

Caracterización y cuantificación de combustibles forestales



GOBIERNO FEDERAL

SEMARNAT



CUCSUR

EDITORIAL UNIVERSITARIA



UNIVERSITY OF WASHINGTON



www.conafor.gob.mx



Vivir Mejor

Caracterización y cuantificación de combustibles forestales

Primera edición, junio 2012.

Textos

Jorge E. Morfín Ríos, Enrique J. Jardel Peláez y José M. Michel Fuentes (2003-2009*)
Departamento de Ecología y Recursos Naturales-IMECBIO del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara

*Periodo de colaboración.

Ernesto Alvarado Celestino
Colegio de Recursos Forestales de la Universidad de Washington
Grupo de Investigación Aplicada sobre Fuego y Medioambiente (FERA)

Comisión Nacional Forestal

Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico
Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología
Periférico Pte. 5360
Colonia San Juan de Ocotán
Zapopan, Jalisco C.P. 45019
Tel: 01 800 73 70000 y (33) 37 77 70 17
www.conafor.gob.mx
tt@conafor.gob.mx

Editorial Universitaria

José Bonifacio Andrada 2679
Colonia Lomas de Guevara
44657 Guadalajara, Jalisco
www.editorial.udg.mx
01 800 UDG LIBRO

ISBN: 978-607-450-544-3
Impreso y hecho en México.

Forma de citar:

Morfín-Ríos, J.E., E.J. Jardel P., E. Alvarado C. y J.M. Michel-Fuentes. 2012. *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

Presentación

El comportamiento del fuego en los incendios forestales es resultado de la interacción entre el material combustible presente en el bosque (biomasa de plantas vivas, árboles muertos en pie, material leñoso caído y hojarasca) y las condiciones del tiempo atmosférico y la topografía. El conocimiento de estos tres factores es fundamental para desarrollar modelos predictivos que permitan entender variables del comportamiento de los incendios, como las tasas de propagación, intensidad y tiempo de residencia del fuego, sus efectos en la mortalidad de plantas, formación de claros, consumo de biomasa y emisiones de humo y gases, así como para evaluar condiciones de peligro para combatientes de incendios y de resistencia del fuego a las medidas de control, y para planificar quemas prescritas y otros tratamientos de combustibles.

La caracterización, cuantificación y clasificación de los combustibles forestales proporciona información fundamental para el manejo del fuego. El presente manual describe las bases conceptuales y los métodos básicos estandarizados para realizar estudios descriptivos y cuantitativos para inventarios de combustibles en bosques, selvas, matorrales y pastizales, que sean aplicables al manejo del fuego y la investigación sobre los efectos ecológicos y ambientales de los incendios forestales. Los métodos que se describen en este manual ya han sido aplicados en una variedad de condiciones que incluyen bosques de coníferas y encinos, bosques latifoliados, selvas tropicales y matorrales.

Más información sobre paquetes de transferencia de tecnología en:
www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal

Agradecimientos

Este manual es resultado de la colaboración entre el Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (IMECBIO) de la Universidad de Guadalajara, la Escuela de Recursos Forestales de la Universidad de Washington y el Grupo de Investigación Aplicada sobre Fuego y Medio Ambiente (FERA, Fire and Environment Research Applications) del Servicio Forestal de Estados Unidos. Fue elaborado como parte del proyecto *Evaluación de combustibles forestales y peligro de incendios en áreas naturales protegidas y regiones prioritarias para la conservación en México* (clave de proyecto P1-07-003), financiado por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. (FMCN) y la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), a través de la Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C. (MABIO) y el Consejo Civil Mexicano de Silvicultura Sostenible A.C. (CCMSS). La publicación del manual fue apoyada por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

El desarrollo de este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo y las aportaciones conceptuales y técnicas de David V. Sandberg, Robert Vihnanek, David Wright, Roger Ottmar y Clint Wright de FERA, Dante A. Rodríguez Trejo, Roberto Martínez Domínguez, José Velásquez Martínez, Germán Flores Garnica, Diego Pérez Salicrup, Andrés Nájera Díaz, Arelia Jacive López Castañeda, Alfredo Nolasco Morales, Oscar Rodríguez Chavez y Baruk Maldonado Leal. Agradecemos también el apoyo para el desarrollo del proyecto de Juan Manuel Frausto Leyva y Rossana Landa del FMCN, Margaret Haines y Catherine Karr de Programas Internacionales del Servicio Forestal de Estados Unidos, Heather Huppe de USAID, Sergio Graf Montero (anteriormente Director Ejecutivo de MABIO) y Sergio Madrid Zubirán Director Ejecutivo del CCMSS.

J. E. Morfín-Ríos, E. J. Jardel, E. Alvarado y J.M. Michel-Fuentes
Octubre de 2011

Contenido

Introducción	6
Combustibles forestales, ecología y manejo del fuego	10
Combustibles e incendios forestales	10
Los combustibles en el paisaje forestal	15
Camas de combustibles	15
Modelos de combustibles	22
Inventarios de combustibles	23
Fotoserias	25
Sistema de Clasificación de Características de Combustibles	25
Métodos de inventario de combustibles forestales	27
El diseño de los inventarios	27
Muestreo	31
Datos de control e información sobre condiciones de sitio	36
Evaluación y cuantificación de la cubierta vegetal	38
Dosel	38
Arbustos	43
Vegetación de baja altura (hierbas)	43
Carga del estrato arbustivo y la vegetación de baja altura	45
Evaluación y cuantificación del mantillo	47
Material leñoso caído	48
Hojarasca fresca y capa de fermentación	59
Evaluación de la humedad de los combustibles	63
Fotografías de Registro	65
Presentación y uso de los resultados	66
Literatura citada	75
Anexos	94

Introducción

La información acerca de las características y propiedades de los combustibles forestales es indispensable, tanto para fines prácticos del manejo forestal, como para la investigación acerca de la ecología del fuego (Sandberg *et al.*, 2001). El tema de los combustibles forestales ha sido señalado como una necesidad expresa de los encargados de la protección contra incendios y como una de las prioridades de investigación para el manejo del fuego (Jardel *et al.*, 2010, Ottmar *et al.*, 2007), así como para la evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de incendios y quemas prescritas (Seiler y Crutzen 1980).

El conocimiento de las propiedades físicas de los combustibles aporta datos que son necesarios para la evaluación y modelaje del comportamiento y los efectos potenciales del fuego en los incendios forestales (Sandberg *et al.*, 2001), la planificación de tratamientos de quema prescrita y control mecánico de combustibles (Agee y Skinner, 2005), así como la toma de decisiones en el combate de incendios y en la evaluación y monitoreo de almacenes de biomasa y carbono en el contexto de la mitigación del cambio climático. Los incendios forestales son un fenómeno ampliamente extendido en los ecosistemas terrestres del mundo. Todos los años grandes extensiones de bosques, selvas, matorrales y pastizales se incendian (Schultz *et al.*, 2008) y el fuego es por lo tanto, un importante factor en la dinámica de los paisajes forestales (McKenzie *et al.*, 2011). La percepción de los incendios como una causa de deforestación y degradación ecológica, ha dado lugar a acciones de protección y combate del fuego, pero en la actualidad cada vez es más aceptada la necesidad de adoptar un enfoque alternativo de manejo del fuego basado en principios ecológicos (Arno y Brown, 1991; Pyne *et al.*, 1996; Agee, 2002; Jardel, 2010).

El enfoque de manejo del fuego se fundamenta en el hecho de que los incendios forestales son un proceso ecológico (Agee, 1993; Sugihara *et*

al., 2006), al igual que otros factores que originan cambios de estado o perturbaciones que forman parte de la dinámica de los ecosistemas (White y Pickett, 1985; Manson y Jardel, 2009). Los incendios forman parte del Sistema Tierra desde la aparición de las plantas terrestres en el Silúrico, hace 420 millones de años (Bowman *et al.*, 2009; Pausas y Keeley, 2009); la combinación de la biomasa de la cubierta vegetal y de una atmósfera rica en oxígeno (ambos factores producto de la fotosíntesis) y de fuentes de ignición como rayos (y desde hace unos miles de años igniciones antropogénicas), hacen que prácticamente cualquier lugar del planeta con vegetación, pueda incendiarse cuando existen condiciones de estado del tiempo suficientemente secas. La variación en las condiciones climáticas, la forma del terreno y la vegetación dan lugar a diferentes regímenes de fuego en los cuales los incendios se presentan con diferente frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad, tamaño y patrón espacial (Agee 1993; Sugihara *et al.*, 2006; Jardel *et al.*, 2009).

La influencia de los regímenes de incendios, junto con otros factores ambientales, ha sido parte del ambiente en el cual han evolucionado las especies de plantas, animales y otros organismos (Whelan, 1995; Pausas y Keeley, 2009), además de influir de manera significativa en la composición y estructura de la vegetación (Bond y Van Wilgen 1996) y en configuración del paisaje (McKenzie *et al.*, 2011).

Además de su papel ecológico, el fuego ha sido una de las herramientas más utilizadas en la manipulación de la vegetación para distintos propósitos como la cacería y el manejo del hábitat de la fauna silvestre, la agricultura, la silvicultura y el manejo de agostaderos cerriles, desde la antigüedad (Pyne *et al.*, 1996).

La variación espacial y temporal del clima es, junto con las condiciones geomorfológicas y la vegetación, uno de los principales factores que controlan los regímenes de incendios en el paisaje (Gedalof, 2011; McKenzie *et al.*, 2011), por lo cual la incidencia, comportamiento y efectos de los incendios son sensibles a la influencia del cambio climático global (Westerling *et al.*,

2006; Flannigan *et al.*, 2009). Además de esto, la transformación de las áreas forestales debida a la deforestación y la fragmentación por el avance de la frontera agropecuaria, la urbanización y la explotación de recursos forestales, e intervenciones de manejo, como la supresión del fuego en algunas regiones o el aumento de la frecuencia de igniciones antropogénicas en otros lugares, ha dado lugar a la alteración de los regímenes naturales o históricos de incendios (Arno y Brown, 1991; Fulé y Covington, 1996; Agee, 2002; Hardesty *et al.*, 2005). La alteración de los regímenes de incendios es el problema más crítico en relación con los efectos del fuego en los ecosistemas forestales y, a escala mundial, se observa en las últimas décadas una tendencia de aumento de la intensidad, severidad y tamaño de los incendios (Rowell y Moore, 1999; Westerling *et al.*, 2006; Flannigan *et al.*, 2009); esto es, se registra un aumento en el peligro y riesgo de incendios.

El término *peligro de incendio* se refiere al potencial comportamiento del fuego y de la severidad de sus efectos sobre los ecosistemas, así como a la resistencia de los incendios a los esfuerzos de combate o supresión (Hardy, 2005). El peligro de incendio está determinado por los combustibles forestales, esto es, por el tipo, la cantidad o carga, distribución horizontal y vertical, inflamabilidad, compactación y tamaño del material que puede encenderse y mantener la propagación del fuego. El *riesgo de incendio* se refiere a la probabilidad de ignición (natural y antropogénica) y la propagación del fuego, determinada principalmente por las condiciones del estado del tiempo (Hardy, 2005).

En años recientes, en México se ha iniciado una transición de la política de protección contra incendios a la adopción de un enfoque integral de manejo del fuego (Jardel, 2010). Esto ha sido promovido por las autoridades forestales y de conservación, prestadores de servicios técnicos forestales, personal de áreas protegidas y de organizaciones conservacionistas e investigadores (Jardel *et al.*, 2010). Algunas áreas protegidas de México, por ejemplo, ya cuentan con programas de manejo

del fuego, como es el caso de las reservas de la biosfera Sierra de Manantlán (Jalisco y Colima) y la Selva El Ocote y La Sepultura (Chiapas) y en otras más están en proceso de elaboración. La aplicación adecuada de estos programas requiere de la disponibilidad de información básica y modelos predictivos acerca del comportamiento del fuego y sus efectos ecológicos (*i.e.* severidad de los efectos de los incendios sobre la vegetación y otros componentes de los ecosistemas) y ambientales (como emisiones de humo y gases con efecto de invernadero, e impacto en las cuencas hidrográficas y en el valor escénico de sitios de recreación al aire libre). El conocimiento del complejo de combustibles en los ecosistemas forestales es un aspecto de fundamental importancia para el éxito de las acciones de manejo del fuego y es importante también para la aplicación de medidas de mitigación del cambio climático y adaptación a este. Los datos generados en la caracterización y cuantificación de combustibles forestales, tienen también aplicaciones en la evaluación de los efectos de incendios y quemas prescritas, en la calidad del aire, así como en el estudio de la dinámica del carbono en los ecosistemas a través de inventarios y estimaciones de almacenes, captura y emisiones de carbono y gases con efecto de invernadero (Seiler y Crutzen 1980; Sandberg *et al.*, 2002; Ottmar *et al.*, 2007) y en la caracterización de hábitats forestales, dado que la biomasa de plantas, los residuos leñosos y el mantillo son componentes esenciales para mantener la diversidad de especies (Harmon *et al.*, 1986; McComb y Lindenmayer, 1999).

A partir de la temporada crítica de incendios de 1998, en México se impulsaron una serie de acciones dirigidas a fortalecer las capacidades nacionales para la protección contra incendios forestales y el manejo del fuego, incorporando en esta tarea a diversas dependencias, organizaciones civiles y centros de educación e investigación. Un tema central fue el desarrollo de métodos de cuantificación y evaluación de los combustibles forestales; como resultado se generaron series fotográficas para la cuantificación de combustibles forestales (Ottmar *et al.*, 1998) en bosques montanos subtropicales de la Sierra Madre del Sur y bosques templados y

matorrales submontanos del norte de la Sierra Madre Oriental (Alvarado *et al.*, 2008); se diseñó también un sistema para la clasificación de las camas de combustible que fuera de utilidad para los responsables del manejo del fuego, tanto en unidades de conservación como de producción forestal, que pudiera servir como base para el diseño de inventarios y estudios más detallados para la caracterización de las camas de combustible forestales (Michel, 2010).

Combustibles forestales, ecología y manejo del fuego

Combustibles e incendios forestales

Los combustibles son cualquier sustancia o compuesto susceptible de encenderse y mantener un proceso de combustión. El fuego es un fenómeno físico-químico, en el cual la energía contenida en los enlaces químicos de los compuestos orgánicos se libera en forma de luz y calor en un proceso de oxidación (Byram, 1959; Rothermel, 1972; Agee, 1993; Grishin, 1997; Arnaldos Viger *et al.*, 2004). Para que se produzca el fuego, se necesitan tres elementos que constituyen el *triángulo del fuego* (Fig. 1): el combustible (los materiales orgánicos), el comburente (oxígeno) y calor (que inicia el proceso de combustión y lo mantiene).

En los ecosistemas terrestres el combustible es la biomasa producida en la fotosíntesis, proceso en el cuál la energía solar es utilizada por las plantas para romper los enlaces químicos de las moléculas de agua, cuyo hidrógeno se enlaza con las moléculas de bióxido de carbono para formar moléculas de azúcares, que a su vez sirven como base para la formación de otros compuestos orgánicos (como la celulosa o la lignina) en cuya constitución entran otros elementos adicionales absorbidos por las raíces de las plantas (Chandler *et al.*, 1983). En la fotosíntesis se libera el oxígeno, que no solo es utilizado después en la respiración de los seres vivos, sino que funciona también como el comburente en los incendios. La atmósfera terrestre, cuya composición es en gran parte producto de la actividad de las plantas (Beerling, 2007), tiene una concen-

tración de oxígeno que genera condiciones “entre la anoxia y la combustión espontánea” (Lovelock, 1989); esto es, las condiciones del planeta Tierra son un ambiente favorable para el fuego. Las mismas plantas (organismos autótrofos) y los organismos heterótrofos que las consumen (animales, hongos, microorganismos), utilizan las moléculas orgánicas como fuente de energía para su mantenimiento (Ricklefs y Miller, 2000); esta energía, contenida en los enlaces químicos de dichas moléculas, se libera a través de la respiración, que es un proceso de oxidación. La reacción de la respiración es el inverso de la fotosíntesis, y es la misma que la que se observa en el proceso de combustión completa (Fig. 1). Puede verse que los componentes de la reacción de combustión (a la izquierda de la flecha en la Fig. 1), son los mismos que los del triángulo del fuego (Van Wagendonk, 2006). En los incendios forestales es necesario considerar además las dimensiones temporal y espacial en las cuales se manifiesta el fenómeno del fuego.

Fotosíntesis: producción de materia orgánica
 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía solar} \longrightarrow (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 6\text{O}_2$

Combustión: liberación de la energía química de la materia orgánica
 $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 6\text{O}_2 + \text{calor inicial} \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{calor}$



Figura 1. El triángulo del fuego está formado por el material combustible, el oxígeno que es el comburente que alimenta la reacción química de oxidación, y el calor que inicia el proceso de combustión y lo mantiene. Arriba se muestran las reacciones químicas de producción de materia orgánica a través de la fotosíntesis y de su descomposición a través de la combustión.

Cuando se combate un incendio, se dice que se ataca alguno de los lados del triángulo del fuego, ya sea enfriando la temperatura con agua, sofocando el fuego quitándole el oxígeno (con extinguidores o abatefuegos), o bien removiendo el material combustible. Esto último es lo más común en el combate de incendios forestales, cuando se construyen guardarrayas o brechas cortafuego para romper la continuidad horizontal del material combustible del piso del bosque o cuando se aplican contrafuegos para quemar una zona y detener el avance del frente del incendio.

Los combustibles forestales son toda la materia orgánica que se encuentra en los montes y que se encuentra disponible para la combustión en los incendios forestales, incluyendo la biomasa de plantas vivas y sus partes (follaje, tallos y ramas, raíces), así como sus restos (también llamados necromasa), que incluyen troncos de árboles muertos en pie o caídos, tocones, residuos leñosos y hojas que se encuentran en el mantillo, así como la materia orgánica del suelo (Chandler *et al.*, 1983; Pyne *et al.*, 1996; Arnaldos Viger *et al.*, 2004).

En un incendio forestal, el fuego se propaga alimentándose del combustible disponible para la combustión. El tipo de materiales combustibles y sus características físicas y químicas, la cantidad o carga de los mismos, su grado de compactación, su distribución espacial en el plano horizontal y en el vertical, son factores que influyen en la manera en que se comporta el fuego.

La intensidad, velocidad y dirección de propagación del fuego, esto es, su comportamiento, está determinado principalmente por tres tipos de factores: los combustibles, las condiciones del tiempo atmosférico (viento, temperatura, humedad relativa del aire) y las condiciones topográficas (forma e inclinación del terreno) (Pyne *et al.*, 1996). Se habla así también de Estos tres factores constituyen lo que se conoce como el *triángulo del ambiente del fuego* (Fig. 2). De los tres componentes mencionados, los combustibles constituyen el único que puede ser directamente manipulado, tanto en el combate de incendios como en la aplicación de medidas preventivas. De aquí la importancia que se da al tema de los combustibles forestales en el manejo del fuego.

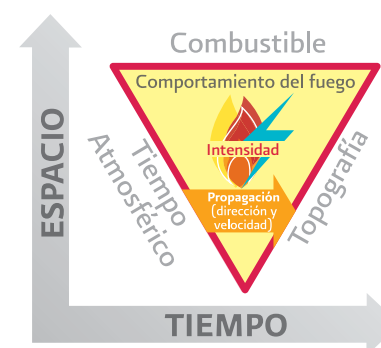


Figura 2. El triángulo del ambiente del fuego. Los combustibles, el estado del tiempo atmosférico y las condiciones topográficas son los factores que determinan cómo se comporta el fuego en un incendio forestal.

Lo que desde la perspectiva del manejo del fuego consideramos como materiales combustibles, desde el punto de vista de la ecología son componentes de los ecosistemas y juegan un importante papel en los flujos de energía y los ciclos de carbono, nutrientes y agua. La biomasa y necromasa son un importante reservorio de carbono y de nutrientes; estos últimos se liberan en el suelo a través de procesos de descomposición, tanto biótica (microorganismos) como abiótica (fuego) y se hacen nuevamente disponibles para su absorción por las plantas, quedan almacenados en el suelo o forman compuestos secundarios no asimilables, o bien se volatilizan a la atmósfera (Chapin *et al.*, 2002). Los incendios se consideran como una forma abiótica de la descomposición de la materia orgánica en la naturaleza, ya que al consumir parte de la biomasa y necromasa, producen la liberación de nutrientes hacia el suelo y de gases hacia la atmósfera (Van Wagtendonk, 2006). El mantillo del suelo funciona también como una esponja que retiene agua y la libera lentamente, influyendo en el movimiento del agua en los ecosistemas forestales y protege al suelo de la erosión (Chapin *et al.*, 2002).

Los combustibles son también elementos importantes del hábitat de la biota silvestre. Proveen recursos alimenticios para organismos que consumen la hojarasca y la madera (como hongos e invertebrados), que se encuentran

en la base de las redes tróficas, así como sitios de refugio y anidamiento para numerosas especies animales que utilizan troncos, árboles muertos en pie y cavidades (McComb y Lindenmayer, 1999). Dadas estas razones, el entendimiento del papel de los combustibles forestales es muy importante en el manejo y conservación de los hábitats forestales.

En los últimos años, los resultados de la investigación sobre la ecología del fuego, la incorporación en el manejo forestal de objetivos centrados en la generación de servicios ecosistémicos, y las experiencias prácticas en la silvicultura y la conservación, han llevado a un cambio de un enfoque convencional en el que los incendios han sido considerados solamente como un factor de deterioro que debe ser suprimido, a un enfoque en el cual el fuego es reconocido como un factor ecológico que debe ser manejado (Pyne *et al.*, 1996).

Actualmente el manejo del fuego hace mayor énfasis en aplicar tratamientos que reduzcan el riesgo, peligrosidad y severidad de los incendios y en el papel de estos en los procesos ecológicos. Al considerar que el manejo del fuego es parte del manejo de ecosistemas (Jardel, 2010), debe quedar claro que se requiere de información más detallada y específica sobre las capas de combustibles, la cual no se considera cuando el interés se centra exclusivamente en el comportamiento del fuego en función de acciones de prevención física y combate de incendios forestales (Harrington, 2005). Por esto es necesario contar con información sobre los combustibles que responda a la necesidad de evaluar con criterios ecológicos la efectividad de los tratamientos que se aplican, así como los efectos del fuego tanto los de primer orden, que se manifiestan durante un incendio e inmediatamente después de éste como los efectos de segundo orden que se manifiestan después del incendio en el de corto, mediano y largo plazo (Reinhardt *et al.*, 2001).

El conocimiento de los combustibles es también importante para entender los flujos de carbono entre los ecosistemas y la atmósfera, su efecto en el cambio climático y en la contaminación atmosférica. Se estima que a

nivel global, aproximadamente 20% de las emisiones de carbono en la atmósfera provienen de quema de biomasa (Crutzen y Andreae, 1990) y en el caso de México se ha encontrado que los incendios forestales, contribuyen aproximadamente con el 25% a la producción de CO₂ derivada la contaminación en la Cuenca de la Ciudad de México (Yokelson *et al.*, 2007). Por lo cual como parte de las medidas de mitigación del cambio climático global, el manejo del fuego es uno de los elementos que deben ser considerado en las estrategias regionales de gestión y conservación de ecosistemas terrestres.

Los combustibles en el paisaje forestal

El término *complejo de combustible* se aplica al total del material combustible y su arreglo espacial en un ecosistema forestal (Chandler *et al.*, 1983). En términos generales los combustibles se dividen en tres capas: combustibles del suelo, combustibles de superficie y combustibles del dosel. Los primeros consisten en la materia orgánica en descomposición y humus por encima del suelo mineral y debajo del mantillo; los segundos son la hojarasca fresca y fragmentada y el material leñoso caído que forman el mantillo sobre el suelo y la vegetación viva o muerta de los estratos herbáceo y arbustivo; el tercer estrato está formado por los troncos y las copas de los árboles, incluyendo a los árboles muertos en pie.

Los incendios se encienden normalmente en la capa superficial (Pyne *et al.*, 1996) y se propagan si existen continuidad horizontal del material combustible y condiciones favorables del estado del tiempo (Rothermel, 1972). Si el fuego persiste y alcanza suficiente intensidad, y si hay continuidad vertical en el complejo de combustibles, puede llegar a quemar el follaje de árboles e incluso propagarse por la copa de estos. Los *combustibles de escalera*, como arbustos o árboles pequeños y troncos de árboles muertos que conectan a los combustibles de superficie con el dosel, así como musgos, líquenes y plantas epífitas sobre la corteza y las ramas de los árboles, juegan

un papel importante en el paso del fuego de la superficie del piso del bosque a las copas de los árboles (Harrington, 2005). Los combustibles del suelo generalmente retienen humedad por más tiempo, pero cuando se secan pueden encenderse y dar lugar a incendios “subterráneos”, que se propagan lentamente pero generan una gran cantidad de calor y contribuyen de manera significativa a la severidad de los incendios, causando mortalidad de árboles del dosel aún y cuando el fuego no alcance sus copas (Pyne *et al.*, 1996). El comportamiento potencial del fuego en los incendios forestales depende en gran medida de las propiedades físicas y la configuración del complejo de combustibles (Ottmar *et al.*, 2007; Sandberg *et al.* 2007a).

Los combustibles son altamente complejos en sus características e interacciones, y aunque es útil pensar para fines de descripción y cuantificación en capas y componentes, hay que considerar que éstas están interconectadas (Harrington, 2005).

El complejo de combustibles, visto a la escala del paisaje geográfico, es muy variable. Su variación espacial está asociada a la de la cubierta vegetal y es determinada por la influencia de factores como el clima, la forma del relieve, los suelos y los eventos de perturbación; estos últimos dan lugar a un mosaico de vegetación en distintas etapas de desarrollo. Los combustibles varían también temporalmente en relación con los cambios sucesionales y fenológicos de la vegetación, y con la variación en las condiciones del estado del tiempo que influyen en su contenido de humedad. Considerar esta variación espacial y temporal es importante cuando se trata de evaluar los combustibles.

Un concepto fundamental para el estudio de los combustibles forestales es el de *cama de combustible*. Este concepto se refiere a la “unidad del paisaje relativamente homogénea, que representa un ambiente único de combustión que determina la conducta y efectos potenciales del fuego” (Riccardi, *et al.*, 2007). Al igual que el concepto de rodal utilizado en la ecología vegetal y la silvicultura, una cama de combustible es conceptualizada como una unidad del espacio que tiene ciertas características que la identifican y permiten

diferenciarla de otras unidades con características diferentes dentro de un área forestal (Fig. 3). Mientras que un rodal se define en función de la composición de especies, la estructura física de la vegetación (altura, densidad, estratificación vertical y distribución de diámetros) y la estructura de edades del componente arbóreo, una cama de combustible se caracteriza por la disposición en el espacio (vertical y horizontal) y las propiedades físicas de los combustibles, que incluyen a la cubierta vegetal.

En la figura 3 se muestran como ejemplo distintos tipos de camas de combustible. Puede verse que se trata de distintos tipos de vegetación o de un mismo tipo de vegetación, pero con una disposición diferente de los combustibles. Gracias al uso de fotografía aérea o imágenes de satélite y de muestreos de campo, es posible elaborar mapas de camas de combustible al igual que se hace en un inventario de recursos forestales. De hecho, muchos de los datos que convencionalmente se toman en un inventario forestal para describir la vegetación y cuantificar las existencias de madera, sirven para caracterizar una cama de combustible, pero además de esto es necesario tomar datos de otros componentes como arbustos, la vegetación de baja altura (hierbas y otras plantas del sotobosque) y el mantillo del suelo (la capa de hojarasca y material leñoso en el piso del bosque, que se encuentra fresca o en distintas etapas de descomposición).



Figura 3. Ejemplos de diferentes tipos de camas de combustible de diferentes lugares en México. Las dos primeras fotografías muestran el contraste entre un bosque mesófilo de montaña, con una estratificación compleja y un pastizal de zonas semiáridas con un solo estrato de vegetación. Las fotografías de abajo corresponden a bosque de pino y puede observarse las características de estratificación de la cubierta vegetal y del mantillo que permiten identificarlas como camas de combustible diferentes. (Fotos: E.J. Jardel).

Camas de combustibles

Una cama de combustible se divide en varias capas o estratos en las que los combustibles se distribuyen en el plano vertical (Fig. 4). Las tres capas que hemos descrito anteriormente pueden subdividirse considerando seis estratos (Sandberg *et al.* 2001): el dosel (formado por la cubierta arbórea), el estrato

arborescente, el estrato herbáceo o de vegetación de baja altura, el material leñoso caído, la hojarasca superficial (donde pueden incluirse líquenes y musgos cuando están presentes) y los combustibles subterráneos (la capa de materia orgánica más fragmentada o capa de fermentación y las raíces) (Fig. 4).

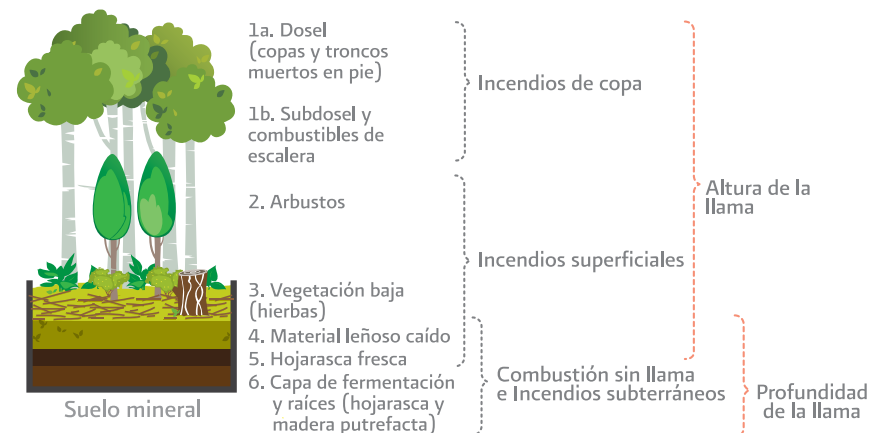


Figura 4. Estratos de la cama de combustible de acuerdo con Sandberg *et al.* (2001). El potencial para la propagación de distintos tipos de incendios (superficiales, de copa y subterráneos) depende de la configuración de las camas de combustibles.

Los estratos de la cama de combustible están formados por diversos componentes y partículas (plantas y sus tallos o troncos, hojas y ramas y los leños o troncos de distintos tamaños), que interactúan entre sí y entre los diferentes estratos durante el proceso de combustión y se conforman de combustibles vivos y muertos. La descripción y medición de estos componentes sirven para caracterizar y clasificar los distintos tipos de camas de combustibles. Como veremos más adelante, la caracterización de las camas de combustible se hace a través de un conjunto de variables que pueden ser cualitativas, como la fisonomía o apariencia de la vegetación y las propiedades químicas intrínsecas que determinan la inflamabilidad de ciertas plantas o materiales, o cuantitativas como las propiedades físicas de

carga de combustibles por unidad de superficie, el tamaño de las partículas, su compactación y distribución espacial (Arnaldos Viger et al., 2004). En el cuadro 1 se resumen las variables utilizadas para caracterizar los estratos y componentes de las camas de combustible en un bosque. Dependiendo del tipo de vegetación, algunos de los estratos pueden subdividirse o no estar presentes; en las selvas y bosques húmedos, que tienen una estratificación compleja, el dosel puede dividirse en un dosel superior e inferior o subdosel, y pueden encontrarse también árboles emergentes aislados, mientras que en el caso de los matorrales y pastizales no existe un dosel arbóreo.

Cuadro 1. Variables cualitativas y cuantitativas utilizadas en la descripción y caracterización de las camas de combustible y sus estratos y componentes (basado en Sandberg et al., 2001; Riccardi et al., 2007 y Alvarado et al., 2008).

Estratos	Componentes	Variables	
		Cualitativas	Cuantitativas
General	•La cama de combustible en conjunto	<ul style="list-style-type: none"> •Tipo de vegetación¹ <ul style="list-style-type: none"> - Fisonomía (formas de vida dominante, densidad, tipo, tamaño y fenología de hojas², estratificación vertical³ y continuidad vertical) - Clase de estructura⁴ - Asociación florística⁵ •Datos del sitio (localización geográfica, elevación, exposición, pendiente, posición topográfica). 	<ul style="list-style-type: none"> •Altura media del estrato dominante (m) •Riqueza de especies de plantas (número)
Dosel (estrato arbóreo)	<ul style="list-style-type: none"> •Árboles vivos •Árboles muertos en pie •Combustibles de escalera 	<ul style="list-style-type: none"> •Estratificación y continuidad vertical del dosel (y subdosel). •Presencia de combustibles de escalera (conectividad entre combustibles del dosel y superficiales). •Tipo de copas •Estado de los árboles muertos en pie •Especies dominantes o más comunes •Presencia de lianas o juncos, musgos, líquenes y plantas epífitas en troncos y ramas de los árboles. •Cobertura y continuidad horizontal. 	<ul style="list-style-type: none"> •Altura media del dosel (m) •Cobertura del dosel (%) •Altura de árboles vivos y muertos (m) •Altura a la base de la copa viva (m) •Altura a la base de la copa muerta (m) •Densidad de árboles vivos y muertos (N ha⁻¹) •Diámetro (D₁₃₀)⁶ de árboles vivos y muertos (cm) •Amplitud de copa (m) y densidad específica (Kg m⁻³)
Arbustivo	•Arbustos (y renuevo de especies arbóreas en el sotobosque)	<ul style="list-style-type: none"> •Estratificación y continuidad vertical •Tipo y fenología de hojas •Hábito de crecimiento •Potencial de aceleración (inflamabilidad) •Cobertura y continuidad horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> •Altura (m) •Cobertura (%) •Proporción de combustible vivo y muerto (%) •Densidad de arbustos (N ha⁻¹) •Carga (Mg ha⁻¹)

Cuadro 1. Continuación

Herbáceo (vegetación de baja altura)	•Pastos, hierbas y subarbustos.	<ul style="list-style-type: none"> •Tipo de hierbas •Estratificación y continuidad vertical •Tipo y grosor de las hojas •Hábito de crecimiento (anuales, perennes) •Potencial de aceleración (inflamabilidad) •Cobertura y continuidad horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> •Altura (m ó cm) •Cobertura (%) •Proporción de combustible vivo y muerto (%) •Carga (Mg ha⁻¹ ó kg ha⁻¹) •Humedad en combustibles vivos (%)
Material leñoso caído (MLC)	<ul style="list-style-type: none"> •Troncos, leños y ramas •MLC firme •MLC podrido •Tocones 	<ul style="list-style-type: none"> •Densidad de MLC en clases de tamaño por tiempo de retardación (1,10,100,1000 y >1000 horas)⁷ •Nivel de putrefacción •Apilamientos de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> •Carga por clase de tamaño y nivel de putrefacción (Mg ha⁻¹) •Profundidad (m) •Densidad, número de piezas por grado de putrefacción > 1000 hr (N ha⁻¹) •Diámetro (cm) •Largo y ancho de apilamientos (m)
Hojarasca superficial	<ul style="list-style-type: none"> •Hojarasca •Cubierta de líquenes, musgos y plantas rasantes o postradas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Tipo de hojas (acículas, latifolias, y otros tipos de material en la hojarasca como restos leñosos, conos, etc.). •Cobertura y continuidad horizontal •Densidad (suelta, compacta o apelmazada) •Profundidad •Acumulación de hojarasca en la base de los árboles. 	<ul style="list-style-type: none"> •Carga (Mg ha⁻¹) •Cobertura (%) •Profundidad (cm)
Combustibles del suelo	•Capa de fermentación	<ul style="list-style-type: none"> •Densidad (suelta, compacta o apelmazada) •Presencia de suelos orgánicos⁸ •Tipo de humus •Raíces finas superficiales⁹, raíces en pudrición y troncos podridos enterrados. 	<ul style="list-style-type: none"> •Carga (Mg ha⁻¹) •Profundidad (cm) •Proporción de material leñoso en descomposición (%)

- (1) El tipo de vegetación de acuerdo con el sistema de clasificación usado en el país o región, definido en función de su fisonomía (aparición), formas de vida dominantes (árboles- bosque o selva, arbustos-matorral, pastos-pastizal) y grandes grupos de especies dominantes (coníferas, latifoliadas, cactáceas, etc.).
- (2) Fenología de hojas se refiere a la vegetación siempre verde (perennifolia), subcaducifolia o caducifolia.
- (3) Capas o estratos en que se divide la cubierta vegetal: dosel y subdosel arbóreo, sotobosque (arbustivo, herbáceo, vegetación rasante).
- (4) La clase de estructura corresponde a la variación dentro de un tipo de vegetación de distintas condiciones de densidad, distribución de tamaños y estado de desarrollo durante la sucesión (por ejemplo, etapa de establecimiento, construcción, autoclareo, establecimiento del subdosel y bosque maduro).
- (5) Especies dominantes o características del tipo de vegetación, que puede subdividirse en diferentes asociaciones (por ejemplo en un bosque de pino encino asociaciones como *Pinus douglasiana-Quercus candicans* o *Pinus pseudostrobus-Quercus laurina*).
- (6) D₁₃₀ es el diámetro normal o "a la altura del pecho" de los tallos de los árboles, medido convencionalmente a 130 cm de altura desde el suelo.
- (7) El tiempo de retardación se refiere a la cantidad de tiempo que tarda el combustible en perder o ganar humedad.
- (8) Los suelos con alto contenido de humus o materia orgánica parcialmente descompuesta (como los histosoles en zonas inundables, andosoles, suelos calcimagnésicos muy humificados, etc.) pueden mantener la propagación de incendios subterráneos.
- (9) En selvas húmedas las raíces finas superficiales, entreveradas con la hojarasca, llegan a quemarse lo cual contribuye de manera importante a la severidad de los incendios por la mortalidad de plantas, incluyendo árboles del dosel.

Modelos de combustibles

Para caracterizar, cuantificar y clasificar a los combustibles forestales y utilizar esta información en la protección contra incendios y el manejo del fuego, se han desarrollado distintos métodos, que se revisan brevemente en esta sección. Los primeros intentos se registran desde principios del siglo pasado, basándose en criterios cualitativos y en el conocimiento empírico generado en el combate de incendios forestales y en observaciones sobre el comportamiento del fuego. Luego se incluyó información estadística de reportes del control de los incendios, dando valores categóricos (de bajo a alto, por ejemplo) según el tiempo de control y la resistencia del fuego a la supresión en distintas condiciones de combustibles. Estos métodos empíricos predominaron hasta los años setenta y aún se usan en el combate de incendios (Sandberg *et al.*, 2001).

Algunos sistemas de peligro de incendio, como el canadiense, mejoraron este enfoque con el modelaje empírico a través de experimentación y colecta de datos estadísticos de mediciones de comportamiento de fuego en incendios que ocurrían en camas de combustible específicas (Stocks *et al.*, 1989).

Sistemas como éste han demostrado alta efectividad, pero sólo se pueden usar para camas de combustible específicas de la región o país para los que fueron desarrollados, y requieren de muchos recursos para ser construidos.

A finales de la década de los cuarenta, en Estados Unidos se impulsó el trabajo de investigación sobre el comportamiento del fuego, dirigido a mejorar las prácticas de combate de incendios, considerando la cuestión de la seguridad de los combatientes (Maclean, 1993). Un tema central fue el desarrollo de modelos que permitieran predecir el comportamiento probable del fuego dadas las condiciones de los combustibles, el estado del tiempo y la topografía. Rothermel (1972) desarrolló un modelo matemático de la propagación e intensidad del frente del fuego en incendios superficiales, basado en las propiedades físicas de los combustibles y, para contar con la información necesaria sobre estas últimas, se diseñaron métodos de

inventarios específicos para combustibles (Brown, 1971). Una importante herramienta práctica derivada de este trabajo, fue el desarrollo de “modelos de combustibles”, esto es, la elaboración de una tipología de condiciones del complejo de combustibles en la cual a cada tipo o “modelo” de combustible le corresponde un comportamiento del fuego específico. Esto ha sido la base del sistema de evaluación de peligro de incendios de Estados Unidos (Deeming y Brown, 1975) y de los 13 tipos o modelos de combustibles elaborados por Albini (1976), que sirven para alimentar modelos de simulación del comportamiento del fuego como BEHAVE, y que se ampliaron posteriormente a los 44 modelos (Scott y Burgan, 2005) que se usan actualmente en Estados Unidos y que además se han adaptado para su uso en otras partes del mundo (Anderson, 1982; Vélez, 2000).

Los “modelos de combustibles” han tenido una indudable utilidad práctica en el combate de incendios y han estimulado el desarrollo de la investigación y de programas de simulación del comportamiento de los incendios y sus efectos. Sin embargo dichos modelos se basan en un número limitado de tipos estilizados de combustibles superficiales, asociados con un comportamiento del fuego específico, y tienen limitaciones frente a la heterogeneidad de condiciones presentes en los paisajes forestales, la variación espacial y temporal de las camas de combustible y la existencia de otras condiciones, por ejemplo las de los trópicos, que no fueron incluidas en un sistema diseñado originalmente para su aplicación en el oeste de Estados Unidos. En países con una gran heterogeneidad ambiental y alta diversidad de ecosistemas, como es el caso de México, la aplicación de los “modelos de combustibles” es muy limitada.

Inventarios de combustibles

Contar con información acerca de las condiciones de las camas de combustible impone un reto igual que el de caracterizar los distintos tipos de vegetación o hacer inventarios de recursos forestales como la madera: se requiere de datos obtenidos a través de métodos apropiados de muestreo, que describan

cualitativa y cuantitativamente una gran cantidad de condiciones específicas con medidas estadísticas que expresen su tendencia central y su variación, grado de error, probabilidad y confiabilidad.

Los métodos de inventarios de combustibles han sido revisados de manera general (Harrington, 2005) o descritos en varios trabajos (Warren y Olsen, 1964; Van Wagner, 1968, 1982; Brown, 1971, 1974; McRae *et al.*, 1979; Brown *et al.*, 1982; Waddell, 2002). La elaboración de mapas de combustibles integrando la información de inventarios con métodos cartográficos, percepción remota y técnicas geoestadísticas ha sido abordada en diversos estudios, por ejemplo, Keane *et al.*, (1998) McKenzie *et al.*, (2007) y Flores-Garnica *et al.*, (2009). Para los estudios de combustibles es importante también conocer los métodos de descripción de la vegetación y de medición e inventario forestal (Matteuci y Colma, 1982; Kent y Coker, 1994).

El detalle de la información que se requiere acerca de los combustibles forestales, depende de los propósitos para los que será utilizada y de la escala del área de estudio o de la unidad de manejo. Por ejemplo, mientras que la planificación del manejo del fuego en una unidad de gestión extensa (mayor a 1,000 km²) como una reserva de la biosfera o una cuenca hidrográfica puede basarse en descripciones generales de tipos de camas de combustible y mapas de escala media (1:50,000 a 1:250,000), un programa de manejo del fuego al nivel de un predio requerirá de datos cuantitativos a nivel de rodales, expresados en mapas de escala grande (1:5,000 a 1:25,000) y un experimento de quema prescrita requerirá de datos específicos de la localidad (escala 1:1).

Cualquier tipo de inventario tiene costos (en tiempo, personal, equipo y dinero) y por lo tanto debe ser diseñado y planificado de acuerdo con su propósito y escala. Los inventarios cuantitativos de combustibles implican mediciones detalladas, como se verá más adelante. Para fines prácticos es entonces importante contar con herramientas que, fundamentadas en la obtención rigurosa de datos, puedan aplicarse con cierta facilidad y rapidez en el terreno para ayudar a la toma de decisiones de manejo. Una de estas técnicas es la de series fotográficas o *fotoseries*.

Fotoseries

Éstas consisten en conjuntos de fotografías acompañadas de datos cuantitativos, que describen en forma detallada camas de combustible características de una región ecológica o de un tipo de ecosistema y que pueden ser utilizadas en el campo para la evaluación comparativa y rápida de los combustibles (Maxwell y Ward, 1980; Ottmar *et al.*, 1998). Las fotoseries combinan datos cuantitativos de sitios que representan una variedad de condiciones típicas (Clases de estructura) de las camas de combustible de una región con fotografías de esos sitios; el usuario de esta técnica puede entonces hacer una evaluación de las condiciones existentes en el terreno a través de una inspección visual, comparando lo que observa en el campo con las fotos y los datos que las acompañan.

Actualmente se cuenta con fotoseries que cubren distintos tipos de paisajes de Norteamérica y Brasil (ver: http://www.fs.fed.us/pnw/fera/publications/photo_series_pubs.shtml), y para el caso de México se han elaborado fotoseries para bosques montanos subtropicales de la Sierra Madre del Sur –a partir de sitios de estudio en la Sierra de Manantlán– y en los bosques templados y matorrales submontanos del norte de la Sierra Madre Oriental –realizándose el estudio en las sierras de Arteaga y Zapalinamé, Coahuila– (Alvarado *et al.*, 2008). Un enfoque similar fue utilizado en Canadá (Lavoie *et al.*, 2010).

Las fotoseries tienen la ventaja de proporcionar datos cualitativos y cuantitativos de todos los estratos de la cama de combustible y sus componentes. Estos datos pueden utilizarse para alimentar distintos modelos de simulación del comportamiento del fuego, consumo de biomasa y emisiones, y han sido la base para desarrollar un sistema de clasificación de características de combustibles (Sandberg *et al.*, 2001).

Sistema de Clasificación de Características de Combustibles

El Sistema de Clasificación de Características de Combustibles (FCCS por sus siglas en inglés), fue desarrollado para caracterizar y catalogar descripciones

de diversos tipos de camas de combustible y clasificarlas en función de su potencial de incendios, esto es, su capacidad de encenderse, mantener la propagación de incendios superficiales o de copa y el nivel de consumo de los combustibles en las distintas fases de la combustión (Ottmar *et al.*, 2007). El FCCS pueden ser utilizado en el mapeo de combustibles (McKenzie *et al.*, 2007), la elaboración de índices de peligro de incendios, la planificación y evaluación de tratamientos a los combustibles, e inventarios de carbono y de emisiones generadas por los incendios (Riccardi, *et al.*, 2007).

La descripción de una cama de combustibles en el FCCS incluye información general como la ecorregión, tipo y clase de estructura de la vegetación, los agentes de cambio naturales o antropogénicos que influyen sobre los combustibles, el régimen histórico de incendios, su condición actual e información específica sobre las propiedades físicas de los combustibles (Ottmar *et al.*, 2007). A partir de esto, se estima el potencial de la cama de combustible para sostener incendios superficiales o de copa bajo condiciones de referencia. El potencial de incendios en el FCCS se compone de los potenciales de reacción (la energía que libera el incendio), propagación superficial, formación de antorchas y coronamiento (cuando el fuego llega a la copa de los árboles y se propaga por ésta), así como los potenciales de consumo de combustibles durante la combustión con llama y sin llama o (combustión incandescente y residual) (Sandberg, *et al.*, 2007a).

El FCCS tiene la ventaja de basarse en principios generales y métodos que permiten incluir prácticamente cualquier tipo de cama de combustible; el usuario puede crear en el sistema una cama específica con la información de su área de estudio. No se trata de modelos estilizados que asocian tipos de combustibles con un comportamiento determinado del fuego, sino de un sistema que permite representar la variedad de condiciones que pueden encontrarse en una localidad, región o país, considerando distintas escalas de análisis (McKenzie *et al.*, 2007). El sistema puede desarrollarse utilizando información de combustibles de distintas fuentes, e irse afinando paulatinamente, conforme se dispone de información más detallada y confiable,

adaptándolo para su uso en distintos países o regiones. Por lo tanto, el enfoque del FCCS es adecuado para su aplicación en las condiciones heterogéneas del paisaje que se observan en las áreas forestales de México (Michel, 2010).

Métodos de inventario de combustibles forestales

En esta sección revisaremos los métodos propuestos para el inventario de combustibles forestales. En primer lugar se aborda la cuestión del diseño de los inventarios, que siendo la etapa inicial es fundamental. Como parte del diseño de los inventarios, se plantea la necesidad de contar con una primera etapa de caracterización general. Por último se describen los métodos de medición para los distintos estratos, componentes y partículas de las camas de combustibles.

El diseño de los inventarios

Hemos señalado que un inventario de combustibles responde a ciertas necesidades de información y a propósitos de manejo o de investigación, y que la generación de datos implica costos. Además de esto, se espera que los datos, para ser útiles, sean estadísticamente confiables y representativos y que, como en cualquier inventario, incluyan información sobre su precisión, sus limitaciones y aplicabilidad. Para todo esto, la fase inicial de diseño de los inventarios es fundamental.

Lo primero que debe hacerse es establecer con claridad cuáles son los objetivos del inventario: ¿Se trata de contar sólo con información de las características generales de las camas de combustible de una región o con datos específicos para la planificación de intervenciones de manejo? ¿Cuál es la escala apropiada para el área de estudio que se pretende representar con los datos? ¿Se trata de una región extensa, de un predio, un conjunto de rodales o una localidad o sitio donde van a aplicarse tratamientos de combustibles? ¿La información se requiere para fines de planificación de una unidad de manejo, para intervenciones específicas o para la investigación científica? Las respuestas a estas preguntas son necesarias para diseñar el inventario en función de objetivos específicos.

Las áreas forestales son heterogéneas y varían en las condiciones de su

ambiente físico en cuanto al tipo de clima, la forma del relieve, los suelos, la cobertura vegetal y la composición de ésta, a lo cual se suman distintas formas de influencia humana. Esto se refleja en la variación espacial y temporal de las camas de combustible existentes en los paisajes forestales, especialmente en un país como México.

En consecuencia, antes de comenzar inventarios cuantitativos es conveniente, en una primera etapa del estudio, contar con información que capte la variación del complejo de combustibles del área de interés, a partir de lo cual se puede diseñar y planificar el inventario cuantitativo de una manera más eficiente, considerando que la cuantificación de las propiedades físicas de los combustibles requieren una inversión de tiempo, recursos y esfuerzos que deben ser optimizados.

En la figura 5 se presenta una secuencia de etapas recomendadas en un proceso de caracterización de combustibles forestales (Jardel *et al.*, 2009b; Michel, 2010). A través de estas etapas se va refinando sucesivamente el tipo de información, pasando de descripciones empíricas generales a la sistematización de datos cualitativos, y por último, a la evaluación cuantitativa.

La secuencia comienza por la identificación general de las camas de combustible presentes en el área de estudio a partir de recorridos de campo y mapas de vegetación. Nada substituye al conocimiento del terreno y es indispensable contar con una apreciación directa de las condiciones existentes en el campo. Los mapas de la cubierta vegetal y fotografías aéreas o imágenes de satélite complementan las observaciones de campo y la información sobre la fisonomía y composición de la vegetación es un indicador básico de las condiciones del complejo de combustibles a nivel del paisaje. La revisión de información bibliográfica disponible sobre la vegetación y el paisaje es otro complemento importante; pueden revisarse desde publicaciones científicas, hasta estudios técnicos, inventarios forestales y programas de manejo para encontrar datos útiles. El personal que ha estado involucrado en combate de incendios o en investigación sobre ecología del fuego y los pobladores del área, puede aportar mucha información valiosa a partir de sus conocimientos

empíricos y prácticos, y la realización de reuniones de trabajo o talleres sirve para elaborar una clasificación preliminar de las camas de combustible del área de interés y para definir prioridades para el inventario.

En una segunda etapa se recomienda llevar a cabo una evaluación cualitativa o semicuantitativa de las camas de combustible, a través de estudios de campo, tratando de captar la variedad de condiciones del área de estudio. Esta evaluación cualitativa debe ser sistemática, utilizando procedimientos estandarizados para la toma de datos sobre una serie de variables que describen el complejo de combustibles (Cuadro 1), con métodos que puedan ser repetibles por observadores independientes (Jardel *et al.*, 2009b). Un ejemplo de este tipo de evaluación se presenta en el trabajo de Michel (2010). Después de una primera etapa de identificación de las camas de combustible con mapas de vegetación, recorridos de campo y consulta a expertos en talleres, se tomaron datos de sitio, sistematizando las observaciones con una hoja de campo (ver anexo 1). Los sitios (circulares de 500 m² para estandarizar la toma de datos) fueron establecidos sistemáticamente en medio de rodales que representaban características típicas de las distintas camas de combustible identificadas (Michel, 2010).

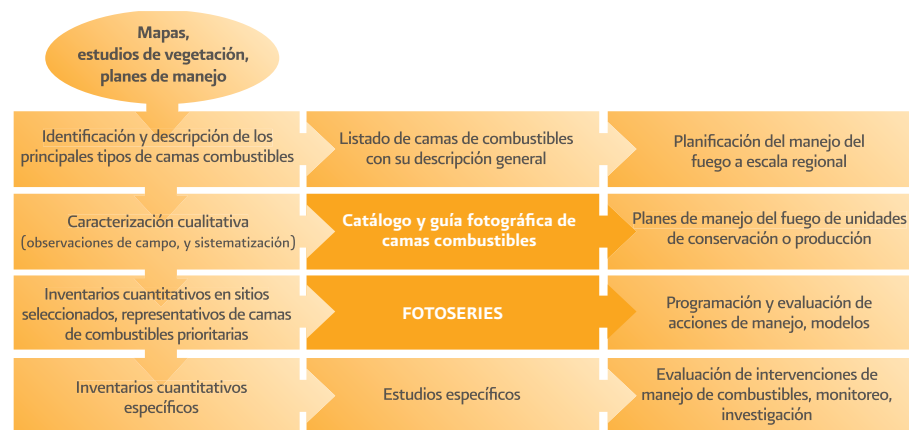


Figura 5. Etapas para el desarrollo de estudios de caracterización y evaluación de combustibles forestales (Jardel *et al.*, 2009b; Michel, 2010). Se indican los productos y las aplicaciones de los estudios en cada etapa.

Los datos generados son descripciones de los estratos y componentes de las camas de combustible (cuadro 1), utilizando variables nominales para atributos como forma de vida dominante (árboles, arbustos, hierbas), tipo de hojas (como acículas largas o cortas, hojas planas esclerófilas o membranosas), fenología de la vegetación (perennifolia, subcaducifolia, caducifolia), tipos de arbustos (como latifoliados, rosetófilos o espinosos) y tipo de hierbas, y categorías para variables como cobertura (por ejemplo de 0, inexistente o 1 <10% del sitio cubierto a 4, >80% del sitio cubierto) y densidad del componente (por ejemplo densidad de material leñoso caído muy baja, baja, media, alta y muy alta). Sólo algunas variables son cuantificadas mediante mediciones sencillas, como la altura promedio de los árboles o la profundidad de la hojarasca (ver anexo I). La toma de datos es relativamente rápida (menos de una hora por sitio) y los sitios pueden ser utilizados también como puntos de verificación en el proceso de elaboración de mapas de combustibles.

Se registra también información sobre el potencial de incendios (tipo de incendios, superficiales, de copa o subterráneos; condiciones de propagación, tamaño de la llama), probable régimen de incendios histórico y agentes de cambio. Esta información puede ser inferida a través de las observaciones de campo y de las aportaciones de expertos, como el personal de incendios que tiene experiencia en combate de incendios en la zona y que ha observado el comportamiento del fuego en las condiciones características del sitio.

Una vez obtenidos estos datos, pueden describirse y compararse las características de las diferentes camas de combustibles. Si estas descripciones se acompañan de fotografías de los sitios, pueden entonces integrarse catálogos de las camas, que pueden ser utilizados con el personal de incendios, campesinos, técnicos forestales e investigadores para discutir y establecer criterios sobre el probable comportamiento del fuego y el peligro de incendio, definir algunas medidas de manejo y diseñar los inventarios cuantitativos seleccionando un orden de prioridades respecto a aquellas camas de combustible, para las cuales las necesidades de información pueden ser más apremiantes.

Los datos de esta prospección o inventario preliminar, de carácter descriptivo,

pueden ser analizados utilizando técnicas estadísticas de análisis de datos categóricos y métodos multivariados de clasificación (Michel 2010). La clasificación multivariada sirve en este caso para elaborar una taxonomía de las camas de combustibles, que permita identificar distintos grupos y subgrupos de camas de combustible de la manera más objetiva posible, para integrar catálogos de un área o región determinada. Otros tipos de análisis de los datos, desde estadística descriptiva, hasta métodos de ordenación, pueden servir para identificar patrones de variación en las características de los combustibles y para explorar relaciones con variables ambientales que puedan servir como predictores de la variación espacial en las condiciones de las camas de combustible para fines cartográficos, así como para establecer hipótesis que sirvan de base para el diseño de investigaciones sobre el tema.

Para el caso que nos ocupa, la caracterización descriptiva (cualitativa o semicuantitativa) sirve como el punto de partida para el diseño del muestreo para obtener datos cuantitativos. Disponer de dicha caracterización facilita una asignación más eficiente de los recursos disponibles para un estudio de mayor detalle.

Con base en la clasificación de las camas de combustible se pueden seleccionar con un mejor criterio sitios para la elaboración de fotoseries. Finalmente, la cuarta etapa (Fig. 5) consiste en la obtención de datos cuantitativos de sitios específicos para investigación o aplicaciones de tratamientos como quemas prescritas y la evaluación de sus resultados (Michel, 2010).

Muestreo

Para un inventario cuantitativo es necesario diseñar un tipo de muestreo que genere la información que se desea obtener, de acuerdo con los objetivos planteados y cumpliendo con los requisitos básicos para obtener una muestra estadísticamente válida. La teoría en que se basa el diseño de un muestreo para obtener datos válidos para un análisis estadístico, es discutida en varios textos (por ejemplo Cochran y Cox, 1992; Navarro, 2004). Para el caso específico de inventarios forestales y estudios de vegetación se recomienda revisar

los trabajos de Matteuci y Colma (1982), Prodan *et al.*, (1997) y Flores y Álvarez-Sánchez (2004).

Existen diferentes tipos de muestreo utilizados en los inventarios forestales y los estudios de vegetación. La selección de un método de muestreo depende de los objetivos del estudio que se va a realizar y del tipo de análisis estadísticos que se pretende llevar a cabo. El diseño del muestreo para el establecimiento de sitios o parcelas puede ser dirigido o selectivo, cuando solamente se trata de comparar condiciones contrastantes o típicas de una condición preestablecida con un criterio definido; por ejemplo los grupos resultantes de una clasificación como la descrita en la sección anterior, clases de estructura (cuadro 3) o sitios dentro de una cronosecuencia de etapas sucesionales o años desde que ocurrió el último incendio. Los datos sirven para comparar entre condiciones y dan una idea de la variabilidad existente entre camas de combustible contrastantes, pero no son estadísticamente representativos de la variabilidad dentro de una condición.

Los muestreos sistemáticos, con unidades de muestreo distribuidas uniformemente a distancias regulares, son útiles para captar la variación a través de gradientes ambientales (por ejemplo en distintas elevaciones en una montaña o diferente posición en un gradiente topográfico); el establecimiento y la localización de sitios de muestreo en el terreno se facilita, pero este método tiene limitaciones para estimaciones estadísticas basadas en supuestos de aleatoriedad de la muestra (Sokal y Rohlf, 2011). Lo más recomendable cuando se quiere tener mejor información estadística de inventario, para estimar valores promedio y su variación, es realizar un muestreo aleatorio; debe aclararse que esto no significa establecer sitios en cualquier lugar, sino seguir un procedimiento de sorteo en el cual cualquier punto del área de estudio tiene la misma probabilidad de ser muestreado. Es recomendable antes de hacer un muestreo aleatorio, definir un criterio de estratificación, muestreando y analizando por separado los datos de unidades de muestreo que corresponden a condiciones diferentes (por ejemplo rodales que corresponden a distintas clases de estructura como las del cuadro 3), para representarlas adecuadamente,

reducir la variación de los datos y representar entidades concretas, evitando “mezclar peras y manzanas”, esto es, condiciones distintas que al mezclarse dan lugar a estadísticas engañosas.

Cuadro 3. Ejemplo de clases de estructura en un bosque de *Pinus douglasiana* del occidente de México, utilizadas en una fotoserie (Alvarado *et al.*, 2008). Estas clases fueron definidas a partir de estudios previos sobre la sucesión ecológica en el área (Jardel *et al.*, 2004).

Clase de estructura	Descripción
1. Claros con renuevo de pino	Claros recientes (<10 años) abiertos por incendios severos o cortas intensivas, cubiertos por renuevo de pino (altura <10 m), con árboles grandes (altura >20 m, diámetro >30 cm) de pino y encino dispersos. Estructura de dos estratos de árboles (bietánea: árboles semilleros remanentes de la perturbación y renuevo).
2. Rodales jóvenes	Rodales densos con predominio de árboles jóvenes de pino (altura 10-15 m, diámetro <10 cm), con edad de 10-20 años, y árboles grandes (altura >20 m, diámetro >30 cm) de pino y encino dispersos emergentes del dosel (estructura bietánea).
3. Rodales semimaduros densos	Rodales densos coetáneos o de dos edades pero con un solo estrato en el dosel; predominio de árboles con altura de 20-25 m y diámetro de 20-40 cm; edad de 20-40 años.
4. Rodales maduros abiertos	Rodales con árboles de altura >20 m y diámetro de 30-50+ cm, con edad de 40-60 años (coetáneos); dosel discontinuo o abiertos y acumulación de material leñoso caído debido a ataque de insectos parásitos y hongos patógenos.
5. Rodales maduros con sotobosque herbáceo ralo	Rodales con árboles de altura >20 m y diámetro de 30-50+ cm, con edad de 40-60 años (coetáneos); sotobosque ralo o disperso de herbáceas.
6. Rodales maduros con sotobosque arbustivo denso	Rodales con árboles de altura >20 m y diámetro de 30-50+ cm, con edad de 40-60 años (coetáneos); sotobosque denso dominado por arbustos.
7. Rodales maduros con mezcla de latifoliadas.	Rodales con árboles de altura >20 m y diámetro de 30-50+ cm, con edad de 40-60 años (coetáneos); el dosel está dominado por pinos con encinos y otras latifoliadas dispersas, y hay un subdosel en formación y un sotobosque dominados por árboles latifoliados.

Un criterio del diseño del muestreo, puede ser la representación de la variación de las camas de combustible dentro de un mismo tipo de vegetación que presenta distintas clases de estructura, etapas de la sucesión o una cronosecuencia de rodales de distinta edad o de tiempo desde el último incendio. El cuadro 3 muestra un ejemplo de clases de estructura de bosques de *Pinus douglasiana* de la Sierra de Manantlán, que fueron utilizadas para elaborar una fotoserie; en esa misma región Morfín-Ríos (en preparación) ha estudiado la variación en las propiedades físicas de los combustibles forestales en una cronosecuencia de tiempo desde el último incendio; con el mismo criterio Lavoie *et al.* (2010) representaron las distintas camas de combustible en bosques de coníferas del este de Canadá.

La estimación de estadísticas representativas de valores promedio y su variación requiere de un tamaño de muestra apropiado. El tamaño de muestra apropiado es una función de la varianza de los factores que se pretende estimar; entre más variables sean, se necesitarán más unidades de muestreo.

Un muestreo sistemático, estratificado por las clases definidas por las diferentes condiciones identificadas en el área de estudio, se puede subdividir en rodales (porciones del área o del bosque que tienen las mismas características de estructura y composición de la vegetación y de condiciones de sitio) a partir de mapas de vegetación, fotografías aéreas o imágenes de satélite. Se identificarán en el campo los límites de los rodales usando puntos de referencia reconocibles en el terreno (cimas de cerros, barrancas, parteaguas, brechas). Las parcelas o sitios de muestreo se establecerán de manera regular o aleatoria dentro de la superficie del rodal, de acuerdo con su tamaño y heterogeneidad, así como la intensidad de muestreo deseada en cuanto a representatividad y confiabilidad estadística. En un muestreo sistemático las unidades de muestreo se distribuyen de tal manera que cubran uniformemente toda el área de estudio, formando una malla de puntos de muestreo equidistantes. La equidistancia entre unidades de muestreo puede ser por ejemplo, cada 200 m, lo cual significa una intensidad de muestreo del 1.25% si se utilizan unidades de dimensiones fijas de 0.05 ha de superficie. Esto es, 25 sitios por cada 100 hectáreas, con una superficie total de 1.25 ha, o 250 sitios

por cada 1,000 ha, con una superficie total de 12.5 ha muestreadas.

En un muestreo aleatorio el supuesto es que cualquier punto del área de estudio tiene la misma probabilidad de ser muestreado. Las coordenadas X y Y de un plano pueden ser sorteadas para ubicar los puntos donde se establecerán los sitios de muestreo. Normalmente se inicia el muestreo definiendo arbitrariamente un número de muestras suficiente para cubrir el área. Una vez que se tienen datos, se hace una estimación del tamaño de muestra, aplicando por ejemplo la fórmula $N = t^2 S^2 / E^2$, donde N es el tamaño de muestra (número de unidades de muestreo), t el valor de la distribución de Student al nivel deseado de probabilidad (generalmente 95%) y E el error de muestreo tolerable. La varianza (S^2) se refiere a la variable de interés que se trata de cuantificar. En un inventario forestal se trata generalmente del área basal (m^2 ha^{-1}) o el volumen (m^3), y en el caso de un inventario de combustibles sería la carga de material leñoso caído u hojarasca en unidades de peso por superficie (megagramos por hectárea, Mg ha^{-1} , o kilogramos por metro cuadrado, Kg m^2). En caso de ser necesario, se aumentará el número de unidades de muestreo hasta alcanzar el tamaño de muestra que indica la fórmula señalada. Sin embargo, las condiciones en el terreno pueden ser altamente variables. Otro criterio es analizar los datos graficando la varianza contra el tamaño de muestra y dejar de muestrear cuando la varianza se estabiliza (Flores y Álvarez-Sánchez, 2004).

La intensidad de muestreo depende de la heterogeneidad del área de estudio, de los objetivos de éste y de los requisitos de representatividad estadística, pero también de los costos de muestreo y la disponibilidad de tiempo, personal y recursos materiales y financieros. En todo caso, es importante hacer una estimación de la representatividad de la muestra obtenida y dejar en claro los alcances y limitaciones de los datos obtenidos.

El tipo, forma y tamaño de las unidades de muestreo, pueden variar, dependiendo de los componentes de las camas de combustible que se van a medir. Esto se discute más adelante para cada uno de los componentes del complejo de combustibles.

Datos de control e información sobre condiciones de sitio

En un muestreo debe prestarse atención a la toma de ciertos datos que servirán para poder manejar posteriormente la información. Estos “datos de control” incluyen la siguiente información sobre la localización de las unidades de muestreo, cuándo se tomaron los datos y quién o quiénes los tomaron (ver anexo II):

- a) Nombre del predio y municipio (u otro tipo de demarcación política, administrativa o de propiedad).
- b) Número de página de la hoja de campo y número total de páginas.
- c) Nombre del paraje o localidad y número del rodal, con referencia al mapa de rodales.
- d) Coordenadas del sitio, determinadas en un mapa topográfico o con ayuda de un GPS.
- e) Fecha del muestreo (día / mes / año).
- f) Número de transecto y/o sitio de muestreo.
- g) Nombre del jefe de brigada de muestreo (responsable de la toma de datos en el campo).

Otros datos importantes se refieren a las condiciones físicas de cada sitio. Estos datos, además de aportar información descriptiva sobre las condiciones del área de estudio, pueden servir para hacer análisis y determinar patrones de relación entre las variables físicas o ambientales y las variables que describen o cuantifican la composición y estructura de la vegetación y las cargas de combustibles. Algunos de los datos básicos que deben tomarse en cada sitio de muestreo son los siguientes (ver anexo II):

- a) *Altitud* del sitio de muestreo en metros sobre el nivel del mar, determinada con altímetro. El altímetro deberá ser calibrado diariamente al inicio y al final del día en un punto de altitud conocida, para poder controlar los cambios en el instrumento, debidos a la variación de la presión atmosférica.
- b) *Exposición*, esto es, la orientación del sitio en dirección con la

pendiente, tomada con la brújula; aquí se anota el rumbo abreviado con letras (como N, ESE y SSW) y el *azimut* en grados de desviación respecto al Norte.

- c) *Inclinación de la pendiente*, determinada en porcentaje a lo largo de la línea de muestreo, entre el centro del sitio y sus dos extremos, el más alto y el más bajo; se tomarán dos lecturas, una hacia abajo y otra hacia arriba y se promediarán.
- d) *Posición topográfica*, esto es, la ubicación del sitio en relación con la pendiente, que puede ser un plano (PI), valle o depresión (Va o De), ladera baja (LB), ladera media (LM), ladera alta (LA), cima (Ci), o parteaguas (Pa).
- e) *Geoforma* (forma del relieve): plano (Po), convexo (Cx), cóncavo (Co), recto (Re) o complejo (Cp).
- f) *Tipo de vegetación y clase estructural* de acuerdo con la clasificación utilizada regionalmente (ver el ejemplo en cuadro 3) o los mapas disponibles para el área.
- g) Información sobre *antecedentes de manejo y perturbaciones* en el sitio, proporcionada por guías locales y complementada con la observación de indicadores como: intervenciones silvícolas (tocones, caminos de extracción), usos del suelo en el sitio y sus inmediaciones (como agricultura, pastoreo, extracción de recursos forestales no maderables y explotación maderera), e indicadores de perturbación como árboles derribados por viento o desarraigados, señales de incendio reciente (hojarasca y arbustos quemados, troncos con marcas de carbón en las cortezas) o pasado (árboles con cicatrices de fuego, material leñoso carbonizado en el suelo), y pastoreo (presencia de excretas y huellas de ganado, herbáceas o arbustos ramoneados).
- h) *Material y equipo necesarios*: hojas de campo, mapas, GPS, altímetro, brújula y clinómetro.

Evaluación y cuantificación de la cubierta vegetal

Los tres estratos que conforman la cubierta vegetal –el dosel, el estrato arbustivo y el estrato herbáceo o de vegetación baja– se evaluarán de forma conjunta, ya que son los que se componen principalmente de combustibles vivos. En este inventario se describirán en función del comportamiento del fuego, las propiedades más importantes del arbolado, arbustos y hierbas.

Para evaluar estos componentes se usarán parcelas o sitios de muestreo de dimensiones fijas y en algunos casos para obtener propiedades importantes, tales como la cobertura, composición y altura, serán descritos en sitios de dimensiones variables, anidándolas al diseño de caracterización de los sitios de dimensiones fijas.

Los sitios de muestreo de dimensiones fijas pueden establecerse como parcelas permanentes, señalando su ubicación en cartas topográficas, registrando su localización con sistemas de posicionamiento geodésico (GPS), y marcándolos en el terreno (con estacas de metal en su centro cuando son circulares o en sus vértices cuando son cuadrangulares y con marcas como pintura o etiquetas de aluminio en los árboles). De esta manera también podremos establecer parcelas permanentes para estudiar y observar a largo plazo cambios en la estructura, composición de la vegetación y la carga de combustibles, y cuantificar, si es parte de los objetivos del estudio, los efectos de tratamientos de manejo de combustibles como supresión de incendios, quemas prescritas o aclareos.

Dosel

El dosel está formado por la capa superior de vegetación de un bosque y se compone básicamente de las copas de los árboles (follaje y ramas) y sus tallos leñosos (troncos). Se incluyen también los árboles muertos en pie y los combustibles de escalera que producen una condición de continuidad vertical del piso del bosque al dosel (por ejemplo troncos que al caer quedan inclinados y recargados sobre árboles vivos, la corteza de los árboles y los líquenes, musgos y epífitas que cubren los troncos y ramas).

Este estrato dirige la formación de antorchas y los incendios de copa (pasivos o activos) que son los de mayor intensidad y severidad.

Para el inventario del arbolado se consideran todas las plantas leñosas con una copa diferenciada del tallo, estableciendo de manera convencional un tamaño determinado como límite, generalmente el diámetro “normal” (DN) que es el diámetro medido a 1.3 m del suelo (expresado como $D_{1.30}$) o llamado también diámetro a la altura del pecho (DAP); se recomienda usar un DN mínimo ≥ 2.5 cm. Los arbolitos con $DN < 2.5$ cm se medirían como parte de la regeneración junto con los arbustos.

El tamaño de la parcela de muestreo para el arbolado, depende del tamaño y el patrón espacial o distribución del mismo. En bosques mixtos (compuestos por una mezcla de especies), maduros, con un arbolado grande, las parcelas pueden ser de 0.1 ha (1,000 m²), mientras que en rodales de bosques jóvenes, con arbolado pequeño y muy denso pueden ser de 0.01 ha (100 m²). En los bosques de pino y pino-encino y selvas húmedas hemos utilizado comúnmente parcelas con dimensiones de 0.05 ha (500 m² o 1/20 de hectárea) que es la medida estándar que se recomienda en el presente manual. En estudios de vegetación se utilizan parcelas de muestreo de distintas formas (circulares, cuadradas, rectangulares); en este caso recomendamos parcelas circulares que representan mejor la distribución espacial de los árboles y son más fáciles y rápidas de establecer en el campo. En la parcela circular se marca el centro con una estaca y se mide con cinta métrica un radio de 12.62 cm alrededor del centro para obtener la superficie deseada de 500 m² (Fig. 6).

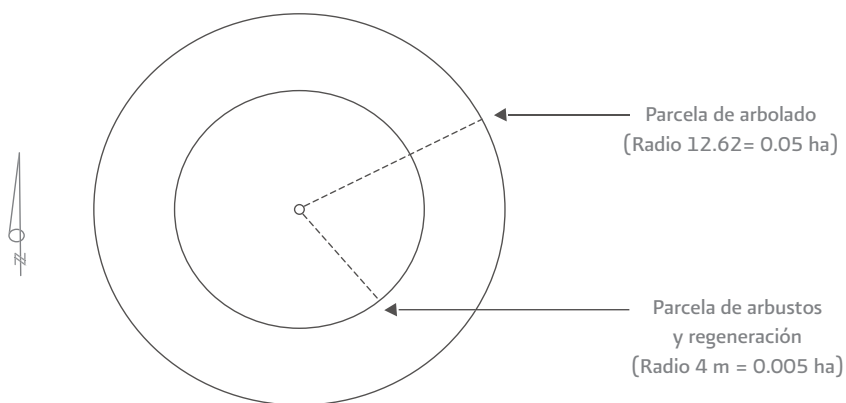


Figura 6. Diagrama de la unidad de muestreo (parcela circular de 500 m² o 0.05 ha) para el muestreo del arbolado; para el muestreo de arbustos y regeneración se incluye otra unidad concéntrica menor (de 50 m² o 0.005 ha).

Ya que queremos determinar la superficie de la parcela en un plano horizontal, cuando nos encontramos en un terreno inclinado la longitud del radio medido a ras del suelo debe ser compensada por la pendiente (Fig. 7, cuadro 4).

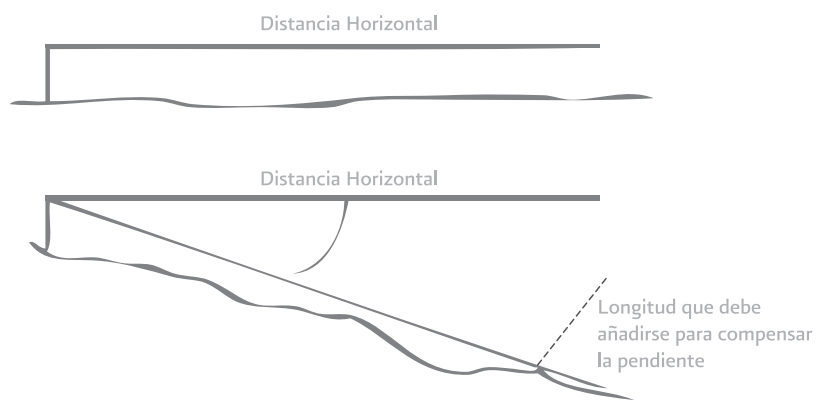


Figura 7. Medición de la distancia horizontal desde el centro de la parcela, hacia sus extremos en terreno plano (arriba) e inclinado (abajo); en el segundo caso hay que compensar la distancia a ras del suelo.

Cuadro 4. Compensación de la medición de distancias horizontales para el radio de parcelas circulares de muestreo.

Pendiente en grados y %	Radio de un sitio de 0.05 ha	Radio de un sitio de 0.1 ha
0° (0%)	12.62	17.84
10° (22%)	12.68	17.98
20° (44%)	12.87	18.41
30° (67%)	13.19	19.17
40° (89%)	13.67	20.38

En cada parcela establecida se registrará para cada árbol individual (considerando cada tallo que sale del suelo o que se bifurca debajo del 1.30 de altura) la especie, diámetro normal (DN), diámetro a la base (sólo en árboles >2.5 cm y <10 cm. DN), la altura a la copa, que es la altura a la rama viva o muerta en donde comienza la continuidad de la copa, la altura a la copa viva, que es la rama viva más baja en donde empieza la continuidad de las ramas vivas, la altura total, clase silvícola (dominante, codominante, intermedio o suprimido) y su condición o status (vivo o muerto), en el formato de campo (ver anexo III). De la información obtenida se definirán clases diamétricas que describan la estructura del arbolado (por ejemplo categorías de 10 cm) y con base en éstas se calcularán los promedios de las variables obtenidas para cada condición y para el total de los individuos. El cálculo de la densidad (tallos/ha) se realizará utilizando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{n_i}{N}$$

En donde,

D = Densidad de tallos por hectárea

n_i = Número de tallos

N = 0.05 ha (superficie de la parcela)

Los árboles pequeños o la regeneración establecida (árboles < 2.5 cm DN y mayores a 1.3 m de altura) se medirá en un área de menor tamaño que se establecerá colocando una parcela circular concéntrica dentro de la parcela de 0.05 ha (Fig. 6); esta parcela será de 0.005 ha (50 m²), registrando el

de individuos por especie y su condición (ver anexo IV). En ella también se podrán medir los árboles <10 cm de diámetro cuando se presente una alta densidad en todo el sitio.

Se obtendrá el porcentaje de cobertura del dosel como un indicador de la densidad de las copas mediante un muestreo por puntos (dimensiones variables), distribuidos sistemáticamente en 100 observaciones sobre 4 transectos dentro del área de 0.05 ha (Fig. 8). Cada transecto será de 12.5 metros con un total de 25 observaciones por transecto y estarán orientados hacia los cuatro puntos cardinales partiendo del centro de la parcela. Las observaciones se pueden medir con un densitómetro GSR (Stumpf, 1993), o algún otro instrumento para medir cobertura de forma puntual, a una separación de 0.5 m de distancia y se registrará la presencia o ausencia de cobertura (ver anexo VI). Se puede adaptar una medición en el centro o a una mayor distancia si se decide usar densiómetros. A partir de las variables medidas en el arbolado, es posible calcular la carga y densidad específica (unidad de peso por unidad de volumen) de la copa mediante ecuaciones alométricas. El trabajo de Nívar (2009) recopila información sobre ecuaciones alométricas para Latinoamérica, incluyendo todos los trabajos hechos hasta esa fecha para México. En caso de estar disponibles las ecuaciones para las especies dominantes, o bien para el tipo de ecosistema, se pueden aplicar las ecuaciones que mejor se ajusten para obtener dichas variables.

En estudios de cambio a través del tiempo, en sitios permanentes se repiten periódicamente las mismas mediciones (por ejemplo, cada tres años). En el caso de querer evaluar los efectos de una quema prescrita, se toman estos datos antes de la quema y se vuelven a tomar de la misma manera después de esta. En este caso es necesario agregar algunas otras mediciones posteriores a la quema, como el porcentaje de daño por fuego a la copa de cada árbol, la altura de la corteza carbonizada y si es una evaluación a largo plazo también la cantidad de rebrotes. (ver anexo III). Además se recomienda llevar registros sistemáticos del mismo sitio a través de varias mediciones en lapsos de tiempo definidos, para conocer el cambio de los combustibles en estructura y

composición que resultó del tratamiento aplicado.

Material necesario: cinta diamétrica o forcípula, clinómetro, cintas métricas, densitómetro, y una estaca para indicar el centro del círculo.

Arbustos

El estrato arbustivo interviene en la propagación superficial de los incendios y puede favorecer la formación de antorchas o el fuego de copa cuando hay continuidad vertical con el estrato arbóreo. En chaparrales y matorrales es el estrato dominante. La caracterización del estrato arbustivo se hará dentro de la parcela circular de 0.005 ha, en donde se mide también la regeneración (Fig. 5). Para los arbustos, el objetivo es conocer la densidad, composición y disponibilidad (% combustibles muertos), por lo que se registra la especie, número de individuos, número de tallos y condición (ver anexo IV). La descripción de la cobertura se medirá conjuntamente con el estrato de la vegetación de baja altura que se describirá en el siguiente apartado.

Material necesario: contador, cinta métrica y una cuerda de 4 m.

Vegetación de baja altura (estrato herbáceo)

En un inventario de combustibles, es importante conocer la continuidad horizontal y el porcentaje de cobertura de hierbas, pastos y subarbustos,, ya que es un indicador importante de los combustibles que influyen en la propagación superficial del fuego. La descripción de su composición nos permite conocer las especies presentes y su abundancia relativa, las que son importantes en el desarrollo de un incendio (algunas especies son mas inflamables que otras) y cómo se modifica su estructura y composición cuando ocurre un incendio forestal o se realiza una quema. Es importante tomar en cuenta que en la vegetación baja o sotobosque se concentra la mayor parte de la diversidad florística de un bosque.

Para evaluar la composición y cobertura de la vegetación de baja altura y el estrato arbustivo, se utiliza el método de líneas de interceptación o líneas Canfield que se definen como el método de muestreo basado en la medida

de todas las plantas interceptadas por planos verticales de igual longitud (Canfield, 1941). Se establecen cuatro transectos de 10 metros utilizando el mismo patrón para medir la cobertura de arbolado (Fig. 7). Se registra en centímetros la longitud total por especie o componente que intercepta la línea y para facilitar la medición se pueden dividir los registros de cada transecto en dos segmentos de 5 m para ser sumados posteriormente (ver anexo V). En esta medición también se pueden incluir algunas características importantes que determinen en algún lugar en específico el carácter del fuego, por ejemplo la cobertura de roca desnuda, suelo mineral, musgo o líquenes. La siguiente fórmula indica el cálculo de cobertura para cada especie o componente:

$$\%C_{sp} = \frac{\sum_{i=1}^4 Sp_i}{40}$$

en donde,

$\%C_{sp}$ = Porcentaje de cobertura por especie o componente

$\sum_{i=1}^4 Sp_i$ = Sumatoria de la longitud de los segmentos interceptados por línea (cm)

40 = Sumatoria del largo total de todos los transectos (m)

En estos estratos también se describe su distribución vertical o la altura de cada componente. Para medir las alturas de los arbustos, hierbas y pastos se establecen sobre los transectos dos puntos a 5 metros de distancia (Fig. 8). En cada punto se tomará por separado la altura del individuo más cercano de cada forma biológica en un radio máximo de 2.5 m. También se incluirá algún otro componente que sea abundante o se considere importante en el comportamiento del fuego (ver anexo V).

Material necesario: cinta métrica, flexómetro.

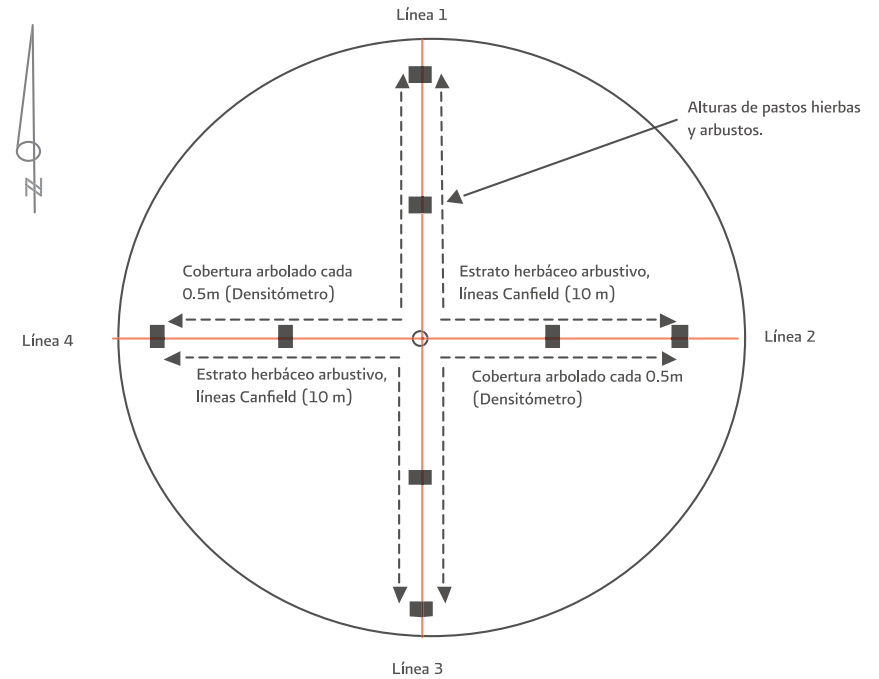


Figura 8. Diagrama de los sitios para la medición de cobertura, altura y composición del dosel, arbustos, y vegetación de baja altura dentro de la parcela de 0.05 ha.

Carga del estrato arbustivo y la vegetación de baja altura

El cálculo de la biomasa o carga del estrato arbustivo y la vegetación de baja altura se obtendrá a partir de 4 parcelas de 1 m² o 4 m² dependiendo de la densidad y distribución espacial de los componentes (por ejemplo, si los componentes están agregados se aumentará el área de la parcela), y cada una se orienta hacia los 4 puntos cardinales a 13 metros, de tal manera que quede la recolección de muestras fuera del perímetro de los sitios de 0.05 ha donde se realiza el muestreo del arbolado (Fig. 9), esto con la finalidad de evitar la alteración del interior del sitio, sobre todo si este volverá a ser vuelto a medir en el futuro. Dentro de cada parcela se corta al ras de suelo todos los arbustos, hierbas y pastos. Estos componentes se colectan en bolsas de papel de manera individual y a su vez se deben separar según su condición (vivos

o muertos). Para el caso particular de los arbustos, se colectarán sus hojas de forma separada para conocer su carga foliar. Si existen componentes que se consideren importantes en el comportamiento del fuego (por ejemplos palma, agaves, especies de arbustos abundantes) serán también colectados individualmente. Para organizar el material colectado se rotula cada bolsa con el identificador del sitio, tipo de material y fecha en el que fue colectado; de esta forma todo el material colectado se registra en una hoja de campo indicando el tipo de material, número de bolsas en el que fue colectado y peso de la bolsa (ver anexo VII).

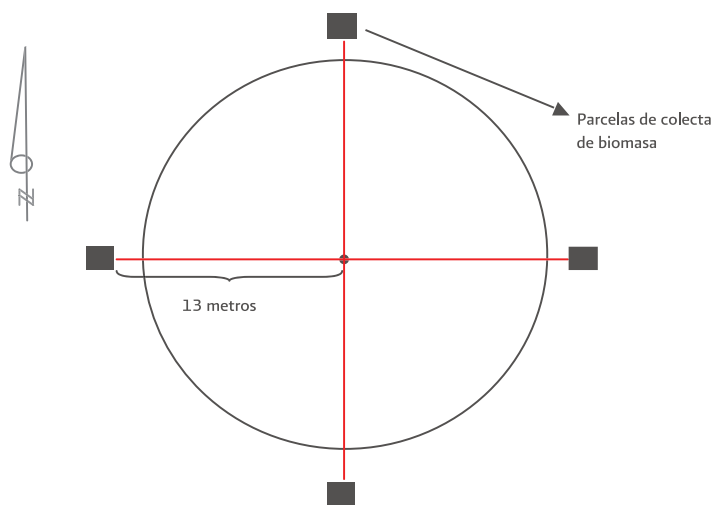


Figura 9. Ubicación de las parcelas de colecta de biomasa con respecto al sitio de 0.05 ha.

Una vez que el material es registrado y colectado, se lleva a laboratorio para obtener su peso seco en una estufa de secado a una temperatura mínima de 76° C, hasta que el material alcance un peso constante (aproximadamente 2 días, dependiendo del tipo de material). Una vez obtenido el peso seco, se calcula la carga o biomasa por componente colectado en cada parcela, usando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{10(PS)}{N}$$

en donde,

C = Carga o biomasa en $Mg\ ha^{-1}$

PS = Peso seco o peso anhidro (Kg)

N = Tamaño de la parcela en m^2

10 = Factor de conversión de unidades

La carga o biomasa se expresa en megagramos (Mg equivalente a una tonelada métrica, i.e. 1000 Kg o sea un millón de gramos).

Material necesario: Cuadros de $1m^2$ o de $4m^2$, tijeras de podar, bolsas de papel, bolsas de plástico, balanza portátil, rotulador.

Evaluación y cuantificación del mantillo

La hojarasca fresca, la hojarasca en descomposición (horizonte de fermentación) y el material leñoso caído intervienen en los incendios superficiales, subterráneos y en la combustión residual, y son los que convencionalmente se han utilizado para cuantificar el comportamiento del fuego mediante modelos matemáticos; su medición nos proporciona datos cuantitativos para modelar el comportamiento del fuego, tales como su tasa dispersión e intensidad (Rothermel, 1972; Sandberg *et al.* 2007b). Estos estratos se conforman de los combustibles muertos y para evaluarlos se establecen sobre los mismos puntos seleccionados para caracterizar los tres estratos anteriormente mencionados. Se recomienda medir este tipo de combustibles antes de realizar la evaluación de los combustibles del dosel, los arbustos y la vegetación de baja altura, debido a que el desplazamiento del personal dentro del sitio de muestreo puede modificar significativamente sus propiedades físicas.

El diseño de los sitios para cuantificar la estructura, composición y carga de material leñoso caído (MLC) y la capa orgánica del suelo se basa en el método de líneas de intersección o intersecciones planares, que es usado ampliamente por ser práctico y preciso para evaluar el MLC y la capa orgánica del suelo (Ringvall y Stahl, 1999; Waddell, 2002; Sikkink y Keane, 2008).

Un muestreo es necesario para determinar la intensidad de muestreo de MLC en el área, así como para obtener valores adecuados para el cálculo de la carga y tener mejores estimaciones. En caso de no contar con el tiempo necesario para hacerlo, se pueden usar los valores generales descritos en la literatura para cada componente (ver Brown 1974, Mc Rae *et al.* 1979, Rodríguez-Trejo 1996).

Material leñoso caído

Para realizar el muestreo de MLC se usarán las líneas de intersección o intersecciones planares que consisten en el cálculo de volumen densidad y carga de combustibles, con base en las partículas intersectadas por un plano vertical (Warren y Olsen, 1964; Van Wagner, 1968; Brown, 1971). La medición de MLC se realiza sobre el punto escogido para caracterizar toda la cama de combustible en donde se establecen 3 líneas de intersección de un largo de 20 metros (60 m en total por sitio). Las líneas partirán del centro de cada sitio y se selecciona la primera línea de manera aleatoria; las siguientes líneas se establecerán en un patrón de 120° de separación registrando la dirección o azimut de cada línea (Fig. 10). Las tres líneas en diferentes direcciones se hacen con el fin de reducir el error en caso de que las piezas de MLC no estén distribuidas de forma aleatoria (Van Wagner, 1982), se recomienda al menos tener un sitios de este tipo por cada hectárea que se va a evaluar en campo.

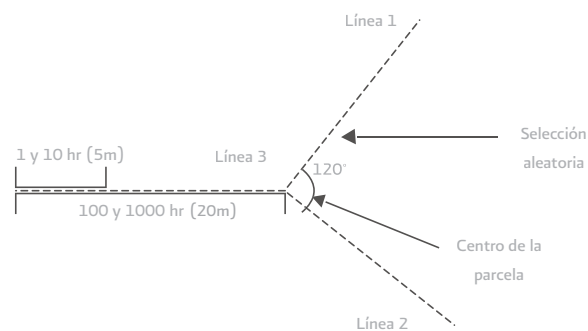


Figura 10. Transectos para cuantificar MLC (Combustibles de 1 h, 10 h, 100 h y 1,000 h)

A lo largo de toda la línea y hasta una altura de 2 metros, se contarán todas las piezas del MLC que la interceptan, divididas en clases de tamaño que se usan para modelar el comportamiento del fuego (Deeming y Brown, 1975); estas clases han sido establecidas en función de su tiempo de retardo para ajustarse a los cambios en las condiciones de humedad del ambiente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación del combustible por tamaño y tiempo de respuesta o retardo.

Categoría	Diámetro (cm)	Tiempo de respuesta
Finos	< 0.06	1 hora
Regulares	0.06 - 2.5	10 horas
Medianos	2.6 - 7.6	100 horas
Gruesos	> 7.6	1000 horas

El MLC de 1 y 10 horas se mide en los últimos 5 metros de la línea de muestreo registrando por conteo el número de piezas intersectadas y los combustibles de 100 h a lo largo de los 20 metros registrando también el número de piezas. Solamente para los combustibles $\geq 1,000$ horas se miden con una forcípula los diámetros intersectados y se clasifican según su nivel de putrefacción, siguiendo el criterio señalado en el cuadro 6 y considerando en general a los niveles 1 y 2 como firmes y los niveles 3, 4 y 5 podridos. El nivel 5 por lo general no es contabilizado por el grado tan avanzado de putrefacción que no mantiene ninguna forma definida (Waddell, 2002). Esta categoría de $\geq 1,000$ h es importante porque es en donde sucede gran parte de la combustión sin llama en un incendio (Arnaldos Viger *et al.*, 2004), fase a la cual se le atribuye la mayoría de la severidad causada en un incendio y la cuál no ha sido bien estudiada en el modelaje del comportamiento del fuego (Stephens y Finney, 2002).

Cuadro 6. Criterios de clasificación del grado de putrefacción de los combustibles de 1,000 horas (Waddell, 2002).

Nivel de putrefacción	Integridad estructural	Textura de la madera	Color	Presencia de raíces invasoras	Condición de ramas gruesas y finas
1	Dura	Intacta no putrefacta	Color original	Ausente	Si las ramas están presentes, tienen ramas finas y el tronco presenta corteza
2	Duramen duro, albura en algún grado de putrefacción	La mayor parte intacta, albura parcialmente	Color original	Ausente	Si hay ramas presentes, ya no tiene muchas ramas finas y la corteza se empieza a caer.
3	Duramen duro, el tronco soporta su peso	Secciones grandes de la albura pueden separarse con la mano	Café rojizo o color original	Presentes solamente en la albura	La base de ramas grandes no pueden ser separadas
4	Duramen podrido, el tronco no soporta su peso pero mantiene su forma	Suave, pequeñas piezas en bloque, con un clavo de metal puede separarse el duramen	Café rojizo o café claro	Presentes en todo el tronco	La base de ramas grandes puede separarse fácilmente. Las estructuras de ramas están completamente putrefactas.
5	No tiene integridad estructural, no mantiene su forma	Suave, la madera se hace polvo cuando está seca	De Café rojizo a café oscuro mantiene su forma	Presentes en todo el tronco mantiene su forma	Las estructuras de ramas están completamente putrefactas

La información que se registra para el MLC será la especie o género, clase de tamaño y grado de putrefacción y diámetro para los combustibles de 1,000 horas (ver anexo VIII). Las reglas de conteo de las piezas intersectadas son las siguientes según Brown (1974):

a) Las partículas que se incluyen en el conteo o medición de las intersecciones son todos los combustibles leñosos muertos que provienen de árboles y arbustos y que se encuentran sobre el suelo de un bosque (ej. ramas y troncos) y que se hayan separado de la fuente original de crecimiento. Por lo tanto, las ramas muertas que están unidas a un tronco muerto en pie no son contadas. También en esta medición no se consideran los conos, la corteza, hojas, pastos y hierbas.

b) Todas las ramas y ramillas que se encuentran dentro o sobre la hojarasca superficial son contadas y no son contadas cuando el eje central de la partícula intersectada se encuentra en la capa de fermentación (Fig. 11).

c) Cuando una troza es intersectada en la parte final de la línea de muestreo, sólo se mide si su eje central es cruzado por la línea de muestreo (Fig. 12).

d) No se mide ninguna pieza en la cual su eje central coincida perfectamente con la línea de muestreo (esto es algo que sucede muy raramente) (Fig. 13).

e) Si la línea de muestreo cruza en dos ocasiones una pieza que está curvada, se mide cada intersección (Fig. 14).

f) Se miden las astillas y trozas que quedan después de un aprovechamiento. Debido a su estructura estos componentes se tienen que visualizar en forma cilíndrica para determinar la clase de tamaño o medir el diámetro.

g) Medir tocones que no estén enraizados y raíces que no estén cubiertas por tierra. Para medirlos se deben considerar como troncos individuales o raíces individuales. No se deben medir los tocones que estén enraizados.

h) Para las trozas muy podridas que están despedazadas y ya perdieron la estructura original, se debe construir visualmente una forma cilíndrica que contenga el material podrido y estimar el diámetro.

i) Asegurarse de observar arriba del suelo cuando se está realizando el muestreo, ya que el material puede ser medido hasta los 2 metros de altura.

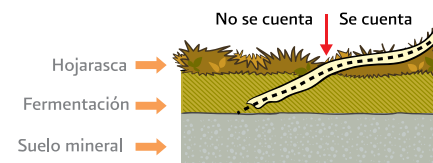


Figura 11. Las piezas sólo son contadas cuando el eje central está sobre la capa de fermentación (lado derecho de la flecha). Tomado de Brown, (1974).

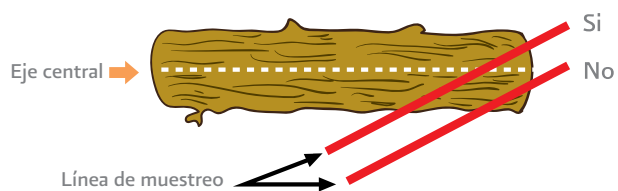


Figura 12. La línea de muestreo debe cruzar el eje central de la troza para ser medida. Tomado de Brown (1974).



Figura 13. Si la línea de muestreo coincide con el eje central del tronco, la pieza no es contada. Tomado de McRae et al., (1979).

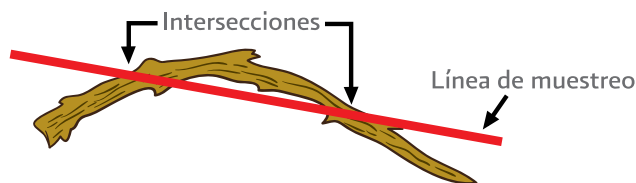


Figura 14. Se miden todas las secciones que intersecta la línea de muestreo en una pieza curvada.

La ecuación básica usada para calcular la carga de cada clase de combustible es la siguiente (Van Wagner 1982):

$$C = \frac{(k) GE \sum DC (c)}{L}$$

en donde,

C = Carga de combustible ($Mg\ ha^{-1}$)

k = Constante equivalente a 1.234, derivada de la densidad del agua y de factores de conversión para obtener la carga en $Mg\ ha^{-1}$

DC = Diámetro cuadrático, que es el diámetro intersectado elevado al cuadrado (Ej. si el diámetro de una pieza intersectada es 10, su diámetro cuadrático es $10^2=100$)

GE = Gravedad específica o densidad específica de la madera calculada sobre peso seco (puede ser un número sin dimensiones o en g/cm^3)

c = Factores de corrección de la pendiente en una base horizontal

L = Longitud de los transectos (m)

Debido a que el terreno no es uniforme, es necesario integrar a la ecuación factores de corrección de la pendiente para cada línea (c) en base a un plano horizontal, y de esta manera tener mejores estimaciones:

$$C = \sqrt{1 + \left(\frac{\%pendiente}{100}\right)^2}$$

Para el cálculo de la carga en los combustibles de 1 h, 10 h y 100 h sólo se utilizan los conteos de las frecuencias de las piezas intersectadas con sus valores específicos de tamaño de la partícula en diámetro cuadrático promedio (DCP) y GE (Cuadro 7) utilizando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(k) GE \bar{(DCP)} (f) (c)}{L}$$

en donde,

C = Carga de combustible ($Mg\ ha^{-1}$)

$k = 1.234$

GE = Densidad específica o gravedad específica de la madera ($gr\ cm^3$)

DCP = Diámetro cuadrático promedio (cm) de cada categoría (1 h, 10 h o 100 h)

f = Frecuencia de las partículas intersectadas (1 h, 10 h o 100 h)

c = Factor de corrección de la pendiente

Para cuantificar la carga de combustibles $\geq 1,000$ h se aplica directamente la ecuación básica (pág. 52) y se utiliza la sumatoria de los diámetros cuadráticos (DC) que se midieron en el muestreo y se asigna su GE para cada nivel de putrefacción, en caso de estar disponibles para las especies o ecosistemas

evaluados. En la literatura por lo general existen sólo datos de GE para firmes y en menor medida para podridos. En el cuadro 7 se hizo un análisis de la literatura para integrar todos los datos disponibles encontrados para especies y ecosistemas de México, los cuales pueden utilizarse de manera general en caso de que no se encuentren datos específicos para las especies, el ecosistema y/o la zona de interés. Existen trabajos específicos de cuantificación de biomasa donde se reportan algunos valores como los de Hughes *et al.* (1999) para selvas altas en los Tuxtlas, Veracruz; Harmon *et al.* (1995) para selvas medianas en Quintana Roo; Kauffman *et al.* (2003) para selvas bajas en Chamela Jalisco; Navarrete (2006), Wong González y Villers Ruíz (2007) para bosques templados.

Cuadro 7. Valores de las variables utilizadas para determinar la carga de material leñoso caído por categoría de tiempo de retardo y tipo de ecosistema. GE gravedad específica promedio ($g\text{ cm}^{-3}$); DCP: diámetro cuadrático promedio (cm^2); entre paréntesis se muestra el error estándar de la media; N: número de datos usados y Fuente: estudio del cual se obtuvo la información.

Tipo de ecosistema (abreviatura)	Categoría	GE	N	Fuente	DCP	N	Fuente
1. Bosques de oyamel (Abies) y ayarín (Pseudotsuga) (BO)	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.45 (0.015)	12	(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)	--	--	
1,000 h P	0.32	1	(1)	--	--		
2. Bosque de pino y pino-encino (BP-general)	1 h	0.54 (0.023)	8	(10)(11)(12)(13)	0.20 (0.044)	9	(11)(12)(10)(13)
	10 h	0.54 (0.025)	8	(10)(12)(11)(13)	1.56 (0.12)	9	(11)(12)(10)(13)
	100 h	0.50 (0.018)	7	(10)(12)(11)(13)	16.16 (0.98)	9	(11)(12)(10)(13)
	1,000 h F	0.46 (0.008)	86	(14)(10)(15)(16)(17)(18)(19)(20)(4)(5)(21)(22)(23)(24)(25)(26)(27)(28)(29)(30)(31)(32)(32)(1)(3)(7)(33)(34)(2)(35)(36)(6)(37)(11)(28)(12)(1)	140.45 (27.34)	9	(11)(12)(10)(13)
	1,000 h P	0.22 (0.076)	2	(12)(1)	--	--	
2.1. Bosques pino y pino-encino de zonas templadas subhúmedas (BPE)	1 h	0.52 (0.019)	7	(11)(12)(10)	0.16 (0.020)	7	(11)(12)(10)
	10 h	0.52 (0.023)	7	(11)(12)(10)	1.46 (0.058)	7	(11)(12)(10)
	100 h	0.50 (0.018)	7	(11)(12)(10)	17.07 (0.964)	7	(11)(12)(10)
	1,000 h F	0.46 (0.009)	81	(1)(30)(12)(10)(11)(14)(19)(3)(6)(22)(2)(7)(20)(17)(31)(25)(2)(32)(5)(36)(37)(15)(16)(4)(38)(24)(25)(26)(27)(33)(35)(37)	139.58 (35.670)	7	(11)(12)(10)
	1,000 h P	0.22 (0.076)	2	(12)(1)	--	--	

Continuación cuadro 7

Tipo de ecosistema (abreviatura)	Categoría	GE	N	Fuente	DCP	N	Fuente
2.2. Bosque de pino de alta montaña; zonas templado frías (P. hartwegii) (BPAM)	1 h	--			0.52	1	(13)
	10 h	--			2.43	1	(13)
	100 h	--			14.42	1	(13)
	1,000 h F	0.49 (0.008)	2	(34)(4)	156.97	1	(13)
1,000 h P	--			--	--		
2.3. Bosques de pino de zonas semiáridas (Pinus cembroides) (BPA)	1 h	0.65	1	(11)	0.09	1	(11)
	10 h	0.64	1	(11)	1.41	1	(11)
	100 h	--	1	(11)	11.56	1	(11)
	1,000 h F	0.45 (0.038)	3	(15)(2)(3)	129.96	1	(11)
	1,000 h P	--			--	--	
3. Bosque de táscate (Juniperus spp.) (BT)	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.56	1	(3)	--	--	
1,000 h P	--			--	--		
4. Bosque de encino y encino-pino (BE-general)	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.71 (0.016)	74	(39)(40)(15)(16)(41)(42)(43)(44)(19)(45)(44)(4)(5)(21)(22)(46)(7)(31)(47)(48)(6)(3)(1)	--	--	
1,000 h P	0.57 (0.310)	2	(1)	--	--		
4.1. Bosque de encino de zonas semicálidas subhúmedas.	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
1,000 h F	0.74 (0.025)	28	(39)(40)(41)(42)(44)(31)(7)(3)(6)	--	--		
1,000 h P	--			--	--		
4.2. Bosque de encino de zonas templadas subhúmedas.	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.70 (0.020)	46	(40)(15)(16)(7)(42)(3)(43)(19)(45)(44)(4)(5)(21)(22)(46)(30)(31)(47)	--	--	
1,000 h P	0.26	1	(1)	--	--		
5. Bosque mesófilo de montaña	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.59 (0.015)	74	(14)(49)(50)(40)(19)(5)(22)(8)(7)(47)(51)(52)(3)(53)(46)	--	--	
1,000 h P	--			--	--		

Continuación cuadro 7

Tipo de ecosistema (abreviatura)	Categoría	GE	N	Fuente	DCP	N	Fuente
6. Selva baja bosque seco/muy seco premontano y basal latifoliado (SB)	1 h	0.74	1	(54)	--		
	10 h	0.55	1	(54)	--		
	100 h	0.76	1	(54)	--		
	1,000 h F	0.74 (0.015)	213	(49)(55)(40)(50)(56)(57)(58) (42)(19)(5)(22)(59)(7)(60)(54) (31)(6)(3)(53)(46)	--		
	1,000 h P	0.61	1	(54)	--		
7. Selva mediana bosque seco/húmedo premontano y basal latifoliado (SM)	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.70 (0.032)	52	(49)(40)(57)(19)(56)(22)(61) (7)(60)(62)(63)(47)(52)(53)(46)	--		
	1,000 h P	0.42 (0.089)	7	(61)	--		
8. Selva alta bosque muy húmedo/lluvioso y húmedo premontano latifoliado (SAH)	1 h	0.41 (0.072)	6	(64)	--		
	10 h	0.41 (0.072)	6	(64)	--		
	100 h	0.41 (0.061)	7	(64)(65)	14.74	1	(65)
	1,000 h F	0.58 (0.011)	303	(49)(55)(50)(40)(15) (16)(50)(41)(56)(57)(58) (42)(66)(19)(5)(22)(7) (65)(60)(62)(31)(47)(52) (3)(53)(46)(6)(64)	--		
	1,000 h P	0.21	1	(65)	--		
9. Matorral xerófilo (M)	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.72 (0.037)	29	(14)(7)(3)	--		
	1,000 h P	--			--	--	
10. Bosque de Galería (BG)	1 h	--			--	--	
	10 h	--			--	--	
	100 h	--			--	--	
	1,000 h F	0.59 (0.036)	13	(14)(16)(50)(19)(22) (7)(3)(53)	--		
	1,000 h P	--			--	--	

1.Navarrete, (2006) 2.Romero Amaya et al., (1982) 3.Sotomayor Castellanos et al., (2010) 4.Echenique-Manrique y Becerra Martínez, (1972) 5.Echenique-Manrique y Díaz Gómez, (1969) 6.Sotomayor Castellanos, (2005) 7.Hernández Maldonado, (2010) 8.Forest Products Laboratory, (1999) 9.Zúñiga Barragán, (1998) 10.Alvarado Celestino, (1986) 11.Van Wagtenonk et al., (1996) 12.Morfin Ríos y Pérez Salicrup, (2011) 13.Vera Gaxiola, (1980) 14.Aguilar Rodríguez et al., (2001) 15.Bárceñas Pazos, (1985) 16.Bárceñas Pazos, (2002) 17.Dávalos et al., (1977) 18.Dávalos Sotelo et al., (1978) 19.De la Paz Pérez Olvera y Corral López, (1980) 20.De la Paz Pérez Olvera y Olvera Coronel, (1981) 21.Echenique-Manrique y Becerra Martínez, (1981) 22.Erdoiza y Castillo, (1992) 23.Gutiérrez Vázquez et al., (2010) 24.Hernández de la Cruz, (2007) 25.Hernández Ruiz, (2009) 26.Herrera Ferreyra, (1992) 27.Linares Hernández, (1990) 28.López Locía, (1997) 29.López Locía y Valencia Manzo, (2001) 30.López Telles, (2006) 31.Machuca Velasco et al., (2006) 32.Nájera Luna y Mendoza López, (1994) 33.Quiñones Olguín, (1974) 34.Rojas García y Villers Ruiz, (2005) 35.Trujillo García, (1999) 36.Tzab Can, (2002) 37.Valencia Manzo y Vargas Hernández, (1997) 38.Gutiérrez Vázquez, (2010) 39.Aguilar Romero, (2009) 40.Bárceñas Pazos et al., (2003) 41.Cevallos Ferriz y Carmona Valdovinos, (1981a) 42.Corral López, (1985) 43.Cruz de León, (1994) 44.De la Paz Pérez Olvera, (1982) 45.De la Paz Pérez Olvera y Dávalos-Sotelo, (2008) 46.Tamarit Urias, (1996)

Continuación cuadro 7

47.Martínez Pinillos y Martínez Castillo, (1996) 48.Ramos, (1999) 49.Barajas Morales, (1987) 50.Bárceñas Pazos et al., (2005) 51.Quintanar-Isaías et al., (1998) 52.Rogel, (1982) 53.Tamarit Urias y Fuentes-Salinas, (2003) 54.Kauffman et al., (2003) 55.Bárceñas Pazos, (1995) 56.Cevallos Ferriz y Carmona Valdovinos, (1981b) 57.Cevallos Ferriz y Carmona Valdovinos, (1981c) 58.Cevallos Ferriz y Carmona Valdovinos, (1982) 59.Fuentes Salinas et al., (2008) 60.Huerta Crespo y Becerra Martínez, (1974) 61.Harmon et al., (1995) 62.Huerta Crespo y Becerra Martínez, (1982) 63.Martínez Trinidad et al., (2001) 64. Van Gelder et al., (2006) 65.Hughes et al., (1999) 66. De la Paz Pérez Olvera et al., (1979).

Es importante señalar que se obtendrán mejores estimaciones a medida que se tenga información más específica de los DCP y GE del MLC de la zona que se pretende evaluar. En caso de no contar con ninguna información del DCP y GE de las especies con que se está trabajando se recomienda tomar 30 muestras (medirlas en el caso del DCP y colectarlas para la GE para cada categoría y cada nivel de putrefacción). Para obtener los DCP en las categorías de 1 h, 10 h y 100 h se pueden medir 30 diámetros intersectados al azar, con un vernier o pie de rey y obtener un promedio.

La GE para los combustibles de 1 h, 10 h y 100 h se puede calcular mediante desplazamiento de masa por un líquido de densidad conocida a partir del método propuesto por Nadler., (1999), el cual consiste en que cada partícula en peso seco es sumergida en parafina a una temperatura de 180°C para hacerla impermeable, y posteriormente sumergirla en un recipiente de agua destilada que se encuentra colocado en una balanza de precisión (± 0.01) para conocer el peso desplazado. La GE puede obtenerse mediante la fórmula siguiente:

$$GE = PEA \frac{P_{\text{seco}}}{P_{\text{desplazado}}}$$

En donde el PEA es el peso específico del agua que es igual a 1.00 g/cm³, P_{seco} es el peso seco de la partícula (gramos), P_{desplazado} es el peso que desplaza la partícula al ser sumergida (gramos) y GE es la gravedad específica o densidad específica en g/cm³. Otra manera de medir la biomasa de las ramillas es obtener su peso seco en laboratorio y medir sus dimensiones (largo y ancho) para sacar el volumen y relacionarlo con su peso seco. Este último método es una aproximación, que aunque tiene menor precisión y tiende a subestimar

un poco, proporciona un mejor dato que uno general y muchas veces resulta ser más práctico cuando no se tienen los recursos para obtener la gravedad específica o no se cuenta con valores aproximados de la literatura (Morfín, en preparación).

Para los combustibles $\geq 1,000$ h se pueden cortar un mínimo tres rodajas de cada nivel de putrefacción o bien tres para firmes y para podridos, medir sus dimensiones para obtener su volumen y llevarlas a laboratorio para obtener su peso seco (Figura 15).

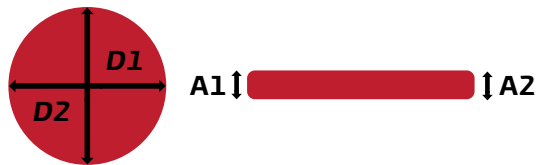


Figura 15. Medición de dimensiones de una rodaja para obtener su volumen. D1: es el primer diámetro y D2: es el segundo diámetro que se toma perpendicularmente. A1: La primera altura que se toma en la parte más gruesa de la rodaja; A2: La segunda altura tomada en el lado opuesto a la A1.

Para calcular la GE se pueden usar las siguientes ecuaciones en donde primero se calcula el volumen (a) y posteriormente se relaciona con su masa en peso seco:

a)

$$V = \pi \left(\frac{D_{\text{promedio}}}{2} \right)^2 * A_{\text{promedio}}$$

b)

$$GE = \frac{\text{masa}}{V}$$

La ecuación b) muestra el cálculo del volumen de un cilindro, V (cm^3) es el volumen de la rodaja, π 3.1416 (constante para el cálculo de la circunferencia), D_{promedio} es el diámetro promedio de D1 (cm) y D2 (cm), y A_{promedio} la altura promedio de A1 (cm) y A2 (cm) (Figura 15). Ya calculado el volumen se aplica la ecuación b) para obtener la gravedad específica (GE) de

la rodaja, donde la *masa* es el peso seco de la rodaja (gramos) y V el volumen de la rodaja (cm^3). Con este simple procedimiento, también se pueden obtener datos específicos en donde se carecen de ellos, para tener mejores estimaciones.

Si se pretenden hacer registros sistemáticos del cambio en la estructura del MLC, o si la caracterización es usada para evaluar una quema, se requiere dejar señalado el centro de sitio, con una estaca de material que soporte altas temperaturas e indicar la dirección o azimut a la que fue trazada la línea colocando un indicador al final de la línea (un pedazo de varilla de construcción o de soldadura), con el fin de hacer posteriores remediciones siguiendo los mismos procedimientos.

Después de una quema es recomendable hacer registros adicionales que indiquen cómo fue el comportamiento del fuego, como el porcentaje de ignición a lo largo de la línea (ver anexo VIII).

Material necesario: medidor de combustibles leñosos, cinta métrica, estacas, varillas de soldar, contadores, forcípulas.

Hojarasca fresca y capa de fermentación

La hojarasca del suelo se compone de la hojarasca superficial (HS), que está formada por las hojas caídas que aún conservan su estructura y la capa de fermentación (HF) que es materia vegetal en diferentes estados de putrefacción e incluye al humus (Sackett y Haase, 1996). Estas dos capas intervienen de forma diferencial en el desarrollo de un incendio. La hojarasca superficial es el principal componente donde se inicia y se dispersa el fuego en los incendios superficiales, y la capa de fermentación interviene de forma significativa en la combustión sin llama y dirige los incendios de tipo subterráneo junto con las raíces (Arnaldos Viger *et al*, 2004; Pyne *et al*, 1996).

Para cada capa se obtendrá la profundidad, tipo de material y carga. Para los modelos de simulación de comportamiento del fuego se requiere considerar por separado las dos capas, así como para contar con datos que pueden ser

usados para inventarios de carbono (Chojnacky *et al*, 2009). La profundidad se medirá en 2 puntos separados a un metro y orientados hacia cada punto cardinal, partiendo del centro de la parcela (Fig. 16), en cada medición se registrará la profundidad (mm) y el tipo de material (ver anexo IX). La densidad y carga de estas capas se calculará relacionando las profundidades de hojarasca con las densidades aparentes calculadas en el sitio (Ottmar *et al*, 1998).

En el área también se colectan tres muestras para obtener los valores de la densidad de la hojarasca y con estos realizar las estimaciones de la carga antes mencionadas. Las muestras de densidad se obtienen en 3 cuadros de 30 x 30 cm (0.09 m²) elegidas al azar y dentro de cada uno se pone una red de 13 clavos (Fig. 17), colocados sistemáticamente para registrar la profundidad y tipo de material de la hojarasca y la capa de fermentación (ver anexo IX). Cada capa se separa y se colecta cuidadosamente en bolsas de papel y se rotula, para después llevarla a laboratorio y obtener su peso en seco (Fig. 18a). Se debe tener cuidado al coleccionar las capas de fermentación, para no llevar en la muestra suelo mineral.

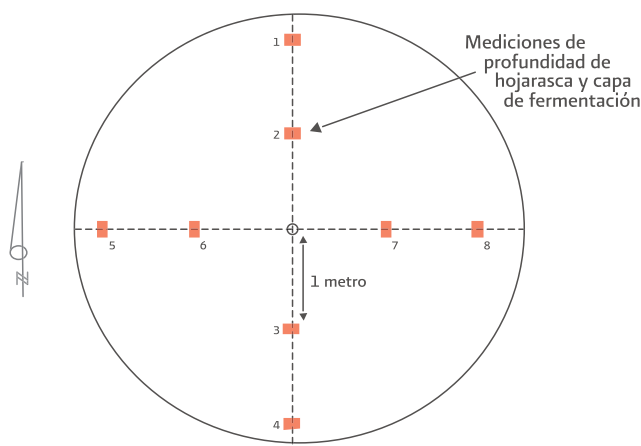


Figura 16. Diagrama de los puntos de medición de profundidad de las capas de hojarasca superficial y capa de fermentación.

La densidad aparente y carga de las capas de hojarasca del suelo se calculan independientemente, con el siguiente procedimiento: primero se calcula la densidad aparente de cada capa del suelo, promediando las profundidades para obtener el volumen y después relacionarlo con el peso. La siguiente ecuación es para el cálculo de la densidad aparente a partir de la colecta de datos para el cuadro de densidad de hojarasca (Figura 12):

$$\rho = \left(\frac{P}{a \cdot h} \right) \times 10$$

Donde:

ρ = Densidad aparente (Mg⁻¹ ha⁻¹ mm⁻¹)

p = peso seco (g)

a = área del cuadro (cm²)

h = Promedio de las profundidades de hojarasca (mm)

10= Constante para convertir la densidad de hojarasca g cm⁻³ en Mg⁻¹ ha⁻¹ mm⁻¹

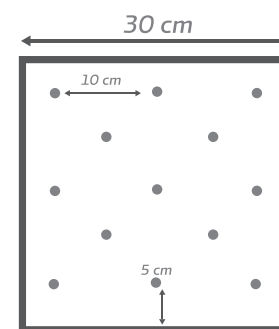


Figura 17. Diagrama del cuadro para obtener las densidades de las capas de hojarasca superficial y de fermentación.

Ecuación para el cálculo de la carga de las capa HS y F:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^8 (h_i)(d)}{8}$$

Donde:

C = Carga de la capa orgánica (Mg ha^{-1})

h_i = Profundidad de hojarasca (mm) ya sea HS y F.

d = Densidad aparente ($\text{Mg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)

En caso de tener valores de densidad aparente para el lugar o región, se pueden aplicar. Para ecosistemas de México existen pocos valores de densidades aparentes que se pueden consultar en Alvarado *et al*, (2008), la mayoría de estos valores son para bosques templados.

Si se pretende hacer la caracterización para evaluar una quema prescrita, se deben poner indicadores (clavos o varillas) en los puntos donde se mida la profundidad de la capa orgánica del suelo (Fig. 16). Estos indicadores se colocan como punto de referencia al ras del suelo para poder saber cuanto se consumió en la quema de la capa de HS y F (Fig. 18). Con la diferencia de profundidades se calculará la carga y porcentaje de combustible consumido por capa y el total de consumo (ver anexo IX).

Material necesario: cuchara de albañil, regla metálica milimétrica, 13 clavos de aproximadamente 15 cm, cuadro de metal de 30 x 30 cm de solera, cinta métrica, bolsas de papel, bolsas de plástico, rotulador y engrapadora.

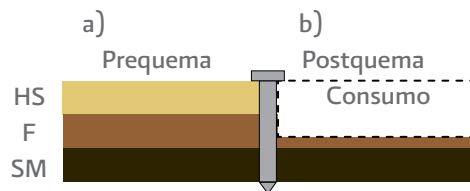


Figura 18. a) Diagrama de la colocación de un indicador (clavo o varilla) para la medición de cada capa del suelo (HS y F) y su colecta. b) Diagrama de consumo en la capa de hojarasca superficial (HS) y capa de fermentación (F) en una quema prescrita (pre-quema). La diferencia en centímetros del tope del indicador (en este caso la parte inferior de la cabeza del clavo) al material que resta de estas capas, después de la colecta o de la quema (post-quema), nos indica la profundidad de la capa o el consumo respectivamente.

Evaluación de la humedad de los combustibles

La humedad de los combustibles es considerada como el factor más significativo y variable que determina su inflamabilidad, el comportamiento del fuego y la emisión de humo. Dicha humedad puede variar desde cerca de 0% en material muerto, hasta más del 300% en combustibles vivos. Esta variación depende tanto de factores internos al combustible (tipo, tamaño, parte, estado vegetativo), como externos (temperatura, humedad relativa, radiación solar) (Vélez, 2000). Por lo tanto, esta característica se debe estimar, si se quiere saber la disponibilidad de los combustibles a lo largo de la temporada de incendios, o si se quiere aplicar un tratamiento de quema prescrita. El estado vegetativo de los combustibles vivos es el factor que afecta la variación en el contenido de humedad; mientras que en los combustibles muertos, la variación está ligada a cambios de humedad ambiental y a la rapidez con que el combustible se equilibra con el ambiente (Villers, 2006). La determinación de la humedad puede llevarse a cabo de manera directa o estimarse a partir de otras variables o mediante diferentes modelos.

La manera directa es colectando el material del que se desea saber la humedad, ya sea combustible vivo o muerto, pesarlo al momento de la colecta y llevar el material a peso seco. Para esto las muestras se colocan en bolsas, se rotulan con el identificador del lugar de la colecta, tipo de material y fecha. El material colectado se coloca en bolsas de papel y se pesa directamente en campo con una balanza portátil, para obtener peso neto húmedo (PNH), antes de que su humedad cambie durante el transporte al laboratorio. Posteriormente en el laboratorio se pone a secar a una temperatura mínima de 76° C hasta que pierda toda la humedad o alcance un peso constante (aproximadamente 48 h, pero esto dependerá del material) (ver anexo XI). Una vez secadas se pesan otra vez, para conocer el peso en seco y se resta el peso de la bolsa de papel que lo contiene para obtener el peso neto seco (PNS). Ya con el peso seco podemos calcular la humedad contenida en el

combustible (CHC) de la siguiente manera:

$$CHC = (PNH - PNS) / PNS * 100$$

Donde:

CHC = Contenido de humedad del combustible.

PNH = Peso neto húmedo.

PNS = Peso neto seco.

Los diferentes tipos de combustibles que se colectan se dividen en vivos y muertos. Los combustibles vivos se cortan a ras de suelo, se toman individuos dentro del área tratando de abarcar las diferentes condiciones, y son los siguientes:

- a) Arbustos: se colectan tres individuos de los arbustos más abundantes, separando hojas, tallos vivos y muertos (sólo en caso de que sean un componente importante), para así obtener la humedad foliar viva y la humedad de tallos por separado. Si presentan ramas muertas, también se analizan por separado.
- b) Hierbas: se colectarán tres individuos de cada una de las especies más abundantes o en caso de ser muy pequeñas, hasta juntar aproximadamente 100 gramos de biomasa.
- c) Pastos: se colectan tres individuos de cada una de las especies más abundantes o en caso de ser muy pequeños, hasta juntar aproximadamente 100 gramos de biomasa.
- d) El MLC se colecta dentro del sitio, tratando de cubrir la mayor área y las diferentes condiciones del lugar.
- e) Material leñoso caído de 1h: con la ayuda de un medidor de combustibles se colectan tres muestras de al menos 500 gr.
- f) Material leñoso caído de 10 h: de la superficie del suelo forestal se colectan tres muestras de al menos 500 gr. Se utiliza el medidor de combustibles para facilitar la colecta.
- g) Material leñoso caído de 100 h: se colectan varias ramas de más de 6 cm de largo que estén tiradas, se puede utilizar una sierra para cortar algunas ramas de árboles tirados.

h) Material leñoso caído de 1,000 h: con la ayuda de una motosierra o un serrucho se sacan rodajas de troncos que se encuentren tirados y se miden sus dimensiones en campo.

i) Capa orgánica del suelo (HS y F): se colectan las muestras que se obtengan para determinar la densidad aparente; separando la capa de hojarasca y la de fermentación.

j) Las muestras de preferencia se deben de pesar en campo o colocarse en bolsas de plástico de cierre hermético y pesar inmediatamente cuando se llegue al laboratorio.

Material necesario: tijeras de podar, bolsas de papel, bolsas de plástico, motosierra, medidor de combustibles, rotulador, engrapadora y báscula portátil con una precisión de 2 gr.

Fotografías de registro

La toma de fotografías de los sitios de muestreo puede servir para generar un registro visual de las diferentes condiciones de la vegetación y las camas de combustibles. El uso de guías fotográficas ha sido ampliamente utilizado para evaluaciones de combustibles, desde descripciones generales de distintos tipos o modelos de combustibles (Anderson, 1982; Vélez, 2000) hasta las fotoseries en las cuales se utilizan fotografías de gran angular y pares estereoscópicos relacionados con tablas de datos cuantitativos de las camas de combustible de una región, tipo de ecosistema o bioma (Ottmar *et al.* 1998).

En un inventario de combustibles de un lugar o región determinado, se pueden describir los diferentes tipos de combustibles acompañados de la información visual y las fotografías. Éstas últimas pueden facilitar la presentación de la información (Fig. 19). Las fotografías pueden servir también para registrar cambios a través del tiempo, cuando se toman periódicamente. Para técnicas de fotomonitorio ver Hall (2001).

Para la toma de fotografías se pueden utilizar cámaras analógicas o digitales; éstas últimas son más fáciles de utilizar y las imágenes se pueden insertar

cada sitio se pueden tomar dos fotos, una desde el norte y otra desde el sur. Se recomienda alinear la cámara poniéndola a 20 m del centro de la parcela de muestreo, y en medio de éste y la cámara, a 10 m, poner una señal que puede ser una estaca de una altura determinada (1.3 m), con una pancarta en la que se marque el número del sitio. La señal puede tener colores contrastantes a cada 10 cm para el contexto de escala de los objetos que se ven en la fotografía (Fig. 19). Se recomienda usar un tripié con nivel para que las fotos no queden inclinadas.

Material necesario: cámara fotográfica, tripié y señal.

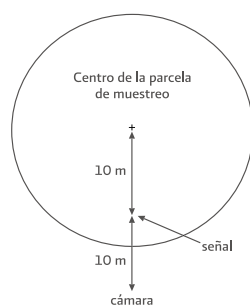


Figura 19. Fotografía de una parcela de muestreo y a la derecha diagrama con la ubicación de la señal y la cámara.

Presentación y uso de los resultados

La fase final del inventario consiste en la elaboración del reporte de resultados. La información debe presentarse en forma organizada, resumiendo los datos que describen las características relevantes de las capas de combustibles, las cuales nos indican su potencial de incendios.

Los métodos descritos en este manual son compatibles con el FCCS (Ottmar *et al.*, 2007) y complementarios con el método de fotoseries, el cual ya ha sido aplicado en México (Alvarado *et al.*, 2008).

En la figura 20 se muestra un ejemplo de la información que puede incluirse en la descripción de una cama de combustible. Esto incluye fotografías y los cuadros con el identificador del sitio, la información general de condiciones

de sitio, información del rodal y los cuadros con los datos cuantitativos de la estructura y composición de la vegetación, y de las propiedades físicas del arbolado, sotobosque, capa orgánica del suelo y el material leñoso caído, con el fines de tener una descripción integral de todos los estratos de la cama de combustible. La información general debe contener las coordenadas geográficas para la ubicación del sitio (señalando el *datum*), el tipo de vegetación (indicando que sistema de clasificación de la vegetación se usó); la asociación de especies menciona las especies dominantes en cada estrato de la vegetación (arbolado, arbustos y hierbas) y la cobertura del dosel (en caso de tener dos estratos se pone también la cobertura del subdosel). La información del rodal contiene la densidad de arbolado por especie y de renuevo. En la descripción del sotobosque se registra la cobertura de las especies y la cobertura, altura, densidad y carga, de arbustos, hierbas y pastos. En la segunda página de la descripción se incluye la información sobre la estructura del arbolado, la capa orgánica del suelo (capas de hojarasca superficial y de fermentación) y el material leñoso caído. En la estructura del arbolado se registran las variables medidas relativas a la estructura y composición, por categoría diamétrica (estas categorías se pueden definir dependiendo de las condiciones del bosque) y la condición de los individuos (vivos o muertos), que son: diámetro, altura total, altura a la copa y altura a la copa viva. En caso de que la copa sea un componente importante como combustible que dirija los incendios y de contar con información para cuantificarla (ecuaciones alométricas o medición directa), se pueden agregar una o dos columnas para poner la densidad aparente o carga de las copas. El cuadro donde se describe la capa orgánica del suelo se separa en dos componentes, la capa de hojarasca superficial y la capa de fermentación. Para estos componentes se registra la profundidad, carga y cobertura obtenidas en la caracterización. La cobertura de las capas se contabiliza en un porcentaje del 200% debido a que se suman las dos coberturas; cualquier valor menor indica discontinuidades en una u otra capa.

En el material leñoso caído se separa por tiempos de respuesta y niveles de putrefacción. Para los combustibles de 1 h (≤ 0.6 cm), 10 h (0.7-2.5 cm)

y 100 h (2.6-7.6 cm) sólo se reporta la carga los firmes o sólidos, y en los combustibles gruesos $\geq 1,000$ h (>7.6 cm se separan por nivel de putrefacción y se pueden incluir datos de densidades en caso de considerarse necesario para manejo de plagas o de hábitat para fauna silvestre (Fig.20).

El esquema de presentación puede modificarse en el caso de los pastizales, matorrales y otras camas de combustible que carecen de un estrato arbóreo. El conjunto de camas de combustible descritas para un área de estudio puede integrarse en un catálogo de combustibles para su utilización con distintos fines, desde la planificación del manejo del fuego, hasta la evaluación rápida de biomasa y almacenes de carbono o la caracterización de hábitats. El catálogo puede servir para identificar condiciones similares a las de las camas de combustible descritas en otros sitios que no se han muestreado directamente, cuando se hace una caracterización general del complejo de combustibles de una unidad de manejo o para complementar el levantamiento de puntos de verificación de campo en la elaboración de mapas (McKenzie *et al.*, 2007). Otro uso importante es que el resumen de datos de las camas de combustible forestales, proporciona datos de entrada para correr modelos de simulación del comportamiento y efectos de fuego, que son una herramienta para la planificación de las intervenciones técnicas que requiere el manejo del fuego. Actualmente existen varios programas computacionales que modelan variables del comportamiento de fuego y que inclusive simulan su propagación en el terreno cuando se combinan con sistemas de información geográfica. Uno de los programas más utilizados ha sido BEHAVE, originalmente basado en los 13 modelos de combustibles de Albini (1976); el programa utiliza los parámetros de dichos modelos o bien información de carga y porcentaje de humedad de los combustibles superficiales introducidas por el usuario. Además de las variables de combustibles, el programa usa variables meteorológicas, como la velocidad del viento y topográficas, como la inclinación de la pendiente para simular la variación en componentes del comportamiento del fuego, como la velocidad de la propagación y la altura de las llamas en el frente del incendio. Otros ejemplos de los programas más usados son: FARSITE (*fire area simulator*) o FIREMAP

que simulan la propagación del fuego en el terreno (Arnaldos Viger *et al.*, 2004). Además de estos programas, existen otros que simulan los efectos de incendios como FOFEM (*First Order Effects Modeling*) y CONSUME (Ottmar, 2011; Reinhardt y Keane, 2011) que pueden modelar la mortalidad de plantas, consumo de biomasa, calentamiento del suelo y emisiones de humo. Estos modelos de simulación requieren también de datos sobre las propiedades físicas de los combustibles que pueden obtenerse con los métodos descritos en el presente manual.

Otras aplicaciones de los métodos descritos tienen que ver con la generación de información necesaria para planificar y evaluar tratamientos de combustibles y, adicionalmente, ya que estos métodos sirven para cuantificar biomasa, pueden utilizarse también en inventarios de almacenes de carbono.

Los métodos de caracterización, cuantificación y evaluación de combustibles que han sido descritos en este manual, no constituyen un marco rígido; en la práctica, de acuerdo con los objetivos de los inventarios, se pueden agregar o quitar variables, o hacer adaptaciones para obtener los resultados deseados.

Selva alta perennifolia

Identificador:SO04 - SA



Régimen de incendios

Régimen de incendios: raros, severidad moderada a alta, tamaño pequeño a mediano.

Tiempo desde el último incendio:

Agentes de cambio:

Comportamiento potencial de fuego: superficiales, de baja intensidad, subterráneos.

Recomendaciones de manejo: protección en época de sequía.

Información del sitio

Localización (UTM): X 431844 Y 1870508

Altitud: 762 m Pendiente: 15% Exposición: 190°

Tipo de vegetación: bosque tropical perennifolio

Asociación de especies: *Swietenia macrophylla*, *Brosimum alicastrum*

Cobertura: dosel 73% subdosel 69%

Riqueza de especies: 43

Información del Rodal

Especies	% Tallos	
	>10 cm	<10 cm
<i>Swietenia macrophylla</i>	17	
<i>Brosimum alicastrum</i>	17	5
<i>Alibertia edulis</i>	17	
<i>Protium copal</i>	17	14
<i>Jacaratia mexicana</i>	8	29
<i>Swietenia humilis</i>	8	
<i>Dieffenbachia sp.</i>	8	
<i>Ruellia inundata</i>	8	
<i>Verbesina myriocephala</i>		14
<i>Heliconia schiedeana</i>		10
<i>Andira galeottiana</i>		10
<i>Eugenia sp.</i>		5
<i>Guarea chichon</i>		5
<i>Ficus sp.</i>		5
total	100	100

Sotobosque

	Arbustos	Hierbas	Brinzales	Pastos
Cobertura (%)	37	11	38	73
Altura (cm)	216	36	269	36
Densidad (tallos/ha⁻¹)	6,400		20,200	
Carga (kg ha⁻¹)	1024	84	nr	30

Arbolado

	Clases diamétricas				
	≤10 cm	10-30 cm	30-50 cm	> 50 cm	> 10 cm
Especie más común (% tallos)	<i>Jacaratia mexicana</i> (29)	<i>Alibertia edulis</i> (29)	<i>Swietenia macrophylla</i> (100)	<i>Brosimum alicastrum</i> (50)	<i>Swietenia macrophylla</i> (26)
Segunda especie más común (% tallos)	<i>Protium copal</i> (14)	<i>Protium copal</i> (29)	--	<i>Swietenia macrophylla</i> (25)	<i>Brosimum alicastrum</i> (17)
Densidad (tallos/ha)	1,320	140	20	80	240
Vivos	1,280	140	20	80	240
Muertos	40	0	0	0	0
DN (cm)	5.96	15.8	45.0	88.9	42.6
Vivos	5.99	15.8	45.0	88.9	42.6
Muertos	5.65	--	--	--	--
Altura (m)	6.38	17.5	29.5	37.3	25.1
Vivos	7.2	17.5	29.5	37.3	25.1
Muertos	4.25	--	--	--	--
Altura a la copa (m)	3.45	10.6	19.8	21.2	14.9
Vivos	3.45	10.6	19.8	21.2	14.9
Muertos	--	--	--	--	--
Altura a la copa viva (m)	3.45	10.6	19.8	21.2	14.9

Capa orgánica del suelo

	Profundidad (cm)	Carga (Mg ha ⁻¹)	Cobertura (%)
Hojasca superficial	2.0	2.1	100
Coníferas	--	--	--
Latifoliadas	2.0	--	100
Raíces	--	--	100
Capa de fermentación	1.4	nr	100
Total	3.5	2.1	200

Material leñoso caído

Diámetro (cm)	Carga (Mg ha ⁻¹)			Densidad (piezas/ha)		
	Firme	Podrido	Total	Firme	Podrido	Total
≤0.6	0.49	--	0.49	--	--	--
0.7 - 2.5	1.32	--	1.32	--	--	--
2.6 - 7.6	2.50	--	2.50	--	--	--
7.7 - 30	7.42	6.31	13.73	147	367	513
30.1 - 50	0	0	0	0	0	0
> 50	0	0	0	0	0	0
Total	11.73	6.31	18.04	147	367	513

Figura 20. Ejemplo de presentación de la información de una cama de combustible en un catálogo de combustibles; en este caso corresponde a la selva alta perennifolia en El Ocote, Chiapas (Michel, 2010).

Literatura citada

Agee, J.K., 1993. Fire ecology of pacific northwest forests. Island Press, Washington, DC.

Agee, J.K., 2002. The fallacy of passive management managing for firesafe forest reserves. Conservation in Practice 3, 18-26.

Agee, J.K., Skinner, C.N., 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. Forest Ecol. Manage. 211, 83-96.

Aguilar Rodríguez, S., Abundiz Bonilla, L., Barajas Morales, J., 2001. Comparación de la gravedad específica y características anatómicas de la madera de dos comunidades vegetales en México. An. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Méx., Botánica 72, 171-185.

Aguilar Romero, R., 2009. Propiedades físicas de la madera, alometría y crecimiento de tres especies de encino (género Quercus sp) bajo manejo en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México (Tesis Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera).

Albini, F.A., 1976. Estimating wildfire behavior and effects. Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, U.S. General Technical Report INT 30.

Alvarado Celestino, E., 1986. Comportamiento del fuego en rodales poco perturbados de Pinus montezumae Lamb. Tesis Maestría en Ciencias Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

Alvarado, E.C., J.E. Morfín-Ríos, E.J. Jardel, R.E. Vihnanek, D.K. Wright, J.M. Michel-Fuentes, C.S. Wright, R.D. Ottmar, D.V. Sandberg, A. Nájera-Díaz., 2008. Fotoseries para la cuantificación de combustibles forestales de México: bosques

montanos subtropicales de la Sierra Madre del Sur y bosques templados y matorral submontano del norte de la Sierra Madre Oriental. University of Washington, College of Forest Resources-Pacific Wildland Fire Sciences Laboratory USDA Forest Service. Special Publication No. 1., Seattle, Washington.

Anderson, H.E., 1982. Aids to Determining Fuel Models For Estimating Fire Behavior (Gen. Tech. Rep. No. INT-122). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station., Ogden, Utah, U.S.

Arnaldos Viger, J., Navalón Nonell, X., Pastor Ferrer, E., Planas Cuchi, E., Zárata López, L., 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales, 1st ed. Mundi Prensa, Madrid, España.

Arno, S.F., Brown, J.K., 1991. Overcoming the paradox in managing wildland fire. National Emergency Training Center.

Barajas Morales, J., 1987. Wood Specific Gravity in Species from Two Tropical Forests in México. IAWA Bull. n.s 8, 143-148.

Bárceñas Pazos, G., Zárata Morales, R.P., Ordóñez Candelaria, V.R., Guerrero

Báez, A., Honorato Salazar, J.A., 2003. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba. Madera Bosques 9, 55-70.

Bárceñas Pazos, G.M., 1985. Recomendaciones para el uso de 80 maderas de acuerdo con su estabilidad dimensional (Nota Técnica 11). Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, México.

Bárceñas Pazos, G.M., 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies Maderables de la Selva Lacandona, Chis., México. Madera Bosques 1, 9-38.

Bárceñas Pazos, G.M., 2002. Efecto del contenido de lignina, extractivos, radios y densidad relativa en las contracciones de cinco especies de madera. Tesis Maestría en Ciencias en Ciencias Forestal. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco. México.

Bárceñas Pazos, G.M., Ortega Escalona, F., Ángeles Álvarez, G., Ronzón Pérez, P., 2005. Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. Universidad y Ciencia 21, 45-55.

Beerling, D.J., 2007. The emerald planet: how plants changed Earth's history. Oxford University Press, USA.

Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Cochrane, M.A., D'Antonio, C.M., DeFries, R.S., Doyle, J.C., Harrison, S.P., Johnston, F.H., Keeley, J.E., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Marston, J.B., Moritz, M.A., Prentice, I.C., Roos, C.I., Scott, A.C., Swetnam, T.W., van der Werf, G.R., Pyne, S.J., 2009. Fire in the Earth System. Science 324, 481 -484.

Brown, J.K., 1971. A planar intersect method for sampling fuel volume and surface area. For. Sci. 17, 96-102.

Brown, J.K., 1974. Handbook for inventorying downed woody material (Gen. Tech. Rep. INT-16.). Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station., Ogden, UT: U.S.

Brown, J.K., Oberheu, R.D., Johnston, C.M., 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West (General Technical Report INT-129). United States Department of Agriculture y Forest Service, Ogden, UT, U.S.

Byram, G.M. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, Kenneth P., ed. Forest fire control and use. New York: McGraw-Hill Book Co.

Canfield, R.H., 1941. Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. *J. Forest.* 39, 388-394.

Cevallos Ferriz, S., Carmona Valdovinos, T., 1981a. Banco de información de estudios tecnológicos de madera que vegetan en México (banco xilotecnológico) Tomo III (Catálogo No. 4 No. Tomo III de IV). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Cevallos Ferriz, S., Carmona Valdovinos, T., 1981b. Banco de información de estudios tecnológicos de madera que vegetan en México (banco xilotecnológico) Tomo I (Catálogo No. 2 No. Tomo I de IV). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Cevallos Ferriz, S., Carmona Valdovinos, T., 1981c. Banco de información de estudios tecnológicos de madera que vegetan en México (banco xilotecnológico) Tomo II (Catálogo No. 3 No. Tomo II de IV). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Cevallos Ferriz, S., Carmona Valdovinos, T., 1982. Banco de información de estudios tecnológicos de madera que vegetan en México (banco xilotecnológico) Tomo IV (Catálogo No. 7 No. Tomo IV de IV). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Chandler, C., Cheney, P., Tomas, P., Trabaud, L., Williams, D., 1983. Fire in Forestry. Vol. I. John Wiley. Nueva York, Estados Unidos.

Chapin, F.S., Matson, P.A., Mooney, H.A., 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer Verlag.

Chojnacky, D., Amacher, M., Gavazzi, M., 2009. Separating Duff and Litter for Improved Mass and Carbon Estimates. *Southern J. Appl. Forestry* 33, 29-34.

Cochran, W.G., Cox, G.M., 1992. Experimental Designs, 2nd Edition, 2nd ed. Wiley.

Corral López, M.G., 1985. Características anatómicas de la madera de once especies tropicales (Boletín técnico No. 127). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos SARH- -INIF, México.

Crutzen, P.J., Andreae, M.O., 1990. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 250, 1669.

Cruz de León, J., 1994. Nota sobre las características físicas de la madera de cuatro especies de *Quercus* de Nuevo León, México. *Invest. Agrar., Sist. Recur. For.* 3, 91-98.

Dávalos Sotelo, R., Echenique-Manrique, R., Sánchez Velasco, J., 1978. Características mecánicas de tres especies de pino del Cofre de Perote, Veracruz. *Biótica* 3, 37-55.

Dávalos, S.R., Wangaard, F.F., Echenique-Manrique, R., 1977. Clasificación de la madera de pinos mexicanos (La madera y su uso en la construcción, No. 2). Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la madera (LACITEMA)- Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB.), México.

Deeming, J.E., Brown, J.K., 1975. Fuel Models in the National Fire-Danger Rating System. *J. Forest.* 73, 347-350.

Echenique-Manrique, R., Becerra Martínez, J., 1972. Algunas características físico-mecánicas de la madera de tres especies de la Cordillera Neovolcánica

(Nota Técnica No. 6). Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Echenique-Manrique, R., Díaz Gómez, V., 1969. Algunas características tecnológicas de la madera de once especies mexicanas (Boletín Técnico INIF número 27). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Echinique-Manrique, R., Becerra Martínez, J., 1981. Algunas Características Físico-Mecánicas de la Madera de Tres Especies de la Cordillera Neovolcánica (Nota Técnica No. 6). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Erdoiza S., J.J., Castillo M., M.I., 1992. Susceptibilidad de impregnación con preservadores de cincuenta especies maderables mexicanas (Boletín Técnico La madera y su uso Núm. 22). Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz.

Flannigan, M.D., Krawchuk, M.A., de Groot, W.J., Wotton, B.M., Gowman, L.M., 2009. Implications of changing climate for global wildland fire. *Int. J. Wildland Fire* 18, 483-507.

Flores, G.J.S., Álvarez-Sánchez, J., 2004. Flora y Vegetación, in: Bautista, Z.F., Delfín, G.H., Palacio, P.J.L., Delgado, C.M. (Eds.), *Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales*. Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Instituto Nacional de Ecología., México, D.F., pp. 303-342.

Forest Products Laboratory, 1999. *Wood Handbook: Wood As An Engineering Material, Revised* (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113). Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory., Madison, WI: U.S.

Fuentes Salinas, M., Correa Méndez, F., Borja de la Rosa, A., Corona Ambriz, A., 2008. Características tecnológicas de 16 maderas del estado de Tamaulipas, que influyen en la fabricación de tableros de partículas y de fibras. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 14, 65-71.

Fulé, P.Z., Covington, W.W., 1996. Changing fire regimes in mexican pine forests: ecological and management implications. *J. Forest.*

Gedalof, Z., 2011. Climate and Spatial Patterns of Wildfire in North America, in: McKenzie, D., Miller, C., Falk, D.A. (Eds.), *The Landscape Ecology of Fire*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 89-115.

Grishin, A. 1997. *Mathematical modeling of forest fires and new methods of fighting them*. Publishing House of Tomsk State University, Tomsk, Russia, English translation edition.

Gutiérrez Vázquez, B.N., Gómez Cárdenas, M., Valencia Manzo, S., Oviedo, E.H., Prieto Ruiz, J.A., Gutiérrez Vázquez, M.H., 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schltdl. del estado de Chiapas, México. *Rev. Fitotec. Mex., Núm. especial 4* 33, 75-78.

Gutiérrez Vázquez, M.H., 2010. *Caída de hojarasca y retorno de carbono en dos plantaciones forestales experimentales en Arteaga, Coahuila* (Tesis de ingeniero Forestal).

Hall, F.C., 2001. *Ground-based photographic monitoring* (Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-503.). Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station., Portland, OR: U.S.

Hardesty, J., Myers, R.L., Fulks, W., 2005. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue, in: The George Wright Forum. pp. 78-87.

Hardy, C.C., 2005. Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecol. Manage.* 211, 73-82.

Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack Jr., K., Cummins, K.W., 1986. Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems, in: *Advances in Ecological Research*. Academic Press, London, pp. 133-302.

Harmon, M.E., Whigham, D.F., Sexton, J., Olmsted, I., 1995. Decomposition and mass of woody detritus in the Dry Tropical Forests of the Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. *Biotropica* 27, 305-316.

Harrington, S., 2005. Measuring Forest Fuels. An Overview of Methodologies, Implications for Fuels Management. Forest Guild Research Center. Working Paper 19.

Hernández de la Cruz, J., 2007. Variación de la densidad de la madera de *Pinus herrerae* Mtz. en Ciudad Hidalgo, Michoacán (Tesis de Ingeniero Forestal).

Hernández Maldonado, S.A., 2010. Comportamiento elástico de la madera. Teorías y Aplicaciones (Tesis de maestría.).

Hernández Ruiz, S.I., 2009. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de seis especies de pino de valor comercial en el estado de Durango (Tesis de Ingeniero en Ciencias Forestales).

Herrera Ferreyra, M.A., 1992. Características Físico-Mecánicas de la Madera de 15 especies del municipio de Morelia.

Huerta Crespo, J., Becerra Martínez, J., 1974. Anatomía macroscópica y algunas características físicas de diecisiete maderas tropicales mexicanas (Boletín Divulgativo INIF no. 33). Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D.F.

Huerta Crespo, J., Becerra Martínez, J., 1982. Anatomía Macroscópica y Algunas Características Físicas de Diecisiete Maderas Tropicales Mexicanas (Boletín Divulgativo No. 46). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México.

Hughes, R.F., Kauffman, B., Jaramillo, V.J., 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of México. *Ecology* 80, 1892-1907.

Jardel, P., Enrique J., Frausto Leyva, J.M., Pérez Salicrup, D.R., Alvarado, E., MorfínRíos, J.E., Landa Perera, R., Llamas Casillas, P., 2010. Prioridades de investigación en manejo del fuego en México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza., México D.F.

Jardel, P., Enrique, J., 2010. Planificación del manejo del fuego (Informe Técnico). Universidad de Guadalajara, Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C., Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C., Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.

Jardel, P.E.J., Ezcurra, E., Santiago, P.A.L., Cortés, M.C., Castillo, N.F., 2004. Sucesión y dinámica de rodales, in: *Flora y Vegetación De La Estación Científica Las Joyas*. Universidad de Guadalajara. México. Universidad de Guadalajara, México, pp. 177-204.

Kauffman, J.B., Steele, M.D., Cummings, D.L., Jaramillo, V.J., 2003. Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and, conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecol. Manage.* 176, 1-12.

Kent, M., Coker, P., 1994. *Vegetation description and analysis: a practical approach.* Wiley New York.

Lavoie, N., Alexander, M.E., Macdonald, S.E., 2010. Photo guide for quantitatively assessing the characteristics of forest fuels in a jack pine - black spruce chronosequence in the Northwest Territories (Information Report. NOR-X-419). Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta.

Linares Hernández, A., 1990. Comparación de características anatómicas y de propiedades físicas de la madera de comprensión y madera normal de *Pinus montezumae* Lamb. (Tesis de Ingeniero Forestal con orientación en Evaluación y abastecimiento).

López Locía, M., 1997. Variación de la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm en el norte de México (Tesis de Ingeniero Agrónomo Forestal).

López Locía, M., Valencia Manzo, S., 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera Bosques* 7, 37-46.

López Telles, A., 2006. Estimación de factores de expansión de volumen a biomasa y carbono en ecosistemas forestales en Chihuahua, México (Tesis de Maestría en Ciencias Forestales).

Lovelock, J.E., 1989. Geophysiology, the science of Gaia. *Rev. Geophys.* 27, PP. 215-222.

Machuca Velasco, R., Fuentes Salinas, M., Borja de la Rosa, A., 2006. Absorción de soluciones preservantes de nueve especies de maderas, mediante procesos de impregnación a vacío-presión e inmersión. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente.* 12, 71-78.

Maclean, N., 1993. *Young men & fire.* University of Chicago Press.

Manson, R.H., Jardel, P., Enrique J., 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico, in: *Capital Natural de México, Vol. II: Estado de Conservación y Tendencias de Cambio.* Conabio, México, pp. 131-184.

Martínez Pinillos, E., Martínez Castillo, J.L., 1996. Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera. *Madera Bosques* 2, 11-27.

Martínez Trinidad T., Borja de la Rosa A., Ávalos Rodríguez M.A., 2001. Características Tecnológicas de la Madera de Sac-Chacah de Campeche en diferentes zonas del árbol. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente.* 7, 91-97.

Matteuci, S.D., Colma, A., 1982. Metodología para el estudio de la vegetación, serie de biología. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C.

Maxwell, W.G., Ward, F.R., 1980. Photo series for quantifying natural forest residues in common vegetation types of the Pacific Northwest (Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-105). Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station., Portland, OR: U.S.

McComb, W., Lindenmayer, D., 1999. Dying, dead, and down trees, in: *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 335–372.

McKenzie, D., Miller, C.S., Falk, D.A., 2011. *The Landscape Ecology of Fire*. Springer Verlag.

McKenzie, D., Raymond, C.L., Kellogg, L.K.B., Norheim, R.A., Andreu, A.G., Bayard, A.C., Kopper, K.E., Elman, E., 2007. Mapping fuels at multiple scales: landscape application of the Fuel Characteristic Classification System. *Can. J. Forest. Res.* 37, 2421-2437.

McRae, D.J., Alexander, M.E., Stocks, B.J., 1979. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. *Can. For. Serv. Rep. OX-287*, Great Lakes For. Res. Cen., Sault Ste. Marie.

Michel, F., José María, 2010. Caracterización y clasificación de combustibles forestales para el manejo del fuego en México (Tesis de maestría en Manejo de Recursos Naturales).

Morfín Ríos, J.E., Pérez Salicrup, D.R., 2011. Datos sin publicar, información personal.

Nájera Luna, J.A., Mendoza López, T.H., 1994. Características físicas y mecánicas de dos especies de coníferas de la región de El Salto P.N. Durango (Tesis de Ingeniero Forestal en Sistemas de Producción).

Návar, J., 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Ann. For. Sci.* 66, 208 P1-P8.

Navarrete, P.J.L., 2006. Estimación del contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta para diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo: el caso de la región Purépecha, Michoacán (Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas).

Navarro, A.J., 2004. Introducción al diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas, in: Bautista, Z.F., Delfín, G.H., Palacio, P.J.L., Delgado, C.M. (Eds.), *Técnicas de Muestreo para Manejadores De Recursos Naturales*. Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Instituto Nacional de Ecología, México, D.F., pp. 19-69.

Ottmar, R.D., 2011. Consume 3.0 [WWW Document]. U.S. Forest Service - PNW- FERA. URL <http://www.fs.fed.us/pnw/fera/research/smoke/consume/index.shtml>

Ottmar, R.D., Sandberg, D.V., Riccardi, C.L., Prichard, S.J., 2007. An overview of the Fuel Characteristic Classification System-Quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning. *Canadian Journal of Forest Research* 37, 2383-2393.

Ottmar, R.D., Vihnanek, R.E., Wright, C.S., 1998. *Stereo Photo Series for Quantifying Natural Fuels, Volume 1: Mixed-conifer with Mortality, Western Juniper, Sagebrush, and Grassland Types in the Interior Pacific Northwest*, PMS 830. NFES 2580. ed. National Wildfire Coordinating Group, National Interagency Fire Center, Boise, Idaho.

Pausas, J.G., Keeley, J.E., 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience* 59, 593-601.

De la Paz Pérez Olvera, C., 1982. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango (Boletín Técnico No. 43). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D.F.

De la Paz Pérez Olvera, C., Corral López, G., 1980. Estudio anatómico de la madera de once especies de angiospermas (Boletín Técnico INIF no. 64). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D.F.

De la Paz Pérez Olvera, C., Dávalos-Sotelo, R., 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de Quercus (encinos) de México. Madera Bosques 14, 43-80.

De la Paz Pérez Olvera, C., Olvera Coronel, P., 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas (Boletín Técnico No. 69). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D.F.

De la Paz Pérez Olvera, C., Robles G., F., Simental S., A., 1979. Determinación de las características anatómicas y fisico-mecánicas de la madera de 4 especies de leguminosas (Boletín Técnico 61). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)- INIF, México.

Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P., 1997. Mensura forestal, Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH/Instituto interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Pyne, S.J., Andrews, P.L., Laven, R.D., 1996. Introduction to wildland fire. John Wiley: New York.

Quintanar-Isaías, A., Icaza-Herrera M., Rivera Nava L., Pérez-Olvera, C., 1998. Algunas características anatómicas y acústicas de tres especies de angiospermas de huayacocotla, Ver. Madera y Bosques 4, 15-25.

Quiñones Olguín, J.O., 1974. Características físicas y mecánicas de la madera de 5 especies mexicanas (Boletín Técnico INIF número 42). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D.F.

Ramos, P.D., 1999. Características y propiedades de la madera de Quercus elliptica Née. (encino) del municipio de Morelia, Michoacán, México (Tesis Profesional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera).

Reinhardt, E.D., Keane, R.E., 2011. FOFEM 5.9 [WWW Document]. Missoula Fire Sciences Lab of the Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service. URL <http://www.firelab.org/science-applications/fire-fuel/111-fofem>

Reinhardt, E.D., Keane, R.E., Brown, J.K., 2001. Modeling fire effects. Int. J. Wildland Fire 10, 373-380.

Riccardi, C.L., Ottmar, R.D., Sandberg, D.V., Andreu, A., Elman, E., Kopper, K., Long, J., 2007. The fuelbed: a key element of the Fuel Characteristic Classification System. Can. J. Forest. Res. 37, 2394-2412.

Riccardi, C.L., Prichard, S.J., Sandberg, D.V., Ottmar, R.D., 2007. Quantifying physical characteristics of wildland fuels using the Fuel Characteristic Classification System. Can. J. Forest. Res. 37, 2413-2420.

Ricklefs, R.E., Miller, G.L., 2000. Ecology. Freeman, New York.

Ringvall, A., Stahl, G., 1999. Field aspects of line intersect sampling for assessing coarse woody debris. *Forest Ecol. Manage.* 119, 163-170.

Rodríguez Trejo, D. A. 1996. Incendios forestales. Mundi Prensa-UACH-INIFAP. México, D. F. 630 p.

Rogel G., M.A., 1982. Características anatómicas de la madera de siete especies tropicales (Boletín técnico 86). SARH-INIF, México.

Rojas García, F., Villers Ruíz, L., 2005. Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl, del Volcán La Malinche. *Madera Bosques* 11, 63-71.

Romero Amaya, C., De la Paz Pérez Olvera, C., Corral López, G., 1982. Características anatómicas y físico-mecánicas de ocho especies de coníferas de Baja California Norte (Boletín Técnico INIF número 57). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, México.

Rothermel, R.C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels (USDA Forest Service Research Paper INT-115 USA). Intermountain Forest And Range Experiment Station, Forest Service U.S. Department of Agriculture, Ogden, Utah.

Rowell, A., Moore, P.F., 1999. Global review of forest fires. WWF.

Sackett, S.S., Haase, S.M., 1996. Fuel Loadings in Southwestern Ecosystems of the United States, in: *Effects of Fire on Madrean Province Ecosystems: a Symposium Proceedings*. US Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, p. 187.

Sandberg, D.V., Cushon, G.H., Ottmar, R.D., 2001. Characterizing fuels in the 21st century. *Int. J. Wildland Fire* 10, 381-387.

Sandberg, D.V., Ottmar, R.D., Peterson, J.L., 2002. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on air (Gen. Tech. Rep. No. RMRS-GTR-42-vol. 5). Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT: U.S.

Sandberg, D.V., Riccardi, C.L., Schaaf, M.D., 2007a. Fire potential rating for wildland fuelbeds using the Fuel Characteristic Classification System. *Can. J. Forest. Res.* 37, 2456-2463.

Sandberg, D.V., Riccardi, C.L., Schaaf, M.D., 2007b. Reformulation of Rothermel's wildland fire behaviour model for heterogeneous fuelbeds. *Can. J. Forest. Res.* 37, 2438-2455.

Seiler, W., y P. J. Crutzen. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning, *Clim. Change*, 2, 207-247.

Schultz, M.G., Heil, A., Hoelzemann, J.J., Spessa, A., Thonicke, K., Goldammer, J.G., Held, A.C., Pereira, J.M., van het Bolscher, M., 2008. Global wildland fire emissions from 1960 to 2000. *Global Biogeochemical Cycles* 22, GB2002.

Scott, J.H., Burgan, R.E., 2005. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model, Gen. Tech. Rep. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, US.

Sikkink, P.G., Keane, R.E., 2008. A comparison of five sampling techniques to estimate surface fuel loading in montane forests. *Int. J. Wildland Fire* 17, 363-379.

Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 2011. *Biometry*, 4th ed. W. H. Freeman, U. S. A.

Sotomayor Castellanos, J., 2005. Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas (Publicación del Laboratorio No. 1). Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera Universidad Michoacana de

San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Sotomayor Castellanos, J.R., Lydia Isabel Guridi Gómez, Teresa García Moreno, 2010. Velocidad del ultrasonido, módulo de elasticidad, índice material y factor de calidad, Características Acústicas de la Madera de 152 Especies Mexicanas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Stephens, S.L., Finney, M.A., 2002. Prescribed fire mortality of Sierra Nevada mixed conifer tree species: effects of crown damage and forest floor combustion. *Forest Ecol. Manage.* 162, 261-271.

Stocks, B.J., Lynham, T.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., Wagner, C.E.V., McAlpine, R.S., Dubé, D.E., 1989. The Canadian Forest Fire Danger Rating

System: An Overview. *Forest. Chron.* 65, 450-457.

Stumpf, K.A., 1993. The estimation of forest vegetation cover descriptions using a vertical densitometer. Presented at the Joint Inventory and Biometrics Working Groups Session., Indianapolis, Indiana, USA., p. 10.

Sugihara, N.G., Van Wagtenonk, J., Fites-Kaufman, J., 2006. Fire as an ecological process, in: *Fire in California's Ecosystems*. University of California Press, Ltd., London, England, pp. 58-74.

Tamarit Urias J.C., 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques* 2, 29-41.

Tamarit Urias, J.C., Fuentes-Salinas, M., 2003. Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente.*, Serie ciencias forestales y del ambiente. 9, 155-164.

Trujillo García, M.C., 1999. Variación de la densidad de la madera de *Pinus teocote Schl. y Cham.*, en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, N. L. (Tesis de Ingeniero Agrónomo Forestal).

Tzab Can, J. de los Á., 2002. Variación en densidad de la madera, proporción de madera tardía y crecimiento en diámetros de *Pinus engelmannii Carr.*, de Chihuahua (Tesis de Ingeniero Forestal).

Valencia Manzo, S., Vargas Hernández, J., 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera Bosques* 3, 81-87.

Van Gelder, H.A., L Poorter, FJ Sterck, 2006. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytol.* 171, 367-378.

Vélez, R., 2000. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw Hill, Madrid.

Vera Gaxiola, F., 1980. Presentación de la técnica de intersecciones planares en un caso de inventario de residuos forestales en el campo experimental Zoquiapan, Mex. (Tesis de Ingeniero Agrónomo especialista en bosques).

Villers, R.L., 2006. Parámetros ambientales físico-bióticos y modelos para estudiar el comportamiento del fuego, in: Flores Garnica, J.G. (Ed.), *Impacto Ambiental de los Incendios Forestales*. Comisión Nacional Forestal.-Mundi Prensa, México, D.F., pp. 28-37.

Van Wagner, C.E., 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. For. Sci. 14, 20-26.

Van Wagner, C.E., 1982. Practical aspects of the line intersect method (Information Report PI-X-12). Canadian Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute. Chalk River, Ontario, Canada.

Van Wagtendonk, J.W., 2006. Fire as a physical process, in: Sugihara, N.G.,

Van Wagtendonk, J.W., Shaffer, K.E., Fites-Kaufman, J., Thode, A.E. (Eds.), Fire in California's Ecosystems. University of California Press, Ltd., Berkeley y Los Angeles, California, pp. 38-57 p.

Van Wagtendonk, J.W., Benedict, J.M., Sydorik, W.M., 1996. Physical properties of woody fuel particles of Sierra Nevada conifers. Int. J. Wildland Fire 6, 117-123.

Waddell, K.L., 2002. Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. Ecological Indicators 1, 139-153.

Warren, W.G., Olsen, P.F., 1964. A Line Intersect Technique for Assessing Logging Waste. For. Sci. 10, 267-276.

Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., Swetnam, T.W., 2006. Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. Science 313, 940.

Whelan, R.J., 1995. The ecology of fire. Cambridge University Press.

White, P.S., Pickett, S.T., 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, Orlando, Fla.

Wong González, J.C., Villers Ruíz, M. de L., 2007. Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía 62, 87-103.

Yokelson, R., Urbanski, S., Atlas, E., Toohey, D., Alvarado, E., Crouse, J., Wennberg, P., Fisher, M., Wold, C., Campos, T., Buseck, P.R., Adachi, K., Hao, W.M., 2007. Emissions from forest fires near Mexico City. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions 7, 6687-6718.

Zúñiga Barragán, M.C., 1998. Variación de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* entre árboles y entre localidades del norte de México (Título de Ingeniero Agrónomo Forestal).

Anexos

ANEXO I CUALITATIVO

DESCRIPCIÓN DE CAMAS COMBUSTIBLES

1. Datos de control

1.1 Clave del sitio 1.2 Fecha / /

1.3 Localidad o paraje

1.4 Predio

1.5 Unidad de manejo

1.6 Municipio 1.7 Estado

1.8 Coordenadas UTM X Y

2. Condiciones de sitio

2.1 Elevaciones (msnm)

2.2 Exposición (*) 2.3 Pendiente %

2.4 Posición topográfica

	Valle o cañada	Ladera baja	Ladera baja	Ladera baja

	Escarpadura	Cima o parteaguas	Llanura o meseta

2.5 Forma de terreno

	Cóncava	Convexa	Ondulada	Plana	Compleja

2.6 Información de mapas

2.6.1. Tipo de suelo

Fuente:

2.6.2. Material parental (roca)

Fuente:

2.6.3. Tipo de clima

Fuente:

3. Descripción de la Vegetación

3.1 INEGI

3.2 Otro

Autor (es)

3.3 Nombre común

3.4 Fisonomía

3.4.1. Forma de vida dominante

	Árboles	Arbustos	Hierbas	Pastos	Otro

3.4.2. Tipo/textura de hojas

	Acículas	Escamas	Latifoliadas membranosas	Latifoliadas esclerófilas	Crasas

ANEXO I (continuación)
CUALITATIVO

3.4.3. Tamaño de las hojas (o foliolos)

<2.5 cm	2.5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	>40 cm

3.4.4. Fenología de las hojas del estrato dominante

Perennifolio	Sub-caducifolio	Caducifolio

3.4.5. Tipo de tallos (árboles o arbustos)

Leñoso	Craso	Inerme	Espinoso

3.4.6. Corteza (árboles o arbustos)

Placas Gruesas (>2.5 cm)	Placas Media (0.6-2.5 cm)	Placas Delgada (<0.6 cm)	Exfoliante	Lisa, delgada

3.4.7 Estratificación vertical

Cobertura por estrato

ESTRATOS	Muy disperso (<10%)	Disperso (10-50%)	Abierto (50-80%)	Denso (80-100%)	Muy denso (>100%)
Emergente					
Arbóreo alto (dosel superior)					
Arbóreo intermedio (subdosel)					
Arbustivo (sotobosque)					
Herbáceo					
Rasante					
Epífitas*					
Lianas, bejucos o trepadoras*					

*Considerar como clase de densidad

Anotar especies dominantes o características

.....

.....

.....

4. Cama de combustibles

4.1. Dosel (árboles)

	Media	Mínima	Máxima
4.1.1. Altura de dosel (m)			
4.1.2. Altura a la base de las copas			
4.1.3. Diámetro de árboles vivos			
4.1.4. Altura de árboles muertos			
4.1.5. Diámetro de árboles muertos			

ANEXO I (continuación)
CUALITATIVO

Densidades de:

	Nula	Baja	Media	Alta	MuyAlta
4.1.6. Árboles vivos					
4.1.7. Árboles muertos					
4.1.8. Cubierta de musgos, líquenes y epífitas sobre troncos					
4.1.9. Cortina de acículas					

4.2 Estrato arbustivo

4.2.1. Altura

	Bajo <0.5m	Medio 0.5-1.5m	Alto >1.5m

4.2.2. Tipo

	Latifoliado membranoso	Latifoliado esclerófilo	Micrófilo	Espinoso	Rosetófilo	Crasicale

4.2.3. Inflamabilidad

	Acelerante	Neutra	Retardante

4.3 Estato herbáceo

4.3.1. Tipo de hierbas

	Subarbustos	Pastos	Zacates amacollados	Helechos

4.3.2. Altura

	Bajo <0.5m	Medio 0.5-1.5m	Alto >1.5m

4.3.4. Estrato rasante

	Brioftas	Líquenes	Rastreras

4.4. Material leñoso caído

Densidad	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
4.4.1. Muy fino (<0.6 cm)					
4.4.2. Fino (0.6-2.5 cm)					
4.4.3. Medio (2.5-7.6 cm)					
4.4.4. Grueso (7.6-30 cm)S					
4.4.5. Grueso (7.6-30 cm)P					
4.4.6. Muy grueso (>30 cm)S					
4.4.7. Muy grueso (>30 cm)P					
4.4.8. Tocones (h < 2 cm)S					
4.4.9. Tocones (h < 2 cm)P					

S= sólido, P= podrido

ANEXO I (continuación)
CUALITATIVO

4.5. Hojarasca

4.5.2 Cobertura

4.5.1 Tipo

	Muy dispersa (<10%)	Dispersa (10 - 50 %)	Densa (50 - 80 %)	Continua (80 -100 %)
Acículas cortas (<5cm)				
Acículas largas (>5cm)				
Latifoliadas esclerófilas				
Latifoliadas membranosas				
Otra				

4.5.6. Profundidad

	< 0.5 cm	0.5-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	>10 cm

4.5.7. Densidad

	Porosa	Compacta	Apelmazada

4.6 Horizonte de fermentación

4.6.1. Profundidad

	< 0.5 cm	0.5-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	>10 cm

4.6.2. Tipo de humus

	Mull	Moder	Mor

4.6.3. Presencia de raíces finas superficiales

	Baja	Media	Alta	Esteras radicales

ANEXO II
INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES - HOJA DE CONTROL

Pág.

Predio
 Paraje Fecha
 Línea de muestreo Sitio
 Coordenadas X: Y:
 Altitud msnm Exposición Azimut
 Pendiente Med Pos. Topo. Geoforma

Tipo de vegetación

.....

Observaciones sobre manejo

.....

Observaciones sobre perturbaciones

.....

Jefe de brigada

Integrantes de la brigada

.....

Revisó

ANEXO VI
COBERTURA DE DOSEL

Sitio	Fecha		Personal	
Densitometro (sin/con-cobertura)				
Punto # (m)	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
0.5				
1				
1.5				
2				
2.5				
3				
3.5				
4				
4.5				
5				
5.5				
6				
6.5				
7				
7.5				
8				
8.5				
9				
9.5				
10				
10.5				
11				
11.5				
12				
12.5				
Observaciones				

ANEXO VI (continuación)
COBERTURA DE DOSEL

Altura de arbustos (cm)

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
5 metros				
10 metros				

Altura de pastos (cm)

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
5 metros				
10 metros				

Altura de hierbas (cm)

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
5 metros				
10 metros				

Otras (cm)

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
5 metros				
10 metros				

ANEXO IX
CAPA ORGÁNICA DEL SUELO

Sitio
Fecha Prequemada

Brigada
Fecha Postquemada

Punto	HS (mm)	Tipo	F (mm)	Tipo	Punto	Consumo (mm)	Marca de Carbón (mm)
1					1		
2					2		
3					3		
4					4		
5					5		
6					6		
7					7		
8					8		

Código de los tipos de capas HO y F

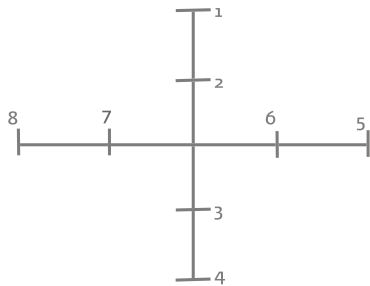
Hojarasca fresca (HO)

HP de pino
HL de latifoliadas
HA de *Abies*
SM Suelo mineral
CO Corteza
RD Roca desnuda
MU Musgo
NC No contiene

Mantillo o capa de fermentación (F)

HP de pino
HL de latifoliadas
HA de *Abies*
MP Madera putrefacta
CO Corteza
RD Roca desnuda
MU Musgo
NC No contiene

Orden de los puntos de medición



ANEXO X
DENSIDAD APARENTE

Sitio
Brigada

Paraje
Fecha

Observaciones			
Tamaño			
Sitio y # Muestra			
Capa, tipo y (%)			
Profundidad (mm)			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
Bruto inhidro (g)			
Peso de la bolsa (g)			
Neto inhidro (g)			
Bruto seco (g)			
Peso de la bolsa (g)			
Neto seco (g)			

Tipos de hojarasca (HO)

HP Hojarasca de pino
HL Hojarasca de latifoliadas
HO Hojarasca de *Abies* (Tipos similares)
SM Suelo mineral
CO Corteza
RD Roca desnuda (Aplica para HO y F)
MU Musgo

Tipos de hojarasca en descomposición (F)

HP Hojarasca de pino
HL Hojarasca de latifoliadas
HO Hojarasca de *Abies* (Tipos similares)
MP Madera putrefacta
CO Corteza
NC No Contiene (Aplica para HO y F)
MU Musgo

**EJEMPLAR GRATUITO
PROHIBIDA SU VENTA**