

Departamento de Agricultura  
De los  
Estados Unidos

Servicio Forestal

**Estación Experimental  
De Bosques Intermontanos  
Ogden, UT 84401**

Reporte Técnico  
General INT-122  
Abril 1982

# Guía para la selección de Modelos de Combustible Usados en la Estimación del Comportamiento del Fuego

Hal E. Anderson



## EL AUTOR

**HAL E. ANDERSON** ha sido líder del proyecto Unidad de Trabajo para la Investigación Científica de Combustibles desde 1966. Se unió al staff del Laboratorio de Incendios Forestales de la Estación Intermontana del Norte en Missoula, Mont., en 1961. Ha trabajado como líder del proyecto de física del fuego de 1962 a 1966. Antes de ser empleado del Servicio Forestal, estuvo con la General Electric Co., trabajando en instrumentación térmica y nuclear de 1951 a 1961. Su título de licenciatura en física lo obtuvo en la Universidad Central de Washington en 1952.

## RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN

Este reporte presenta ejemplos fotográficos, tablas y un cuadro de similaridad para apoyar a los oficiales de comportamiento del fuego, especialistas de manejo de combustibles y demás personal de campo en la selección del modelo de combustible apropiado para una situación de campo específica. La adecuada selección de un modelo de combustible es una etapa crítica en la modelación matemática del comportamiento del fuego y en la calificación del índice de peligro. Esta guía facilitará la selección del modelo de combustible apropiado y permitirá comparaciones con los modelos de combustible para calificar el índice de peligro.

Los 13 modelos de combustible para pronosticar el comportamiento del fuego se presentan en cuatro grupos de combustible: pasto, matorral, bosques y residuos de bosque. Cada grupo está compuesto de tres o más modelos de combustible; dos o más fotografías ilustran situaciones de campo relevantes para cada modelo de combustible. Los 13 modelos de combustible de comportamiento del fuego tienen una referencia cruzada con los 20 modelos de combustible del Sistema Nacional para Calificar el Índice de Peligro mediante la carta de similitud.

Los modelos de combustible de comportamiento del fuego y los modelos de combustible para calificar el índice de peligro, junto con las características del modelo que propaga el fuego y sus características físicas se describen en detalle.

## CONTENIDO

	Página
Introducción.....	1
Como se Describen los Modelos de combustibles.....	1
Descripción de los Modelos de Combustibles.....	4
Grupo Pastos	
Modelo 1.....	4
Modelo 2.....	5
Modelo 3.....	6
Grupo Matorrales	
Modelo 4.....	7
Modelo 5.....	8
Modelo 6.....	9
Modelo 7.....	10
Grupo Bosques	
Modelo 8.....	11
Modelo 9.....	12
Model 10.....	13
Grupo Residuos de Aprovechamiento	
Modelo 11.....	14
Modelo 12.....	15
Modelo 13.....	16
Correlación entre los modelos de comportamiento del fuego y los modelos del NFDRS.....	17
Publicaciones Citadas.....	19

# Guía para la selección de Modelos de Combustible Usados en la Estimación del Comportamiento del Fuego

Hal E. Anderson

## INTRODUCCIÓN

Durante las dos décadas pasadas, el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha pasado de un sistema de calificación de índice de peligro compuesto por dos modelos de combustible (USDA, 1964), a nueve modelos en 1972 (Deeming *et al.*, 1972) y a 20 modelos en 1978 (Deeming *et al.*, 1977). En este tiempo, el pronóstico del comportamiento del fuego se ha venido valorando más como herramienta para combatir los incendios y para evaluar el daño potencial del fuego a los recursos. Una base cuantitativa para la calificación del peligro de incendios y el pronóstico del comportamiento del fuego ha sido posible con el desarrollo de modelos matemáticos de comportamiento del fuego (Rothermel, 1972). Los modelos matemáticos requieren descripciones de las propiedades de combustibles como datos de entrada para el cálculo de los índices de peligro o el comportamiento potencial del fuego. El conjunto de propiedades de combustible se ha denominado Modelo de Combustible y se han organizado en cuatro grupos: pasto, matorral, bosque y residuos de aprovechamiento. Los modelos de combustible para la calificación del índice de peligro se han incrementado a 20, mientras que la predicción del comportamiento del fuego y sus aplicaciones ha utilizado los 13 modelos de combustible tabulados por Rothermel (1972) y Albini (1976). Este reporte intenta ser una guía para el usuario en la selección de un modelo de combustible para un área específica a través del uso de ilustraciones fotográficas. Un cuadro de similitud, le permite al usuario relacionar los modelos de combustible para el comportamiento del fuego con los modelos de combustible del sistema para calificar los índices de peligro. El cuadro también provee lo necesario para asociar los modelos de combustible del sistema para calificar índices de peligro con la representación fotográfica de aquellos modelos.

## DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

Los combustibles se han clasificado en cuatro grupos—pastos, matorrales, bosques y residuos de aprovechamiento. Las diferencias en el comportamiento del fuego entre estos grupos están básicamente asociadas a la carga de combustible y su distribución entre las categorías de tamaño de la partícula. Esto se puede ilustrar mediante el intercambio en la categoría de tamaño contenida por la máxima fracción de carga cuando se consideran los cuatro grupos de combustibles

mostrados en la figura 1. Note que la fracción de carga total representada por la categoría menor a 0.6-cm decrece conforme se pasa del grupo pastos al grupo de residuos. Lo inverso también ocurre para el material cuya categoría de tamaño oscila entre 2.5 a 7.6-cm. En pastos la carga completa puede ser material herbáceo menor de 0.6 cm, pero el pasto también puede incluir hasta 25 % de material entre 0.6-2.5 cm y hasta un 10% de material entre 2.5-7.6 cm. Cada grupo de combustible tiene un rango de cargas de combustible para cada categoría, con un máximo de carga aproximada por categoría, tal como se muestra en la figura 1. La carga de combustible y la profundidad son propiedades significativas del combustible para pronosticar, ya sea, si el incendio tiene probabilidad de iniciarse, su velocidad de propagación o su intensidad. La interrelación entre la carga de combustible y la profundidad segrega a los 13 modelos de combustible en dos direcciones distintivas, con dos grupos de combustible en cada una (fig. 2). Los pastos y los matorrales son grupos de combustibles orientados verticalmente, los cuales aumentan rápidamente en profundidad conforme aumentan su carga. Los bosques y los residuos de aprovechamiento están orientados horizontalmente y aumentan lentamente su profundidad conforme aumenta la carga. Las observaciones sobre la localización y la posición de los combustibles puede ayudarle a decidir en el campo cuál grupo de combustibles se encuentra representado. La selección del modelo de combustible se puede simplificar si uno reconoce aquellas características que distinguen un grupo de combustibles de otro.

Los 13 modelos de combustible (tabla 1) bajo consideración, se presentan en la página 92 del documento de Albini (1976) "Estimating Wildfire Behavior and Effects." Cada modelo de combustible se describe por la carga de combustible y la relación entre área superficial/volumen para cada categoría de tamaño; la profundidad de la cama de combustible involucrada en el frente de las llamas y la humedad del combustible, incluyendo aquella a la cual el fuego no se propagará, denominada humedad de extinción. La descripción de los 13 modelos de combustibles incluye la carga total de combustible menor de 7.6 cm, carga de combustible muerto menor de 0.6 cm, carga de combustible vivo menor de 0.6 cm, el material herbáceo y la profundidad del combustible usados para calcular los valores de comportamiento del fuego dados en los nomogramas.

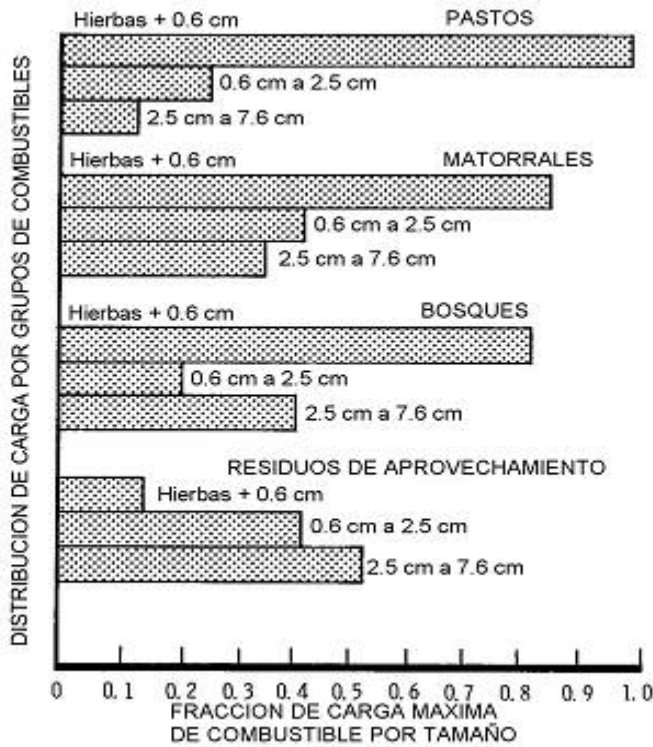


Figura 1.- Distribución de cargas máximas de combustible por tamaño para cada uno de los cuatro grupos generales de combustibles. Note que el cambio en materiales de menos de 0.6 cm y de 2.5 a 7.6 cm.

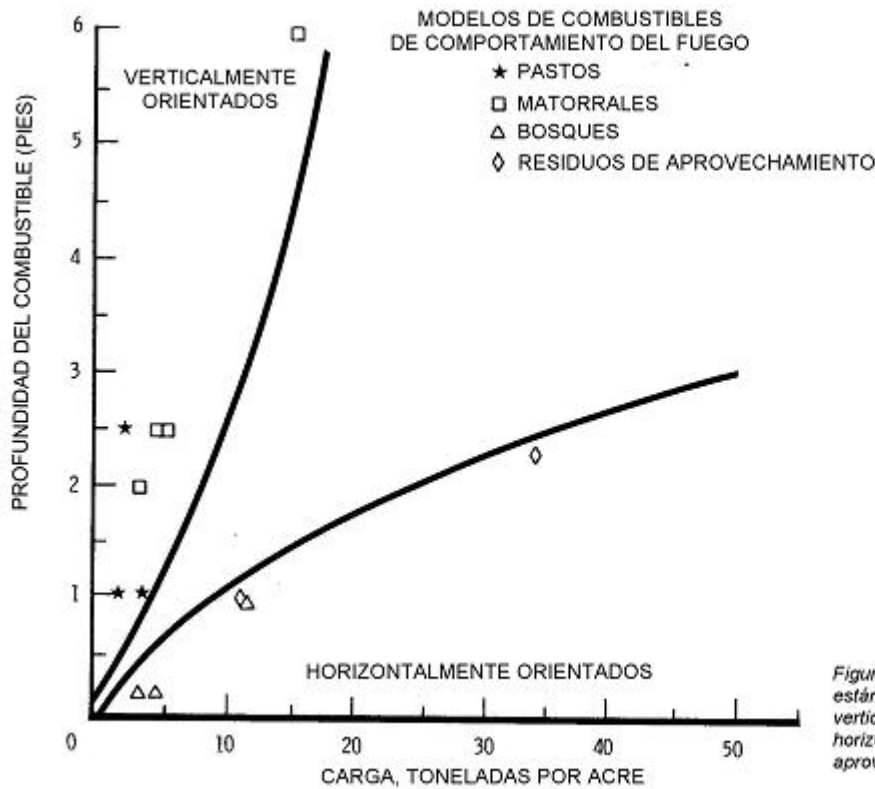


Figura 2.- Los 4 grupos generales de combustibles están orientados en dos direcciones básicas: verticalmente, como los pastos y matorrales y horizontalmente, como los bosques y residuos de aprovechamiento.

Tabla 1. — Descripción de los modelos de combustible usados en comportamiento del fuego, documentado por Albini (1976)

Modelo de combustible	Nombre	Carga de combustible				Profundidad de la cama de combustible	Humedad de extinción del combustible muerto
		1 hr	10 hr	100 hr	vivo		
		---Toneladas por hectárea ---				metros	%
	<b>Pasto y Dominancia de pasto</b>						
1	Pasto corto (0.30 m)	1.83	0.00	0.00	0.00	0.3	12
2	Pasto y sotobosque	4.94	2.47	1.24	1.24	0.3	15
3	Pasto alto (0.76 m)	7.44	0.00	0.00	0.00	0.8	25
	<b>Chaparral y matorral</b>						
4	Chaparral (1.83 m)	12.38	9.91	4.94	12.38	1.8	20
5	Matorral (0.6 m)	2.47	1.24	0.00	4.94	0.6	20
6	Matorral en dormancia, residuos de hojosas	3.71	6.18	4.94	0.00	0.8	25
7	Arbustos del sureste	2.79	4.62	3.71	0.91	0.8	40
	<b>Hojarasca de bosque</b>						
8	Hojarasca en bosque cerrado	3.71	2.47	6.18	0.00	0.1	30
9	Hojarasca de latifoliadas	7.22	1.01	0.37	0.00	0.1	25
10	Madera (hojarasca y sotobosque)	7.44	4.94	12.38	4.94	0.3	25
	<b>Residuos</b>						
11	Residuos de corta ligera	3.71	11.14	13.62	0.00	0.3	15
12	Residuos de cortas medianas	9.91	34.67	40.85	0.00	0.7	20
13	Residuos de cortas pesadas	17.32	56.93	69.31	0.00	0.9	25

El criterio para escoger un modelo de combustible incluye el hecho de que el fuego quema en el estrato de combustible mejor condicionado para mantener el fuego. Estas situaciones promedio ocurrirán cuando un modelo de combustible representa la velocidad de propagación más precisa y otro represente mejor la intensidad del fuego. En otras situaciones, pueden existir dos modelos de combustible, entonces la velocidad de propagación dentro del área debe compararse por la fracción de la superficie ocupada por cada modelo. Los modelos de combustible, son simplemente herramientas para ayudar al usuario a estimar el comportamiento del fuego de una manera realista. El usuario debe mantener una mente flexible y un método adaptativo de operación para usar este apoyo de una mejor manera. Por esta razón, los modelos de combustible se describen en términos del comportamiento del fuego esperado y la vegetación. El Sistema Nacional para la Calificación del Índice de Peligro (NFDRS) está basado en un conjunto ordenado de registros meteorológicos para establecer las condiciones del día. Estas condiciones meteorológicas junto con los modelos de combustible NFDRS (1978), se usan para representar las tendencias día a día y las tendencias estacionales del peligro de incendios. Las

modificaciones a los modelos de combustibles son posibles mediante cambios en la proporción de combustible vivo/combustible muerto, contenido de humedad, cargas de combustible y sequía influenciados por el mayor efecto de los combustibles grandes en el índice de peligro. Los 13 modelos de combustible para estimar el comportamiento del fuego están contruidos para el período severo de la temporada de incendios cuando estos tienen mayor problema de control y mayor impacto en los recursos naturales. Las predicciones del comportamiento del fuego deben utilizar observaciones en sitio y datos de corto plazo extrapolados de mediciones hechas en estaciones remotas. El uso en campo generalmente representa una situación de estrés y urgencia. Por lo tanto, las opciones de selección y modificación a los modelos de combustible están limitadas a mantener un procedimiento razonablemente simple para usarse con los nomogramas del comportamiento del fuego, cuadros de ajuste al contenido de humedad y procedimientos de reducción del viento. Los modelos de combustible del NFDRS son parte de un sistema de procesamiento computarizado de datos que actualmente no está disponible en tiempo real para la predicción del comportamiento del fuego en campo.

## DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS DE COMBUSTIBLE

### Grupo Pastos

#### Modelo de combustible 1

La propagación del fuego es gobernada por los combustibles finos, herbáceos, muy porosos y continuos que están maduros o cerca de estarlos. Los incendios son superficiales y se mueven rápidamente a través del pasto maduro y material asociado. Existe poca presencia de arbusto o árboles, generalmente menos de un tercio del área. Las praderas y sabanas están representadas junto con rastrojo, pasto de tundra y combinación de pasto con matorral que cumplen con el criterio mencionado arriba. Pastos anuales y perennes se incluyen en esta modelo de combustible. Véanse fotografías 1, 2 y 3.

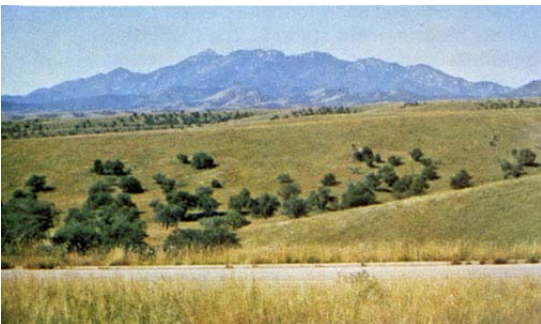


Este modelo de combustible se correlaciona con los modelos de combustible A, L y S del NFDRS (1978)

#### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, tons/ha	1.8
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	1.8
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.3

Fotografía 1. Pastos anuales del oeste tales como el *Bromus tectorum*, *Taeniatherum caput-medusae* y *Festuca*.



Fotografía No. 2. Sabana con Encino del suroeste en el Bosque Nacional Coronado.



Fotografía 3. Pasto con pino abierto en el Bosque Nacional Lewis y Clark.

## Modelo de combustible 2

El fuego se propaga principalmente a través de los combustibles herbáceos, ya sea que estén maduros o muertos. Los incendios son superficiales donde el material herbáceo, junto con el material orgánico y el material muerto caído de los arbustos abiertos o de las copas de los árboles, contribuyen a la intensidad del fuego. Las masas abiertas de arbustos y masas de pino o de encino arbustivo que cubren un tercio a dos tercios del área se encuentran dentro de este modelo; tales masas pueden incluir grupos de combustibles que generan intensidades más altas y que puede producir pavesas. Algunas asociaciones de Piñon-enebro puede estar en este modelo. Fotografías 4 y 5 ilustran las posibles situaciones de combustible.

Este modelo de combustible se correlaciona con los modelos de combustible C y T del NFDRS (1978).

### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	9.9
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	4.9
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	1.2
Profundidad de la cama de combustible, m	0.3

Fotografía 4. Masa abierta de *Pinus ponderosa* con sotobosque de pasto



Fotografía 5. Salvia dispersa dentro de pasto en el Bosque Nacional Payette



### Modelo de combustible 3

Los incendios en este combustible son los más intensos del grupo de pastos, al mismo tiempo que manifiestan las más altas intensidades ante la influencia de viento. El viento puede conducir el fuego hacia las partes altas sobre el pasto y cruzar incluso cuerpos de agua. Los pastos son altos, en promedio de 1 m de altura, aunque con una considerable variación. Aproximadamente un tercio o más de la cubierta de pasto se considera madura o muerta, lo cual mantiene el fuego. Gramíneas silvestres o cultivadas que no han sido cosechadas se pueden considerar similares a las praderas de pastos altos y pastos inundables.

Véanse fotografías 6, 7 y 8 como ejemplos que corresponden a este modelo de combustible.

Este modelo se correlaciona con el modelo de combustible N del NFDRS (1978).



### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	3.0
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	3.0
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	2.5



Fotografía 6. *Pennisetum setaceum* en Hawaii; observe el componente muerto.

Los incendios en los modelos de combustible del grupo de pastos manifiestan algunas de las más altas velocidades de propagación ante condiciones meteorológicas similares. Con una velocidad del viento de 8 km/h y una humedad de combustible de 8%, las velocidades de propagación (VP) representativas son como se indica a continuación:

Modelo de combustible	Velocidad de propagación	Altura de llama
	m/hr	m
1	1569	1.22
2	704	1.83
3	2092	3.66



Fotografía 7. *Alopecurus pratensis* en praderas y sabanas de Oregon.

Fotografía 8. Pradera de pasto cortadera en el Parque Nacional Everglades, Florida.

## Grupo Matorrales

### Modelo de Combustible 4

La intensidad y la rápida velocidad de propagación del fuego dependen del follaje y del material vivo y muerto, fino y leñoso contenido en las copas continuas del estrato secundario. Las masas maduras de matorral, de 1.83 m de altura o más, tales como chaparral mixto de California, tierras altas inundables a lo largo de la costa este, las llanuras arenosas de pino de Nueva Jersey, o las masas cerradas de pino jack de la parte norte-central de los Estados son los candidatos típicos. Junto con el follaje, flamable, el material leñoso de la vegetación contribuye significativamente a la intensidad del fuego. La altura del matorral para calificar en este modelo depende de las condiciones locales. Los esfuerzos de supresión pueden ser difíciles debido a una capa profunda de material seco. Las fotografías 9, 10, 11 y 12 son ejemplos de vegetación que corresponden con este modelo de combustible. Este modelo de combustible está representado por los modelos O y B del NFDRS (1978); el comportamiento del fuego es más severo que el obtenido por los modelos B u O.

#### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	32.1
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	12.4
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	12.4
Profundidad de la cama de combustible, m	1.8

Fotografía 11. Matorral de zona inundable compuesto de especies como *Leucothoe* e *Ilex*.

Fotografía 12. Arbustos altos del sureste con ramas muertas.



Fotografía 9. Chaparral Mixto del sureste de California; observe el componente de combustible muerto en las ramas leñosas.



Fotografía 10. Chaparral compuesto de Manzanita y chamizo cerca de Inaja Fire Memorial, Calif.



### Modelo de Combustible 5

El fuego es generalmente propagado por los combustibles superficiales que están constituidos de materia orgánica, arbustos, pastos y malezas del sotobosque. Los incendios generalmente no son muy intensos debido a que las cargas de combustibles son ligeras, los arbustos son jóvenes con una pequeña cantidad de material muerto y el follaje contiene pocas sustancias volátiles. Generalmente, los arbustos son bajos y cubren el área casi totalmente. Las masas verdes jóvenes sin madera muerta podrían calificar: laurel, *Acer*, *Alnus* o incluso chaparral, manzanita, o chamizo. No existen modelos de combustibles del NFDRS (1978) que correspondan con este modelo, pero el modelo 5 se puede considerar como una segunda opción para el modelo D o como una tercera opción para el modelo T de NFDRS. Las fotografías 13 y 14 muestran ejemplos de campo de este tipo de modelo. Masas verdes jóvenes pueden tener altura hasta de 2 metros pero tienen propiedades de ignición pobres debido a la presencia de vegetación viva.

### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	8.6
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	2.5
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	5.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.7



Fotografía 13. Masas de arbustos bajos, verdes, bajo dosel de bosque o sin dosel son típicos. Un ejemplo es la asociación *Pseudotsuga-Symphoricarpos*.



Fotografía 14. Regeneración de áreas de matorral después del fuego u otros disturbios presentan un componente verde importante. Incendio Sundance, Área del Río Pack, Idaho.

### Modelo de Combustible 6

El fuego se propaga a través de la capa de matorrales donde el follaje es más inflamable que en el modelo de combustible 5, pero este requiere vientos moderados mayores de 13 km/hr a media llama. El fuego será superficial con velocidades del viento bajas o en masas abiertas. Los matorrales son más viejos pero no tan altos como los tipos de matorral del modelo 4. Un amplio rango de condiciones de matorral están cubiertas por este modelo. Las situaciones de combustibles que se pueden considerar incluyen masas intermedias de chamizos, chaparral, encino arbustivo o chaparro, arbusto de tierras inundables bajas, *Pseudotsuga* de la Taiga de Alaska y arbustos de tundra. Es posible considerar también desperdicios maduros de latifoliadas. Masas arbustivas de piñón-junípero pueden estar representadas pero la velocidad de propagación puede estar sobre estimada a velocidades del viento altas (32 km/hr a 6 m sobre el nivel del suelo).

Los modelos F y Q del NFDRS (1978) están representados por este modelo de combustible. El modelo 6 se puede considerar como una segunda opción para los modelos T y D y como una tercera opción para el modelo S. Las fotografías 15, 16, 17 y 18 muestran situaciones representadas por este modelo de combustible.

#### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	14.8
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	3.7
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.8

Fotografía 17. Arbustos de tierras bajas inundables del sureste

Fotografía 18. Follaje de Encino Gambel muerto por heladas; menos de 1.2 m de altura, en Colorado.



Fotografía 15. Asociación Piñón-junípero con *Artemisa* cerca de Ely, Nev.; sotobosque principalmente de salvia con algo de pasto entre-mezclado.



Fotografía 16. Matorral de Madera dura en el sureste de USA con residuos de pino (*Pinus elliotii*)



### Modelo de Combustible 7

Los incendios queman a través del estrato superficial y los arbustos con la misma facilidad, el fuego puede ocurrir a un alto contenido de humedad del combustible muerto debido a la inflamabilidad del follaje vivo y de otros materiales vivos. Las masa de matorral tienen una altura entre 0.6 y 1.8 m. Las asociaciones de palmeto-Ilex (galberry) en el sotobosque con cobertura de pino son sitios típicos de este modelo, las tierras bajas inundables también pueden estar representadas. Combinaciones de *Picea-matorral* en Alaska pueden estar representadas. Este modelo de combustible se correlaciona con el modelo D y puede ser una segunda opción para el modelo Q del NFDRS (1978). Las fotografías 19, 20 y 21 representan situaciones de campo de este modelo.



Fotografía 19. Bosque de pino del sureste con sotobosque de palmeto ligero a moderado.



Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego	
Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	12.1
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	2.7
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	1.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.8

Los modelos de combustible del grupo matorrales tienen un amplio rango de intensidades del fuego y de velocidades de propagación. Con vientos de 8 km/hr y contenidos de humedad del combustible del 8% y un contenido de humedad del combustible vivo del 100%, los modelos tienen los siguientes valores:

Modelo de combustible	Velocidad de propagación	Altura de llama
	m/hr	M
4	1509	5.8
5	362	1.2
6	644	1.8
7	402	1.5

Fotografía 20. Bosque de pino del sureste con asociación, de moderada a pesada, de palmeto-ilex (galberry) y otras especies



Fotografía 21. Asociación de *Pinus elliotii* (pino slash) con ilex (galberry) y otras especies en el sotobosque.

## Grupo Bosques

### Modelo de Combustible 8

Incendios superficiales lentos con baja altura de llama son el caso general, aunque el fuego puede encontrar puntos de alta concentración de combustible de manera ocasional, lo cual provoca una quema vigorosa. Sólo bajo condiciones severas de tiempo atmosférico (altas temperaturas, baja humedad y velocidades del viento altas) los combustibles pueden tener un alto peligro de incendios. El dosel cerrado de las masas forestales de coníferas de hoja corta y latifoliadas que han perdido las hojas mantienen el fuego en la capa compacta de materia orgánica. Esta capa esta compuesta principalmente de acículas, hojas y ocasionalmente ramillas debido a que existe un bajo crecimiento en la masa. Tipos de coníferas representativos son el *Pinus strobus* (pino blanco), *Pinus contorta* (lodgepole pine), *Picea*, *Abies*, y *Larix*. Este modelo puede ser usado para los modelos de combustible H y R del NFDRS (1978). Las fotografías 22, 23 y 24 ilustran las situaciones representativas de este modelo de combustible

### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	12.4
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	3.7
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.07

Fotografía 22. Materia orgánica superficial en masas de *Tsuga* de Oregón y Washington.



Fotografía 23. El sotobosque de *Pseudotsuga* tiene poco combustible que agregar a la carga de materia orgánica muerta en el suelo.



Fotografía 24. Masa cerrada de *Betula-Populus* con hojarasca compactada.



### Modelo de Combustible 9

El incendio se propaga a través de la hojarasca superficial más rápidamente que en el modelo 8 y con una longitud de llama mayor. Coníferas de hoja larga junto con bosques de frondosas, especialmente roble y castaño, son típicas. Incendios de otoño en frondosas son representativos, pero los vientos de alta velocidad realmente producen velocidades de propagación mayores que las predichas, debido a los focos secundarios causados por las hojas encendidas que caen y ruedan. Bosques relativamente cerrados de pinos de hoja larga como el pino ponderosa, Jeffrey, y el pino rojo de las plantaciones del sureste están incluidos en este modelo. Las concentraciones de material leñoso muerto contribuirán a la quema esporádica de algunas copas de árboles (antorchas), focos secundarios y coronamiento.



Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego	
Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	8.6
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	7.1
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.07

Fotografía 25. Hojarasca caída de roble blanco en el Oeste de Oregón; los vientos al remolinear las hojas pueden causar focos secundarios de corto alcance lo cual incrementa la velocidad de propagación por arriba del valor pronosticado.



Fotografía 26. Hojarasca de hojosas bajo dosel de roble, *Carya*, maple y otras especies de madera dura (latifoliadas) del Este de USA.



Fotografía 27. Hojarasca de pinos de hoja larga en bosque de *Pinus ponderosa* cerca de Alberton, Montana.

### Modelo de Combustible 10

Los incendios queman en los combustibles superficiales con mayor intensidad que en los otros modelos de residuos de bosque. Los combustibles muertos caídos incluyen mayores cantidades de ramas de 7.5 cm o de más diámetro que resultan de la extra-madurez o de sucesos naturales (vientos, nieve etc.) que originan una gran cantidad de material muerto sobre el suelo. Coronamiento, focos secundarios y árboles antorcha son más frecuentes en este Modelo lo que genera un mayor potencial de dificultades para su control. Cualquier tipo de bosque puede ser considerado cuando combustibles pesados caídos están presentes; ejemplos de este Modelo son los sitios forestales con plagas, sitios afectados por huracanes o vientos, sitios sobre maduros con material muerto leñoso caído y material ligero delgado o cortas de aclareos

#### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	29.6
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	7.4
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	5.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.3



Fotografía 28. Bosque de *Pseudotsuga* con combustibles pesados en el suelo



Fotografía 29. Bosque de coníferas mixtas con combustibles leñosos muertos y caídos.



Fotografía 30. Bosque de *Picea* donde la sucesión o el disturbio natural pueden producir una carga de combustible pesada por los combustibles caídos.

## Grupo Residuos de Aprovechamientos

### Modelo de combustible 11

El incendio es bastante activo en los desechos y el material herbáceo mezclado con los residuos. El espaciamiento del combustible, de carga más bien ligera, la sombra de las copas o la edad de los combustibles finos pueden contribuir a limitar la intensidad del incendio. Cortas parciales ligeras u operaciones de aclareo en coníferas mixtas, masas de hojosas de madera dura y cosechas de pino en el sureste de USA se consideran aquí. Las operaciones de corta a matarrasa producen más residuos que los incluidos en este modelo. La carga de material menor a 7.5 cm de diámetro es inferior a 25 ton/ha. El material > 7.5 cm de diámetro está representado por no más de 10 piezas, con un diámetro medio aproximado de 10 cm a lo largo de un transecto de 15 m.



Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego	
Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	28.4
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	3.7
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.3

Fotografía 31. Residuos de corta dejados después de la cosecha en el oeste de Montana



Fotografía 32. Residuos de cortas parciales en coníferas mixtas, pueden semejarse a bosques cerrados con materiales leñosos caídos.



Fotografía 33. Residuos de corta ligeros con una cama distribuida en parches, pueden desarrollar intensidades del fuego altas.

### Modelos de Combustible 12

Pueden ocurrir fuegos propagándose rápidamente con intensidades altas y capaces de generar pavesas. Cuando el incendio comienza, se propaga de forma continua hasta que se encuentre una interrupción en el combustible o se produzca un cambio en los combustibles. La impresión visual es que dominan los desechos, muchos de los cuales son de diámetro inferior a 7.5 cm. La carga total es menor de 80 ton/ha y aparece bien distribuida. El material > 7.5 cm de diámetro está representado al encontrarse 11 piezas, de 15cm de diámetro en promedio, en un transecto de 15 m

### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	85.4
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	9.9
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.7

Fotografía 34. Matarrasa en bosque de *Pinus ponderosa* al este de las montañas Cascade desde Oregón hasta Washington



Fotografía 35. Corta parcial de *Cedrus-Tsuga* en el norte de Idaho, Región I, USFS.



Fotografía 36. Residuos de aclareo en *Pinus contorta* (lodgepole pine) en el Bosque Nacional Lewis y Clark. La condición roja de las acículas incrementa la clasificación de ligera a media



### Modelo de Combustible 13

El incendio corre a través del área por una capa continua de desechos. Grandes cantidades de material superior a 7.5 cm de diámetro están presentes. El incendio se propaga rápidamente a través de los combustibles finos y la intensidad se acelera cuando los combustibles gruesos empiezan a arder. Las llamas activas duran mucho tiempo y pueden generarse pavesas de varios tamaños. Estas contribuyen a crear focos secundarios especialmente cuando las condiciones meteorológicas se vuelven desfavorables. Cortas de matarrasa y fuertes cortas parciales en masas maduras y sobremaduras están representadas; la carga de residuos está dominada por material de > de 7.5 cm. La carga total puede no exceder las 600 ton/ha, pero los combustibles menores de 7.5 cm., están sólo en un 10% del total del área. Condiciones en que los residuos todavía tienen las hojas "rojas" adheridas a las ramas, pero el total de la carga es menor al Modelo 12, pueden estar representados por la alta intensidad y la rápida velocidad de propagación. El modelo de combustible I del NFDRS (1978) se encuentra ilustrado por las fotografías 37 y 38. Los bosques que normalmente corresponden con este modelo son masas viejas del oeste de las Montañas Cascadas y Sierra Nevada. Una mayor eficiencia en los estándares de aprovechamiento disminuye la cantidad de material pesado dejado en el campo.

#### Valores del modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo < 7.5 cm de diámetro, tons/ha	143.5
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, tons/ha	17.3
Carga de combustible vivo, follaje, tons/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible, m	0.9



Fotografía 37. Cortas de matarrasa en *Pseudotsuga* en la costa oeste, con alto desperdicio.



Fotografía 38. La alta productividad de masas de *Cedrus-Abies* puede dar como resultado grandes cantidades de residuos con un alto potencial de incendios.

## **CORRELACIÓN ENTRE LOS MODELOS DE COMBUSTIBLE PARA EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO Y LOS MODELOS DE COMBUSTIBLE DEL NFDRS**

La siguiente sección, la cual correlaciona los modelos de combustible usados para el comportamiento del fuego con aquellos usados para la calificación del índice de peligro, ayuda a los oficiales de comportamiento del fuego, investigadores, y demás personal interesado en comprender la interrelación entre estos dos conjuntos de modelos de combustibles. Para estimaciones iniciales de comportamiento del fuego, el modelo de combustible usado para calificar el índice de peligro se puede referenciar de manera cruzada con el modelo disponible de comportamiento del fuego para el área general de interés. Esto también proporciona un antecedente útil acerca del carácter de cada modelo de combustible, de manera que se pueden hacer selecciones específicas donde la vegetación varía considerablemente. Combinando esta información con las representaciones fotográficas de cada uno de los 13 modelos de combustible se pueden hacer inferencias de que un solo modelo, puede representar varios grupos de vegetación. Es importante que uno mantenga una impresión abierta y flexible sobre un modelo de combustible de tal manera que pueda reconocer en esos grupos de vegetación las características comunes que propagan el fuego. La correlación con los modelos de combustible del NFDRS de 1978, permite conversiones desde medidas de tendencia del peligro de incendios a pronósticos de campo de comportamiento del fuego. La gran variedad de combustible, tiempo atmosférico, y condiciones del sitio que existen en el campo significan para el usuario de los modelos de combustible y de los métodos de interpretación del comportamiento del fuego que debe hacer observaciones y ajustar sus predicciones consecuentemente. La calibración de las salidas de comportamiento del fuego para los modelos de combustible seleccionados pueden permitir una estimación más precisa de las condiciones actuales. Esto ha sido practicado en el campo por instructores y alumnos del curso de Oficiales de Comportamiento del Fuego, S-590, lo que ha dado como resultado un alto grado de de flexibilidad en la aplicación. Los modelos de combustible mostrados en la Figura 3 fueron alineados de acuerdo con la capa de combustible que controla la velocidad de propagación del fuego. Se indican segundas y terceras opciones para situaciones donde la propagación del fuego puede ser gobernada por dos o más capas de combustible, dependiendo de la distribución y el contenido de humedad. De los cuatro climas usados en los combustibles del NFDRS de 1978, el clima 3 se usó con el combustible herbáceo vivo, 99.7% maduro y con un viento de 32 km/h a 6 m (6.1-

**TABLA DE DESCRIPCIÓN FÍSICA DE SIMILITUD ENTRE LOS MODELOS DE COMBUSTIBLE DEL NFDRS Y DE COMPORTAMIENTO DEL FUEGO**

**MODELOS DEL NFDRS RE-ALINEADOS CON LOS COMBUSTIBLES QUE CONTROLAN LA PROPAGACIÓN BAJA CONDICIONES DE QUEMA SEVERAS**

MODELOS DE COMBUSTIBLE NFDRS	MODELOS DE COMBUSTIBLE PARA EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A Pastos anuales	X												
L Pastos perennes	X												
S Tundra	X					3°			2°				
C Pino abierto con pasto		X							2°				
T Arbusto de Artemisa con pastos		X			3°	2°							
N Zacate cortadera			X										
B Matorral maduro (1.8 m)				X									
O Arbusto de tierras altas inundables				X									
F Matorrales diversos					2°	X							
Q Picea negro de Alaska						X	2°						
D Pino del Sureste						2°	X						
H. Acículas cortas -Normal muerto								X					
R. Hojarasca de latifoliadas (verano)								X					
U. Pinos de Hoja larga del Oeste									X				
P. Pinos de hoja larga del sureste									X				
E. Hojarasca de latifoliadas (otoño)									X				
G. Masa de coníferas cerradas con combustible pesado										X			
K. Residuos ligeros											X		
J. residuos Medianos												X	
I. Residuos pesados													X

PASTO  
MATORRALES  
BOSQUES  
RESIDUOS

PASTO                      MATORRAL                      BOSQUES                      RESIDUOS

Figura 3. - Similitud gráfica para alinear descripciones físicas de los modelos de combustible del NFDRS con los modelos de combustible de comportamiento del fuego.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Albini, Frank A.  
1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-30, 92 p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- Barrows, J. S.  
1951. Fire behavior in northern Rocky Mountain forests. USDA For. Serv., North. Rocky Mt. For. And Range Exp. Stn., Pap. 29, 123 p.
- Bates, Carlos G.  
1923. The transact of a mountain valley. *Ecology* 4(1): 54-62.
- Bevins, C. D.  
1976. Fire modeling for natural fuel situations in Glacier National Park. *In Proc., First Conf. on Sci. Res. in the Natl. Parks* [New Orleans, La., Nov. 1976]. p. 23.
- Deeming, John E., and James K. Brown.  
1975. Fuel models in the National Fire-Danger Rating System. *J. For.* 73:347-350.
- Deeming, John E., Robert E. Burgan, and Jack D. Cohen.  
1977. The National Fire-Danger Rating System—1978. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-39, 63 p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- Deeming, John E., J. W. Lancaster, M. A. Fosberg, R. W. Furman, and M. J. Schroeder.  
1972. The National Fire-Danger Rating System. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-184, 165 p. Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn., Fort Collins, Colo.
- Dubois, Coert.  
1914. Systematic fire protection in the California forests. 99 p. USDA For. Serv., Washington, D.C.
- Fahnestock, George R.  
1970. Two keys for appraising forest fire fuels. USDA For. Serv. Res. Pap. PNW-99, 26 p. Pac. Southwest For. and Range Exp. Stn., Berkeley, Calif.
- Hornby, L. G.  
1935. Fuel type mapping in Region One. *J. For.* 33(1): 67-72.
- Hough, W. A., and F. A. Albini.  
1978. Predicting fire behavior in palmetto-gallberry fuel complexes. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-174, 44 p. Southeast. For. Exp. Stn., Asheville, N.C.
- Jemison, G. M., and J. J. Keetch.  
1942. Rate of spread of fire and its resistance to control in the fuel types in eastern mountain forests. USDA For. Serv., Appalachian For. Stn., Tech. Note 52. Asheville, N.C.
- Kessell, S. R.  
1976. Wildland inventories and fire model gradient analysis in Glacier National Park. *In Proc. Tall Timbers Fire Ecol. Conf. and Fire and Land Manage. Symp. No. 14, 1974.* p. 115-162. Tall Timber Res. Stn., Tallahassee, Fla.
- Kessell, S. R.  
1977. Gradient modeling: a new approach to fire modeling and resource management. *In Ecosystem modeling in theory and practice: an introduction with case histories.* p. 575-605. C.A.S. Hall and J. Day, Jr., eds. Wiley & Sons, New York.
- Kessell, S. R., P. J. Cattellino, and M. W. Potter.  
1977. A fire behavior information integration system for southern California chaparral. *In Proc. of the Symposium on the Environmental Consequences of Fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems.* p. 354-360. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-3. Washington, D.C.
- Kessell, Stephen R., and Peter J. Cattellino.  
1978. Evaluation of a fire behavior information integration system for southern California chaparral wildlands. *Environ. Manage.* 2:135-159.
- Küchler, A. W.  
1967. Vegetation mapping. 472 p. The Ronald Press Co., New York.
- Philpot, C. W.  
1977. Vegetation features as determinants of fire frequency and intensity. *In Proc. of the Symposium on the Environmental Consequences of Fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems.* p. 12-16. USDA For. Serv. Gen. Tech Rep. WO-3. Washington, D.C.
- Rothermel, Richard C.  
1972. A mathematical model for fire spread predictions in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115, 40 p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- Rothermel, Richard C., and Charles W. Philpot.  
1973. Fire in wildland management: predicting changes in chaparral flammability. *J. For.* 71(10):640-643.
- Show, S. B., and E. I. Kotok.  
1929. Cover type and fire control in the National Forests of northern California. USDA For. Serv. Bull. 1495, 35 p. Washington, D.C.
- Sparhawk, W. N.  
1925. The use of liability ratings in planning forest fire protection. *J. Agric. Res.* 30(8):693-762.
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service.  
1964. Handbook on National Fire-Danger Rating System. USDA For. Serv. Handb. FSH 5109.11. Washington, D.C.

## APENDICE: EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS DE COMBUSTIBLES

### Introducción

Hace más de 64 años, los forestales en los Estados Unidos se preocuparon sobre el peligro de incendios y estaban intentando de desarrollar métodos para evaluar el riesgo. (Dubois 1914). La "inflamabilidad" de una situación dependía de cuatro elementos: (1) cantidad de combustibles en la superficie de la tierra; (2) facilidad de ignición; (3) sequedad de la cubierta; y (4) pendiente. Se consideraron tres tipos de combustibles: pastos, matorrales y bosques. En 1978, estamos aún preocupados acerca del peligro de incendios y del comportamiento del fuego. A través del uso de modelos matemáticos (Rothermel 1972) y rangos de peligro de incendios (Deeming et al 1977); podemos evaluar la manera en que el peligro de incendios cambia con respecto a tiempo atmosférico, combustibles y pendiente. Adicionalmente, el oficial del comportamiento del fuego puede estimar el comportamiento del fuego para el siguiente período de quema si es capaz de definir los combustibles (Albini 1976). Dubois agrupó combustibles como pastos, matorrales y bosques, y estos agrupamientos generales se usan todavía con la adición de desechos de aprovechamiento. Varios tipos de combustibles o modelos de combustibles se reconocen dentro de cada grupo. Para el índice de peligro, hemos pasado de dos modelos de combustibles (USDA Forest Service 1964) a nueve en 1972 (Deeming et al 1972) y a 20 en 1978 (Deeming et al 1977). Los esfuerzos de investigación para apoyar al oficial de comportamiento del fuego han utilizado los 13 modelos de combustibles tabulados por Rothermel (1972) y Albini (1976)

### Combustibles Definidos

Los combustibles están hechos de varios componentes de vegetación, vivos y muertos, que están presentes en un sitio. El tipo y cantidad dependerán del suelo, clima, . The type and características geográficas, y la historia del fuego del sitio. A grandes rasgos, las combinaciones en la evapotranspiración y precipitación con cambios en altitud y latitud pueden describir la vegetación posible y han sido usadas para elaborar mapas de vegetación (Küchler 1967) Una descripción adecuada de los combustibles en un sitio requiere identificar los componentes del combustible que puedan existir. Estos componentes incluyen las capas de desecho y turba, el material leñoso muerto, pastos y tulares, matorrales, regeneración y bosques.

Varias combinaciones de estos componentes definen los grupos mayores de pastos, matorrales, bosques y desechos de aprovechamiento. Ciertas características de cada componente de combustible o la falta de él, contribuye a la descripción de los combustibles en términos adecuados para definir un modelo de combustible. Para cada componente del combustible ciertas características deben ser cuantificadas y evaluadas para elegir un modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego. Las características más importantes para cada componente son:

1. Carga de combustible clasificada por tamaño.
2. Tamaño y forma por cada clasificación de tamaño.
3. Compactación o densidad.
4. Continuidad horizontal.
5. Arreglo vertical.
6. Contenido de Humedad
7. Contenido químico, cenizas y volátiles.

Cada una de las características arriba señaladas contribuye a una o más de las propiedades del comportamiento del fuego. Carga de combustible, clasificación por tamaño, distribución de la carga, y su arreglo (compactación o densidad) gobiernan si una ignición dará por resultado en un fuego sostenido. La continuidad horizontal tiene influencia en cómo se propagará incendio y cómo será su tasa de propagación. La carga y el arreglo vertical tendrán influencia en el tamaño y la capacidad de un incendio de incendiar el dosel. Con la continuidad horizontal apropiada en el dosel el incendio puede desarrollarse en uno de

copa. Un contenido de humedad bajo tiene un impacto importante en el comportamiento del fuego afectando la ignición, propagación e intensidad; con vientos fuertes puede llevar a un comportamiento del fuego extremo. Ciertos elementos del contenido químico del combustible, tales como aceites volátiles y ceras, ayudan a la propagación del incendio, aún cuando los contenidos de la humedad son altos. Otros, como el contenido mineral pueden reducir la intensidad cuando los contenidos de humedad son bajos. Altas cargas de combustibles en la clase de combustibles finos con poca humedad del combustible y altos contenidos de aceites volátiles contribuirán a rápidas tasas de propagación y altas intensidades en la línea de fuego, haciendo el ataque inicial y la supresión difíciles.

### Como se han descrito los combustibles

En la expresión de peligro de incendios presentada por Dubois (1914), los tipos de combustibles de pastos, matorrales y bosques fueron definidos, utilizando tres causas—cantidad de combustible en la superficie, falta de humedad en la cubierta, y pendiente—y dos efectos—facilidad de ignición y la tasa de crecimiento del incendio o propagación. Tal como Dubois anotó, sin embargo, no se habían realizado suficientes estudios para describir efectivamente las diferencias entre tipos de combustibles. Sparhawk (1925) condujo un estudio extenso del tamaño del incendio como una función del tiempo desde su descubrimiento hasta el ataque inicial en amplias cubiertas forestales. Veintiún regiones del oeste de los Estados Unidos y los Estados de los Lagos se definieron y hasta siete tipos de bosques se eligieron para cada región. Estos tipos de bosques básicamente eran pastos, matorrales, bosques y descripciones de residuos de aprovechamiento. La clasificación de tasas de crecimiento en áreas por tipo mostró que las tasas de crecimiento más altas ocurrían en tipos de pasto y matorral, seguidas por situaciones de residuos de aprovechamiento y bosque abierto y concluyendo con bajas tasas de crecimiento en tipos de bosque cerrado.

Sparhawk hizo el siguiente comentario sobre estos datos: La clasificación obtenida, por consiguiente, representará porcentajes de una aplicación más bien amplia, pero pudiera no mostrar lo que puede esperarse de unidades individuales. Estos factores pueden permitirse solamente cuando los registros de incendios y los inventarios de nuestros recursos forestales incluyen información concerniente a ellos. Show y Kotok (1929) reportaron un estudio preliminar de cubierta forestales relacionada con el control de incendios. El estudio de nueve tipos mayores en el Norte de California mostró diferencias definitivas entre ellos, con respecto a peligro de incendios, ignición, riesgo, tasa de propagación y tipo de incendio y varias otras materias de control de incendios.

Ellos no intentaron terminar el análisis propuesto por Sparhawk debido a que la variabilidad de los incendios individuales era muy grande y la clasificación de tipo y clases de peligro estaba muy incompleta. Sin embargo, sus nueve tipos de cubiertas incluyeron una clasificación más amplia de:

1. Bosques y pastizales.
2. Chaparral y campos de matorrales.
3. Tipos de cobertura boscosa.
  - a. Pinares y coníferas mezcladas.
  - b. Abeto Douglas.
  - c. *Pinus lambertiana* y abetos

Estos tipos de cubiertas y su clasificación expresan las agrupaciones amplias de grupos de combustibles dominados por pastizales, eminentemente arbustivos, y eminentemente de bosques y residuos de aprovechamiento. Los residuos de bosques pueden ser naturalmente producidos o por actividades de aprovechamiento. En términos de comportamiento del fuego, estos tipos de cobertura se caracterizan como sigue:

Incendios de Copa (ocurren en el dosel primario o secundarios chaparral y tipos de arbustos.

Incendios de superficie (ocurren en el residuo superficial, ramas tiradas y muertas y material herbáceo) — bosques y pastizales pinares y coníferas diversas; abetos Douglas.

Incendios subterráneos (ocurren en desechos, turba y material orgánico bajo la superficie) *Pinus lambertiana*; tipos de Abies Este trabajo demostró la complejidad de establecer necesidades de control horario y contribuye a continuar los esfuerzos para describir tipos en términos de crecimiento del incendio y dificultad de control. Hornby (1935) desarrolló un sistema de clasificación de combustibles que formalizó la descripción de tasa de programación y resistencia al control dentro de clases de bajo, medio, alto y extremo. Para las montañas Rocosas del Norte, la clasificación normalizada de tipos relativos de bosques fue similar a aquella de Show y Kotok, así como al trabajo en Colorado por Bates (1923) y descrito por Hornby (1935):

1. Matorral—pasto
2. Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*)
3. Coníferas (*Larix*)—abies
4. Pseudotsuga y (*Pinus contorta*)
5. (*Pinus Strobus*) y (*Pinus contorta*)
6. Abies subalpinos
7. Abeto Blanco y *picea*.

La clasificación de estos combustibles fue terminada utilizando 90 personas con experiencia en peligro de incendios. Un total de 42 rangos fueron asignados a combustibles típicos en la Región 1. Hornby notó que una debilidad del sistema era el uso de estimaciones en lugar de medidas extensivas exactas, pero hasta que se pudiera contar con la recopilación de datos de influencias que contribuyen de suficientes años, algunos procedimientos para clasificar los combustibles serían necesarios. Las adaptaciones al punto de vista de Hornby se han utilizado en el Este de los Estados Unidos (Jemison y Keetch 1942) y fueron modificadas después para el Oeste (Barrows 1951). La mayoría de las regiones del Servicio Forestal utilizaron alguna versión del método de clasificación de Hornby pero, generalmente asignó una tasa de valores de propagación únicos a su área, reduciendo así la comparabilidad. Esto se ilustra con un muestreo del número de clasificaciones utilizadas por varias regiones y algunas de las variaciones que existían sobre las clases de tasa de propagación (ROS).

Región	Año	No. de Clasificaciones	ROS (Metros/hora)
Region 1	1969	234	Alta (1,020)
Region 1	1974	4	Alta (500)
Region 2	1972	59	Alta (500)
Región 3	1970	11	
Región 4	1972	48	Alta (600)
ESTE	1966	15	
Región 5	1973	17	
Región 6	1972	16	Alta (500)
		ejemplos	
Región 8	1975		Alta (>200)
Región 9	1970	10	

La variación de la tasa de propagación no se debe únicamente a los combustibles solamente, sino con la combinación de combustibles, clima, temporada del año y tiempo atmosférico local. Estos factores adicionales tienen influencia en la cantidad de combustibles vivos y el contenido de humedad de los combustibles muertos. Otras agencias como el BLM han utilizado el punto de vista de cada área administrativa y han establecido un conjunto de clasificaciones para seis áreas. Los combustibles se convirtieron en una consideración en los índices de peligro de incendios en los 50's; en 1958 se hizo un esfuerzo para unificar los ocho sistemas de clasificación de peligro de incendios dentro de un sistema nacional (Deeming et al 1972). Dos condiciones de los combustibles fueron consideradas — combustibles protegidos por una cubierta de bosque y

combustibles en un sitio abierto y expuesto. Un índice relativo a la propagación fue desarrollado y traído a uso general en 1965. La revisión de este acercamiento y la necesidad expresa para contar con índices de ignición, riesgo y energía resultaron en un esfuerzo de investigación que permitió establecer en 1972 el Sistema Nacional de Clasificación de Peligro de Incendios (NFDRS por sus siglas en inglés). Los combustibles pudieron ser considerados con mayor detalle debido al modelo matemático de propagación del fuego desarrollado por Rothermel (1972). Nueve descripciones específicas de las propiedades de los combustibles, llamados modelos de combustibles, fueron desarrollados para el NFDRS (Deeming y Brown 1975). En su guía "Dos claves para valorar los combustibles forestales" Fahnestock (1970), estuvo entre los primeros en usar el modelo de propagación de Rothermel. Las claves proveen herramientas para reconocer las diferencias en los tipos de combustibles e identifica el peligro potencia relativo en términos de tasa de propagación y coronamiento. Para utilizar las claves, se debe describir físicamente las propiedades en los términos propuestos por Fahnestock: Finos, pequeños, medianos por clasificación de tamaño y espacidos, abiertos, densos, mullidos, o cubiertos con hojarasca o desechos para compactación o combinación de carga y profundidad. Para afinar las propiedades del sitio, se puede seleccionar una de las 36 clasificaciones de tasa de propagación. Fahnestock interpretó las descripciones de clasificación de tamaño para cada estrato de combustible de acuerdo con las dimensiones físicas y períodos de retardación asociados con el NFDRS de 1964. Tiempo de retardación es el tiempo necesario para que una clase de combustible cambie el 63 por ciento de la carga total esperada. Las mismas descripciones se usaron cuando los modelos de combustibles se desarrollaron para representar tipos amplios de vegetación de pastizales, matorrales, bosques y zonas de desechos de aprovechamientos. Dentro de cada modelo de combustible, la carga fue distribuida por tamaño o clases de tiempo de retardación, correlacionada con agrupaciones de follaje y ramas, y material leñoso como sigue:

Tamaño, diámetro Centímetros	Tiempo de retardación Horas
< 0.63	1
0.63 to 2.5	10
2.5 to 7.6	100
> 7.6	1,000 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grandes combustibles o capas de respuesta lenta reconocidas en los modelos de combustibles disponibles en el NFDRS de 1978

Los modelos de combustibles iniciales se documentaron por Rothermel (1972) y estos 13 modelos se redujeron a 9 modelos para el NFDRS de 1972 (Deeming et al, 1972). Los 9 modelos de combustibles originales, excepto por uno, se han mantenido en el NFDRS de 1978 y se han suplementado con 11 adicionales para acomodar las diferencias del País. Para el entrenamiento de oficiales de comportamiento del fuego, los 13 modelos iniciales presentados por Rothermel (1972) y Albini (1976) se utilizan actualmente. Los 13 modelos contienen aquellos incorporados al NFDRS de 1972 y pueden ser correlacionados con los modelos del NFDRS de 1978. En la actualidad, los modelos de combustible tienen una gran aplicación, mientras otras investigaciones proveen modelos de combustibles para aplicaciones específicas (Kessell 1976, 1977; Bevins 1976; Kessell, Cattelino, y Potter 1977; Philpot 1977; Hough y Albini 1978; Rothermel y Philpot 1973)

Anderson, Hal E. 1982. Guía para la Selección de Modelos de Combustible Usados en la Estimación del Comportamiento del Fuego. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Reporte Técnico General INT-122, 22 pp. Estación Experimental de Bosques Intermontanos, Ogden, UT 84401

Presenta fotografías de vegetación silvestre apropiadas para los 13 modelos de combustible usados en los modelos matemáticos de comportamiento del fuego. La descripción de los modelos de combustible incluye el comportamiento del fuego asociado con cada combustible y sus características físicas. Se incluye una carta de similitud con referencia cruzada entre los 13 modelos de combustibles para estimar el comportamiento del fuego con los 20 modelos de combustible usados en el Sistema Nacional de Índice de Peligro

Palabras clave: combustibles forestales, modelación, comportamiento del fuego.

## **APENDICE B**

### **FUEGO Y COMBUSTIBLES**



**Descripción de los Modelos de Combustible para el  
Comportamiento del Fuego**

## Descripción de los Modelos de Combustibles para Estimar el comportamiento del Fuego (Anderson, 1982)

### Modelo de Combustible 1: Pasto corto



La propagación del fuego es gobernada por los combustibles finos, herbáceos, muy porosos y continuos que están maduros o cerca de estarlos. Los incendios son superficiales y se mueven rápidamente a través del pasto maduro y material asociado. Existe poca presencia de arbusto o árboles, generalmente menos de un tercio del área.

Pastos anuales y perennes se incluyen en esta modelo de combustible. Las praderas y sabanas están representadas junto con rastrojo, pasto de tundra y combinación de pasto con matorral que cumplen con el criterio mencionado arriba.



**Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego**

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	1.8
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	1.8
Carga de combustible vivo, follaje ton/ha	0.00
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.3

### Modelo de Combustible 2: Pasto con Dosel de Bosque/Matorral

El fuego se propaga principalmente a través de los combustibles herbáceos, ya sea que estén maduros o muertos. Los incendios son superficiales donde el material herbáceo, junto con el material orgánico y el material muerto caído de los arbustos abiertos o de las copas de los árboles, contribuyen a la intensidad del fuego. Las masas abiertas de arbustos y masas de pino/encino/Pseudotsuga seco que cubren un tercio a dos tercios del área se encuentran dentro de este modelo; tales masas pueden incluir grupos de combustibles que generan intensidades más altas y pueden producir pavesas. Algunas asociaciones de piñon-junípero puede estar en este modelo.

**Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego**

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	9.9
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	4.9
Carga de combustible vivo, follaje Ton/ha	1.2
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.3

Los modelos de combustibles del Grupo de Pastos descritos arriba, tienen un amplio rango de intensidades de fuego y velocidades de propagación. Con velocidades de viento de 8 Km/hr, un contenido de humedad del combustible muerto de 8% y un contenido de humedad del combustible vivo del 100%, estos modelos tienen los valores de comportamientos del fuego siguientes:

Modelo	Velocidad de propagación m/hr	Long. de llama (m)
1	1569	1.2
2	704	1.8

## Modelo de Combustible 4: Matorral maduro



La intensidad y la rápida velocidad de propagación del fuego dependen del follaje y del material vivo y muerto, fino y leñoso contenido en las copas continuas del estrato secundario. Las masas maduras de matorral, de 1.83 m de altura o más, tales como el chaparral mixto de California y el Chaparral mixto de Oregón con follaje inflamable (volátil) y una significativa cantidad de material muerto corresponden a este modelo. Una capa profunda de materia orgánica puede estar presente. La altura del matorral que califica para este modelo depende de las condiciones locales.

### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	32.1
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	12.3
Carga de combustible vivo, follaje	12.3
Profundidad de la cama de combustible (m)	1.8 +



## Modelo de combustible 5: Matorral joven

El fuego es generalmente propagado por los combustibles superficiales que están constituidos de materia orgánica, arbustos, pastos y malezas del sotobosque. Los incendios generalmente no son muy intensos debido a que las cargas de combustibles son ligeras, los arbustos son jóvenes con una pequeña cantidad de material muerto y el follaje contiene pocas sustancias volátiles. Generalmente, los arbustos son

bajos y cubren el área casi totalmente. Las masas verdes jóvenes, de hasta 1.8 m de altura, sin madera o con poca madera muerta podrían calificar para este modelo. La vegetación viva provoca propiedades de quema muy pobres.

### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	8.6
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	2.5
Carga de combustible vivo, follaje	5.0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.7

## Modelo de combustible 6: Matorrales intermedios



El fuego se propaga a través de la capa de matorrales donde el follaje es más inflamable que en el modelo de combustible 5, pero este requiere vientos moderados (mayores a 13 km/hr a media llama). El fuego será superficial con velocidades del viento bajas o cuando se encuentra en masas abiertas. Los matorrales son más viejos que en el modelo 5 pero no tan altos como los tipos de matorral del modelo 4. Situaciones de combustibles que se pueden considerar incluyen masas intermedias de chamizos, chaparral, encino arbustivo o chaparro, etc., incluso residuos de latifoliadas casi secos (residuos de

aclareos en plantaciones) se pueden considerar.

Los modelos de combustible del Grupo Matorrales descritos anteriormente tienen un rango amplio de intensidades de fuego y velocidades de propagación. Con vientos de 8 Km/hr, un contenido de humedad del combustible muerto del 8% y un contenido de humedad del 100% en el combustible vivo, los modelos tienen los siguientes valores de comportamiento del fuego:

Modelo	Velocidad de propagación m/hr	Long. de llama (m)
4	1509	6.0
5	362	1.2
6	644	1.8

### Modelo de combustible 8: Hojarasca de bosque cerrado de coníferas de hoja corta



1-DFHD-3



1-MC-3

#### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	14.8
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	3.7
Carga de combustible vivo, follaje Ton/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.8



3-PP-4

Incendios superficiales lentos con baja altura de llama son el caso general, aunque el fuego puede encontrar puntos de alta concentración de combustible de manera ocasional, lo cual provoca la quema vigorosa. Solo bajo condiciones severas de tiempo atmosférico (altas temperaturas, baja humedad y velocidades del viento altas) los combustibles pueden tener un alto peligro de incendios. El dosel cerrado de las masas forestales de coníferas de hoja corta y latifoliadas que han perdido las hojas mantienen el fuego en la capa compacta de materia orgánica. Esta capa esta compuesta principalmente de acículas, hojas y ocasionalmente ramillas debido a que existe un bajo crecimiento en la masa. Tipos de coníferas representativas son el *Pseudotsuga*, *Abies*, *Tsuga* y *Picea*.

#### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	12.3
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	3.7
Carga de combustible vivo, follaje Ton/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.07

## Modelo 9: Hojarasca de Latifoliadas o de Bosque de Pino de hoja larga

El incendio se propaga a través de la hojarasca superficial más rápidamente que en el modelo 8 y con una longitud de llama mayor. Coníferas de hoja larga junto con bosques de latifoliadas, son típicas de este modelo. Bosques relativamente cerrados de pinos de hoja larga como el pino ponderosa, Jeffrey, y el pino dulce así como masas forestales de roble, madroño y Lithocarpus están incluidas en este modelo. Las concentraciones de material leñoso muerto contribuirán a la quema esporádica de algunas copas de árboles (antorcheo), focos secundarios y coronamiento.



2-HD-2

### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	8.6
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	7.1
Carga de combustible vivo, follaje Ton/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.07

1-PP-4

52



## Modelo de combustible 10: Bosque maduro/sobremaduro con sotobosque

Los incendios quemar en los combustibles superficiales con mayor intensidad que en los otros modelos de residuos de bosque. Los combustibles muertos caídos incluyen mayores cantidades de ramas de 7.5 cm o de más diámetro que resultan de la extra-madurez o de sucesos naturales (vientos, nieve etc.) que originan una gran cantidad de material muerto sobre el suelo. Coronamiento, focos secundarios y árboles antorcha son más frecuentes en este Modelo. Cualquier tipo de bosque puede ser considerado si combustibles pesados caídos están presentes.

Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego	
Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	29.6
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	7.4
Carga de combustible vivo, follaje ton/ha	5.0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.3



4-DFHD-4



5-DF-4

Las intensidades del fuego y las velocidades de propagación de los Modelos de Combustible del Grupo Hojarasca de Bosques, descritos anteriormente tienen los siguientes valores de comportamiento del fuego cuando el viento a media llama es de 8 Km/hr, el contenido de humedad de los combustibles muertos es de 8% y el contenido de humedad de los combustibles vivos es de 100%:

Modelo	Velocidad de propagación m/hr	Long. de llama (m)
8	32.2	0.3
9	151.0	0.8
10	159.0	1.5

## Modelo 11: Residuos Ligeros



2-MC-2

Cortas parciales ligeras u operaciones de aclareo en masas naturales de coníferas mixtas y masas de hojosas de madera dura se consideran en este modelo de combustible.

El incendio es bastante activo en los desechos y el material herbáceo mezclado con los residuos. El potencial del fuego puede verse limitada por la sombra del estrato superior, el envejecimiento de los combustibles finos o el espaciado de la carga del combustible fino.



3-PP & Assoc-4

### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	28.4
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	3.7
Carga de combustible vivo, follaje ton/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.3

## Modelo de combustible 12: Residuos medios

Masas de coníferas mixtas y mezclas de Coníferas/Latifoliadas con aclareos pesados, cortas a matarrasa, o cortas parciales pesadas están representadas por este modelo de combustible. Pueden ocurrir incendios con velocidades de propagación alta, con alta intensidad capaz de generar pavesas. Cuando los incendios comienzan, se mantienen hasta que se encuentran una brecha cortafuego que rompe la continuidad del combustible o hasta que las condiciones del combustible cambian.

### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	85.4
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	9.9
Carga de combustible vivo, follaje ton/ha	0.0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.7



7-DFHD-4-CC

## Modelo 12: Residuos pesados

Este modelo está representado por cortas a matarrasas y cortas parciales pesadas en masas maduras y sobremaduras donde la carga de residuos está dominada por materiales de diámetros mayores a 7.5 cm. El fuego se propaga rápidamente a través de los combustibles finos y la intensidad se incrementa a medida que los combustibles pesados empiezan a arder. Las llamas activas se mantienen por largos periodos y una gran variedad de pavesas se pueden generar.



6-WC-1-TH

### Valores del Modelo de combustible para estimar el comportamiento del fuego

Carga total de combustible, muerto y vivo <7.5 cm de diámetro, ton/ha	143.5
Carga de combustible muerto, 0.625 cm de diámetro, ton/ha	17.3
Carga de combustible vivo, follaje ton/ha	0
Profundidad de la cama de combustible (m)	0.9

La intensidad del fuego y las velocidades de propagación de los modelos de combustible del Grupo Residuos, descritos anteriormente, tienen los siguientes valores de comportamiento del fuego cuando el viento a media llama es de 8 Km/hr y la humedad del combustible muerto es del 8%.

Modelo	Velocidad de propagación m/hr	Long. de llama (m)
11	120.7	1.0
12	261.5	2.4
13	271.6	3.2

## Referencias

Anderson, Hal E.; *Aids to Determining Fuels Models for Estimating Fire Behavior*. Gen. Tech. Rep. INT-122. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT. 22 p.

Blonski, Kenneth S. and John L. Schramel. 1981. *Photo Series for Quantifying Natural Forest Residues: Southern Cascades and Northern Sierra Nevada*. USDA Forest Service, General Technical Report PSW-56. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station.

Carlton, Donald W. 2001. *Fuels Management Analyst Suite, FMAPlus; Users Guide to Photo Series Explorer*. Fire Program Solutions, LLC. Estacada, OR

Maxwell, W.G. and F.R. Ward. 1980. *Photo Series for Quantifying Natural Forest Residues in Common Vegetation Types of the Pacific Northwest*. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-105. Portland, OR: Pacific Northwest Research Station. 230 p.

Maxwell, W.G. and F.R. Ward. 1976. *Photo Series for Quantifying Forest Residues in the: Coastal Douglas-fir – Hemlock and Coastal Douglas-fir - Hardwood Types of the Pacific Northwest*. USDA Forest Service General Technical, Report PNW-51. Portland, OR: Pacific Northwest Research Station.