43
7 CAPTURA DE LA INFORMACIÓN	46
7.1 Recomendación	48
8 ENSAYOS DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS	51
8.1 Los ensayos de tratamientos de aclareos	51

8.2 Influencia de los aclareos en la producción de la masa	55
8.3 Influencia de los aclareos en la estabilidad mecánica de la masa	55
8.4 Influencia de los aclareos en el riesgo de incendios	57
8.5 Localización, replanteo e inventario de sitios de ensayo de aclareos	59
9 QUÉ HACER CON LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS SITIOS PERMANENTES DE MONITOREO	64
9.1 Horizonte temporal de toma de datos	64
9.2 Modelización forestal	65
9.3 Caracterización sívcola	70
10 REFERENCIAS	71
APÉNDICES	77
APENDICE 1. FORMATOS DE CAMPO	77
APENDICE 2: GUÍA RÁPIDA PARA EL LLENADO DE FORMATOS DE CAMPO	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de equipos y materiales necesarios para instalar un sitio de 50 x 50 m en paisajes productivos forestales.	18
Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio	27
Tabla 3. Información dasométrica	35
Tabla 4. Información de la regeneración natural	41
Tabla 5. Información del recurso suelo.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de la aplicación del muestreo aleatorio (derecha) y del uso de una malla de puntos para la instalación de sitios utilizando muestreo sistemático (izquierda).....	11
Figura 2. Representación esquemática de un sitio permanente de 0.25 ha, de acuerdo a la recomendación de esta guía.	17
Figura 3. Esquematación de la delimitación de un Sitio Permanente de Investigación Forestal y de Suelos en paisajes productivos forestales.	20
Figura 4. Desarrollo de un sitio permanente con tres medidas sucesivas. El eje “t” representa el tiempo.	21
Figura 5. Esquema recomendado para registrar el tipo de fisiografía del área donde se estableció el sitio (Fuente: CONAFOR, 2009).	34
Figura 6. Casos más comunes de medición del diámetro a la altura del pecho (dap).....	38
Figura 7. Caso en el cual se pueden realizar dos mediciones.	39
Figura 8. Caso en el cual sólo se permite realizar una medida por la parte superior.	40
Figura 9. Distribución de las cuatro subparcelas de regeneración natural dentro del Sitio de Investigación Forestal y de Suelos.	42
Figura 10. Ilustración de la ubicación de puntos para la toma de muestras de suelo dentro de cada sitio.	45
Figura 11. Ejemplo de tres parcelas de aclareos situadas en un mismo sitio de monitoreo, donde no se ha realizado tratamiento (a), se ha realizado un aclareo bajo moderado (b) y se ha realizado un aclareos bajo fuerte (c).....	62
Figura 12. a) Ejemplo de datos de edad-altura dominante para parcelas temporales (medidas en una sola ocasión); b) Ejemplo de datos de edad-altura	

dominante para parcelas de intervalo (medidas en dos ocasiones); c) Ejemplo de datos de edad-altura dominante para parcelas permanentes (medidas en más de dos ocasiones). 65

Figura 13. Representación gráfica de los horizontes del suelo que deben ser considerados en el establecimiento de sitios permanentes de investigación forestal. 81

PRÓLOGO

El fomento a la protección, conservación, manejo sustentable y restauración de los recursos forestales es una tarea impostergable y urgente. Los dueños y poseedores de terrenos forestales, la comunidad profesional y científica, las organizaciones no gubernamentales, las diversas instituciones gubernamentales y la sociedad en su conjunto tienen sin duda el compromiso de identificar el mejor uso de los recursos sobre todo cuando éstos producen la enorme cantidad y variedad de bienes públicos como aquellos que producen los bosques. Este compromiso va más allá de los beneficios económicos derivados del uso presente y futuro de esta riqueza, y trastoca un compromiso de carácter ético y moral con las futuras generaciones de preservar nuestros ecosistemas.

El conocimiento de esta riqueza es pieza fundamental para administrarla, protegerla y preservar esos valores que la hacen tan importante. Este conocimiento debe ir más allá de la simple definición de su extensión y/o una caracterización que se limite a una descripción estática de sus componentes o sus variables demográficas. Conocer su estructura, dinámica de desarrollo y comportamiento, así como la resiliencia ante la presencia de diferentes agentes de disturbio es pieza clave para generar políticas públicas, acciones concretas o prácticas en torno a manejar de forma sustentable estos recursos, o bien identificar las mejores alternativas de reducción del riesgo de degradación o liquidación de los mismos.

La dinámica de cambio en la cobertura forestal ha sido el tema preferido de biólogos y forestales durante años. El tema ha evolucionado tanto en perspectiva de análisis como en metodología, progresando desde las simples descripciones de dinámica demográfica, hasta incluir detalles muy finos sobre el comportamiento de la dinámica poblacional de estos ecosistemas ante factores bióticos, abióticos, socioeconómicos y políticos. Evidentemente, la mayor complejidad de los análisis y aproximaciones de estudio de la dinámica ha requerido toda una evolución en la forma de recopilar información, y motivado la

creación de estándares de medición, incluso multivariada, ha obligado a la definición clara de indicadores y líneas basales de comparación, e incluso hasta ha promovido el complejo desarrollo de estrategias de análisis econométrico y estadístico que consideren efectos de muestras o poblaciones contra factuales antes y/o después de la aplicación de intervenciones de política pública, tratamientos culturales o incluso la presencia de disturbios, mismos que consideran una serie de imponderables en la medición y seguimiento de las muestras o poblaciones observadas.

Tal complejidad exige mayor información y precisión en el monitoreo de los ecosistemas, así como la integración de equipos multidisciplinarios de recursos humanos para la conceptualización y puesta en marcha de criterios, indicadores, estrategias y mecanismos de monitoreo y en especial, la formación de capital humano, que no solo entienda, sino que opere las complejas estrategias de monitoreo. Si bien los desarrollos tecnológicos y metodológicos han facilitado estos cambios evolutivos y su asimilación, es muy importante la difusión de los mismos, de aquí la imperante necesidad de construir instrumentos de difusión claros, sólidos y prácticos sobre el tema de monitoreo de recursos forestales.

Lo anterior resalta la enorme importancia académica, operativa y formativa del presente volumen, que compila una serie de recomendaciones prácticas con profundo sustento y rigidez científica sobre las diferentes alternativas de realizar el monitoreo de sitios forestales. La obra es un rico aporte a la comunidad académica y profesional no solo por su contenido e información vertida, sino por representar un instrumento de referencia muy práctico y claro sobre el tema. Este trabajo refleja una profunda experiencia y conocimiento sobre el monitoreo de recursos forestales y la utilidad de esta información para generar recomendaciones prácticas de labores silvícolas, alternativas de manejo forestal y decisiones de cosecha. De aquí que este volumen refleja un compendio de aprendizajes y experiencias sobre el tema y representará un trabajo de

referencia para cualquier práctico o académico interesado en el monitoreo de recursos forestales y su aplicación al diseño de alternativas de cultivo forestal y mecanismos de toma de decisiones.

¹Dr. Juan Manuel Torres Rojo y ²Klaus von Gadow

¹Profesor Investigador del Centro de Investigación y Docencia Económicas,
A.C.

²Profesor de la Universidad de Göttingen, Alemania

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Propósitos de la guía

En México se usan varias metodologías para el establecimiento de sitios permanentes de investigación silvícola y ecológica en bosques naturales. Estos procedimientos varían en algunos criterios tales como en el diseño de muestreo para su ubicación, el tamaño y la forma de los mismos, la información mínima a medir, etc. Esta diversidad de criterios ha traído como consecuencia dificultades para analizar, comparar e interpretar las mediciones. El propósito de esta guía metodológica estandarizada es, por tanto, presentar un método práctico y con bases científicas para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos en paisajes productivos forestales. Para ello, se ha recolectado la experiencia acumulada y las técnicas propuestas en el país, así como otros lugares del mundo, hasta producir la presente guía, que pretende ser recomendada como un estándar nacional con aplicación en bosques templados y tropicales.

El desarrollo de esta guía consideró un análisis de las siguientes propuestas desarrolladas para México: Manzanilla (1993), Olvera *et al.* (1996), Valles y Quiñones (2004) y Corral-Rivas *et al.* (2009); y de otros procedimientos publicadas en diversos países (USDA, 1935; Robertson y Mulloy, 1944; 1946; Hummel *et al.*, 1959; Decourt, 1973, Forestry Commission, 1979; Synnott, 1979; 1991; Adler, 1990; Condit, 1998).

La guía presenta los requerimientos básicos para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos que deben ser considerados por aquellos que se interesan en dar seguimiento a la evolución de superficies forestales y existencias maderables, aspectos relacionados con la sanidad y la biodiversidad de los sistemas forestales, la productividad del suelo, los daños producidos por actividades antropogénicas, la modelización forestal, etc. En la guía se describen los

detalles de la metodología recomendada, de tal manera que se logre la compatibilidad tanto en los métodos de campo como en la creación de las bases de datos. Se pretende, además, contribuir a la disminución de la presencia de errores comunes durante las etapas de planeación, establecimiento y medición de los sitios. La mayoría de las técnicas descritas en esta guía son compatibles y aplicables en sitios de 0.05, 0.1, 0.25 y de 1.0 hectáreas.

La utilización de esta guía por manejadores e investigadores forestales permitirá contar con bases de datos compatibles, de tal manera que los resultados de diferentes investigaciones lleguen a ser comparables. Además, la información colectada puede constituir la base para la creación de un sistema nacional de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos. Por otra parte, esta guía puede concebirse como una herramienta útil para todos aquellos que tienen la necesidad de diseñar e implementar un sistema de monitoreo forestal de acuerdo con la intensidad y grado de complejidad de las prácticas silvícolas que realizan, ya que considera los requerimientos del estándar genérico del Consejo de Manejo Forestal (FSC, por sus siglas en inglés) y comparte el objetivo de promover prácticas de manejo sostenibles.

El establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos no es una tarea fácil, por lo que no se pretende que esta metodología sea considerada como un procedimiento completo y definitivo. Por el contrario, es deseable el desarrollo y empleo de otras técnicas que puedan ser más adecuadas localmente o para resolver propósitos especiales. En ese sentido, los autores agradecerán cualquier aportación, comentario o sugerencia para que sea considerada en futuras revisiones.

Los formatos para coleccionar la información de los sitios y los catálogos de codificación presentados en la guía, son compatibles con los que se emplean en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos, por lo que representan una

oportunidad para que los manejadores, propietarios e investigadores forestales los utilicen como un estándar aplicable a nivel nacional, tanto en el establecimiento de sitios de investigación como en la realización de inventarios con fines de manejo forestal.

Se asume que el usuario posee conocimientos básicos en medición forestal y experiencia en inventarios forestales. El problema del diseño o tipo de muestreo para la localización de los sitios se discute con especial énfasis ya que desde un punto de vista metodológico, este es uno de los aspectos más relevantes para el análisis de los datos, la extrapolación, la generalización y la validez de los resultados (Corral-Rivas *et al.*, 2009).

1.2 Tipos de bosque donde aplica la metodología

Los procedimientos descritos en esta guía fueron diseñados para ser utilizados especialmente en rodales mixtos e irregulares de bosques templados y tropicales en producción. En México la mayoría de estas áreas o masas arboladas son de segundo crecimiento, establecidas a través de regeneración natural y relativamente abiertas. El monitoreo de selvas altas con estructura compleja en mezcla de especies y clases de edad requiere de realizar ciertas adaptaciones en el tamaño del sitio y las variables a evaluar. Los procedimientos descritos por Synnott (1992) y Condit (1998) pueden utilizarse como referencia para realizar tales adaptaciones.

1.3 Objetivos de un programa de monitoreo forestal

Hasta el momento, la información derivada de sitios permanentes (aquellos medidos por lo menos tres veces sucesivas) representa la base más importante para obtener resultados sobre el crecimiento, producción y evolución de las masas forestales (Gadow *et al.*, 1999). Un programa de monitoreo a través del establecimiento de parcelas permanentes permite a los manejadores e investigadores forestales observar diversas variables silvícolas, económicas, ecológicas, sociales y culturales relevantes, y coleccionar evidencia objetiva en

términos de información base. Esta información es sumamente importante para conocer el grado de cumplimiento de los objetivos planteados respecto a la conservación y uso adecuado de la biodiversidad, al mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, al mantenimiento y mejoramiento de los valores relevantes del bosque, propuestos en los programas de manejo. Asimismo, es primordial para detectar impactos negativos e indicadores clave para el manejo forestal sostenible. Los impactos negativos que interesa conocer son aquellos resultantes del manejo, por lo que pueden reducirse o eliminarse de ser necesario mediante modificaciones al plan de manejo, de manera que se logren prácticas de manejo forestal sostenibles.

Los sitios permanentes establecidos a través de la presente metodología pretenden entre otros aspectos alcanzar los siguientes objetivos:

- a) Generar la información necesaria para el desarrollo y validación de modelos de crecimiento (diámetro, altura, volumen, incorporación, mortalidad, índice de sitio, etc.) muy útiles en la elaboración y ejecución de los programas de manejo forestal.
- b) Estimar el potencial productivo del sitios forestales.
- c) Proporcionar datos sobre el efecto de la silvicultura en el crecimiento de especies comerciales, así como sobre las características físicas y químicas del suelo.
- d) Evaluar cambios a largo plazo (mejoramiento o degradación) en el sitio y su capacidad productiva.
- e) Caracterización y modelización de la estructura espacial de los rodales.
- f) Cumplir con el principio 8 (Monitoreo y evaluación) del estándar de certificación forestal del Consejo de Manejo Forestal (FSC).
- g) Desarrollo de indicadores clave para el manejo forestal sostenible.

2 ANTECEDENTES

En la actualidad son numerosos los ejemplos del establecimiento y uso de redes de sitios permanentes de monitoreo forestal. En Alemania, el Centro de Investigaciones Forestales del estado de Baja Sajonia, ubicado en Göttingen, cuenta con una red de más de 4,000 sitios permanentes, que abarcan una superficie de 2,780 ha (NFV, 1996). En ellos se investigan 89 especies y el sitio más antiguo se instaló hace 120 años.

En Francia, el servicio forestal tiene establecidos 102 sitios permanentes, los cuales serán monitoreados por lo menos durante 30 años. Cada sitio cubre una superficie de 2 ha, de las cuales 0.5 ha se encuentran cercadas (FPPNMFE, 1992). El objetivo principal de estos sitios es detectar cambios a largo plazo en el funcionamiento de los ecosistemas forestales.

En la provincia de New Brunswick, Canadá, el servicio forestal mantiene desde 1987 una red de 2,500 sitios permanentes localizados en toda la provincia (Wang *et al.*, 1986). Las características del sitio y de la vegetación se miden en periodos de 3 y 5 años para desarrollar y validar modelos de crecimiento y para evaluar los cambios en la estructura de los rodales.

En España, el centro de Investigaciones Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Agroalimentarias, mantiene una red formada por aproximadamente 400 sitios permanentes, establecidos en masas de *Pinus sylvestris*, *P. pinaster*, *P. nigra* y *P. pinea*, junto con 15 sitios de ensayos de aclareos (con varias parcelas cada uno) de las tres primeras especies (Gadow *et al.*, 1999).

En México, a diferencia de otros países, el establecimiento de sitios permanentes apenas cumple los 60 años (Manzanilla, 1993). Según Manzanilla (1993), entre los años 1950 y 1980 se lograron establecer 955 sitios permanentes de investigación forestal, distribuidos mayormente en bosque templado pero también en el trópico. Su tamaño era variable desde 0.1 hasta 1

ha, y se tenían registradas más de 300 especies vegetales. Actualmente, se sabe que casi la totalidad de ellos se han abandonado y se desconoce cuántos se mantienen en operación.

Los problemas que se enfrentaron para que no hubiese un avance en el procesamiento de la información proveniente de los sitios permanentes en México, se relacionan con la falta de personal especializado para definir los niveles de integración de la información, los resultados a obtener y la aplicación de los mismos al manejo de los recursos forestales, así mismo no se contaba con la infraestructura suficiente y equipo de cómputo para el manejo y procesamiento de grandes volúmenes de información, problemas que actualmente han sido superados.

Recientemente en México el proceso de evaluación del manejo forestal con propósitos de certificación utilizando los principios y criterios del estándar genérico del Consejo de Manejo Forestal (FSC, por sus siglas en inglés), ha permitido observar que una de las mayores debilidades del manejo forestal es la carencia de un sistema de monitoreo, que permita evaluar el cumplimiento de los objetivos propuestos en los programas de manejo y que a la vez, haga posible determinar la ocurrencia, dirección e importancia de los cambios que suceden en indicadores clave de la calidad del manejo de los recursos forestales (Corral-Rivas *et al.*, 2009). Este monitoreo es necesario para conocer los cambios que ocurren en los componentes bióticos y abióticos del bosque como respuesta a las operaciones de manejo forestal; por ejemplo, rendimiento y dinámica del bosque (tasas de crecimiento, cambios en la estructura y composición por efectos del aprovechamiento, estado o respuesta de la regeneración natural, etc.); impactos del aprovechamiento sobre otros recursos y servicios del bosque (suelos, agua, paisaje, flora y fauna silvestre), entre otros. Cuando no se cuenta con un sistema de este tipo es difícil realizar revisiones y modificaciones a los programas de manejo, o demostrar y tomar conciencia del nivel de impacto de las prácticas de aprovechamiento,

perdiendo, por tanto, la oportunidad de establecer estrategias para su mejoramiento sistemático.

A continuación se presenta una reseña de las principales metodologías que se han propuesto para estudiar los bosques del país.

Manzanilla (1993) propone el establecimiento de sitios cuadrados de 100 por 100 m con una franja de protección de 25 m en el perímetro de la parcela, donde se colecta información general del sitio. Mientras que el área donde se colecta la información dendrométrica queda reducida al cuadrado central de 50x50 m. Los objetivos de de la metodología de Manzanilla (1993) son proporcionar al personal técnico y científico encargados del manejo del bosque una metodología sencilla de investigación forestal, que proporcione la información necesaria para estudiar la estructura y dinámica del ecosistema forestal, así como seleccionar adecuadamente las técnicas silvícolas y elaborar un buen plan de manejo. El sistema de muestreo que recomienda es sistemático estratificado (selección de las diferentes condiciones de dinámica estructural). Si el estudio abarca además de la estructura arbórea a otros factores del medio ambiente puede ser completamente al azar. Las remediciones deberán hacerse cada año en los trópicos o en lugares de especies de rápido crecimiento y cada 5 años como máximo en las zonas templado-frías. Cabe mencionar que un número importante de sitios establecidos en el país a través de esta metodología, cumplen totalmente con las especificaciones metodológicas, ya que el cuadrado central ha sido reducido a un área de 30x30 m, en lugar de los 50x50 m propuestos por el autor.

Synnott (1991) propone el uso de sitios de una hectárea de forma cuadrada para bosques tropicales. El área del sitio se divide en subparcelas cuadradas de 10x10 m o de 20x20 m para facilitar la medición y la localización de brinzales y sugiere un sitio por cada 150 o 200 ha en bosques de estructura compleja, mientras que en bosques uniformes 1 sitio por cada 250 a 400 ha. Con la información obtenida se busca caracterizar la masa, conocer la

composición del rodal, evaluar los incrementos en volumen y altura, la mortalidad y la incorporación. Este autor recomienda hacer la primera remediación en un intervalo de un año y las mediciones sucesivas a intervalos que se pueden extender hasta los cinco años.

Olvera *et al.* (1996) proponen el uso de sitios de forma circular con un radio de 12.6 m (500 m²), debido principalmente a la facilidad para ser trazados. En cada área de muestreo, recomiendan el establecimiento de un grupo de 3 sitios circulares concéntricos a una distancia de 100 a 150 m uno de otro. Proponen evaluar el arbolado mayor a 5 cm de diámetro normal en un sitio de 500 m², y en un sitio de 50 m² los árboles menores a 5 cm. La regeneración considera al arbolado menor a 1.30 m de altura y se registra en 8 cuadros de 1 m² ubicados de manera sistemática a 2 y 4 m del centro del sitio, 4 paralelos a la pendiente y 4 perpendiculares a ésta. Para la localización del sitio, el centro debe quedar marcado con una estaca de 1.30 m de altura, pintada de color fácilmente visible, con una placa de aluminio que contenga los datos del sitio, y con una estaca de hierro de 50 cm de largo que, cuando menos, permanezca hasta la primera remediación. Además, menciona que es conveniente registrar la distancia y el azimut de tres árboles con respecto al centro del sitio.

Valles y Quiñones (2004) sugieren parcelas cuadradas de 50x50 m con una parcela útil de 30x30 m y una franja de protección de 10 m en su perímetro. Para la delimitación en campo se recomienda usar estacas de madera de 2 por 2 pulgadas y de 80 cm de largo para los vértices de la parcela, una estaca de metal de 80 cm de largo para el centro del sitio. Las estacas se colocan en los cuatro vértices tanto de la parcela grande (50x50 m) como de la parcela central (30x30 m). La parcela central se divide en cuatro cuadrantes de 15x15 m, numerados en sentido contrario a las manecillas del reloj. La elección del área en donde se establecerán los sitios, se define con base en la distribución de especies, el tratamiento silvícola o bien por área de corta. Esta metodología

puede ser considerada como una modificación a la propuesta de Manzanilla (1993) y se ha utilizado principalmente en el estado de Durango.

Corral-Rivas *et al.* (2009) propone el uso de sitios cuadrados de 50x50 m, delimitados a través de cinco puntos de referencia (varillas corrugadas de 40 cm o clavos de 8 pulgadas de largo), uno en el centro y cuatro más en las esquinas. La información del sitio se registra en cuatro formatos: información de control del sitio, silvícola y dasométrica, de la regeneración natural y del recurso suelo. La ubicación de los árboles dentro del sitio se realiza a través de la medición de la distancia y el azimut de cada individuo desde el centro. En este trabajo se menciona que el diseño de muestreo desde un punto de vista metodológico es uno de los aspectos más relevantes para el análisis de los datos, la extrapolación, generalización de los resultados y su validez. Recomiendan además usar a nivel de predio o de región forestal una malla de muestreo sistemática de tres a cinco km, dependiendo tanto de la superficie del área de estudio, como de disponibilidad de recursos. En el caso del bosque templado recomiendan remediciones cada cinco años.

3 PLANEACIÓN ESTRATEGICA

3.1 Diseño de muestreo

Las observaciones hechas con datos de sitios permanentes son de interés para la comunidad forestal. Con el fin de ser útiles, dichos datos deben cumplir con ciertos estándares de calidad. Para cumplir estos objetivos se requiere de la aplicación de metodologías reproducibles en el establecimiento de los sitios.

El diseño de muestreo es la parte que requiere mayor cuidado, ya que de éste depende el tipo de análisis e interpretación a realizarse (Corral-Rivas *et al.* 2009). Para que un muestreo sea lo suficientemente representativo y confiable, debe estar bien diseñado. Esto quiere decir que en la muestra que se tome debe considerar la mayor variabilidad posible de población estadística. Del diseño de muestreo depende el análisis de los datos, la extrapolación y generalización de los resultados y su validez. En consecuencia, un programa de monitoreo sólo puede generar información confiable si cuenta con un buen diseño de muestreo.

Los diseños o tipos de muestreo que comúnmente se utilizan en el establecimiento de sitios permanentes son el muestreo aleatorio, el muestreo sistemático y el dirigido o subjetivo.

Muestreo aleatorio

La ubicación aleatoria, o al azar, de un sitio es algo simple, pero resulta imprescindible entender que deben seguirse ciertas reglas y que la aleatorización no tiene nada que ver con la selección subjetiva de la ubicación de los sitios. Por lo general, se utiliza un mapa del área de interés con un sistema de coordenadas locales (o geodésicas). Se determinan pares de números como coordenadas de puntos aleatorios. Los puntos aleatorios que caen fuera de la región de interés no se toman en cuenta. Este procedimiento se repite hasta alcanzar el número deseado de puntos dentro de la región

boscosa donde se pretenden instalar los sitios (ver Fig. 1). La ubicación de los sitios en forma aleatoria garantiza, por ejemplo, que la estimación de los efectos de los tratamientos silvícolas sea válida y cumpla con los requerimientos necesarios en inferencia estadística (Kleinn y Morales, 2002).

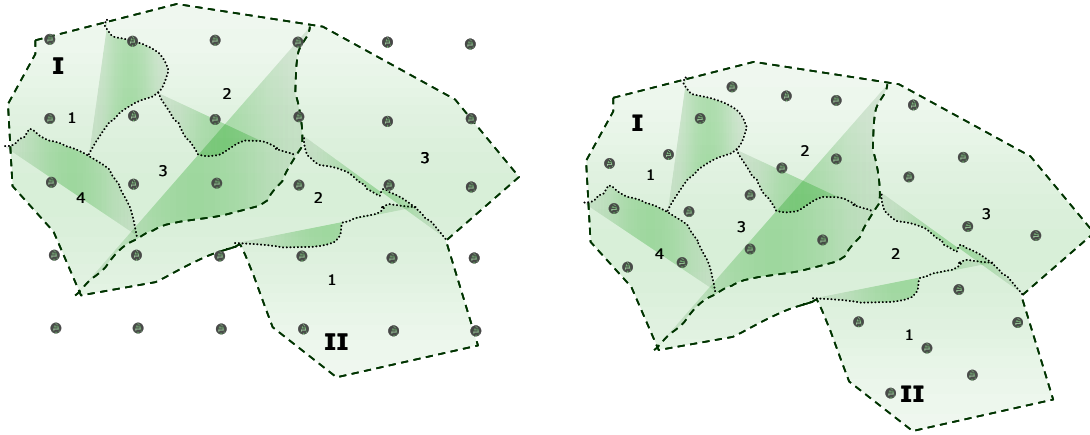


Figura 1. Representación gráfica de la aplicación del muestreo aleatorio (derecha) y del uso de una malla de puntos para la instalación de sitios utilizando muestreo sistemático (izquierda).

Muestreo sistemático

En el ámbito forestal, el muestreo sistemático es muy aplicado en el establecimiento de sitios de investigación. En este caso no se está considerando una aleatorización a nivel de sitio. Lo más común es emplear mallas cuadradas que son sobrepuestas sobre la región de interés con la ayuda de una computadora. En cada punto de la malla se establece un sitio, por lo que la distancia entre los sitios vecinos es la misma (Fig. 1). La posición de la malla puede orientarse con las coordenadas geográficas o seleccionando un lugar aleatorio como punto de inicio, y orientando la malla también al azar con respecto a ese punto de inicio.

Muestro dirigido o subjetivo

Este tipo de muestreo, algunas veces referido como “muestreo representativo” consiste en localizar los sitios de manera dirigida. Dichos sitios se establecen de acuerdo con las preferencias de los manejadores o investigadores forestales sin seguir un sistema aleatorio ni sistemático dentro de la población de interés. Debido a ello, los resultados de las mediciones no pueden ser fácilmente extrapolados al total de la población que interesa y la validez de los mismos está limitada a los sitios experimentales. Lo anterior pone en duda la eficacia de las deducciones de muchos de los trabajos que se ejecutan con este tipo de muestreo, lo cual, por supuesto, puede ser un grave problema, dado que la credibilidad de un experimento o investigación depende de que se demuestre la replicabilidad de los métodos con que fueron llevados a cabo.

No obstante, el muestreo subjetivo es ampliamente utilizado en estudios ecológicos, particularmente debido a que los sitios seleccionados de esta forma pueden incluir una mayor variabilidad de condiciones que al ser seleccionados con esquemas más formales, y además puede ser un muestreo eficiente en términos de tiempo (Allen, 1993). En este sistema de muestreo se debe confiar en los expertos que estuvieron a cargo de la selección de los sitios. Sin duda, ellos son los que tienen la experiencia para hacer una buena estimación de muchos de los atributos y cambios del bosque; sin embargo, se debe mencionar que, en estos casos, todo depende del juicio de los expertos, y que no se pueden aplicar herramientas estadísticas que vayan más allá de la descripción de lo encontrado en cada uno de los sitios (tipo estudio de caso).

3.1.1 Recomendación

En un muestreo aleatorio puede ocurrir que algunos sitios se localicen cerca de otros y que cierta área de la población no contenga ningún sitio (como ocurre en la unidad de manejo 2, que se muestra en la parte derecha de la fig. 1); mientras que el muestreo sistemático asegura una cobertura uniforme del área

de interés, sea el total de la población o parte de ésta (parte izquierda de la fig. 1). Por otro lado, el muestreo subjetivo puede ser recomendado para realizar diagnósticos rápidos y de bajo costo, pero para el establecimiento de sitios permanentes de medición a largo plazo es recomendable evitar este tipo de metodologías de selección, que presentan problemas de orden metodológico, ya que no es fácil que un experto pueda prever cuándo un sitio será “típico” con respecto a un grupo de variables de interés.

Por lo general, el muestreo sistemático es más preciso que el aleatorio. Esto tiene que ver con lo mencionado antes acerca de que la malla cubre el total de la población de manera uniforme. Lo anterior es válido para mallas rectangulares y triangulares. La ganancia en precisión depende de la estructura de la masa y puede ser alta, especialmente en bosques mixtos e irregulares, donde predominan las estructuras complejas (Corral-Rivas *et al.*, 2009). Además, en el muestreo sistemático, tan pronto como el diseño del sitio y la intensidad de muestreo están definidos, sólo se deben tomar tres decisiones principales:

- a) Definición de la forma y del tamaño de la malla de muestreo (cuadrada, rectangular, triangular, etc.).
- b) Definición del punto de inicio para la malla.
- c) Definición de la orientación de la malla. En la mayoría de los casos, la malla es posicionada sobre un sistema de coordenadas geográficas, empezando en un punto con pares de coordenadas, aunque ambos, orientación y punto de inicio, deberían ser escogidos de forma aleatoria desde un punto de vista estrictamente teórico.

Debido a que la asignación de los sitios es más objetiva, los resultados del muestreo sistemático conllevan por lo general a una mayor confiabilidad que los obtenidos por medio de muestreos aleatorios o subjetivos.

Con base en la información científica revisada, y de acuerdo con las

características de las áreas forestales del país, en esta guía se recomienda usar a nivel de predio o de región el muestreo sistemático, con una malla de puntos equidistantes que puede variar de tres a cinco km, dependiendo del tamaño del área en la que se pretende establecer el sistema de monitoreo.

3.2 Tamaño de muestra

El número de sitios por región o predio depende de ciertos factores que deben ser considerados para lograr los objetivos planteados con el establecimiento de los mismos.

La cantidad de recursos disponibles es sin duda un aspecto importante, ya que los altos costos asociados con los inventarios usualmente conllevan a una reducción en el tamaño de la muestra. El costo del establecimiento de los sitios de muestreo es variable, y refleja la naturaleza y accesibilidad del terreno. El nivel de precisión requerido es otro aspecto importante que debe ser considerado cuando son requeridas pruebas y comparaciones estadísticas.

3.2.1 Recomendación

Considerando la recomendación anterior respecto a la malla de muestreo y con base en la experiencia ganada por los autores en el país para predios forestales cuya superficie en producción sea inferior a 10,000 ha se recomienda utilizar una malla de muestreo con puntos equidistantes de 3 km, mientras que para ejidos o comunidades que superan esta superficie la malla podría ser de hasta 5 km, dependiendo de la accesibilidad del terreno y de los recursos disponibles.

La Figura 2 muestra un estudio de caso que corresponde con el establecimiento de una red de 100 Sitios Permanentes de Investigación Forestal establecidos en los bosques de la Unidad de Manejo Forestal Regional (UMAFOR) 1001 que se localiza en la región Noroeste del estado de Durango, abarcando una superficie de 1'142,916 ha. Los sitios se fueron establecidos mediante muestreo sistemático con una malla con puntos equidistantes cada 5 kilómetros, siguiendo la recomendación de la presente guía (Corral-Rivas *et al.*,

2011). En la Figura 2 se observa que en la práctica resulta difícil establecer la totalidad de los sitios en los puntos previamente definidos a través de la malla, ya es probable que los mismos hayan sido proyectados en áreas desprovistas de vegetación, inaccesibles, o sobre caminos forestales. En estos casos la recomendación es ubicarlos en el punto más cercano al originalmente planeado, intentando no sobrepasar un radio de 200 m.

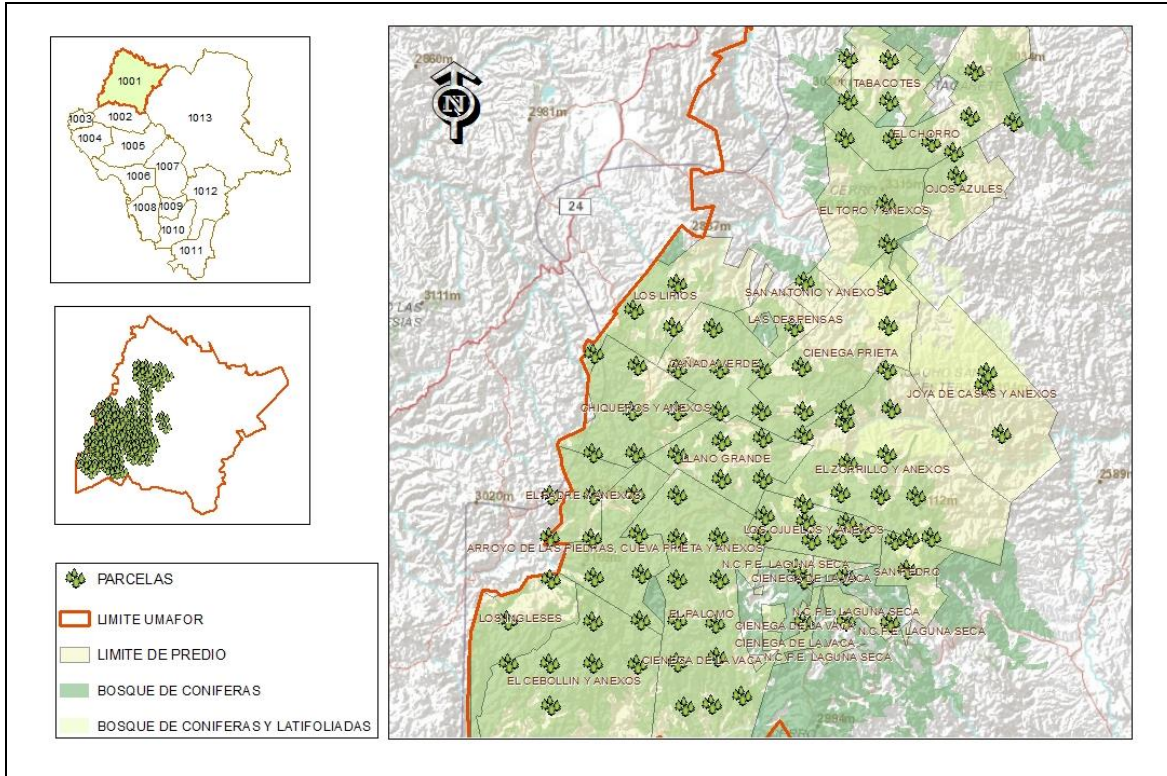


Figura 2. Distribución de una red de 100 Sitios Permanentes y de Investigación Forestal en Bosques de la UMAFOR 1001 en el estado de Durango.

3.3 Forma y tamaño del sitio

La forma de los sitios está determinada por la conjunción de dos criterios básicos: por un lado, la relación perímetro-superficie del sitio debe ser mínima; de este modo, se consigue reducir los problemas que se presentan en los bordes de las parcelas para determinar si un árbol debe ser incluido o no; por otro lado, el número de puntos de referencia (esquinas) del sitio debe reducirse

siempre y cuando esto no suponga un inconveniente para su replanteo (Gadow y Hui, 1999).

La forma que mejor se ajusta a los dos criterios descritos es el círculo; sin embargo, los sitios circulares presentan dos grandes inconvenientes:

- Los límites son difíciles de establecer y la dificultad aumenta proporcionalmente al tamaño del sitio.
- Al estar definidos por una única referencia (su centro) su localización se complica cuando se pretende realizar mediciones sucesivas.

La siguiente opción por número de puntos de referencia son los sitios triangulares. Este tipo de sitios son poco empleados debido a su alta relación perímetro-superficie y a la dificultad que presenta su replanteo frente a las parcelas rectangulares o cuadradas.

Los sitios más empleados son las rectangulares o cuadradas por varios motivos:

- Los límites son fáciles de reconocer al estar marcados por líneas rectas con ángulos de 90°.
- Son sencillos de replantear con el empleo de cintas métricas y brújulas.
- Su localización posterior se ve facilitada al contar con cuatro puntos de referencia (sus esquinas).

3.3.1 Recomendación

Los sitios cuadrados presentan una ventaja sobre los sitios rectangulares al tener una relación perímetro-superficie menor.

El tamaño de los sitios debe ser lo suficientemente grande como para obtener una muestra representativa de la masa estudiada con respecto a la edad, calidad de estación, especies y características de la masa. En los estudios de crecimiento y producción de masas regulares monoespecíficas, el

tamaño varía de modo que se incluya un mínimo de 30 árboles inventariables dentro del sitio. Las dimensiones más empleadas van desde los 625 m² (25 x 25 m) hasta los 1000 ó 1500 m². En masas mixtas, el tamaño debe aumentar considerablemente en función del número de especies, proponiéndose en esta guía un tamaño mínimo de sitio de 50 x 50 m (0.25 ha) (fig. 3).

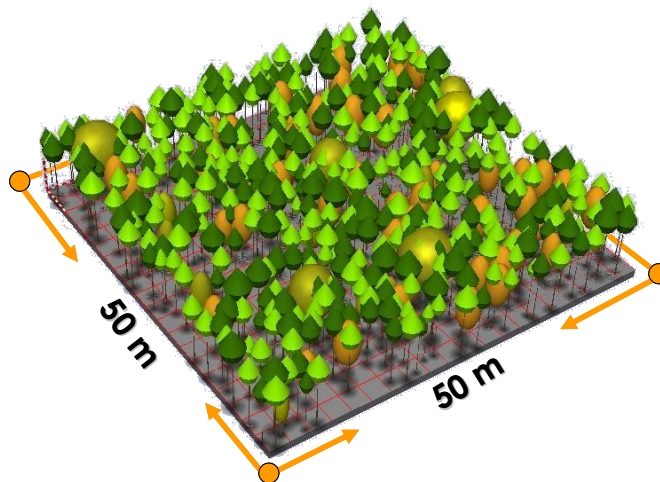


Figura 3. Representación esquemática de un sitio permanente de 0.25 ha, de acuerdo a la recomendación de esta guía.

La recomendación anterior tiene su fundamento en los hallazgos de Villa (2011), quien estudió la eficiencia de siete tamaños de sitio (20x20m, 25x25m, 30x30m, 35x35m, 40x40m, 45x45m y 50x50m) para describir la diversidad y estructura espacial de rodales mixtos e irregulares en el estado de Durango. Los resultados del análisis señalan que para la caracterización de algunos componentes como la mezcla de especies promedio (Gadow, 1993), se requiere un tamaño mínimo de sitio de 45x45m, recomendando por tanto, un tamaño similar al de esta propuesta (50x50m) con la finalidad de que sea un múltiplo de la hectárea y se facilite la extrapolación de la información sujeta a estudio.

4 ESTABLECIMIENTO

4.1 En gabinete

Los Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos (SPIFS) que se pretenda instalar en una determinada región o predio deben ser ubicados primeramente sobre el mapa forestal. Una lista de los materiales y equipos de medición necesarios para la instalación y evaluación de los mismos debe ser definida durante esta etapa. Es importante que todos los equipos de medición estén en buen estado y con la escala y numeración claramente visibles, particularmente las forcípulas. La tabla 1 muestra el equipo necesario para el establecimiento y la medición de un SPIFS de 50 x 50 m.

Tabla 1. Lista de equipos y materiales necesarios para instalar un sitio de 50 x 50 m en paisajes productivos forestales.

Cantidad	Descripción
1	Forcípula de aluminio de 80 cm
1	Receptor de GPS (<i>Global Positioning System</i>)
3	Cintas <i>flaggings</i> (color naranja)
5	Estacas metálicas (p. ej., clavos de 6" para construcción de 40 cm de largo)
1	Cinta diamétrica de 5 m
1	Hipsómetro Vertex III o posterior
1	Brújula para medir azimut
300	Placas de aluminio o plástico (2.5 x 5 cm)
300	Clavos de aluminio de 2½"
1	Martillo
1	Mapa forestal del predio
1	Lata de pintura acrílica para el marcado de árboles
1	200 metros de rafia para delimitación del sitio

4.2 En campo

El trabajo de campo debe ser dirigido por un técnico forestal con conocimiento de inventarios forestales, apoyado por personal de campo (cuatro personas). Es preferible capacitar a los ayudantes antes de efectuar las actividades para obtener buenos resultados y optimizar el trabajo en la instalación, o si ya participaron en actividades similares, se debe aclarar la metodología y enfatizar en la precisión de las mediciones.

Para empezar la instalación se debe ubicar un punto de origen, que será el centro de la parcela cuyas coordenadas rectangulares serán (25,25). A partir del punto (25,25) se debe trazar una línea con rumbo Norte, después otra hacia el Este, en seguida otra con rumbo Sur, cerrando el cuadrado con una cuarta línea hacia el Oeste (fig. 3). Para evitar errores en el cierre del sitio, los rumbos deben ser controlados, desde el inicio, con brújula. Sobre las líneas se deben fijar estacas cada 25 m, pintadas o con un pedazo de cinta flagging (plástico de color visible). Éstas servirán para la marcación de las 4 subparcelas o cuadrantes de 25 x 25 m. Las coordenadas geográficas del sitio se levantan con el GPS en el centro de la parcela, aunque por problemas de visibilidad no siempre es posible; por lo tanto, el punto GPS puede tomarse en el lugar más cercano al centro. De ser así se debe determinar su distancia y azimut desde el punto (25,25).

Todas las distancias toman como referencia un plano horizontal; en terrenos inclinados se deben realizar correcciones según la pendiente. Si no se cuenta con aparato de medición que proporcione la distancia horizontal desde el centro del sitio hacia los árboles muestra (por ejemplo, un hipsómetro Vertex III o IV), se recomienda utilizar la siguiente expresión para obtener la distancia corregida:

$$\text{Distancia corregida} = \frac{\text{distancia medida en el terreno}}{\sqrt{1 + (\text{Pendiente}(\%) / 100)^2}} \quad [1]$$

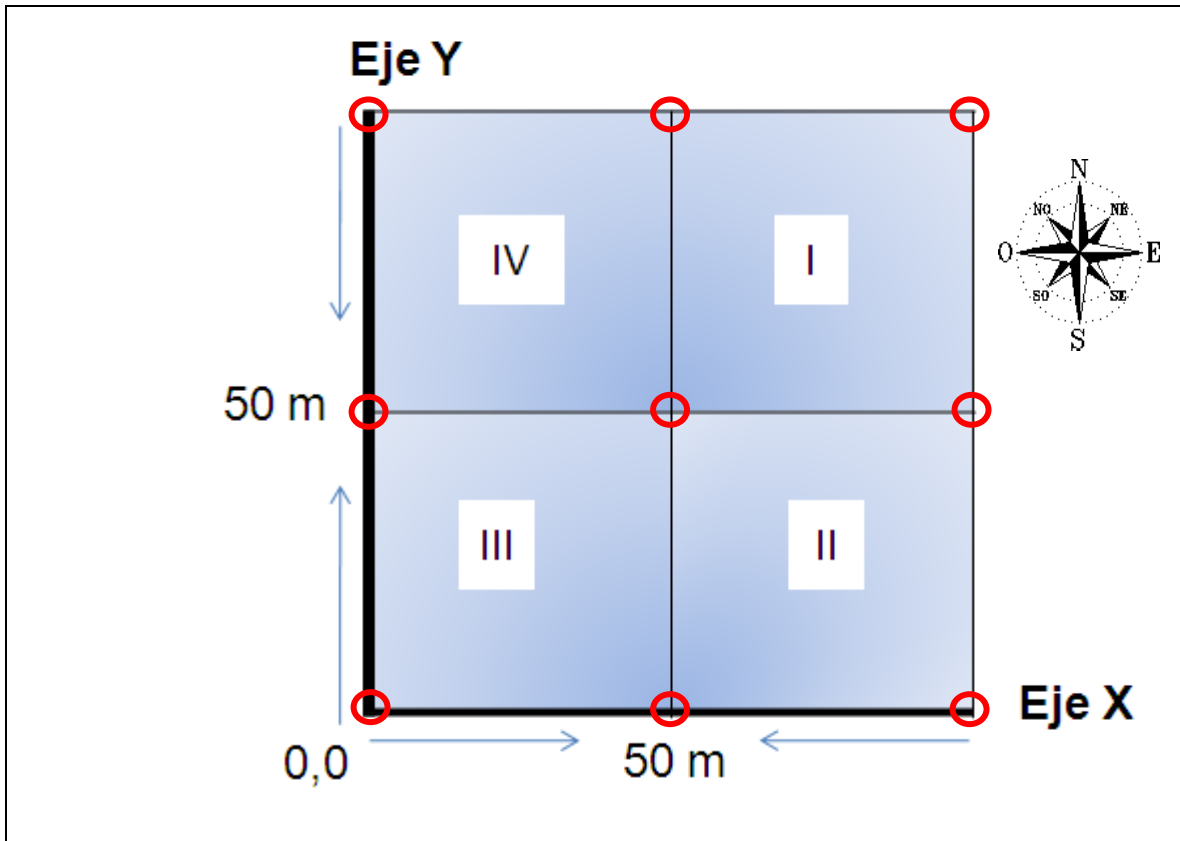


Figura 4. Esquematización de la delimitación de un Sitio Permanente de Investigación Forestal y de Suelos en paisajes productivos forestales.

El centro y todos los vértices o esquinas de los sitios deben quedar permanentemente marcados. Para ello se recomienda usar clavos de acero de 1/4" de pulgada de diámetro y de 8" de largo, enterrándolos casi completamente en el suelo.

Es importante revisar que los ángulos de las esquinas se tomen con precisión, ya que los errores en área son proporcionales al cuadrado de cualquier error en longitud. Por ejemplo, si los dos primeros ángulos, se toman 3° más abiertos, el error resultante en el área de la parcela crece aproximadamente un 5 %.

5 REMEDICIÓN

Con el fin de que los sitios proporcionen información útil para el desarrollo de simuladores de crecimiento y sobre el efecto que causan los tratamientos silvícolas sobre la estructura espacial de las unidades de manejo, es necesario realizar por lo menos tres mediciones sucesivas. El lapso de tiempo entre mediciones depende del tipo de bosque y de la rapidez de crecimiento de las especies que dominan en el área de estudio y también de la cantidad de recursos económicos de que se disponga. La figura 5 ilustra el desarrollo de un sitio de investigación durante tres periodos de evaluación.

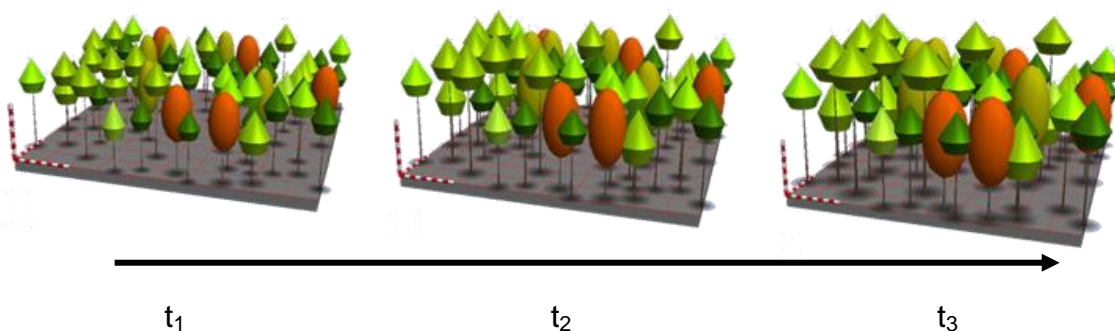


Figura 5. Desarrollo de un sitio permanente con tres medidas sucesivas. El eje “ t ” representa el tiempo.

En términos generales las tareas principales de una remedición son volver a medir algunas variables en la totalidad de los árboles identificados con un número ya sea a través de una chapa metálica o pintura durante la primera medición, y poner un identificador y registrar los datos de los individuos que ya alcanzaron un diámetro normal de 7.5 cm. Las técnicas para realizar estas tareas son idénticas a las utilizadas durante el primer inventario. Sin embargo, existen algunas actividades que requieren de especial atención durante la ejecución de una remedición.

Es esencial recordar que durante el intervalo de medición alguna de las esquinas o el centro de la parcela se pueden haber perdido, hayan sido movidas o que no estén ya más visibles, por lo que resulta necesario revisar su

estatus y reemplazar aquellos puntos o límites del sitio que así lo requieran. En una remedición de 94 sitios permanentes en el estado de Durango en los años 2012 y 2013, se encontró que un buen número de estacas se cubrieron de materia orgánica, siendo necesario descubrirlas para facilitar los trabajos de remedición. Cuando el material utilizado para definir la parcela consistió en varillas o clavos metálicos, su localización se facilita trayendo consigo un detector de metales. Solo en pocos casos los clavos fueron movidos de su posición original o no fueron ya más localizados, siendo necesario reubicarlos de nuevo o reemplazarlos por otros, por lo que es importante que los insumos para la remedición de una parcela comprendan además de los instrumentos de medición también este tipo de materiales.

Durante una remedición es común encontrar que las chapas de algunos árboles desaparecen, o cuando se haya utilizado pintura el identificador ya no se distinga. Antes de colocar una nueva chapa al árbol se debe de estar seguro que ese individuo haya sido numerado durante el primer inventario. Para ello el jefe de brigada debe de apoyarse en los datos del inventario anterior (especie, diámetro normal, distancia y azimuth desde el centro del sitio) hasta encontrar el número correcto. Una vez hecho lo anterior es imprescindible que se coloque el mismo número de árbol ya sea sobre la nueva chapa o con pintura. En caso de preferir las chapas existen instrumentos que permiten reproducir la misma numeración como los llamados *Hand Stamp Steel Dies*, que pueden adquirirse en la empresa Forestry Suppliers Inc., a un precio muy accesible.

Otro aspecto de suma importancia es tomar la medición del diámetro normal en la altura de árbol donde se realizó la primera medida, que para el caso de la presente metodología corresponde con la parte superior de la chapa que se utilizó para numerar al individuo. La figura 6 ilustra la ubicación del punto exacto de una remedición de la variable diámetro normal, considerada quizá la de mayor importancia en estudios de crecimiento forestal.

Los formatos para la colección de variables durante una remedición siguen siendo los mismos que se utilizaron durante el primer inventario (ver apéndices). Hay dos tipos de variables que deben de llenarse dentro de ellos, estáticas y dinámicas. Ejemplos de las primeras y que no cambian con el paso del tiempo son la ubicación espacial del sitio o de un árbol, la pendiente, la fisiográfica, etc. Mientras que como variables dinámicas podemos mencionar al diámetro normal, la altura, el grosor de la materia orgánica entre otras. Para la colección de la información de árboles nuevos que se incorporan al sitio como consecuencia del crecimiento, se debe utilizar una hoja nueva del formato F02 dado en apéndice. Para estos árboles es necesario medir todas las variables que aparecen en dicho formato, mientras que para los árboles marcados durante el primer inventario existen variables que ya no requieren ser medidas como por ejemplo la especie y la ubicación espacial.



Figura 6. Ubicación del punto de remedición del diámetro normal.

5.1 Recomendación

Frecuencia de mediciones

La mayoría de los sitios permanentes que existen en el mundo consideran un intervalo de cinco años entre dos mediciones (Condit, 1998). Aunque, cinco

años es un periodo de tiempo relativamente chico en términos de la vida de un árbol, ha sido recomendado por las siguientes razones: un mayor número de años ocasionará por un lado una mayor pérdida de identificadores de árboles (chapas o número estampados con pintura) y de parcelas en caso de áreas donde los incendios forestales representan un problema, y por otro lado debemos de considerar que el establecimiento y mantenimiento de sitios permanentes es una actividad costosa. Por tanto, en esta guía se recomienda que para los bosques templados de México, la segunda medición y mediciones subsecuentes, se realicen cada cinco años. La primera medición y todas las mediciones siguientes deberán ejecutarse, en lo posible, durante el invierno, por ser la época de reposo de la mayoría de las especies de interés, posibilitando con ello la evaluación del crecimiento anual real. Para el caso del bosque tropical el lapso de tiempo entre mediciones se recomienda que sea de tres años y que el establecimiento y remediciones se realicen durante la estación seca, a ser posible siempre en los mismos meses. Con lo anterior se intenta lograr un compromiso entre la necesidad biológica del tipo de bosque respecto a la frecuencia de inventarios, y la dificultad asociada con el costo y la organización del trabajo de campo.

Otras

1. Llevar consigo una impresión del inventario anterior con todos los formularios (F01-F04), en la mayoría de los casos por cuestiones presupuestales y operativas la fecha de la primera remedición es el mínimo del tiempo que tenemos que esperar para corregir posibles errores de diverso índole. En nuestra experiencia en los bosques de Durango, los más comunes se relacionan con la identificación botánica de la especie, la medición de alturas, y el registro de la regeneración natural.
2. Usar siempre la forcípula en lugar de la cinta diámetrica para la medición de los diámetros de los árboles. De acuerdo con nuestra experiencia la

remedición de las parcelas en Durango, la forcípula permite detectar mejor los crecimientos en diámetro. Los diámetros de los árboles deben de medirse siempre en el punto marcado para su remedición durante el primer inventario.

3. Cuando no se posible la identificación botánica de un árbol o grupo de árboles, se recomienda se tomen fotos y se colecte una muestra botánica para su posterior identificación apoyándose con personal calificado.
4. En la remedición de las parcelas en Durango el uso de chapas de aluminio mostró mejores resultados al compararlos con la pintura. La última ya no se distinguió en sitios donde ocurrió un incendio forestal, aun cuando este no haya sido tan intenso.
5. En ambos tipos de bosque es recomendable que durante el intervalo de tiempo entre la primera y segunda medición, la parcela no sea intervenida silvícolamente, ya que con esta información es posible desarrollar los primeros modelos de mortalidad y crecimiento considerando la evolución natural de las masas estudiadas.

6 INFORMACIÓN MÍNIMA A MEDIR

En México se han perdido muchos sitios permanentes de investigación forestal debido a una demarcación no permanente y sobre todo a que no se ha tomado la información necesaria para su reubicación y mantenimiento. Para asegurar que en cada sitio se anota toda la información necesaria que permita su mantenimiento, evaluación y futuras remediciones, se deben usar una serie de formatos preferentemente estandarizados por tipo de bosque.

6.1 Recomendación

En esta guía se recomienda registrar la información de control y descripción del sitio en cuatro diferentes formatos. Estos formatos han sido diseñados y estandarizados considerando las diferentes metodologías que se han utilizado en el país para establecer sitios permanentes y realizar inventarios forestales, y de acuerdo a los formularios de muestreo de campo que se emplean en el inventario nacional forestal (p.ej. Manzanilla, 1993; Olvera *et al.*, 1996; Valles y Quiñones, 2004; Carrillo, 2008; Corral-Rivas *et al.* 2009; CONAFOR, 2009). Aunque sería deseable generalizar su uso en los diferentes programas de monitoreo forestal y silvícola del país, no se descarta la posibilidad de que se modifiquen para cubrir circunstancias locales que sean de interés de evaluación por los usuarios.

Los formatos recomendados son los siguientes y se encuentran disponibles en el apéndice 1.

Formato F-01: Información de control y ecológica del sitio

Formato F-02: Información dasométrica

Formato F-03: Información de la regeneración natural

Formato F-04: Información del recurso suelo

FORMATO F-01: Información de control y ecológica del sitio

El registro de las variables se realiza de acuerdo con las codificaciones asignadas en cada caso (Tabla 2). Se lleva a cabo justificando a la derecha; es decir, el llenado se hace de derecha a izquierda, pero se debe tener cuidado de poner ceros en los espacios vacíos del lado izquierdo, si es que no se utilizan (véase el apéndice 1 (formato F-01)).

Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio

1. Fecha	Fecha de instalación del sitio en el formato Día/Mes/Año.
2. Brigada	Número de brigada que levantó la información del sitio.
3. Nombre y firma del responsable	Nombre y firma de la persona responsable de la brigada que levantó la información del sitio.
4. Estado	Nombre del estado donde se estableció el sitio
5. Municipio	Nombre del municipio donde se estableció el sitio
6. Predio	Nombre del predio en el área de estudio. Este nombre debe corresponder con el nombre utilizado por las dependencias oficiales para identificar el predio.
7. Paraje	Se refiere al nombre que las comunidades locales le asignan al área donde se estableció el sitio.
8. Hora de inicio	Hora exacta del inicio del trabajo de campo (información útil para determinar tiempo de establecimiento y costo de personal).
9. Hora de finalización	Hora exacta una vez que se ha terminado con el trabajo de campo (información útil para determinar tiempo de establecimiento y costo de personal). Los tiempos muertos causados por eventos de lluvia o calibración de aparatos deberán ser registrados en la sección de observaciones.
10. Sitio	Número progresivo del sitio de investigación en el predio. Ocupa tres campos, justificándose de derecha a izquierda. Ejemplo 005, es el sitio número 5.

Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio

11. T-Sitio (m ²)	El tamaño de los sitios será fijo un cuadrado de 50x50 m (2,500 m ²).	
12. ASNM (Altura sobre el nivel del mar)	Altura sobre el nivel del mar en metros; requiere cuatro campos.	
13. Zona UTM	Se anota el identificador de la Zona UTM en que se estableció el sitio.	
14. Datum	El datum será fijo recomendándose el uso del WGS84 por ser global y de uso generalizado en México.	
15. Error de precisión	Distancia en metros, de un posible desplazamiento en la ubicación del punto real (tomado de la lectura del GPS), el cual debe de ser igual o menor a 10 m.	
16. Coordenada Este (UTM)	Coordenada Este según Universal Transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM) del centro del sitio.	
17. Coordenada Norte (UTM)	Coordenada Norte según Universal Transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM) del centro del sitio.	
18. Exposición del sitio	Marcar con una cruz la posición del sitio con respecto a los ejes polares de acuerdo con la siguiente clave:	
	Valor	Exposición
	1	Zenital (Z)
	2	Norte (N)
	3	Sur (S)
	4	Este (E)
	5	Oeste (O)
	6	Noreste (NE)
	7	Sureste(SE)
	8	Noroeste (NO)
9	Suroeste (SO)	
19. Fisiografía	Marcar con una cruz la condición donde se localice el sitio, de acuerdo con la siguiente codificación (ver figura 7).	
	Valor	Fisiografía
	1	Valle

Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio

	2	Terraza
	3	Planicie
	4	Barranca
	5	Meseta
	6	Ladera
	7	Lomerio
	8	Bajo
20. Co: Compactación del suelo	Se cuantifica por la resistencia promedio del suelo a la introducción de una herramienta punzocortante. Ocupa un campo y se registra de acuerdo con la siguiente codificación:	
	Valor	Resistencia
	1	Alta
	2	Media
	3	Baja
21. Te: Textura del suelo.	Estimación del tipo del suelo al tacto indica el grosor o finura de las partículas del suelo. Ocupa dos campos y se registra con base en la siguiente codificación:	
	Valor	Textura
	01	Limosa
	02	Arenosa
	03	Arcillosa
	04	Limo-arenosa
	05	Limo-arcillosa
	06	Areno-limosa
	07	Areno-arcillosa
	08	Arcillo-limosa
	09	Arcillo-arenosa
	10	Franco
	11	Franco-limosa
	12	Franco-arenosa
	13	Franco-arcillosa
22. Mp: Material predominante del suelo	Emplea un campo y se registra de acuerdo a la siguiente codificación:	
	Valor	Material predominante
	1	Suelo
	2	Arena
	3	Grava (cascajo)
	4	Piedra
	5	Roquerío
	6	Laja
23. Mo: Materia orgánica en el suelo	Emplea un campo en el cual se registra la profundidad de la materia orgánica en centímetros.	
24. Oc: Ocochal	Emplea dos campos y se registra la capa de ocochal en centímetros presente en el suelo.	

Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio

25. Uac: Uso actual del suelo	Requiere de un campo y se registra de acuerdo con la siguiente codificación:	
	Valor	Uso
	1	Forestal maderable
	2	Inaccesible
	3	Sitios experimentales
	4	Áreas semilleras
26. Up: Uso pecuario	Requiere un campo e indica cuánta superficie del sitio es de uso agrícola o pecuario, de acuerdo a la siguiente codificación:	
	Valor	Intensidad
	1	No presente
	2	Poco
	3	Moderado
	4	Intenso
27. El: Erosión laminar	Remoción gradual y uniforme causada por el agua o el viento de una parte de la superficie del suelo. Cada variable relacionada con los tipos de erosión (campos 27 al 30) requiere de un campo que se registra con base en el porcentaje del sitio afectado.	
	Valor	Porcentaje del sitio
	1	No presente
	2	1- 10
	3	11-20
	4	21-30
	5	31-40
	6	41-50
	7	51-60
	8	61-70
9	Más de 70	
28. Ec: Erosión en canalillos	Remoción y pérdida del suelo superficial en pequeños canalillos ocasionados por el agua. Ocupa un campo y se registra según la codificación utilizada en El	
29. Er: Erosión en cárcavas	Arrastre de partículas del suelo en grandes cantidades causada por los escurrimientos de agua. Es característico la existencia de profundas excavaciones en el suelo, la formación de surcos, torrentes y cárcavas. Ocupa un campo y se registra según la codificación utilizada en El.	
30. Ea: Erosión antropogénica	Erosión provocada por el hombre debido a la construcción de caminos, desmontes, actividades mineras, actividades de extracción de materias primas forestales, etc. Ocupa un campo y se registra según la	

Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio

	codificación utilizada en EI.	
31. Per: Perturbaciones en la unidad de manejo	Se anotan las perturbaciones presentes en la unidad de manejo en un campo de acuerdo con la codificación siguiente:	
	Valor	Perturbaciones
	1	Sin perturbación
	2	Hongos y enfermedades
	3	Plagas
	4	Clandestinaje
	5	Cinchamiento
	6	Resinación o chicleo
	7	Incendios
	8	Pastoreo
	9	Ocoteo
	10	Plantas parasitas
	11	Lianas o bejucos
	12	Roedores
	13	Rayos
	14	Viento
15	Otras (especificar)	
32. Pen: Pendiente del sitio	Pendiente general del sitio de investigación, en porcentaje. Su llenado requiere de tres campos, de acuerdo con el valor estimado con el aparato de medición.	
33. CA: Cobertura de arbustos (%)	Representa el porcentaje de la superficie del sitio cubierto por arbustos. Cada variable relacionada con algún tipo de cobertura (33-36) ocupa un campo para su llenado y se registra de acuerdo a la siguiente codificación:	
	Valor	Porcentaje del sitio
	1	No presente
	2	1- 10
	3	11-20
	4	21-30
	5	31-40
	6	41-50
	7	51-60
	8	61-70
9	Más de 70	
34. CH: Cobertura de herbáceas (%)	Representa el porcentaje de la superficie del sitio cubierto por herbáceas. Se registra de acuerdo a la codificación utilizada en CA	

Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio

35. CP: Cobertura de pastos (%)	Representa el porcentaje de la superficie del sitio cubierto por pastos. Se registra de acuerdo a la codificación utilizada en CA.																
36. COC: Cobertura de ocochal (%)	Representa el porcentaje de la superficie del sitio cubierto por ocochal. Se registra de acuerdo a la codificación utilizada en CA.																
37. Plagas y Enf: Plagas y enfermedades presentes en el sitio	<p>Ocupa un campo y se anotan las principales plagas y enfermedades presentes en el sitio considerando la siguiente clasificación:</p> <table border="1" data-bbox="625 703 1372 894"> <thead> <tr> <th>Valor</th> <th>Plaga</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Sin presencia</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Muérdago</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Barrenadores de yemas</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Descortezadores</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Defoliadores</td> </tr> </tbody> </table>	Valor	Plaga	1	Sin presencia	2	Muérdago	3	Barrenadores de yemas	4	Descortezadores	5	Defoliadores				
Valor	Plaga																
1	Sin presencia																
2	Muérdago																
3	Barrenadores de yemas																
4	Descortezadores																
5	Defoliadores																
38. Ni: Nivel de infestación	<p>En este campo se anota la necesidad o no de un estudio específico para el combate y control de las plagas o enfermedades presentes en el área, de acuerdo con el criterio del técnico. Ocupa un campo y se debe considerar la siguiente codificación:</p> <table border="1" data-bbox="625 1108 1372 1205"> <thead> <tr> <th>Valor</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>No es necesario un estudio específico</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Es necesario realizar un estudio independiente</td> </tr> </tbody> </table>	Valor	Descripción	1	No es necesario un estudio específico	2	Es necesario realizar un estudio independiente										
Valor	Descripción																
1	No es necesario un estudio específico																
2	Es necesario realizar un estudio independiente																
39. Ts: Tratamiento silvícola recomendado	<p>En este campo se recomienda el tipo de tratamiento silvícola que podría ser aplicado de acuerdo a la condición actual de la masa. Ocupa un campo y se registra de acuerdo a la siguiente codificación:</p> <table border="1" data-bbox="625 1388 1372 1640"> <thead> <tr> <th>Valor</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>No corta (segregación total)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Corta de regeneración</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Corta de liberación con pre-aclareo</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Aclareo</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Selección</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Matarrasa</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Corta de protección</td> </tr> </tbody> </table>	Valor	Descripción	1	No corta (segregación total)	2	Corta de regeneración	3	Corta de liberación con pre-aclareo	4	Aclareo	5	Selección	6	Matarrasa	7	Corta de protección
Valor	Descripción																
1	No corta (segregación total)																
2	Corta de regeneración																
3	Corta de liberación con pre-aclareo																
4	Aclareo																
5	Selección																
6	Matarrasa																
7	Corta de protección																
40. Rec. de Mjo: Recomendaciones de manejo	<p>Las recomendaciones de manejo son todas aquellas actividades que permitan garantizar la permanencia del bosque y los recursos asociados. Se registra en dos campos, de acuerdo con los siguientes valores:</p> <table border="1" data-bbox="625 1797 1372 1827"> <thead> <tr> <th>Valor</th> <th>Recomendación</th> </tr> </thead> </table>	Valor	Recomendación														
Valor	Recomendación																

Tabla 2. Información de control y ecológica del sitio

	01	Quema controlada o reducción de combustibles
	02	Desbroza (eliminación de vegetación no deseada)
	03	Limpia del suelo
	04	Reducción de la densidad de la regeneración
	05	Reforestación
	06	Plantación con siembra directa
	07	Limpieza de la regeneración o plantación
	08	Restauración de suelos
	09	Cortas de saneamiento
	10	Obras de control de azolves
	11	Brecha cortafuego
	12	Cercado de la regeneración
	13	Podas
	14	Otras (especificar)
41. Accesibilidad	Se anota la forma de llegar del punto de control al conglomerado: carretera, brecha, vereda, etc., anotando la distancia aproximada de cada tipo de camino. La clave de accesibilidad se anotará de acuerdo con el siguiente cuadro:	
	Valor	Descripción
	1	Buena: cuando sea posible llegar al lugar de muestreo con facilidad, utilizando vehículo, y si se camina, que la distancia sea menor o igual a 1.5 km.
	2	Regular: cuando la infraestructura de caminos sea muy escasa o esté en condiciones difíciles de tránsito y se tenga además que caminar para llegar al punto de control entre 2 y 3 km.
	3	Mala: cuando no exista infraestructura de caminos o estos estén en condiciones intransitables o cuando las condiciones del terreno no permitan que ésta se construya y se tenga que caminar más de 3 km.
42. Tipo de acceso	Valor	Descripción
	1	Carretera
	2	Brecha
	3	Veredas
43. Croquis de ubicación	Emplea un campo en el cual se registra la ubicación del sitio en forma gráfica.	
44. Observaciones y recomendaciones	Campo disponible para registrar posibles observaciones del sitio	

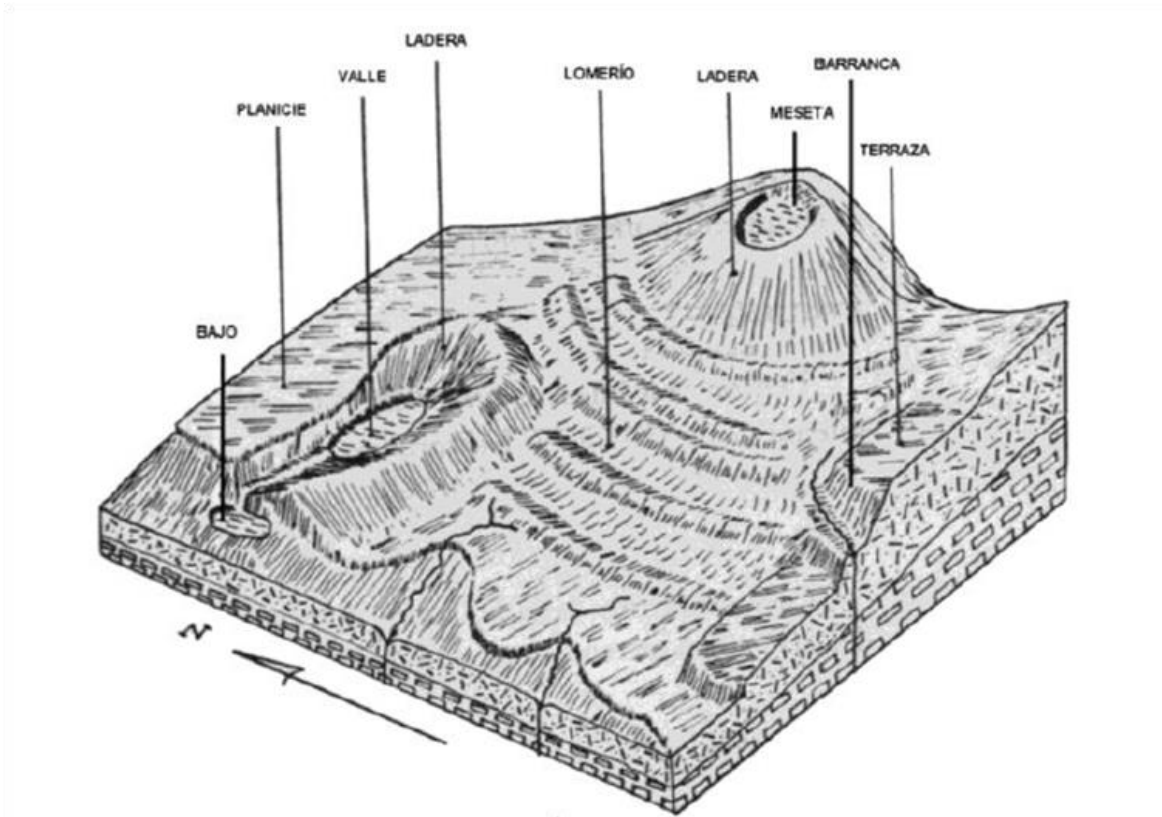


Figura 6. Esquema recomendado para registrar el tipo de fisiografía del área donde se estableció el sitio (Fuente: CONAFOR, 2009).

FORMATO F-02: Información dasométrica

El registro de las variables dasométricas de los árboles muestra se realiza de acuerdo con las codificaciones asignadas en cada caso (Tabla 3). Esta información es útil para calcular el crecimiento de los árboles y del sitio, la incorporación y la mortalidad, por lo que es esencial conocer la identidad individual de cada árbol de tal manera que sea posible su remediación y seguimiento (véase el apéndice 1 (formato F-01)).

Tabla 3. Información dasométrica

1. Predio	Nombre del predio en el área de estudio. Este nombre debe corresponder con el nombre utilizado por las dependencias oficiales para identificar el predio.
2. Sitio	Número progresivo del sitio de investigación en el predio. Ocupa tres dígitos, justificándose de derecha a izquierda. Ejemplo 005, es el sitio número 5.
3. No: Identificador individual del árbol	<p>Todos y cada uno de los árboles dentro del sitio con diámetro a la altura del pecho (dap) ≥ 7.5 cm deben poseer sólo identificador, que no puede repetirse en ningún momento, ya que la unidad mínima de información es el árbol. Si un árbol muere o es talado su número nunca deberá usarse de nuevo en el sitio y si un nuevo individuo crece hasta alcanzar el tamaño de medición se debe usar un número nuevo.</p> <p>NOTA: El número puede ser colocado en el árbol respectivo utilizando pintura o en una placa de aluminio o plástico de modo que se pueda conservar por lo menos 5 años. Ésta debe colocarse a 1.30 m por encima del nivel del suelo y estar ubicada hacia el centro del sitio. La parte superior de la placa marca el sitio exacto donde deberá realizarse la próxima medición del diámetro. Cuando se utilice pintura también se debe marcar el punto donde se midió el diámetro normal, de tal manera que las futuras mediciones se hagan a la misma altura.</p>
4. Cuadrante	Se anota el número de cuadrante donde se ubica el árbol. Serán cuatro y estarán numerados del I al IV en el sentido de las manecillas del reloj como se observa en la figura 3.
5. Género	Se anota el nombre científico o común del género de cada árbol. Cuando no sea posible o se tengan dudas sobre el género, es necesario apoyarse de la colecta de material botánico para la correcta identificación taxonómica de las especies en laboratorio.

Tabla 3. Información dasométrica

6. Especie	Se anota el nombre científico o común de la especie de cada árbol. Cuando no sea posible o se tengan dudas sobre la especie, es necesario apoyarse de la colecta de material botánico para la correcta identificación taxonómica de las especies en laboratorio.																						
7. Do: Dominancia del árbol	Ocupa un campo para su llenado. Se anota la clase social de cada árbol de acuerdo a la siguiente codificación.																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="557 558 665 590">Valor</th> <th data-bbox="673 558 1367 590">Tipo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="557 596 665 627">1</td> <td data-bbox="673 596 1367 627">Dominante-Codominante</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 634 665 665">2</td> <td data-bbox="673 634 1367 665">Intermedio</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 672 665 703">3</td> <td data-bbox="673 672 1367 703">Suprimido</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 709 665 741">4</td> <td data-bbox="673 709 1367 741">Libre sin efecto de supresión</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 747 665 779">5</td> <td data-bbox="673 747 1367 779">Libre con efecto de supresión</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 785 665 816">6</td> <td data-bbox="673 785 1367 816">Aislado con el piso alto</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 823 665 854">7</td> <td data-bbox="673 823 1367 854">Muerto en pie</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 861 665 892">8</td> <td data-bbox="673 861 1367 892">Muerto caído</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 898 665 930">9</td> <td data-bbox="673 898 1367 930">Tocón</td> </tr> <tr> <td data-bbox="557 936 665 968">10</td> <td data-bbox="673 936 1367 968">Indefinido</td> </tr> </tbody> </table>	Valor	Tipo	1	Dominante-Codominante	2	Intermedio	3	Suprimido	4	Libre sin efecto de supresión	5	Libre con efecto de supresión	6	Aislado con el piso alto	7	Muerto en pie	8	Muerto caído	9	Tocón	10	Indefinido
	Valor	Tipo																					
	1	Dominante-Codominante																					
	2	Intermedio																					
	3	Suprimido																					
	4	Libre sin efecto de supresión																					
	5	Libre con efecto de supresión																					
	6	Aislado con el piso alto																					
	7	Muerto en pie																					
	8	Muerto caído																					
9	Tocón																						
10	Indefinido																						
8. Diámetro normal con corteza a la altura del pecho	<p>Es el diámetro medido a 1.30 m sobre la base del suelo; el registro requiere de tres dígitos; el diámetro mínimo que se registra es 7.50 cm.</p> <p>NOTA: Esta medición corresponde al diámetro del árbol medido a 1.30 m sobre el nivel del suelo en condiciones normales, es decir, cuando el árbol se encuentra en forma perpendicular al suelo y presenta un fuste recto y cilíndrico. Para casos especiales se debe proceder a su medición como se muestra en las figuras 7, 8 y 9. La unidad de medida es el centímetro con precisión al milímetro (ejemplo: 40.3 cm). Además, se debe medir con instrumentos de calidad y precisión (se recomienda que se haga con forcípula).</p> <p>Antes de medir el diámetro, el punto de medición debe ser marcado. Si se usa placa de aluminio para la identificación de los árboles la parte superior puede usarse como referencia. En caso de usar pintura se recomienda medir antes para evitar que se pinte el equipo de medición. En cada árbol se deben realizar dos mediciones en forma de cruz y registrar el promedio. Al realizar una segunda o tercera medición la parte de arriba de la placa o la marca de pintura definirá el punto de medición.</p>																						
9. Altura	Se anota la altura total, en metros, del árbol. Su registro requiere de hasta cuatro dígitos (ejemplo: 23.50).																						
10. AFL: Altura del fuste limpio	Altura medida en metros desde la base del árbol hasta donde comienza la copa. Su registro es similar a la variable anterior																						
11. Distancia	Se anota la distancia en metros de cada árbol desde la varilla																						

Tabla 3. Información dasométrica

	colocada en el centro del sitio requiere de hasta cuatro dígitos (ejemplo: 10.40).	
12. Azimut	Su registro ocupa tres dígitos y se anota el azimut en grados de cada árbol desde la varilla colocada exactamente en el centro del sitio (ejemplo: 355).	
13. DCNS: Diámetro de copa	Se anota el diámetro de la copa medido en el sentido Norte - Sur en metros (ejemplo 3.10).	
14. DCEO: Diámetro de copa	Se anota el diámetro de la copa medido en el sentido Este - Oeste en metros (ejemplo 3.10).	
15. Df. Daño físico	Se anota el valor del daño de cada árbol de acuerdo a la siguiente codificación:	
	Valor	Tipo de daño
	1	Sin daño
	2	Vieja, resinado, ocoteado, lacrado, chicleado
	3	Fuste nudoso, ramudo, o abultado
	4	Ladeado, chueco o torcido
	5	Fuste descortezado o rayado
	6	Puntiseco o despuntado
	7	Cinchado
	8	Fuste ovoide o cuadrilongo
	9	Daño por cable
	10	Bifurcado o polibifurcado
11	Lianas o bejucos	
16. Ub: Ubicación del daño	Ocupa un campo para su llenado. Se anota la ubicación daño de cada árbol de acuerdo a la siguiente codificación:	
	Valor	Ubicación del daño
	1	Sin daño
	2	Daño en la punta
	3	Daño en la parte media
	4	Daño en la base
	5	Daño en la punta y en la parte media
	6	Daño en la punta y en la base
	7	Daño en la parte media y en la base
8	Daño en la punta, parte media y en la base	
17. Edad	<p>La edad se determina obteniendo una viruta con el taladro de Pressler a la altura del diámetro normal (1.30 m). El procedimiento consiste en contar los anillos de crecimiento desde el centro del árbol hasta la periferia.</p> <p>Nota: Se recomienda taladrar dos árboles tipo por categoría diamétrica. La medición de esta variable aplica solo para bosque templado</p>	

Tabla 3. Información dasométrica

18. TP: Tiempo de paso	<p>El tiempo de paso se estima al contar el número de anillos de crecimiento anual que se tengan en los 2.5 cm de la periferia de la viruta.</p> <p>Nota: Se recomienda estimarlo para los dos árboles tipo a los que se les ha estimado la edad</p>
19. OBS: Observaciones	<p>En este campo se anota un asterisco para los árboles que así lo requieran y al pie de página del formato F02 se describe la observación</p>

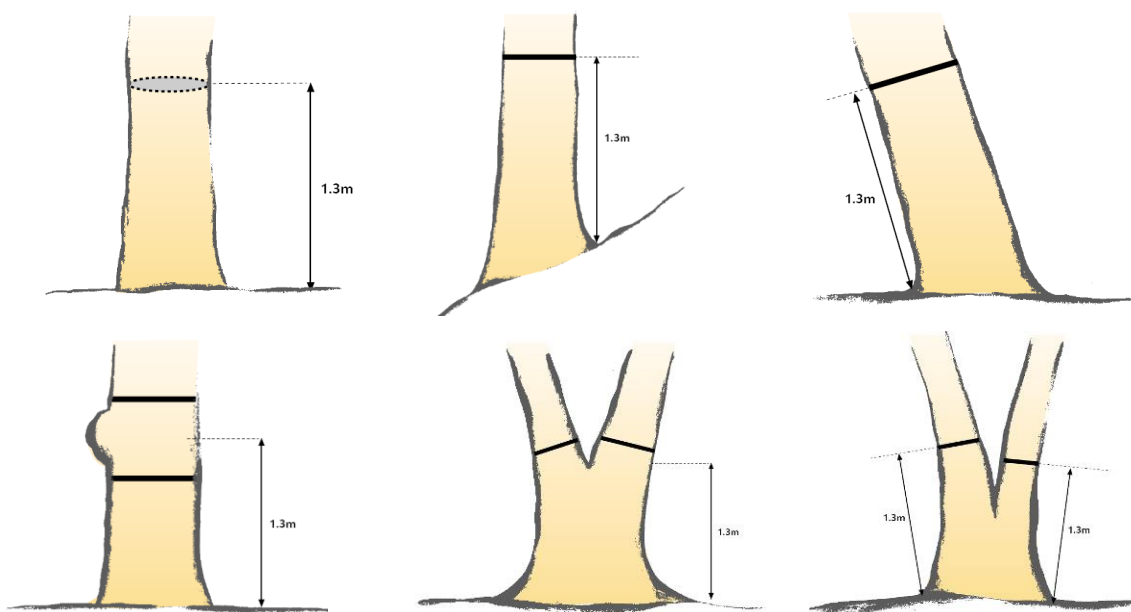


Figura 7. Casos más comunes de medición del diámetro a la altura del pecho (dap).

En determinadas ocasiones, el punto en el que se debe medir el diámetro (habitualmente la altura de 1.30 m) se encuentra en una zona del fuste que no es representativa de su verdadera forma (Figs. 8 y 9).

Las causas más habituales de la existencia de esos puntos no representativos de la forma real del fuste pueden ser:

- Presencia de verticilos, ramas o nudos
- Malformaciones por causas genéticas
- Grietas

- Ataques de insectos, hongos u otros parásitos

Los criterios que permiten estimar el valor del verdadero diámetro representativo a partir de mediciones realizadas a otras alturas de fuste son:

1. Si se pueden realizar dos mediciones, por encima y por debajo de la zona irregular (d_{sup} y d_{inf}), equidistantes con respecto a la sección cuyo diámetro se quiere estimar, se toma la media como diámetro representativo d_r (media aritmética si la diferencia entre ambos valores es pequeña y cuadrática en caso contrario):

$$\text{Media aritmética: } d_r = \frac{d_{inf} + d_{sup}}{2}$$

$$\text{Media cuadrática: } d_r = \sqrt{\frac{d_{inf}^2 + d_{sup}^2}{2}}$$

2. Si se pueden realizar dos mediciones pero éstas no son equidistantes con respecto a la sección cuyo diámetro se quiere estimar, se debe realizar una interpolación para obtener el diámetro representativo.

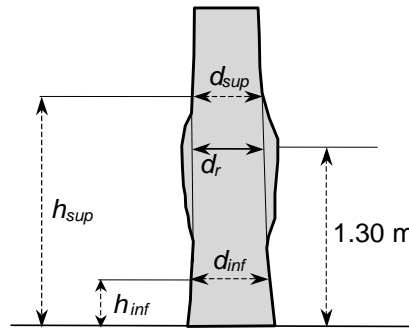


Figura 8. Caso en el cual se pueden realizar dos mediciones.

$$\frac{h_{sup} - h_{inf}}{d_{inf} - d_{sup}} = \frac{h_{sup} - 1.30}{d_r - d_{sup}} = \frac{1.30 - h_{inf}}{d_{inf} - d_r}$$

- Donde
- h_{sup} = altura del punto de medición superior (m)
 - h_{inf} = altura del punto de medición inferior (m)
 - d_{sup} = diámetro a la altura del punto de medición superior (cm)
 - d_{inf} = diámetro a la altura del punto de medición inferior (cm)
 - d_r = diámetro representativo

3. Si la irregularidad sólo permite realizar una medida por la parte superior, se mide primero el diámetro d_{sup} a una altura h_{sup} en la que no haya irregularidades. Luego, se determina el crecimiento medio en diámetro por unidad de altura a lo largo del tronco (i_d), midiendo en otros árboles de la zona y de la misma especie, que no tengan irregularidades, los diámetros normal y a otras alturas. Finalmente, se calcula el diámetro buscado (d_r) según la fórmula dada en la Figura 9, donde i_d = crecimiento medio del diámetro en función de la altura.

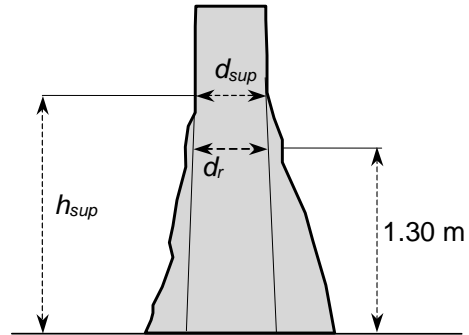


Figura 9. Caso en el cual sólo se permite realizar una medida por la parte superior.

FORMATO F-03: Información de la regeneración natural

Se considera como regeneración a los individuos con un diámetro a la altura del pecho (dap) menor de 7.5 cm y cuya altura supere los 25 cm. Se recomienda evaluar la regeneración natural instalando subparcelas de manera sistemática con cuatro repeticiones dentro del sitio, según el diseño de la Figura 10. Se llenará el Formato F-03 para registrar la información de cada una de las subparcelas de acuerdo a las indicaciones siguientes (véase tabla 4 y apéndice 1).

Tabla 4. Información de la regeneración natural

1. Predio	Nombre del predio en el área de estudio. Este nombre debe corresponder con el nombre utilizado por las dependencias oficiales para identificar el predio.	
2. Sitio	Número progresivo del sitio de investigación en el predio (ejemplo 005, es el sitio número 5).	
3. T. subparcela (tamaño del sitio)	Tamaño de la subparcela, el cual siempre será 25 m ² .	
4. Distribución de la regeneración	Tipo de distribución espacial de la regeneración del sitio de acuerdo con un criterio visual. Su registro emplea un campo. Se codifica de la siguiente manera:	
	Valor	Distribución de la regeneración
	1	Sin presencia
	2	Uniforme
	3	Aleatoria
4	Manchones	
5. Subparcela	Número progresivo de la subparcela de regeneración dentro del sitio. Serán cuatro y estarán numerados del 1 al 4 en el sentido de las manecillas del reloj, como se observa en la figura 9. La subparcela número 1 será siempre colocada en el azimut 45°	
6. Genero	Nombre científico o común de cada género que presente regeneración dentro de las subparcelas. Cuando no sea posible o se tengan dudas sobre el género, es necesario apoyarse de la colecta de material botánico para la correcta identificación taxonómica de las especies en laboratorio.	

Tabla 4. Información de la regeneración natural

7. Especie	Nombre científico o común de cada género que presente regeneración dentro de las subparcelas. Cuando no sea posible o se tengan dudas sobre el género, es necesario apoyarse de la colecta de material botánico para la correcta identificación taxonómica de las especies en laboratorio.
8. Clase de altura	Representa clases de altura definidas para evaluar la regeneración en concordancia con el inventario nacional forestal (0.25-1.50 m; 1.51-2.75 m, y Mayor que 2.75 m).
9. Frec.: Frecuencia	Se contarán y anotará el número de árboles por especie pertenecientes a cada clase de altura.
10. EM: Edad media de la regeneración	Se registrará la edad promedio de los individuos moda de la subparcela de muestreo por especie y clase de altura. Se estima mediante el conteo del número de verticilos de tres árboles moda.
11. DM: Diámetro medio de la regeneración	Se anota el diámetro medio de la regeneración por especie y clase de altura de acuerdo con un criterio visual.

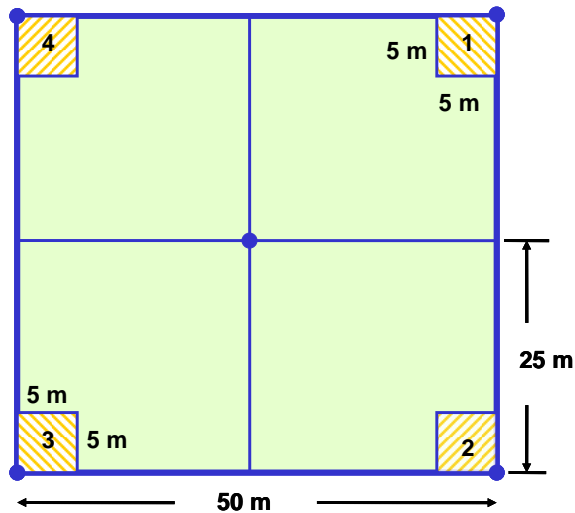


Figura 10. Distribución de las cuatro subparcelas de regeneración natural dentro del Sitio de Investigación Forestal y de Suelos.

FORMATO F-04: Muestreo del recurso suelo

En cada sitio se coleccionará información general del recurso suelo como se describe en la tabla 5. Para ello, los responsables de levantar la información deberán apoyarse en las figuras 10 y 13 y en el formulario F-04.

Tabla 5. Información del recurso suelo.

1. Predio	Nombre del predio en el área de estudio. Este nombre debe corresponder con el nombre utilizado por las dependencias oficiales para identificar el predio.	
2. Sitio	Número progresivo del sitio de investigación en el predio (ejemplo 005, es el sitio número 5).	
3. Profundidad efectiva	Se debe cavar con una barrena hasta encontrar la roca madre en cada uno de los cuatro puntos que se muestran en la Figura 11. En cada punto se mide la profundidad en cm y se anota en el recuadro correspondiente. Una vez estimado el promedio se marca con X la característica que describe al sitio en términos de profundidad efectiva:	
	Valor	Característica
	1	Menor a 15 cm
	2	Entre 15 y 30 cm
	3	Entre 30 y 60 cm
	4	Entre 60 y 90 cm
4. Color	Marcar con X la característica o condición media que más se ajuste al sitio:	
	Valor	Característica
	1	Oscuro
	2	Medio
5. Erosión actual	Marcar con X la característica o condición media que más se ajuste al sitio (ver Figura 14):	
	Valor	Característica
	4	Sin erosión
	5	Erosionado (horizonte A, completamente eliminado, horizonte B expuesto)
6. Suceptibilidad a la erosión	Marcar con X la característica o condición media que más se ajuste al sitio:	
	Valor	Característica

Tabla 5. Información del recurso suelo.

	7	No susceptible
	8	Ligeramente susceptible
	9	Muy susceptible

Además, en cada sitio se realiza un muestreo en cuatro puntos localizados como se muestra en la Figura 11. Para ello se procede de la siguiente manera:

- Se ubica el punto del centro del sitio.
- Los cuatro puntos deben estar situados en la línea que une cada vértice con el centro del sitio y a 17.67 m de distancia del vértice.
- La profundidad se mide con una barrena o sonda en cada uno de los cuatro puntos y luego se obtiene una media (podría descartarse algún punto si las profundidades son muy diferentes debido a un posible afloramiento rocoso).
- Las muestras de suelo se obtienen con una barrena, profundizando hasta los 30 cm. Las cuatro muestras se mezclan en una bolsa o bote de modo que de cada sitio sale una muestra de suelo para su posterior análisis en un laboratorio especializado.
- Después se colecta información específica del sitio para las variables relieve, drenaje, profundidad efectiva, espesor, color, textura, materia orgánica, erosión actual, susceptibilidad a la erosión, utilizando el formato del anexo F-04 (anexo 4).
- Los análisis de pH, textura, y macro y micro nutrientes (C, N, P, K, Mg, Ca, relación C/N, Fe, Mn, Zn, Cu, Cl, B, Mo) se deben hacer en laboratorio especializado. Se recomienda utilizar siempre los servicios de un mismo laboratorio con la finalidad contar con la misma metodología de análisis.

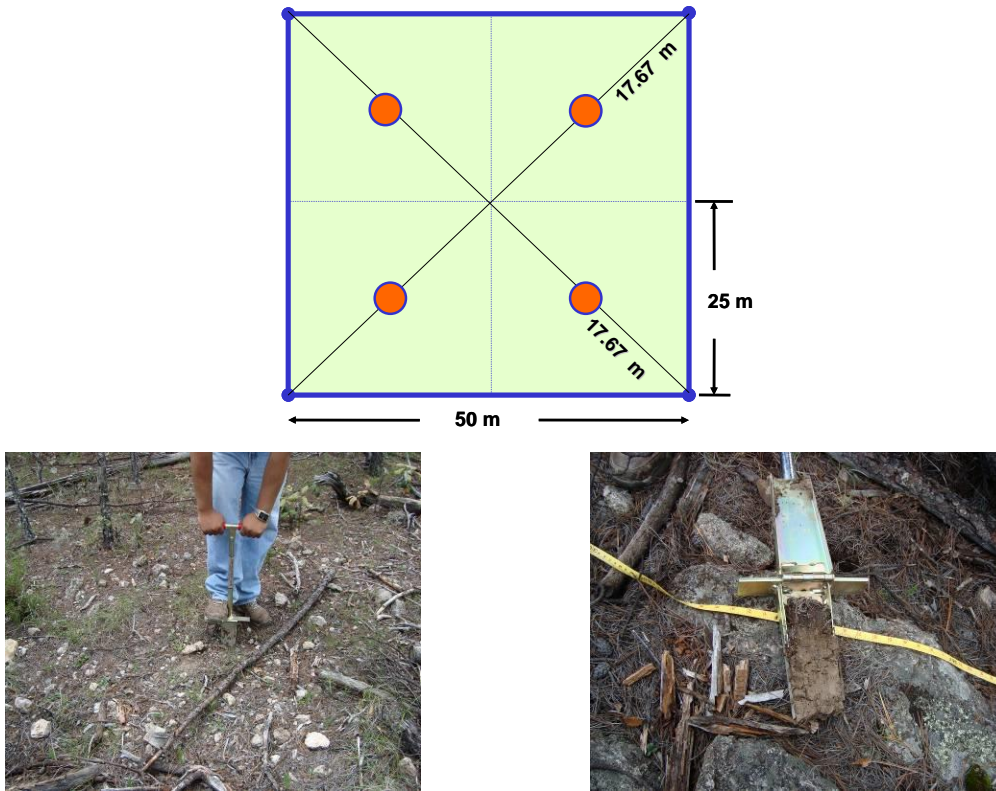


Figura 11. Ilustración de la ubicación de puntos para la toma de muestras de suelo dentro de cada sitio.

Por último el apéndice 2 proporciona una “Guía rápida para el llenado de formatos de campo” con los números clave de cada variable (véase en anexo 5). Su uso facilita el llenado de los formularios (F01-F04) y permite el ahorro de tiempo.

7 CAPTURA DE LA INFORMACIÓN

Probablemente en el corto o mediano plazo las brigadas de campo transcribirán la información colectada de los sitios permanentes en México directamente en tablets o microcomputadoras, y después de algunos días de trabajo los datos podrán ser grabados directamente en un ordenador de mayor poder para su revisión y análisis. Sin embargo, actualmente lo usual es que los datos se colecten usando lápiz sobre los formularios y posteriormente se digitalizan en un programa informático. No obstante, la etapa de captura de la información de sitios permanentes es mucho más que una mera digitalización de los formularios de campo en un ordenador, ya que existen ciertos puntos muy importantes a considerar. Primero, es importante mencionar que de acuerdo a la experiencia obtenida con el análisis de datos provenientes de sitios permanentes en México, la mayoría de los errores se cometen en la etapa de captura y no en campo, por tanto, es de crucial importancia encontrar y eliminar errores durante la captura y la organización de los datos, especialmente aquellos errores que se propagan o multiplican cuando las tablas que contienen la información se unen o relacionan. Segundo, la captura de la información debe ser un paso previo a su organización, las diferentes bases de datos que se crean a partir de los formularios de campo, deben poder unirse sin dificultad de tal manera que se pueda integrar una base de datos única bien organizada para su posterior análisis.

Para hacer eficiente la etapa de captura de la información de campo, existen algunas aplicaciones informáticas que automatizan el manejo de la información de Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos, y que al momento de ingresar los datos a un ordenador se evita el almacenamiento de valores no permitidos para las diferentes variables medidas en campo. Su diseño se basa en las necesidades de almacenamiento y uso de la información. La entrada de datos se realiza mediante los mismos formularios usados en campo pero que en la aplicación informática han sido diseñados mediante

programación en total apego al diccionario de claves para cada variable según la metodología utilizada.

La Figura 12 muestra el ambiente gráfico una aplicación informática desarrollada en Microsoft Access 2007 por los autores de esta guía para el ingreso, mantenimiento y evaluación de información Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos. Su uso permite de manera sencilla realizar consultas específicas de información y generar informes a la carta del usuario. Consta de tres apartados principales para el manejo de información: i) CAPTURA: donde es posible ingresar y editar datos provenientes del establecimiento de sitios para los cuatro formularios anteriormente descritos (F01-F04); ii) CONSULTA: donde es posible hacer consultas en pantalla de cualquier tipo de información almacenada en el sistema; y iii) REPORTE: dentro de la cual se pueden imprimir reportes de algún sitio o área de estudio de interés para ser remediada.

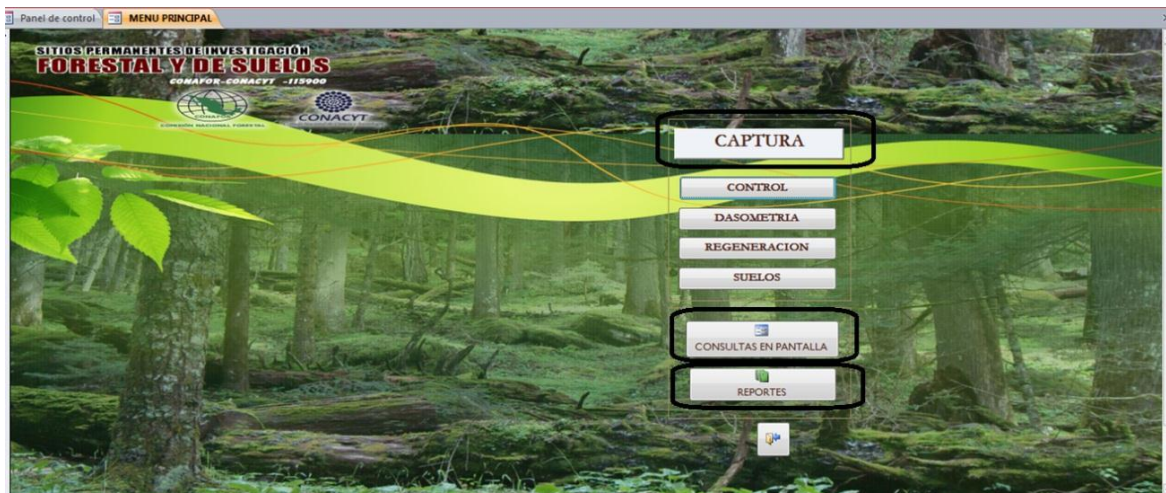


Figura 12. Ambiente gráfico de la ventana principal de un Sistema Informático para el manejo de información de Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelos.

El sistema fue diseñado en total apego al diccionario de claves de la presente metodología, implementado restricciones que permiten al usuario

evitar errores al momento de alimentar la base de datos con un nuevo sitio. Una de sus bondades es tener un formato ejecutable por varios programas que trabajan con tablas, por ejemplo Arc gis, SAS, Excel, etc.

7.1 Recomendación

Captura inicial

Cuando se trate del primer inventario, no se deben mezclar en un mismo archivo digital las variables de control del sitio, variables dasométricas, variables regeneración y variables de suelo. Cada grupo de variables debe ser almacenado en forma separada, es decir se debe usar una hoja electrónica para cada formulario. Por tanto, los datos de cada sitio de 50x50 m deben ser capturados en cuatro hojas diferentes, una para cada uno de los formularios de campo (Formato F-01: Información de control y ecológica del sitio, Formato F-02: Información dasométrica, Formato F-03: Información de la regeneración natural y Formato F-04: Información del recurso suelo). Se puede usar una base de datos de Microsoft ACCES o un libro de Microsoft EXCEL.

La mayoría de la información de cada árbol individual se almacenará en la hoja que contiene la información dasométrica. Los datos más relevantes son el número de sitio, número de árbol, el nombre científico de la especie y su código de acuerdo al catálogo de especies del inventario nacional forestal. Es muy importante que toda la información sea capturada exactamente como aparece en el formato de campo. Si, por ejemplo, en alguna de estas variables no se anotó el dato, esa celda debe dejarse en blanco hasta que se cuente con la información correcta. En ocasiones será necesario esperar hasta el próximo inventario para poder llenar ese campo.

Cuando se usa por ejemplo un libro de Microsoft Excel, y una vez almacenados los datos dentro del libro, es necesario someterlos a filtros y también hacer una primera impresión para enmendar errores de transcripción.

Remedición

Los datos obtenidos de una remedición deben grabarse de la misma manera que en la captura inicial pero en un archivo diferente. A los árboles que alcanzan el tamaño de medición debe asignárseles un nuevo número y aquellos que mueren o son cortados deben conservar siempre su etiqueta previa, pero con su nueva dominancia que permitirá saber su condición al momento de la remedición. Durante la captura de datos en una remedición se requiere capturar una cantidad de información menor para cada árbol. La información relativa al número del árbol, la especie, su distancia y azimut por ejemplo no cambian y se puede tomar del fichero de la medición anterior. Solo los campos de las variables que cambian tienen que ser capturados de nuevo. Es muy importante anotar la fecha de remedición y completar aquellas variables que se quedaron en blanco durante la primera medición.

Existen casos donde se tienen que hacer correcciones al inventario anterior, ejemplos comunes en remediciones del estado de Durango incluyen cambios en la especie botánica, distancias y azimuts que no se midieron bien durante el primer inventario. Cuando esto suceda es necesario asegurarse de hacer el cambio también sobre las hojas del primer inventario.

En ambos casos durante la captura de un nuevo sitio o de una remedición, recomendamos el uso de la aplicación informática desarrollada por los autores en Microsoft ACCES, ya que es una herramienta que nos permite almacenar una gran cantidad de datos para luego poder realizar consultas, imprimir reportes y recuperarlos cuando los necesitemos, además de que al momento de ingresar la información de nuevos sitios o de remediciones, se evita el ingreso de errores casi en su totalidad. También nos marca aquellos campos que requieren de especial atención durante la remedición debido a que no se colectó la información o a la evidente presencia de un error durante el primer inventario.

Los interesados en contar con la aplicación informática desarrollada por

los autores de la presente guía pueden escribir un correo electrónico al primer autor, quien gustosamente enviará la liga de internet para que ésta sea descargada.

8 ENSAYOS DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS

8.1 Los ensayos de tratamientos de aclareos

Las alternativas silvícolas que se pueden plantear para una especie determinada pasan por el máximo aprovechamiento de los recursos de la estación. Sin embargo, ese máximo aprovechamiento se puede lograr con un abanico razonablemente amplio de espesuras. El límite superior correspondería a la densidad máxima que es capaz de sustentar la estación de modo que todos sus recursos sean aprovechados por la masa aunque cada árbol sólo obtiene lo imprescindible para sobrevivir. Esta situación se corresponde con la definición clásica de monte normal. El límite inferior se establece cuando todos los recursos de la estación son utilizados por la masa de modo que cada uno de los árboles que la constituye asimila todo lo que su condición genética y edad le permite, es decir, desarrolla su máxima capacidad de crecimiento; por debajo de esta densidad del límite inferior se pierde capacidad productiva. La mejor manera para determinar estos límites teóricos de espesura es mediante datos de ensayos de tratamientos de aclareos (García, 1994; Montero *et al.*, 2001).

Un ejemplo de este tipo de ensayos son los instalados y medidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) de España. El diseño de tales ensayos es siempre muy similar, en bloques aleatorios, estudiando habitualmente cuatro tratamientos con tres repeticiones (bloques). Los tratamientos más comúnmente ensayados consisten en uno testigo y tres aclareos de diferente intensidad, propuestos por Assmann (1970) y caracterizados por su diferente grado (%) en área basal residual con respecto al tratamiento testigo (variando entre un grado del 55% al 85%).

Este tipo de diseño de experimentos (o similar) se ha utilizado en muchos países para evaluar los efectos de diferentes tratamientos de aclareo (e.g., O'Hara, 1989; Montero *et al.*, 2001; Pérez y Kanninen, 2005; Lundqvist *et al.*, 2007). Habitualmente el estudio se restringe a muy pocos sitios de ensayo (2 o

3) y se evalúan varios tratamientos considerando varias repeticiones de cada tratamiento.

Según García (1994), las ventajas de estos diseños de experimentos “clásicos” en el ámbito forestal pueden resumirse en: (i) los efectos de determinadas variables pueden ser valorados de una forma controlada manteniendo otras variables como fijas, lo que produce resultados comparativos más concluyentes, (ii) pueden ser instaladas en los lugares adecuados, facilitando el acceso y los resultados comparativos, (iii) pueden basarse en un diseño estadísticamente correcto, permitiendo la utilización de procedimientos estadísticos de análisis “tradicionales”. Por el contrario, (i) son caros de instalar y mantener, (ii) requieren de grandes de superficie de terreno disponible con condiciones estacionales y/o de masa similares, (iii) son muy frágiles, por lo que accidentes imprevistos pueden destruir el diseño y comprometer la validez de las conclusiones, (iv) es posible estudiar sólo el efecto de unas pocas variables al mismo tiempo y (v) las condiciones del sitio pueden ser poco representativas de situaciones reales u operacionales. A estas desventajas se puede añadir que proporcionan información interesante a largo plazo, siendo necesarias mediciones sucesivas hasta una edad próxima al turno de la especie para obtener resultados definitivos.

Debido a todas estas razones, grupos de investigación especializados en modelización del crecimiento de especies típicamente productoras han concluido que los ensayos de aclareos más adecuados son los que consideran la instalación de parcelas aisladas o de grupos de parcelas de tratamientos en un solo bloque (sin repeticiones) en masas con diferentes condiciones estacionales y dasométricas. Cada uno de estos grupos suele denominarse foco de ensayo de aclareos. Este diseño más sencillo permite abaratar los costos de instalación y mantenimiento con respecto a los ensayos de aclareos “clásicos”, en los que se instalan varias parcelas en la misma zona, formando

bloques, así como representar más fielmente las posibles situaciones estacionales/dasométricas que se pueden dar en la realidad (García, 1994).

En este sentido constituyen una especial referencia la red de parcelas permanentes de que dispone la *Loblolly Pine Growth and Yield Cooperative* de la *Virginia Polytechnic Institute and State University, University of Virginia Tech* (EE.UU.). Se trata de una red de 186 sitios de ensayo establecidos entre los años 1980-1982 en todo el área de distribución de *Pinus taeda* (*loblolly pine*) en Estados Unidos. En cada sitio de ensayo se establecieron tres parcelas, comparables en calidad de estación (dada por el índice de sitio inicial), edad, número de árboles y área basal. Cada parcela se encuentra definida por un tratamiento de aclareo distinto: (1) sin aclareo, tratamiento control, (2) aclareo por lo bajo, con aproximadamente un tercio del área basal extraída y (3) aclareo por lo alto, con aproximadamente la mitad del área basal extraída.

Esta misma cooperativa, en un ensayo instalado en el período 1997-1999 sobre plantaciones de la misma especie gestionadas intensivamente, utilizó este mismo diseño, estableciendo una parcela no tratada y dos tratadas en cada sitio de ensayo. El objetivo final de todas las parcelas es desarrollar modelos de crecimiento y producción de masas y de árboles que sean lo suficientemente flexibles como para tener en cuenta los efectos de prácticas silvícolas (especialmente aclareos). Para más detalles sobre los ensayos de la *Loblolly Pine Growth and Yield Cooperative*, así como de los modelos de crecimiento desarrollados en base a los datos obtenidos puede consultarse la Web: <http://frec.vt.edu/ForestModelingResearchCooperative/>.

Otro ejemplo de un diseño de este tipo lo constituyen las parcelas permanentes de la *Plantation Management Research Cooperative* (PMRC) de la *Daniel B. Warnell School of Forestry and Natural Resources, University of Georgia* (EE.UU.). Esta cooperativa posee 1,565 parcelas con diferentes espaciamientos y diferentes regímenes de aclareos para *P. elliotii* distribuidas por el sureste de EE.UU., que remiden cada 4 o 5 años y con el que pretenden

determinar la respuesta del crecimiento a estos tratamientos (ver <http://warnell.forestry.uga.edu/pmrcpub/html/studies.html> para más detalles).

Las ventajas e inconvenientes de las parcelas o grupos de parcelas aisladas son complementarias a las de los ensayos “clásicos” (García, 1994): (i) están sometidas a los efectos de muchas variables actuando independientemente, por lo que es difícil analizar el efecto de cada una separadamente, (ii) las comparaciones sobre los efectos de variables específicas son poco claras y concluyentes, y (iii) para realizar las mediciones, los esfuerzos en localizar las parcelas y desplazarse entre ellas pueden ser significativos. Sin embargo, por otra parte, (i) los costos de mantenimiento son inferiores, siendo posible tratar a las parcelas de forma similar al resto de la masa, (ii) la pérdida de una parcela o un bloque de parcelas no compromete la viabilidad del estudio, y (iii) generalmente son más representativas de las condiciones existentes, muestreando más fielmente las situaciones reales de las masas forestales.

En definitiva, se puede afirmar que parcelas individuales o grupos de parcelas distribuidos adecuadamente en el territorio son más eficientes como fuente de datos para la modelización del crecimiento. Sin embargo, los ensayos con un diseño de experimentos “clásico” con repeticiones son más efectivos para validar hipótesis y para comparar alternativas específicas (García, 1994).

Aunque las plantaciones forestales no están generalizadas en México, la función productora de los bosques tiene, junto a las otras funciones de los bosques, una importancia creciente. El conocimiento de los efectos de los tratamientos silvícolas de aclareos en la estructura, producción y estabilidad de las masas forestales se hace, por tanto, necesario de cara a promover el manejo sostenible de los mismos. El desarrollo de herramientas que permitan orientar de una forma eficaz el manejo silvícola, teniendo en cuenta tanto aspectos productivos como de estabilidad frente a factores abióticos, es un paso muy importante de cara a la consecución de este objetivo.

8.2 Influencia de los aclareos en la producción de la masa

Cuando un árbol desaparece de una masa, bien sea debido a mortalidad natural o por la ejecución de aclareos, el espacio vital de crecimiento que originalmente ocupaba pasa a estar disponible para las copas de los árboles vecinos que tienen la oportunidad de expandirse hacia el hueco originado por la perturbación, incrementando su capacidad fotosintética, y debido a ello su diámetro. Por tanto, los tratamientos de aclareos, a través de la dosificación de la competencia, son uno de los tratamientos silvícolas más importantes de las masas forestales ya que influyen decisivamente en el crecimiento en sección de los árboles individuales.

Además, la realización de aclareos provoca un cambio instantáneo que afecta fundamentalmente a las variables de estado densidad y área basal (la altura del estrato dominante se considera que no se ve influenciada, generalmente, por los tratamientos de aclareos).

Según muchos autores, existe un efecto positivo de los aclareos en el crecimiento en área basal, que aumenta inicialmente desde la edad de realización de la misma hasta un valor máximo y luego disminuye progresivamente con el tiempo. Esta idea ha sido corroborada por algunos datos experimentales, apreciándose que el crecimiento en área basal de masas aclaradas es mayor que en las no aclaradas, al menos durante los primeros años tras la intervención, por lo que el área basal en pie de una masa que ha recibido tratamientos tiende a converger en el tiempo con la de otra de las mismas características que no los ha recibido. La tasa con la que esta convergencia se lleva a cabo depende teóricamente de la calidad de la estación (definida habitualmente por el índice de sitio) y de la intensidad del aclareos.

8.3 Influencia de los aclareos en la estabilidad mecánica de la masa

El efecto de la competencia en el crecimiento es uno de los aspectos fundamentales con el que la masa influye sobre su propia estabilidad. Es

ampliamente aceptado que, con la excepción de densidades muy altas o muy bajas, el crecimiento en altura de los árboles dominantes no es afectado por la densidad de la masa (Lanner, 1985; Wonn y O'Hara, 2001). Sin embargo, los árboles de las clases sociológicas inferiores experimentan una reducción en su crecimiento en altura a medida que la competencia se incrementa con la edad y la espesura (Oliver y Larson, 1996). Además, esta competencia reduce el crecimiento en diámetro de una manera incluso más severa que el crecimiento en altura, dando lugar a árboles muy ahilados (esbeltos) (Cremer *et al.*, 1982).

Por otra parte, la estabilidad de árboles individuales con la misma altura es reforzada por una esbeltez reducida de los mismos. Basándose en esta premisa, los forestales europeos han empleado desde hace mucho tiempo el coeficiente de esbeltez como indicador de la susceptibilidad de los árboles y las masas forestales a los daños por nieve y viento (Cremer *et al.*, 1982; Oliveira, 1988; Wang *et al.*, 1998; Wilson y Oliver, 2000; Hinze y Wessels, 2002). El coeficiente de esbeltez de un árbol se define como el cociente entre su altura total y su diámetro normal, cuando ambos se expresan en las mismas unidades.

Numerosos trabajos han demostrado el incremento de los daños por viento con el incremento de la densidad de la masa, y por tanto del coeficiente de esbeltez de sus árboles individuales (Reukema, 1979; Cremer *et al.* 1982; Becquey y Riou-Nivert, 1987; Wilson y Oliver, 2000; Wonn y O'Hara, 2001). Por otra parte, otros autores han demostrado que las roturas de la continuidad de la cubierta en el interior motivadas por la realización de aclareos tienen consecuencias importantes en la estabilidad de la masa a corto y a largo plazo.

En primer lugar, los aclareos (sobre todo los aclareos fuertes) exponen directamente al viento a árboles que no han sido "educados" con este factor meteorológico, al eliminar el efecto bloque de la masa. Por ello, los árboles de masas aclaradas fuertemente son temporalmente más vulnerables, (Savill, 1983; Drouineau *et al.*, 2000; Achim *et al.*, 2005a; Achim *et al.*, 2005b).

En segundo lugar, el mayor espaciamiento entre árboles que originan los aclareos promueve el crecimiento diametral y por tanto el desarrollo de árboles menos esbeltos que pueden disipar mayores empujes del viento. Por tanto, a medio y largo plazo, es esperable que el distanciamiento entre los árboles tenga un efecto positivo para contrarrestar los efectos del empuje del viento (Achim *et al.*, 2005a).

Según muchos autores, la forma más adecuada de valorar la influencia a corto y a largo plazo del espaciamiento y los tratamientos silvícolas sobre la estabilidad individual y de masa es mediante ensayos de espaciamiento y ensayos de aclareos (e.g., Wang *et al.*, 1998; Mitchell, 2000; Cucchi y Bert, 2003). Otros estudios, sin embargo, se basan en el análisis de datos procedentes de parcelas permanentes de muestreo, como los obtenidos de inventarios forestales a grandes escalas (e.g., Valinger y Fridman, 1997; Wilson y Oliver, 2000) o de redes de parcelas de investigación (e.g., Wonn y O'Hara, 2001; Konôpka y Konôpka, 2003).

8.4 Influencia de los aclareos en el riesgo de incendios

En sentido amplio, los combustibles forestales son los materiales que se consumen durante la combustión que se produce en un incendio forestal. Los combustibles forestales se estructuran en tres estratos: sub-superficial, superficial y aéreo. Dentro del estrato de combustibles de superficie, se diferencian dos niveles o subestratos: (i) el constituido por los combustibles muertos que reposan directamente sobre el suelo, con el predominio de la disposición horizontal, y (ii) el constituido por las plantas vivas de baja altura con disposición vertical. El estrato sub-superficial se compone de la materia orgánica del suelo (mantillo) que se ha ido formando a partir de la descomposición del resto de los combustibles. El estrato de combustibles aéreos está formado por las copas de los árboles y arbustos de mayor altura y presenta un predominio de elementos vivos.

Dentro de las características del lecho de combustible, tienen especial importancia las características físicas, entre las que destaca el contenido de humedad y la carga de combustible, que es el peso del combustible (habitualmente referido al peso seco) existente en la unidad de superficie del terreno y que se suele expresar en t/ha o kg/m². Otra característica física importante es la continuidad del estrato de combustible y la continuidad entre estratos de combustible. Hay continuidad horizontal en un estrato cuando no existen grandes espacios libres de combustible que impiden el avance del fuego en ninguna dirección. La continuidad vertical implica la existencia de puente entre los combustibles de los distintos estratos y por tanto favorece la transformación del fuego de superficie en fuego de copas. Los fuegos de copas ocurren cuando el fuego crea suficiente energía como para precalentar y quemar el combustible vivo que se encuentra sobre el nivel de suelo.

Es habitual intentar relacionar las variables de los combustibles superficiales como la carga, la altura o la cobertura con variables de la masa arbórea para un determinado ámbito geográfico (e.g., Fernandes *et al.*, 2002; Bacelar de Sousa, 2003; Kane *et al.*, 2006; Parresol *et al.*, 2006), ya que éstas son más fáciles de estimar y asimismo son las más utilizadas por los gestores forestales. Por lo que respecta a los combustibles aéreos, las tres variables más importantes de cara a la existencia y propagación de los incendios sobre las copas son (van Wagner, 1977; Cruz *et al.*, 2003; Mitsopoulos y Dimitrakopoulos, 2007): la carga de combustible de la cubierta de copas (CFL –*canopy fuel load*), la densidad aparente de la cubierta de copas (CBD –*canopy bulk density*) y la altura de la base de la cubierta de copas (CBH –*canopy base height*). Al igual que ocurría en el caso de los combustibles superficiales, es habitual estimar estas variables más influyente en el inicio y comportamiento del fuego de copas a partir de variables habitualmente utilizadas en los inventarios forestales, como la edad, la altura dominante, el número de olesárb/ha, etc. De esta forma se consigue una herramienta de sencilla utilización por parte de los gestores para

planificar la operación de prácticas silvícolas preventivas (Sando y Wick, 1972; Cruz *et al.*, 2003).

La prevención de incendios forestales mediante la creación de estructuras de masa resistentes al fuego implica la consecución de tres objetivos (Agee y Skinner, 2005): reducir los combustibles de superficie, reducir los combustibles “escalera” y reducir la densidad aparente de la cubierta de copas.

Los aclareos son una de las herramientas silvícolas que pueden resultar más efectivas en la creación de masas resistentes al avance del fuego (Graham *et al.*, 1999; Agee *et al.*, 2000; Pollet y Omi, 2002; Graham *et al.*, 2004; Agee y Skinner, 2005; Mitsopoulos y Dimitrakopoulos, 2007), al reducir la densidad aparente de la cubierta de copas (*canopy bulk density*) y al aumentar, generalmente, la altura media de la base de las mismas. Por el contrario, también producen algunos efectos desfavorables respecto al comportamiento del fuego (Silva *et al.*, 1999; Keyes y O’Hara, 2002; Graham *et al.*, 2004; Fernandes y Rigolot, 2007): (i) al reducirse la cubierta, en general, se incrementa la exposición de los combustibles al sol y al viento, por lo que es de esperar que los combustibles de superficie presenten humedades inferiores en masas con tratamiento de claras que en masas sin tratamiento, además de una menor amplitud de variación de las mismas, (ii) incrementan la cantidad de combustible muerto en el suelo (al menos de forma transitoria), aunque este incremento depende del tipo de aprovechamiento realizado y (iii) pueden inducir la aparición de matorral invasor heliófilo y herbáceas altas al abrirse claros en la cubierta de copas.

8.5 Localización, replanteo e inventario de sitios de ensayo de aclareos

Los sitios de ensayo deben instalarse en masas más o menos homogéneas (en altura, densidad y distribución espacial de los árboles), que ocupen una superficie continua de entre 1 y 2 hectáreas, donde sea posible replantear de tres a seis parcelas de 25x25 m. Este tamaño que se considera suficiente para

que al final de la experiencia queden por lo menos 40 árboles en las parcelas aclaradas con mayor intensidad. Cada parcela estará rodeada, además, por una franja perimetral de 5-10 m de ancho (ó 3 líneas de árboles en caso de plantaciones), en la que se realiza el mismo tratamiento que en el interior, con el fin de evitar el efecto de borde en los árboles situados en los extremos de cada parcela..

El diseño experimental es de un solo bloque (sin repetición) en cada sitio de ensayo. En él se ensayarán de tres a seis tratamientos de aclareo distintos que serán distribuidos al azar dentro del bloque. Se ha escogido este diseño experimental por las siguientes razones:

1. Se pretende obtener resultados que sean generalizables a masas con características diversas en cuanto a mezcla de especies, calidad de estación y densidad. Ello haría inviable económicamente la implementación de un diseño de experimentos “clásico” con repetición de los tratamientos.
2. Asimismo, para poder analizar adecuadamente la influencia de los aclareos en el riesgo de daños por viento/nieve o en el riesgo de propagación de incendios, es importante la existencia de diferentes condiciones estacionales (exposiciones en la ladera, formaciones de matorral predominante, etc.).
3. El objetivo de los sitios de ensayo de tratamientos silvícolas no es tanto verificar hipótesis sobre el efecto de los aclareos en variables específicas, sino obtener modelos explicativos que puedan incorporarse implícita o explícitamente a modelos de manejo ya existentes (modelizar el efecto si se encuentra).
4. El tipo de diseño utilizado, al considerar un amplio rango de condiciones estacionales y de estados de masa, permitirá obtener resultados fiables en un período relativamente corto de tiempo.

5. Al no utilizar repeticiones de los tratamientos, los costes de instalación y seguimiento del estudio se reducen de forma importante, pudiéndose considerar razonables.
6. La previsible pérdida de algunas parcelas por agentes bióticos o abióticos (p. ej., plagas o enfermedades, incendios, derribos generalizados por viento) no compromete la viabilidad del estudio global.
7. La desaparición de algún sitio de ensayo por un incendio permitirá evaluar *a posteriori*, y sin utilizar simulaciones, la influencia de los aclareos sobre el comportamiento del fuego (e.g., Pollet y Omi, 2002; Fernandes *et al.*, 2004; Jain y Graham, 2004) analizando la severidad de los daños.
8. La superficie ocupada por las tres parcelas propuestas para cada sitio (considerando las zonas de medición propiamente dicha y las zonas de efecto borde) se sitúa en torno a 1.5 ha, por lo que los sitios de ensayo adecuados son relativamente fáciles de conseguir.
9. Otros grupos de investigación punteros en modelización forestal (*Loblolly Pine Growth and Yield Cooperative* de la *Virginia Polytechnic Institute and State University*, o *Plantation Management Research Cooperative* de la *Daniel B. Warnell School of Forestry and Natural Resources*, University of Georgia) han probado ya con éxito este tipo de diseño.

Los tratamientos de aclareos a ensayar están caracterizados por el grado (%) en área basal residual con respecto a un tratamiento testigo (Assman, 1970; Del Rio, 1998). Para el caso de la región de El Salto Durango se están ensayando los siguientes:

1. Testigo (A): no se realizan aclareos y sólo se cortan y extraen los árboles muertos o moribundos, que se contabilizan como mortalidad natural.
2. Aclareo Ligero (B): se remueve un 10% del área basal por hectárea).
3. Aclareo Moderado (C): se remueve un 20% del área basal por hectárea.

4. Aclareo Fuerte (D): se remueve un 40% del área basal por hectárea.
5. Aclareo Severo (E): se remueve un 60% del área basal por hectárea.
6. Árboles Porvenir (F): aclareo fuerte donde se elimina los árboles competidores de los 300 a 350 mejores individuos por hectárea.

En la Figura 14 se muestra un ejemplo de tres parcelas situadas en el mismo foco, en las que se han realizado diferentes tratamientos.

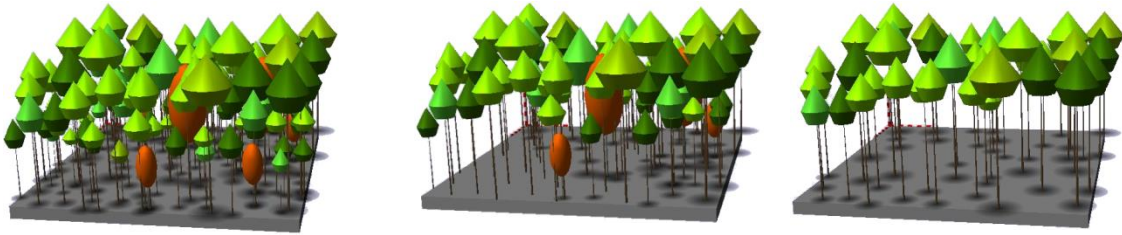


Figura 13. Ejemplo de tres parcelas de aclareos situadas en un mismo sitio de monitoreo, donde no se ha realizado tratamiento (a), se ha realizado un aclareo bajo moderado (b) y se ha realizado un aclareos bajo fuerte (c).

Desde un punto de vista práctico la instalación de estos sitios de ensayo consta de dos fases: una primera de establecimiento y medición, y una segunda de ejecución.

La primera fase de establecimiento y medición ya se ha descrito en los capítulos 4 a 7 de esta guía. La única salvedad con respecto a lo descrito en esos capítulos es que cada sitio de ensayo constará de 3 a 6 parcelas, que deben estar separadas entre sí un mínimo de 5 metros, pero localizadas relativamente cerca entre sí para asegurar cierta homogeneidad de la masa en cuanto a altura, densidad y distribución espacial de los árboles. Cada una de esas parcelas se tomará como una parcela independiente a efectos de establecimiento y medición.

Una vez que los datos están en soporte digital se procede a la fase de ejecución del tratamiento, que se divide a su vez en dos subfases; una primera de gabinete y una segunda de campo. En la fase de gabinete, y una vez

calculada el área basal de cada parcela, se asignarán los tratamientos al azar entre las parcelas. En las parcelas de aclareo moderado y aclareo fuerte se marcarán para su eliminación aquellos árboles que carezcan de interés, bien por ser de especies distintas a las especies que se prefieren para corta adulta, bien por ser árboles atacados por plagas o enfermedades (carácter sanitario de las operaciones de aclareo), o bien por ser árboles de pequeñas dimensiones (carácter silvícola de las operaciones de aclareo).

Posteriormente se ejecutará en campo el señalamiento del tratamiento de clara asignado a cada parcela (y en la franja de alrededor para evitar el efecto borde) a partir de la distribución diamétrica, de los esquemas de distribución espacial de los árboles y de reconocimientos sobre el terreno. Estos dos últimos criterios son adecuados para que los árboles que permanezcan en pie queden uniformemente distribuidos. En el siguiente paso se procederá a la realización de los aclareos señalados en las parcelas y en los bordes de las mismas.

Una vez ejecutados los tratamientos, el seguimiento de las parcelas será el mismo que en los sitios de monitoreo simples descritos en los capítulos anteriores de esta guía.

9 QUÉ HACER CON LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS SITIOS PERMANENTES DE MONITOREO

9.1 Horizonte temporal de toma de datos

Se pueden diferenciar tres tipos fundamentales de sitios de observación forestal en función del horizonte temporal de toma de datos: sitios permanentes, temporales y de intervalo. Los primeros se mantienen largos intervalos de tiempo durante los cuales se realizan mediciones periódicas (al menos tres veces sucesivas). Las parcelas temporales se miden una única vez, por lo que reducen el tiempo empleado en la toma de datos, aunque a costa de limitar la información obtenida. Por último, las parcelas de intervalo se miden dos veces con una etapa de crecimiento entre ambas mediciones. Estas parcelas engloban las características más favorables de las parcelas permanentes (varias medidas del mismo objeto) y de las parcelas temporales (abarcando muchos estados iniciales diferentes). Además, el diseño de este tipo de parcelas posee una gran flexibilidad, pudiendo ofrecer datos útiles después de un corto intervalo de tiempo, tras el cual se pueden abandonar (Gadow *et al.*, 1999). Un ejemplo de las mediciones obtenidas en estos tres tipos de parcelas se muestra en la Figura 12.

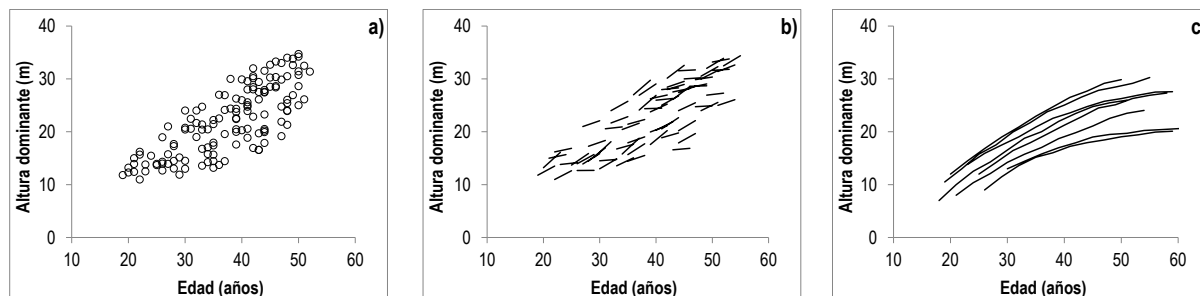


Figura 14. a) Ejemplo de datos de edad-altura dominante para parcelas temporales (medidas en una sola ocasión); b) Ejemplo de datos de edad-altura dominante para parcelas de intervalo (medidas en dos ocasiones); c) Ejemplo de datos de edad-altura dominante para parcelas permanentes (medidas en más de dos ocasiones).

Los sitios permanentes de monitoreo descritos en esta guía se encuadrarían dentro del grupo de parcelas permanentes, aunque eso no siempre será posible (ya que puede producirse la pérdida del sitio por factores bióticos: plagas, enfermedades; o abióticos: derribos, incendios, etc.). En todo caso debe intentarse que los sitios permanentes de monitoreo se midan al menos dos veces para obtener información sobre el crecimiento, ya que en términos de modelización forestal se podría decir que el conocimiento de las tasas de crecimiento, relevantes desde el punto de vista biológico, desde un estado inicial determinado constituye la base para esa comprensión (Gadow *et al.*, 2007).

9.2 Modelización forestal

La necesidad de predecir el crecimiento y la producción de los árboles y las masas forestales, así como su respuesta a las intervenciones silvícolas, ha sido y es uno de los objetivos fundamentales de la investigación forestal, ya que la clave para una correcta gestión radica en un profundo conocimiento de los procesos de desarrollo de las especies forestales (Diéguez *et al.*, 2009). En este sentido, los datos obtenidos de sitios permanentes de monitoreo forestal

constituyen el mejor soporte de datos para el desarrollo de los modelos de crecimiento y producción forestal.

Los modelos de crecimiento en el campo forestal constituyen herramientas muy valiosas para los silvicultores y responsables técnicos forestales, al permitir predecir el desarrollo de los árboles y/o las masas forestales y, por tanto, facilitar la selección de las mejores alternativas de manejo en función de unos objetivos fijados de antemano, anticipándose a las consecuencias que una determinada acción puede tener sobre el sistema forestal..

Un modelo es una abstracción simplificada de la realidad, en la que solamente se reproducen algunas propiedades del objeto o sistema original, que entonces queda representado por otro objeto o sistema de menor complejidad.

En el caso de los modelos forestales de crecimiento (muchas veces denominados modelos de crecimiento y producción), el sistema original está constituido normalmente por árboles individuales, grupos de árboles o por algunos de los rodales que forman las masas forestales, por lo que dichos modelos tratan de representar de forma simplificada aspectos más o menos complejos relativos a la dinámica de desarrollo de esos sistemas. Así, por ejemplo, los modelos de crecimiento y producción de rodales forestales suelen comprender el crecimiento propiamente dicho, la mortalidad y otros cambios en su composición y estructura. Esos elementos que incluyen los modelos se expresan como un conjunto de ecuaciones matemáticas, como la lógica necesaria para relacionarlas de un modo coherente e, incluso, como el código de programación requerido para implementar el modelo en un simulador informático.

Existen diferentes clasificaciones de los modelos de crecimiento y producción en el campo forestal, y una de las más difundidas es la que distingue entre modelos estáticos y dinámicos (Diéguez *et al.*, 2009). Los

modelos estáticos son sistemas estructurados de relaciones matemáticas, estadísticas y/o lógicas que no consideran ni dependen de la tasa de crecimiento de los árboles y/o los rodales forestales (lo que constituye su principal diferencia con los modelos dinámicos), pero que, a pesar de ello, pueden dar lugar a buenos resultados en el caso de rodales no aclarados o en aquellos en los que se haya aplicado un tratamiento similar, siempre que se cuente con un elevado número de datos experimentales.

De esta manera, un modelo de crecimiento es estático si se ha construido a partir de los datos de un único inventario de una red de parcelas, pero también si se han utilizado datos de parcelas inventariadas en más de una ocasión y no se han tenido en cuenta los crecimientos observados en cada parcela en las metodologías de ajuste empleadas.

Este tipo de modelos, a pesar de su menor precisión en relación con los modelos dinámicos, representan el paso inicial a llevar a cabo cuando se pretende estudiar el desarrollo o crecimiento de una especie y no se dispone de otra herramienta.

Los modelos estáticos de rodal más conocidos son las tablas de producción, que deben su nombre a que tradicionalmente se han presentado en forma de tablas o cuadros numéricos. Actualmente también se elaboran herramientas silvícolas similares pero con formato gráfico, denominadas diagramas de manejo de la densidad (DMD), que permiten hacer estimaciones rápidas de la producción. Este tipo de herramientas, a diferencia de las tablas de producción, no presupone ninguna evolución de la densidad, sino que es el propio usuario quien fija su esquema de aclareos y lo dibuja sobre el gráfico, leyendo directamente en él los valores de las variables que le puedan interesar. Además, los DMD son independientes de la edad del rodal, lo que es una ventaja importante en el caso de rodales no regulares. Adicionalmente, a partir de los DMD también se pueden obtener los resultados de las producciones y crecimientos con un formato similar al de las tablas de producción, siempre y

cuando se conozca el índice de sitio del rodal. Ambas herramientas, tablas de producción y DMD, proporcionan resultados prácticamente idénticos si se construyen utilizando las mismas ecuaciones para predecir el diámetro medio cuadrático del rodal y su volumen (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

Otro tipo de modelos estáticos que pueden construirse con datos de parcelas temporales son las curvas de calidad de estación (aunque con metodologías actualmente en desuso), las distribuciones diamétricas, y las relaciones altura-diámetro simples y generalizadas.

Por otra parte, los modelos dinámicos de crecimiento predicen fundamentalmente tasas de cambio, es decir, el crecimiento de ciertas variables que definen el estado del sistema bajo condiciones distintas de densidad. La evolución del rodal en el tiempo se obtiene a partir de dichas ecuaciones, bien por integración o por la aplicación sucesiva de incrementos (Alder, 1980).

La principal ventaja de los modelos dinámicos es que permiten simular con mayor flexibilidad, y de una manera más realista que los modelos estáticos, distintas alternativas de gestión (densidades de plantación, tipo, peso y rotación de los aclareo), así como analizar sus posibles consecuencias en términos de crecimiento y producción. Para ello, es conveniente que estén implementados en simuladores informáticos, para facilitar su uso a los silvicultores, gestores forestales y otros potenciales usuarios (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

Los modelos dinámicos tienen en cuenta la evolución en el tiempo (es decir, el crecimiento) de las variables descriptivas de los árboles y/o los rodales forestales, por lo que para su construcción es necesario disponer de datos recogidos en árboles o rodales inventariados al menos en dos ocasiones, y además el ajuste estadístico debe de realizarse con una metodología que permita tener en cuenta dicho crecimiento.

Los modelos de crecimiento estáticos pueden dar lugar a buenos resultados en rodales no aclarados o en aquellos sometidos a un rango

reducido de tratamientos estándar de los que se disponga de un gran número de datos experimentales (que deben cubrir todas las combinaciones de edad, densidad y calidad existentes en la zona de estudio). Sin embargo, para poder proyectar al futuro el estado de un rodal considerando un amplio rango de regímenes silvícolas, o cuando se dispone de datos procedentes de parcelas experimentales en las que se han aplicado distintos tratamientos, es necesario elaborar modelos dinámicos, ya que son los únicos capaces de considerar adecuadamente la relación causa-efecto entre la densidad de la masa y la producción en volumen (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

Los modelos dinámicos de crecimiento podrían dividirse en dos grupos principales modelos de rodal y de árbol individual; siendo estos últimos preferibles en condiciones de mezcla de especies y edades.

Por otra parte, con los datos obtenidos en los sitios de ensayo de aclareos se puede, aparte de desarrollar los modelos mencionados anteriormente:

- Determinar la existencia de diferencias en el crecimiento en área basal según los tratamientos de aclareo aplicados.
- Determinar la existencia de diferencias en el crecimiento en diámetro o área basal de los árboles individuales según los tratamientos de aclareo aplicados.
- Comparar los valores del coeficiente de esbeltez (relación altura/diámetro) y del ratio de copa viva (altura de copa viva/altura total) de los árboles dañados por viento o nieve y los no dañados.
- Determinar el coeficiente de esbeltez límite de la masa a partir del cual el riesgo de derribo o rotura por viento o nieve aumenta significativamente.
- Ajustar ecuaciones de predicción del coeficiente de esbeltez de árboles individuales en función del diámetro normal de cada árbol y otras variables de masa, analizando las diferencias en los parámetros de las ecuaciones según tratamientos de aclareos.

- Ajustar ecuaciones que estimen el diámetro de copa, la longitud de copa viva y el perfil de copa en función de variables del árbol sencillas de medir (diámetro normal y/o altura total) y de variables características de la masa (número de árboles/ha, área basal, etc.).

9.3 Caracterización silvícola

Los datos de los sitios permanentes permiten realizar trabajos de caracterización silvícola de las masas forestales, cuyos resultados sirven para conocer la situación actual de los bosques facilitando el proceso de toma de decisiones relacionadas con su manejo y conservación. El objetivo de una caracterización silvícola es conocer la estructura actual y evaluar el desarrollo de las masas forestales en un área o región determinada. Por ejemplo a través de una adecuada caracterización se puede comparar el comportamiento de una especie que crecen en diversos sitios en función de la calidad de estación o comparar el desarrollo de diversas especies en el mismo lugar y analizar el desarrollo a lo largo de una masa forestal en particular (Del Peso et al., 2002).

10 REFERENCIAS

- Achim A., Ruel J.C., Gardiner B.A. (2005a) Evaluating the effect of precommercial thinning on the resistance of balsam fir to windthrow through experimentation, modelling, and development of simple indices. *Can. J. For. Res.* 35: 1844-1853.
- Achim A., Ruel J.C., Gardiner B.A. (2005b) Modelling the vulnerability of balsam fir forests to wind damage. *For. Ecol. Manage.* 204: 35-50.
- Alder D. (1980) Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. *Estudios FAO Montes 22/2*, Roma.
- Adler R.G. (1990). Procedures for monitoring tree growth and site change: a field guide. Oxford Forestry Institute. *Tropical Forestry Papers No. 23*. Forestry Institute, University of Oxford. Oxford. 188 p.
- Agee J.K., Bahro B., Finney M.A., Omi P.N., Sapsis D.B., Skinner C.N., van Wagtenonk J.W., Weatherspoon C.P. (2000) The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *For. Ecol. Manage.* 127: 55-66.
- Adler R.G., Synnot T.J.A. (1992). Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. *Tropical Forestry Papers No. 25*. 124 p.
- Allen R.B. (1993). "A permanent plot method for monitoring changes in indigenous forests". *Landcare Research. New Zealand*. 35 p.
- Assmann E. (1970) *The principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press, Oxford, New York, 506 pp.
- Bacelar de Sousa L.J., Soares R.V., Batista A.C. (2003) Modelagem do material combustível superficial em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* em Três Barras, SC. *Cerne* 9: 231-245.
- Becquey J., Riou-Nivert P. (1987) L'existence de zones de stabilité des peuplements. Consequences sur la gestion. *Revue Forestiere Francaise* 39, 323-334. Cremer et al. 1982
- Carrillo E.G. (2008). *Casos prácticos para muestreo e inventarios forestales*. Universidad Autonoma de Chapingo. Edo. de México. 172 p.
- CONAFOR. (2009). *Manual y procedimientos para el muestreo de campo (RE-MUESTREO 2009)*. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. 139 p.
- Condit R. (1998) *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots*. Springer-Verlag, Berlin. 211 p.
- Corral-Rivas J.J., Vargas L.B., Wehenkel C., Aguirre C.O., Álvarez G.J., Rojo A. A. (2009). *Guía para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal*

- y de Suelos en Bosques del Estado de Durango. Editorial UJED. Durango. 81p.
- Corral-Rivas, J.J., Wehenkel C., Solis-Moreno R. (2011). Establecimiento de una red permanente de sitios de investigación y monitoreo forestal en bosques de la UMAFOR 1001. Informe técnico del proyecto. 75 pp.
- Cruz M.G., Alexander M., Wakimoto R.H. (2003) Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. *Int. J. Wild. Fire.* 12: 39-50.
- Cucchi V., Bert D. (2003) Wind-firmness in *Pinus pinaster* Ait. stands in Southwest France: influence of stand density, fertilisation and breeding in two experimental stands damaged during the 1999 storm. *For. Ecol. Manage.* 60: 209-226.
- Decourt N. (1973). Protocole d'installation et de mesure des placettes de production semipermanentes. Centre National de Recherches Forestieres. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). 25 p.
- Bravo, F, Del Rio, M., Del Peso, C. (2002) El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible. Fundación General de la Universidad de Valladolid. 191 p.
- Del Río, M.; 1998. Régimen de claras y modelo de producción para *Pinus sylvestris* L. en los Sistemas Central e Ibérico. ETSI de Montes. Madrid.
- Diéguez-Aranda U., Rojo Alboreca A., Castedo-Dorado F., Álvarez González J.G., Barrio Anta M., Crecente-Campo F., González González J.M., Pérez-Cruzado C., Rodríguez Soalleiro R., López-Sánchez C.A., Balboa-Murias M.A., Gorgoso Varela J.J., Sánchez Rodríguez F. (2009) Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Dirección Xeral de Montes, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia.
- Drouineau S, Laroussinie O., Birot Y., Terrasson D., Formery T., Roman-Amat B. (2000) Joint evaluation of storms, forest vulnerability and their restoration. Euroean Forest Institute. Discussion paper 9, 40 pp.
- Fernandes P., Loureiro C., Botelho H., Ferreira A., Fernandes M. (2002) Avaliação Indirecta da carga de combustível em Pinhal Bravo. *Silva Lusitana* 10: 73-90.
- Fernandes P.A.M., Loureiro C.A., Botelho H.S. (2004) Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. *Ann. For. Sci.* 61: 537-544.
- Fernandes P.A.M., Rigolot E. (2007) The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *For. Ecol. Manage.* 241: 1-13
- Forestry Commission (1979). Sample Plot Code. British Forestry Commission. London. Res. s.p.

- FPPNMFE 1992. French Permanent Plot Network for the Monitoring of Forest Ecosystems (1992-2022).
http://www.onf.fr/pro/renecofor/pdf/rapport/Notice_Gb.pdf .
- Gadow K.v., Hui G.Y. (1999). Modelling forest development. Kluwer Academic Publishers Dordrecht.
- Gadow K.v., Rojo-Alboreca A., Álvarez-González J.G., Rodríguez-Soalleiro R. (1999). "Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo". Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie, núm. 1. 229-310.
- Gadow K.v., Sánchez Orois S., Álvarez González J.G. (2007) Estructura y crecimiento del bosque. 287 p. ISBN: 978-84-690-7535-7.
- García O. (1994) Minimum data for forest plantation management. IUFRO Conference Minimum Data Requirements for Sustainable Forest Management, Stellenbosch, South Africa, November 1994, 15 pp.
- Graham R.T., Harvey A.E., Jain T.B., Tonn J.R. (1999) The effects of thinning and similar stand treatments on fire behavior in Western forests. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-463. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 27 pp.
- Graham R.T., McCaffrey S., Jain T.B. (2004) Science basis for changing forest structure to modify wildfire behaviour and severity. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-120. 52 pp.
- Graves H.S. (1906). Forest mensuration. Nueva York. Wiley. 458 pp.
- Hinze W.H.F., Wessels M.O. (2002) Stand stability in pines: an important silvicultural criterion for the evaluation of thinnings and the development of thinning regimes: management paper. South. A. For. J. 196, 37-40.
- Hummel F.C., Locke M.L.G., Jeffers N.R.J., Christie J.M. (1959). Code of Sample Plot Procedure. Forestry Commission. Bull. 31. 113 pp.
- Jain T.B., Graham R.T. (2004) Is Forest Structure Related To Fire Severity? Yes, No, and Maybe: Methods and Insights in Quantifying the Answer. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-34. 2004. 217-234.
- Kane J.M., Knapp E.E., Varner J.M. (2006) Variability in loading of mechanically masticated fuel beds in northern California and southwestern Oregon. In Andrews, P.L., Butler, B.W. comps., Fuel Management – How to Measure Success: Conference Proceedings. Mar. 27-30, 2006. Portland Oregon. U.S.D.A. Forest Service, Proceedings RMRS-P-41, pages 341-350.
- Keyes C., O'Hara K. (2002) Quantifying stand target for silvicultural prevention of crown fires. W. J. Appl. For. 17: 101-109.
- Kleinn C., Morales D. (2002). "Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o en

- plantaciones forestales". Revista Forestal Centroamericana, núms. 39-40. 6-12 pp.
- Konôpka B., Konôpka J. (2003) Static stability of forest stands in the seventh altitudinal vegetation zone in Slovakia. *J. For. Sci.* 49: 474-481.
- Lanner R.M. (1985) On the insensitivity of height growth to spacing. *For. Ecol. Manage.* 13: 143-148.
- Lundqvist L., Chrimes D., Elfving B., Mörling T., Valinger E. (2007) Stand development after different thinnings in two uneven-aged *Picea abies* forests in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 238: 141-146.
- Manzanilla B.H. (1993). Los sitios permanentes de investigación silvícola un sistema integrado para iniciarse en el cultivo de los ecosistemas forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. 101 p.
- Mitchell S. (2000) Forest health: preliminary interpretations for wind damage. *For. Pra. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Stand Density Management Diagrams.*
- Mitsopoulos I.D., Dimitrakopoulos A.P. (2007) Canopy fuel characteristics and potential crown fire behaviour in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Ann. For. Sci.* 64: 287-299.
- Montero G., Cañellas I., Ortega C., Del Río M. (2001) Results from a thinning experiment in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain). *For. Ecol. Manage.* 145: 151-161.
- NFV (1996). Stand der Versuchsflächen vom 1 Januar 1996. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt.
- O'Hara K.L. (1989) Stand Growth Efficiency in a Douglas Fir Thinning Trial. *Forestry* 62: 409-418.
- Oliveira A.M. (1988) The H/D ratio in maritime pine (*Pinus pinaster*) stands. In: Proceedings of the IUFRO Conference Forest Growth modelling and prediction. A.R. Ek, S.R. Shifley and T.E. Burk (eds.). 23-27 Aug. 1987, Minneapolis. IUFRO Vienna, pp. 881-888.
- Oliver C.D., Larson B.C. (1996) Forest stands dynamics. Update Edition. John Wiley & Sons. New York.
- Parresol B.R., Shea D., Ottmar R. (2006) Creating a fuels baseline and establishing fire frequency relationships to develop a landscape management strategy at the Savannah River Site. In: Andrews P.L., Butler B.W., comps. (2006) Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings

- RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 273-282.
- Pérez D., Kaninen M. (2005). Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica* 39: 217-225.
- Pollet J., Omi P.N. (2002) Effect of thinning and prescribed burning on crown fire severity in ponderosa pine forest. *Int. J. Wild. Fire.* 11:1-10.
- Reukema D.L. (1979) Fifty-year development of Douglas-fir stands planted at various spacings. USDA For. Serv. Res. Pap. PNW-253. 21 pp.
- Robertson W.M., Mulloy G.A. (1944). Sample plot manual. Misc. Ser. 4. Ottawa, ON: Dominion Forest Service, Canadian Department of Mines and Resources, Ottawa. 60 p., plus tables.
- Robertson W.M., Mulloy G.A. (1946). Sample plot methods. Ottawa, ON: Dominion Forest Service, Canadian Department of Mines and Resources, Ottawa. 69 p.
- Sando R.W., Wick C.H. (1972) A method of evaluating crown fuels in forest stands. USDA Forest Service Research Paper NC-84. 10 pp.
- Savill P.S. (1983) Silviculture in windy climates. *For. Abstr.* 44, 473-488.
- Silva J.S., Fernandes P., Vasconcelos J. (1999) The effect of thinning on surface fuels and fire behaviour of thinning a *Pinus pinaster* stand in Central Portugal. En: Proceedings From the Joint Fire Science Conference and Workshop "Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management". En: Neuenschwander L.F., K.C. Ryan (eds.) Boise, USA, 275-277 pp.
- Synnott, T.J.A. (1979). A Manual of Permanent Plot Procedures for Tropical Rainforests. Tropical Forestry Papers No. 14. Forestry Institute, University of Oxford. Oxford. 67 p.
- Valinger E., Fridman J. (1997) Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. *For. Ecol. Manage.* 97: 215-222.
- Valles, A.G. y Quiñones Ch.A. (2004). Manual para el establecimiento de Sitios Permanentes de Investigación Silvícola (SPIS) en bosques naturales. Folleto técnico núm. 22. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Durango. 22 p.
- van Wagner C.E. (1977) Conditions for the start and spread of crown fires. *Can. J. For. Res.* 7: 23-34.
- Villa O. M.L. 2011. Estimación del tamaño de sitio adecuado para la descripción de la estructura espacial en bosque templado. Tesis de licenciatura,

Facultado de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México. 45 p.

- Wang E., Erdle T., Litchfield M., Brackley A. (1986). A proposal for a growth and yield program in New Brunswick. N. B. Forest Research Advisory Committee, Fredericton, New Brunswick, Canadá, 17 p.
- Wang Y., Titus S.J., LeMay V.M. (1998) Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. *Can. J. For. Res.* 28, 1171-1183.
- Wilson J.S., Oliver C.D. (2000) Stability and density management in Douglas-fir plantations. *Can. J. For. Res.* 30, 910-920.
- Wonn H.T., O'Hara K.L. (2001) Height-diameter ratios and stability relationships for four Northern Rocky Mountain tree species. *Western Journal of Applied Forestry* 16(2): 87-94.

APÉNDICES

APENDICE 1. FORMATOS DE CAMPO

F-01: INFORMACIÓN DE CONTROL Y ECOLÓGICA

F-02: INFORMACIÓN DASOMÉTRICA

F-03: INFORMACIÓN DE LA REGENERACIÓN NATURAL

F-04: INFORMACIÓN DEL RECURSO SUELO

F-05: GUÍA RÁPIDA PARA EL LLENADO DE FORMATOS DE CAMPO

F-01: INFORMACIÓN DE CONTROL Y ECOLOGICA DEL SITIO

- 1 Fecha: _____ 2 Brigada: _____
 Día Mes Año
- 3 Nombre y firma del responsable: _____
- 4 Estado: _____ 5 Municipio: _____
- 6 Predio: _____ 7 Paraje: _____
8. Hora de Inicio: _____ 9. Hora de Termino: _____

10 Sitio	11 T-Sitio (m ²)	12 ASNM	13 Zona UTM	14 Datum	15 Error de precisión	Coordenadas UTM	
				WGS84	<i>m</i> _____	16 Este	17 Norte

Variables ecológicas

- 18 Exposición: Z 1 N 2 S 3 E 4 O 5 NE 6 SE 7 NO 8 SO 9
- 19 Fisiografía
 Valle 1 Terraza 2 Planicie 3 Barranca 4
 Meseta 5 Ladera 6 Lomerío 7 Bajo 8

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Co	Te	Mp	Mo (cm)	Oc (cm)	Uac	Up	EI (%)	Ec (%)	Er (%)	Ea (%)	Per	Pen (%)	CA %
34	35	36	37	38	39	40	41				42		
CH %	CP %	COC %	Plagas y Enf.	Ni	Ts	Rec. Mjo.	Accesibilidad				Tipo de acceso		

43 Croquis de ubicación

44 Observaciones

F-04: INFORMACIÓN DEL RECURSO SUELO

1. Predio:				
2. No. Sitio:				
Factor	Características (marcar con X)			
	Punto 1 (cm)	Punto 2 (cm)	Punto 3 (cm)	Punto 4 (cm)
3. Profundidad efectiva	1. Menor a 15 cm			
	2. Entre 15 y 30 cm			
	3. Entre 30 y 60 cm			
	4. Entre 60 y 90 cm			
	5. Mayor de 90 cm			
4. Color	1. Oscuro			
	2. Medio			
	3. Claro			
5. Erosión actual (ver figura)	1. Sin erosión			
	2. Erosionado (horizonte A, completamente eliminado, horizonte B expuesto)			
	3. Muy erosionado (horizontes B y C expuestos)			
6. Susceptibilidad a la erosión	1. No susceptible			
	2. Ligeramente susceptible			
	3. Muy susceptible			
<p>Mantillo</p> <p>Suelo</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>0 - 15 cm</p> <p>15 - 30 cm</p>				

Figura 15. Representación gráfica de los horizontes del suelo que deben ser considerados en el establecimiento de sitios permanentes de investigación forestal.

APENDICE 2: GUÍA RÁPIDA PARA EL LLENADO DE FORMATOS DE CAMPO

(20) Compactación del suelo (Co) 1 Alta 2 Media 3 Baja	(21) Textura (Te) 1 Limosa 2 Arenosa 3 Arcillosa 4 Limo-arenosa 5 Limo-arcillosa 6 Areno-limosa 7 Areno-arcillosa 8 Arcillo-limosa 9 Arcillo-arenosa 10 Franco 11 Franco-limosa 12 Franco-arenosa 13 Franco-arcillosa	(22) Material predominante (Mp) 1 Suelo 2 Arena 3 Grava (cascajo) 4 Piedra 5 Roquerío 6 Laja	(25) Uso Actual (Uac) 1 Forestal en producción maderable 2 Inaccesible 3 Sitios experimentales 4 Áreas semilleras 5 Protección ecológica	(26) Uso pecuario (Up) 1 No presente 2 Poco 3 Moderado 4 Intenso	(27) Erosión laminar (El) (28) Erosión canchales (Ec) (29) Erosión cárcavas (Er) (30) Erosión antropogénica (Ea) 1 No presente 2 1-10% del sitio 3 11-20% del sitio 4 21-30% del sitio 5 31-40% del sitio 6 41-50% del sitio 7 51-60% del sitio 8 61-70% del sitio 9 Más de 70% del sitio
(31) Perturbaciones (Per) 1 Sin perturbación 2 Hongos y enfermedades 3 Plagas 4 Candestinaje 5 Cinchamiento 6 Resinación o chicleo 7 Incendios 8 Pastoreo 9 Ocoteo 10 Plantas parásitas 11 Lianas o bejucos 12 Roedores 13 Rayos 14 Viento 15 Otras (especificar)	(32) Pendiente (PEN%) 1 Sin pendiente 2 1-10% del sitio 3 11-20% del sitio 4 21-30% del sitio 5 31-40% del sitio 6 41-50% del sitio 7 51-60% del sitio 8 61-70% del sitio 9 Más de 70% del sitio	(33) Cobertura de arbustos (CA) (34) Cobertura de Herbáceas (CH) (35) Cobertura de Pastos (CP) (36) Cobertura de Ochocal (COC) 1 No presente 2 1-10% del sitio 3 11-20% del sitio 4 21-30% del sitio 5 31-40% del sitio 6 41-50% del sitio 7 51-60% del sitio 8 61-70% del sitio 9 Más de 70% del sitio	(37) Plagas y enfermedades presentes en el sitio (Plagas y Enf.) 1 Sin presencia 2 Muérdago 3 Barrenadores de yemas 4 Descortezadores 5 Defoliables		(39) Tratamientos silvícolas (Ts) 1 No corta (segregación total) 2 Corta de regeneración 3 Corta de liberación con preaclareo 4 Aclareo 5 Selección 6 Matarrasa 7 Cortas de protección
(40) Recomendaciones de manejo (Rec. Mjo.) 01 Quema controlada o reducción de combustibles 02 Desbroza (eliminación de la vegetación no deseada) 03 Limpia del suelo 04 Reducción de la densidad de la regeneración 05 Reforestación 06 Plantación con siembra directa 07 Limpieza de la regeneración o plantación 08 Restauración de suelos 09 Cortas de saneamiento 10 Obras de control de azolves 11 Brecha cortafuego 12 Cercado de la regeneración 13 Podas		(41) Accesibilidad 1 Buena 2 Regular 3 Mala	F-02: INFORMACIÓN DASOMÉTRICA (6) Dominancia del árbol (Do) 1 Dominante-Codominante 2 Intermedio 3 Suprimido 4 Libre sin efecto de supresión 5 Libre con efecto de supresión 6 Aislado con el piso alto 7 Muerto en pie 8 Muerto caído 9 Tocón 10 Indefinido	F-02: INFORMACIÓN DASOMÉTRICA (14) Daño Físico (Df) 1 Sin Daño 2 Vieja, resinado, ocoteado, lacrado chicleado 3 Fuste nudoso, ramudo o aboltado 4 Ladeado, chueco o torcido 5 Fuste descortezado o rayado 6 Puntiseco o despuntado 7 Cinchado 8 Fuste ovoide o cuadrilongo 9 Daño por cable 10 Bifurcado o polibifurcado 11 Lianas o bejucos	F-02: INFORMACIÓN DASOMÉTRICA (15) Ubicación del daño físico o defecto (Ub) 1 Sin Daño 2 Daño en la punta 3 Daño en la parte media 4 Daño en la base 5 Daño en la punta y en la parte media 6 Daño en la punta y en la base 7 Daño en la parte media y en la base 8 Daño en la parte media, en la punta y en la base



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

José Javier Corral-Rivas
Benedicto Vargas-Larreta
Christian Wehenkel
Oscar Alberto Aguirre-Calderón
Felipe Crecente-Campo



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

