

# CARACTERIZACIÓN DE UN COMPLEJO DE COMBUSTIBLE DE MATORRAL PARA LA MODELIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

Joe H. Scott\* & Roger D. Hungerford\*\*

\*Sistemas para la Gestión Forestal, Apdo.8868, Missoula, MT, 59807.E-mail:joescott@montana.com

\*\*Estación de Investigación Rocky Mountain,. USDA Forest Service Lab. Ciencias del Fuego. Apdo. 8089. Missoula, MT,59807. E-mail:rhungerford/rmrs\_missoula@fs.fed.us

## INTRODUCCIÓN

La vegetación de chaparral del S de California y la del pcosin en la llanura costera en Carolina del N son complejos de combustible con similitudes. Ambos están constituidos por matorral “vivo” compuesto de una gran carga de combustible muy inflamable, a menudo representados por el modelo de combustible nº 4 (chaparral). Ambos tienen una alta fracción de combustible seco. Los fuegos de ambos tipos pueden tener altas velocidades de propagación e intensidad y pueden exhibir un comportamiento del fuego extremo. Las especies de matorral en ambas clases de comunidades vegetales están bien adaptadas a un régimen de fuego que regenerará la masa y usualmente se recuperan muy rápidamente tras fuego.

Pero la vegetación de chaparral y de pcosin son también bastante diferentes. En el primero caso crece en terreno pendiente sobre suelos minerales, mientras que en el segundo se encuentra en terreno llano en suelos orgánicos de varios pies (1 pie: 30 cm) de profundidad. El chaparral se presenta en clima templado y seco; el pcosin en clima cálido y húmedo. Con frecuencia ocurren fuegos severos en el chaparral durante vientos föehn moderadamente cálidos y secos (Santa Ana o vientos del E) con altas temperaturas, bajas humedades relativas y escaso contenido de

agua de los combustibles muertos.

En los pcosins, los fuegos intensos tal como el fuego Bomb Range de 1971 (WADE and WARD, 1971) a menudo se asocian con el paso de un frente frío, que trae temperaturas relativamente frescas y humedades moderadas, dando lugar a contenidos de agua de los combustibles moderados. Debido a los profundos suelos orgánicos en los matorrales de pcosin, el desarrollo urbanístico es difícil, así que el problema del fuego en la interfaz monte/urbanización es menos grave que en el chaparral del S de California. Sin embargo, la construcción de carreteras en el pcosin es difícil, así que su densidad es baja y el acceso de los vehículos limitado. En la mayor parte de los sitios, los suelos orgánicos no soportan el peso del equipo convencional contra incendios. En su lugar se emplean vehículos especiales, con soportes de alta flotabilidad.

Se han hecho esfuerzos significativos para describir los combustibles del chaparral (CONARD and REGELBRUGGE, 1994; COUNTRYMAN and PHILPOT, 1970; PAYSAN and COHEN, 1990, ROTHERMEL and PHILPOT, 1973, WAKIMOTO, 1977), pero bastante menos para el pcosin (WENDEL and others, 1962, BLACKMARR and FLANNER, 1975). Un reciente taller sobre el modelado del combustible del chaparral (11 y 12 de Marzo de 1997

en la Pacific Southwest Research Station, Forest Fire Laboratory, Riverside, California) condujo al desarrollo de varios modelos preliminares específicos del chaparral para usar con el sistema de predicción de BEHAVE (ANDREWS, 1986).

Este trabajo describe los resultados preliminares de un estudio que examinó la estructura de los combustibles de pocosin creando modelos específicos para uso en el modelado del comportamiento del fuego.

## MÉTODO DE MUESTREO

Se muestrearon 59 parcelas de 1 m<sup>2</sup> en vegetación de pocosin en tres áreas de estudio en la llanura costera de Carolina del N. 25 parcelas lo fueron en pocosin alto, con alrededor de 2 m de altura media, 24 parcelas eran de pocosin bajo, de aproximadamente 1 m de altura. La altura de la cubierta de matorral en cada tipo varió desde menos de 1 m en pocosin bajo quemado a más de 3 m en el pocosin alto. Este trabajo se centra en datos de 10 parcelas de pocosin alto y 10 de pocosin bajo, muestreadas en o cerca de Dare County Bombing Range ( en lo que sigue DCBR), Carolina del N. Estos sitios habían ardido por última vez en el incendio de 1971 conocido como Air Force Bombe Range Fire (WADE and WARD, 1973).

Toda la vegetación viva y muerta dentro de cada parcela fue cortada y recogida por estratos de 0,5 m de altura, usando un cuadro hecho de un conductor eléctrico mecánico (EMT) de 13 mm (2 pulgada) de espesor. Los jalones verticales del cuadro estaban unidos con conductores de 1 m de longitud, con empalmes del tipo de tuberías estructurales para mantener los postes alineados adecuadamente. Estos postes verticales tenían marcas cada 0,5 m para dividir la parcela en estratos de ese espesor.

En el laboratorio, las muestras se clasificaron en seis categorías: tres clases de tamaño follaje, restos leñosos de 0 a 6 mm (0 a 1/4") de diámetro y restos leñosos de 6 a 25 mm (1/4 a 1") de diámetro y dos componentes (vivo y muerto).

La hojarasca superficial, compuesta principalmente de restos de hojas y ramillas finas fue recogida en dos cuadrados de 1/4 m<sup>2</sup>. Todas las muestras fueron posteriormente secadas en estufa y pesadas.

## ANALISIS

Las características esenciales de un complejo de combustible para el modelado del comportamiento del fuego incluyen la carga (kg/m<sup>2</sup>) y densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>) del combustible por clases de tamaño de las partículas. La densidad aparente es la carga dividida por la altura del combustible (m). Para cualquier complejo de combustible, estas características pueden ser dibujadas en un diagrama de densidad aparente, con la altura del combustible en el eje "y" y la densidad aparente en el "x". Se compararon las características del lecho de combustible a nivel de parcela individual y de la masa (media de 10 parcelas). En una parcela representativa en cada tipo de combustible (fig.1) el pocosin alto presentó más alta densidad aparente y carga que el pocosin bajo. El pocosin alto tuvo también un lecho de combustible más alto. Ambos tipos de pocosin mostraron un decrecimiento característico de la densidad aparente cuando aumentaba la altura dentro del lecho de combustible.

Esta pauta general se observó en casi todas las parcelas individuales muestreadas. Sin embargo, la mayor parte de la densidad aparente del estrato más bajo consta de tallos vivos mayores de 6 mm (1/4") de diámetro, que no contribuye significativamente al comportamiento del frente de llamas y en consecuencia no se considera usualmente en el modelado del comportamiento del fuego.

Este decrecimiento en la densidad aparente cuando crece la altura dentro del complejo de combustible es incluso más pronunciada a nivel de la masa (fig.2). Esto es porque las parcelas más bajas de la masa no contribuyen a la densidad aparente en los estratos más altos.

ANDERSON, (1982) recomienda usar el modelo de combustible (FM) 4 para repre-

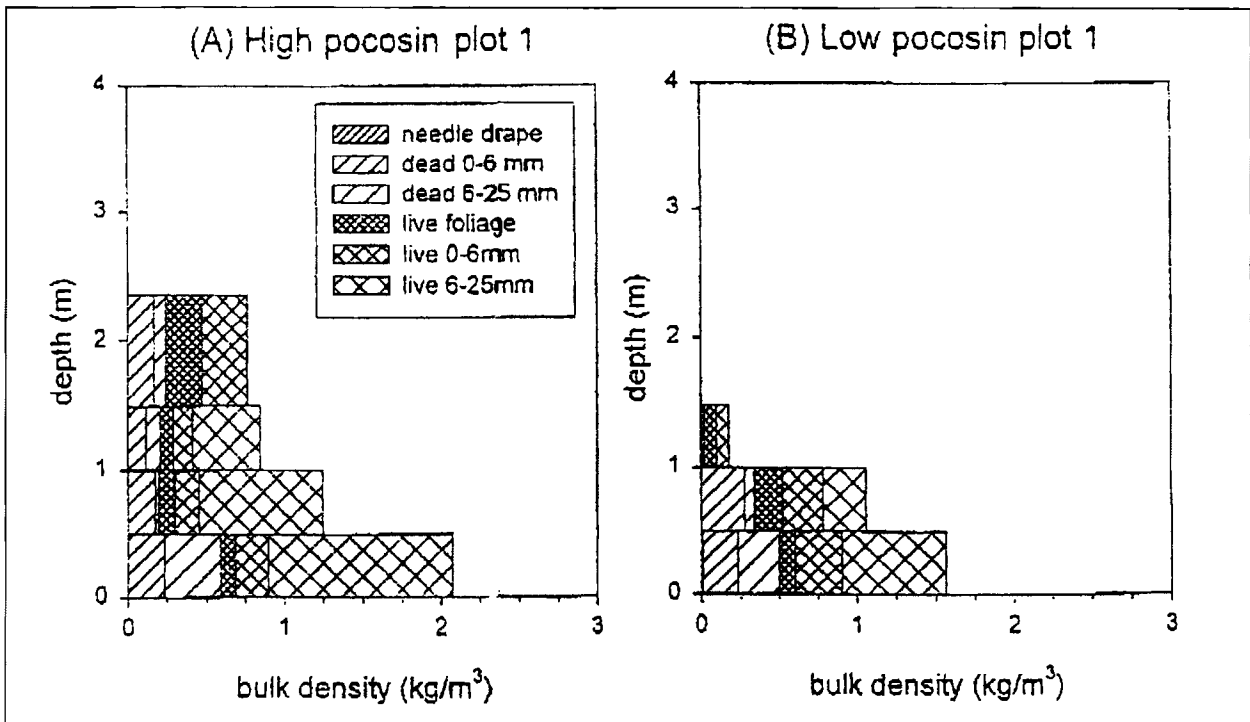


Fig.1.- Diagramas de densidad aparente, a nivel de parcela representativa, para el pocosin alto de Dare County Bomb Range (a) y bajo (b) del mismo lugar. La altura máxima del lecho de combustible dentro de cada parcela está indicada en el eje y, mientras que la densidad aparente aparece en el eje x. El área de las barras representa la carga de combustible ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )

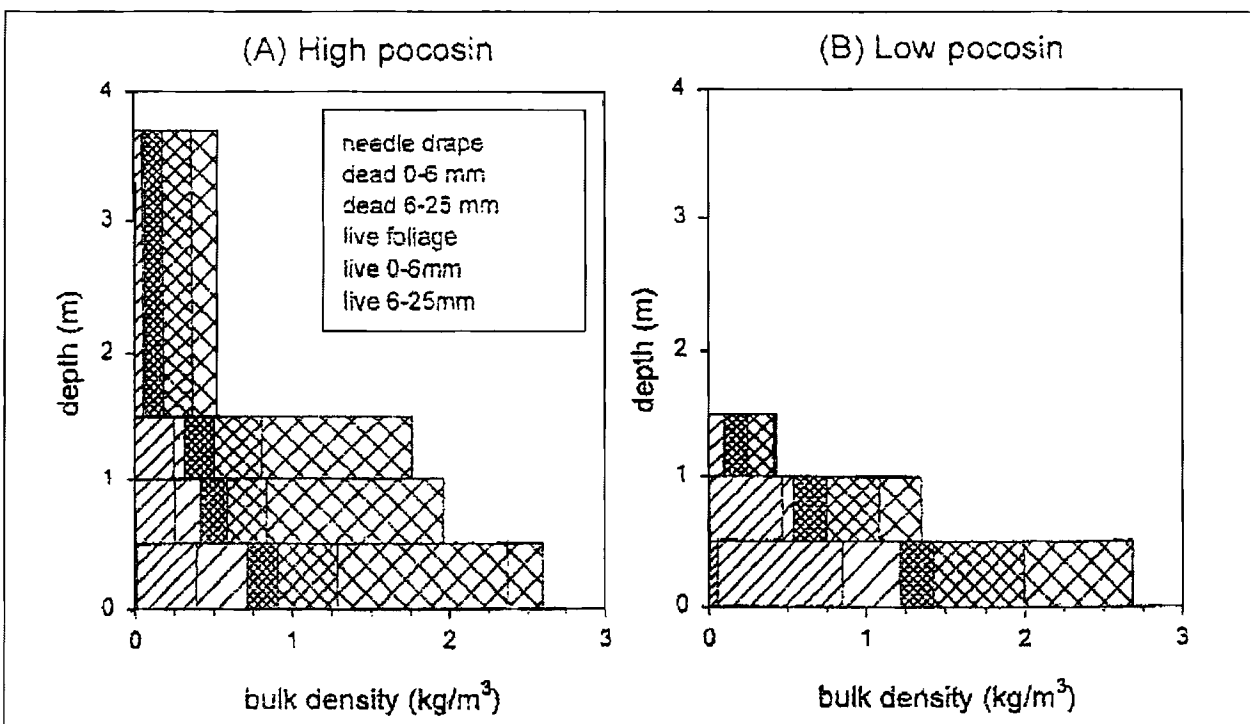


Fig.2.- Diagramas de densidad aparente, a nivel de la masa de matorral, para el alto pocosin de DCBR (a) y el bajo pocosin en el mismo sitio (b). El eje y indica la altura máxima en cualquiera de las parcelas de la masa; el eje x representa la densidad aparente media de la masa. La densidad aparente es baja en los estratos más altos debido a que no todas las parcelas tienen combustible en esos estratos, reduciéndose la densidad aparente media. El área dentro de las barras representa la carga de combustible media de la masa ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )

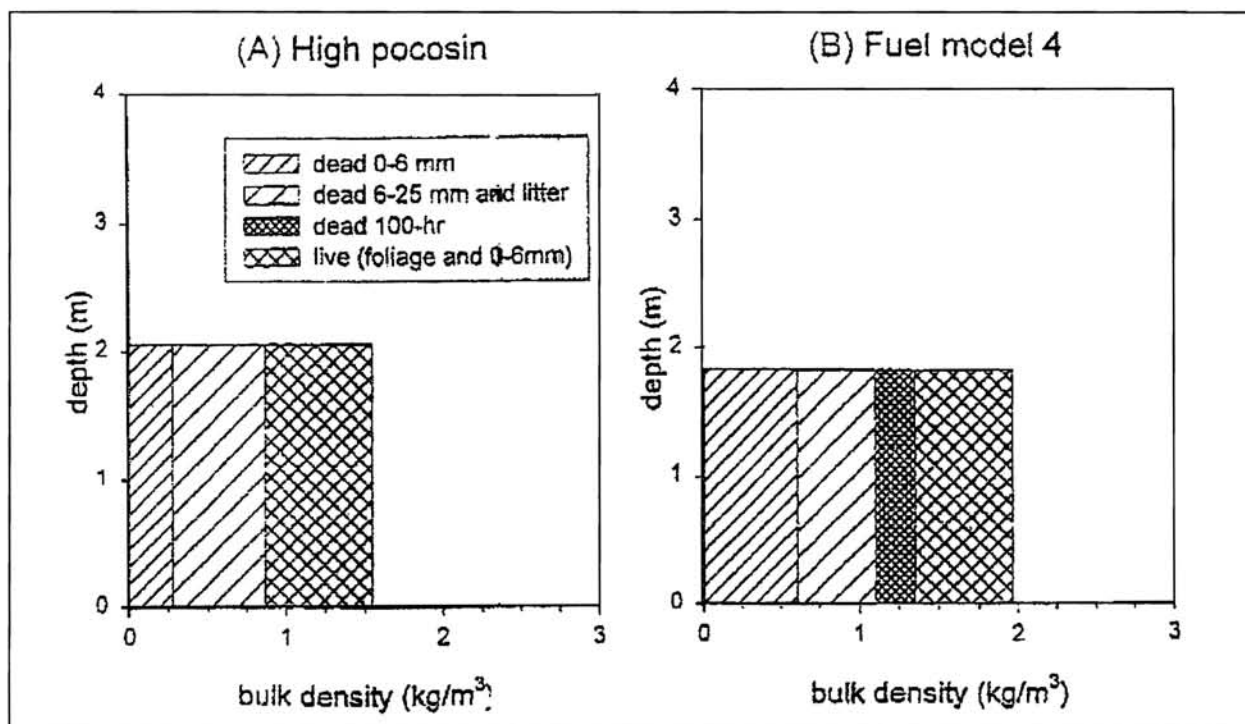


Fig.3.- La altura del estrato de combustible y la densidad aparente por clase y componente para el pocosin alto de Dare County Bomb Range (a) comparado con el modelo estándar 4 (b). Por coherencia con este último, las hojas y ramillas finas vivas (diámetro 0-6 mm) se han combinado en una clase para la parcela del pocosin alto. La hojarasca del pocosin alto está tratada como un componente grueso, incluyéndose en la clase de combustible de 10 h

sentar el pocosin alto y el modelo FM 6 para el pocosin bajo. Comparado a el modelo FM

4, el pocosin de DCBR es un lecho de combustible ligeramente más alto, pero está

**Tabla 1.-** Cargas de combustible y ratios superficie/volumen por componentes y clases de tamaño para los modelos específicos de el pocosin alto y bajo así como los modelos estándar 4 y 6 de comportamiento del fuego. En los modelos de pocosin, la hojarasca fue incluida en la clase de 10 h. El valor de SAV es el promedio de esa variable, llamado también SAV característica.

Entradas		Pocosin alto		Modelo Combustible 4		Pocosin bajo		Modelo Combustible 6	
		carga t/ha	SAV <sup>1</sup> cm <sup>-1</sup>	carga t/ha	SAV <sup>1</sup> cm <sup>-1</sup>	carga t/ha	SAV <sup>1</sup> cm <sup>-1</sup>	carga t/ha	SAV <sup>1</sup> cm <sup>-1</sup>
Muerto	1h	9.4	66	11.2	66	13.7	66	3.4	57
	10h <sup>2</sup>	10.1	4	8.9	4	8.9	4	5.6	4
	100h	0.0	1	4.5	1	0.0	1	4.5	1
Vivo	hojas	11.2	49	11.2	49	10.7	49	N/A	
	ramillas	6.7	49			5.8	49	N/A	
<b>Total</b>		<b>37.4</b>	<b>55</b>	<b>35.8</b>	<b>57</b>	<b>39.2</b>	<b>57</b>	<b>13.4</b>	<b>51</b>

<sup>1</sup> Ratio superficie/volumen característico.

<sup>2</sup> El combustible de la hojarasca en el alto y bajo pocosin se incluyó en esta clase.

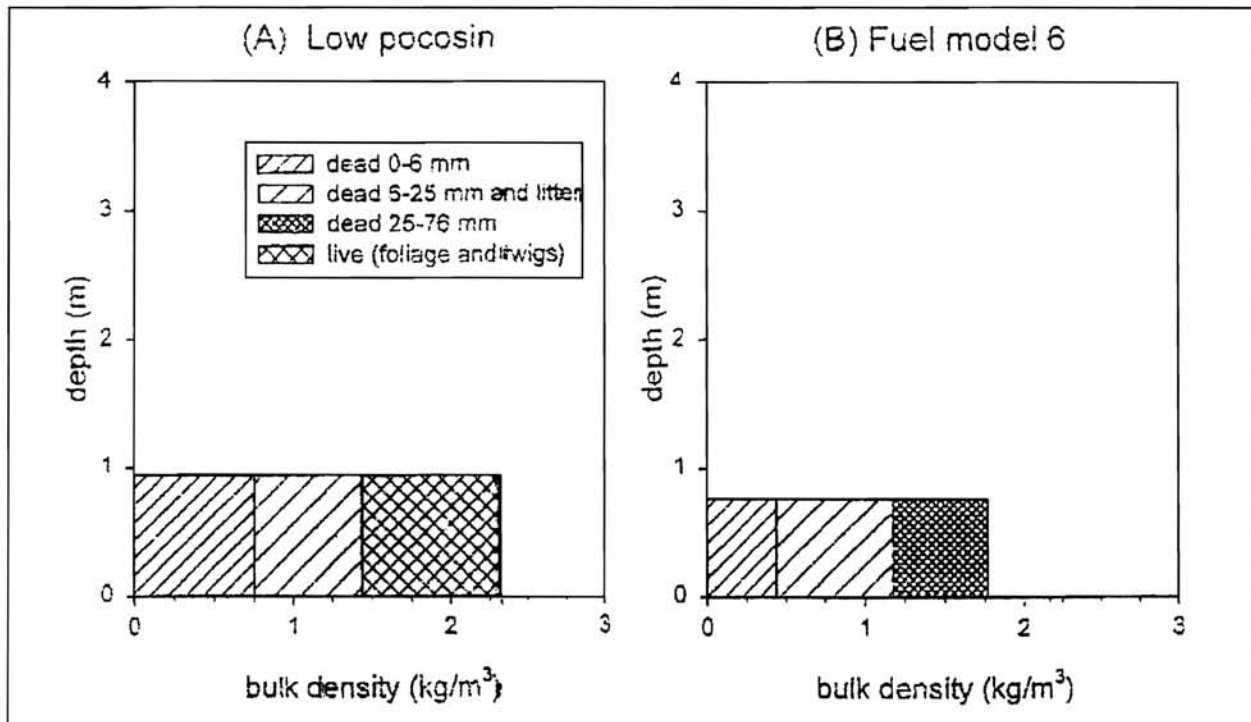


Fig.4.- Altura y densidad aparente del lecho de combustible por clases y componentes para el pocosin bajo (a) de Dare County Bomb Range, comparado con el modelo de combustible estándar 6 (b). Por coherencia con este último, las hojas y ramillas finas vivas (diámetro 0-6 mm) se han combinado en una clase para la parcela de pocosin bajo. La hojarasca ha sido tratada como en el pocosin alto

Tabla 2.- Parámetros de combustible adicionales para los modelos de pocosin alto y bajo, así como los modelos de comportamiento 4 y 6. Para los modelos específicos, la altura corresponde a la media de 10 parcelas, mientras que la humedad de extinción y el poder calorífico son primeras aproximaciones basadas en la experiencia.

Variable	Pocosin Alto	Modelo de Combustible 4	Pocosin Bajo	Modelo de Combustible 6
Altura (cm)	204.3 <sup>1</sup>	183	94.5 <sup>1</sup>	76.2
Humedad de extinción (%)	30	20	30	25
Poder calorífico (kJ.kg <sup>-1</sup> )	20934	18608	20934	18608

<sup>1</sup> Media de 10 parcelas

empaquetado menos apretadamente (si, como ocurre en los modelos estándar, los combustibles más gruesos no se consideran) y tiene una carga similar de combustibles que pueden potencialmente conducir el fuego (fig. 3). El pocosin alto de DCBR tiene menos combustible fino que el FM 4 y ningún combustible vivo o muerto mayor de 25 mm de diámetro.

En los modelos de combustible subsiguientes construidos a partir de estos datos (Tabla 1, fig. 3) la carga de hojarasca (2 t / acre ≈ 4,5 t / ha) se incluyó como combustibles muertos de 10 h de tiempo de retardo en vez de 1h como podría hacerse, basado en la relación superficie/volumen (SAV) de las partículas individuales de hojarasca. Si la carga de hojarasca se incluyera como combustible de 1 h,

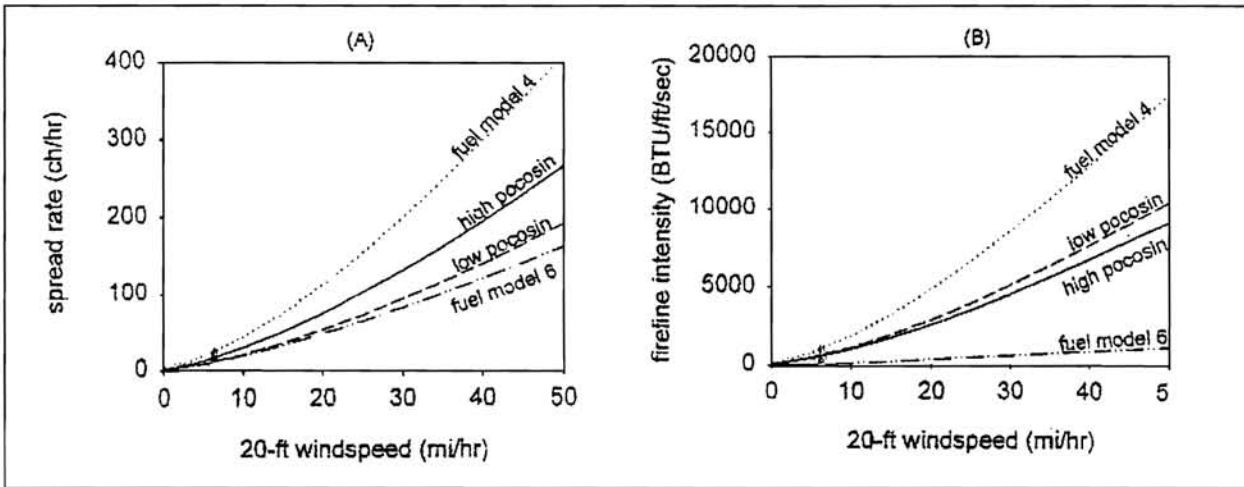


Fig.5.- Velocidad de propagación predicha (a) e intensidad lineal del fuego (b) para el pocosin alto y bajo de Dare County Bomb Range, modelos estándar 4 y 6 para un rango de velocidades de viento (a 6 m). Los valores de entrada se muestran en las tablas 1-3

**Tabla 3.- Características del sitio y humedades de combustible representando las condiciones típicas de incendios en la vegetación de pocosin**

Parámetro de entrada			Valor
Humedad del combustible (%)	Muerto	1h	10
		10h	15
		100h	20
	Vivo	follaje	120
		ramillas	120
Factor de reducción del viento			0.4
Pendiente (%)			0

similares pueden también ser útiles para examinar la estructura de los combustibles de copa de las coníferas para determinar mejor las características de ese estrato con vistas al modelado del comportamiento del fuego de copas. Los modelos preliminares de combustible para el pocosin alto y bajo en el lugar estudiado (DCBR) parecen ser razonables puntos de partida para futuros refinamientos. El comportamiento del fuego que ellos predicen cae dentro de los predichos por los modelos 4 y 6, que son los modelos estándar generalmente usados en los pocosin con las condiciones de humedad de los combustibles encontrados típicamente durante los incendios en esos matorrales.

estimas de los parámetros de modelos de combustible de un complejo de matorral relativamente uniforme. La técnica también suministra información sobre la distribución vertical dentro del complejo de combustible. Aunque el modelo de Rothermel no puede usar esta información, otros modelos de fuego actualmente en desarrollo pueden usar esta información de la distribución vertical del combustible. El examen del chaparral y otros complejos de combustibles vivos, de esta misma forma, puede darnos un conocimiento más profundo sobre su estructura y composición que sea de utilidad. Métodos

**Agradecimientos**

Damos las gracias a Bob Vihnanek y su grupo del Pacific Northwest Research Station por su ayuda en la recogida de combustible en el campo y su clasificación posterior. Apreciamos el apoyo logístico de Tom Crews del Refugio Nacional de Vida Silvestre del Río Alligator, James Cherry del Croatan National Forest Scott Sonith del Dare County Bombing Range. Esta investigación fue apoyada en parte con fondos de la Rocky Mountain Reserach Station, Forest Service, US Department of Agriculture y por

el modelo de fuego asumiría que esta carga tiene que estar regularmente distribuída en todo el lecho de combustible, dando lugar a un aumento del SAV característico, conduciendo a una sobre predicción de la velocidad de propagación. Dado que la hojarasca es bastante compacta en relación al resto del lecho de combustible se optó por tratar como combustible grueso de hecho, con una SAV relativamente baja. La hojarasca como tal, no tiene un efecto significativo sobre las velocidades de propagación predichas. En los combustibles de pocosin, las características de la hojarasca determinan si el fuego será capaz de propagarse y probablemente tienen poca influencia sobre el comportamiento final del fuego.

De igual forma comparamos el bajo pocosin con el modelo FM 6 (fig4). Al igual que el pocosin alto, el pocosin bajo no tiene componentes de 100h, sólo combustibles vivos y muertos menores de 25 mm de diámetro. El modelo 6 tiene una carga significativa de combustible de 100 h de tiempo de retardo, pero ningún combustible vivo (normalmente representa matorrales durmientes y restos de corta de frondosas). El pocosin bajo es un lecho de combustible más alto y más compacto que el FM 6; en consecuencia, también tiene una carga de combustible más alta.

Se usaron los datos de los inventarios para desarrollar primeras aproximaciones de modelos de combustible del pocosin alto y bajo en el sitio DCBR. Estos modelos preliminares están basados en las cargas y alturas medidas en campo, con asunciones amplias relativas a otros valores del modelo de combustible. Estos modelos tienen como objetivo la comparación con los estándar y la calibración futura con fuegos reales. Los modelos no están todavía disponibles para uso operativo.

Las características del modelo de combustible de los modelos estándar y de los modelos específicos fueron comparados (Tabla 1) puesto que eran valores para otros inputs que se necesitan para usar el modelo de propagación del fuego de ROTHERMEL (1972) (Tablas 2 y 3). Los valores de la velocidad de propagación y la intensidad lineal del fuego fueron comparados con relación a los valores de la

velocidad del viento a 6 m de un rango.

Los técnicos de incendios han observado que el modelo 4 no predice adecuadamente la velocidad de propagación en los combustibles del pocosin. Cuando las humedades de los combustibles muertos están entre el 15-20%, como a menudo ocurre durante las condiciones de incendios y fuego prescrito, el modelo 4 subestima la velocidad de propagación real. Esto se debe a la relativamente baja humedad de extinción en el modelo 4 (20%) en relación a las típicas condiciones de quema del pocosin. A humedades de combustible más bajas el modelo 4 puede sobreestimar la velocidad de propagación debido a la abundancia de combustible fino muerto en el modelo.

El modelo de pocosin alto de DCBR predice velocidades de propagación más bajas que el 4 a las humedades de combustible encontradas a menudo en los incendios en pocosin (tabla 3). El modelo también predice velocidades de propagación ligeramente más bajas para el pocosin bajo que el alto a pesar de una carga ligeramente más alta en el pocosin bajo. Esto es debido a un ratio de empaquetamiento más bajo (densidad aparente) en el pocosin alto que conduce a velocidades de propagación más altas, especialmente bajo condiciones ventosas. El modelo de Rothermel predice que la velocidad de propagación para el modelo 6 será más baja que en los otros modelos.

Similar a la velocidad de propagación, las intensidades más altas se presentan en el modelo 4 (fig.5). El pocosin alto tiene intensidades más bajas que el pocosin alto., aunque sus velocidades de propagación fueron más altas. Esto es porque el modelo de pocosin bajo tiene un calor por unidad de área mayor, debido principalmente a su ligeramente más alta carga y mayor SAV (combustibles más finos). La intensidad para el modelo 6 es bastante baja comparada con los otros modelos.

## DISCUSIÓN

Los procedimientos de inventario de combustible usados se diseñaron para procurar

la Seymour Johnson Air Force Base, U.S. Air Force. U.S. Department of Defense.

## BIBLIOGRAFÍA

ANDREWS, P. L. 1986. BEHAVE: *Fire behavior prediction and fuel modeling system C BURN Subsystem*, Part 1. Gen. Tech. Rep. INT-194. Ogden, UT: Intermountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 130 p.

BLACKMARR, W. H.; FLANNER, W. B. 1975. *Moisture variation in selected pocosin shrubs of eastern North Carolina*. Res. Pap. SE-124. Asheville, NC: Southeastern Forest Experiment Station, Forest Service, U. S. Department of Agriculture; 10 p.

CONARD, S. G.; REGELBRUGGE, J. C. 1994. *On estimating fuel characteristics in California chaparral*. In: proceedings of the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology; 1993, October 26-28; Jekyll Island, GA. Bethesda, MD: Society of American Foresters Publication 94-02; 120-129.

COUNTRYMAN, C. M.; PHILPOT, C. W. 1970. *Physical characteristics of chamise as a wildland fuel*. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S.

Department of Agriculture; 16 p.

PAYSEN, T.E.; COHEN, J. D. 1990. Chamise chaparral dead fraction is not reliably predicted by age. *Western Journal of Applied Forestry* 5(4): 127-131.

ROTHERMEL, R.C.; PHILPOT, C.W. 1973. Predicting changes in chaparral flammability. *Journal of Forestry* 71(1): 640-643.

WADE, D. D.; WARD, D. D. 1973. *An analysis of the Air Force Bomb Range Fire*. Asheville, NC: Southeast Forest Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 38 p.

WAKIMOTO, R. H. 1977. *Chaparral growth and fuel assessment in southern California*. In: Symposium on Environmental Consequences of Fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems; 1977, August 1-5; Palo Alto, CA. Gen. Tech. Rep. WO-3. Washington, DC: Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 412-418.

WENDEL, G.W.; STOREY, T.G.; BYRAM, G.M. 1962. *Forest fuels on organic and associated soils in the coastal plain of North Carolina*. Station Paper 144. Asheville, NC: Southeastern Forest Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 46 p.