

TÉCNICAS PARA ESTABLECER PRESCRIPCIONES QUE MINIMICEN O REDUZCAN LA MORTALIDAD DEL ARBOLADO¹

Kevin C. Ryan

Intermountain Fire Sciences Lab. Apdo. 8089. MISSOULA, Montana 59807 USA.
fax 1- 406 - 3294877. e-mail: kryan/rmrs_missoula@fs.fed.us

INTRODUCCIÓN

La quema controlada se usa para modificar la composición de especies, reducir competencia, mejorar el hábitat de animales silvestres, y reducir el riesgo de incendios forestales catastróficos. Con el fin de alcanzar el objetivo de gestión es necesario desarrollar y establecer una prescripción de quema. La prescripción de quema define una serie de condiciones de los combustibles y meteorológicas, así como el patrón de ignición que producirá los efectos deseados. El resultado final de un tratamiento de quema está influenciado por las condiciones de antes y después de la quema, además de la quema en sí (Figura 1). El objetivo de esta presentación es contribuir al desarrollo de prescripciones de quema para obtener los resultados deseados.

Los árboles constan de tres órganos altamente integrados: la copa, las raíces y el tallo

o tronco (Figura 2). Estos órganos tienen diferentes funciones fisiológicas y propiedades morfológicas que se deben considerar en la quema prescrita. Primero está la copa. Para la prescripción definiré la copa incluyendo el follaje, yemas y el ramaje. La copa es el órgano de asimilación de recursos que produce carbohidratos y es la fuente de toda la energía que satisface las demandas del árbol. En segundo lugar, están las raíces que proveen la mayor parte de las materias primas (agua y nutrientes). Para la quema prescrita, las raíces incluyen toda la rizosfera que a su vez comprende las raíces gruesas de almacenamiento y soporte estructural, las raíces finas de "alimentación" y las micorrizas asociadas. En tercer lugar, están el xilema y floema del tronco que transportan materias primas desde las raíces a la copa, y carbohidratos de la copa hacia las raíces. El tronco sirve también como órgano de almacenamiento menor. Bajo condiciones normales el tallo incrementa su volumen cada año, si bien, no tanto como nos gustaría. Es interesante notar que para un árbol es preferible tener crecimiento en copa y raíces nuevas en lugar de crecimiento en diámetro del tronco. La única distribución de carbohidratos que es de menor prioridad es la producción de sustancias químicas defensivas. De ese modo, la gestión maderable depende de algo que tiene fisiológicamente una prioridad relativamente baja para la distribución de carbohidratos del árbol.

¹ Esta conferencia está basada en la experiencia que el autor ha obtenido a través de quemas en combustibles naturales y en plantaciones de coníferas, principalmente en el Oeste de los U.S.A. Actualmente la quema prescrita es tanto un arte como una ciencia. En Norteamérica tenemos una expresión llamada regla Aproximada ("Rule of thumb"). Esa regla es más una estimación basada en la experiencia que en un hecho asociado. Se presentaran un número de reglas de ese tipo con objeto de servir de guía.

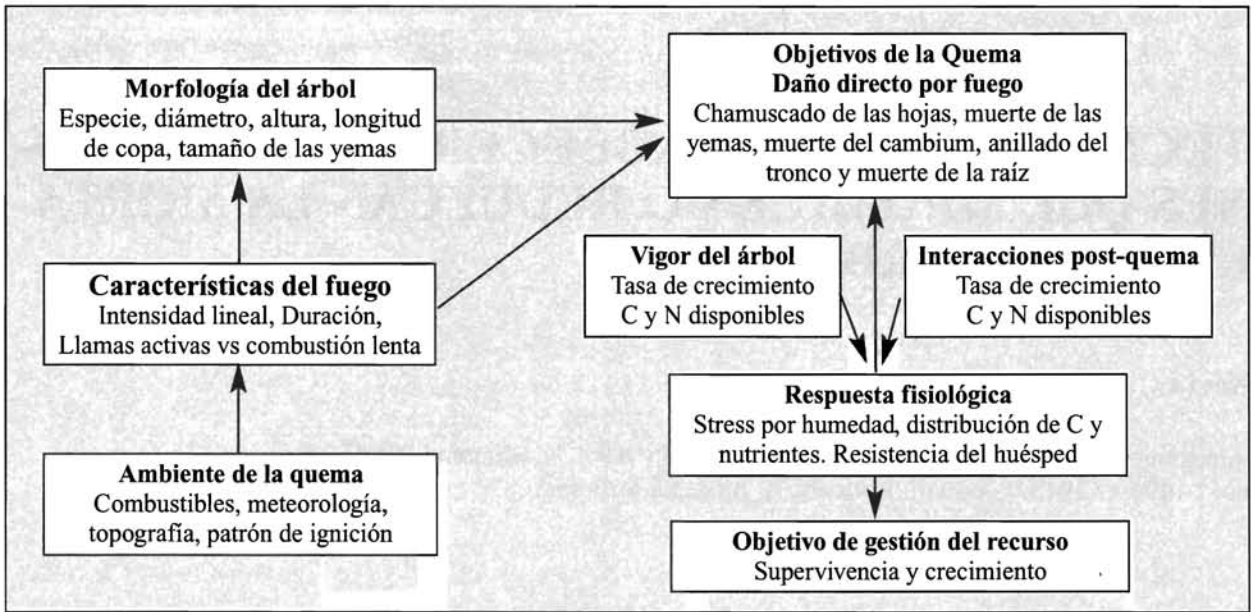


Figura 1. Factores a considerar al traducir un objetivo de gestión de recursos a un objetivo de prescripción de quema

Es importante considerar esto al quemar porque, si la copa o las raíces sufren daños significativos, el crecimiento del tallo

(crecimiento radial o basal) se verá afectado. Habrá también al menos temporalmente, una reducción en la capacidad del árbol

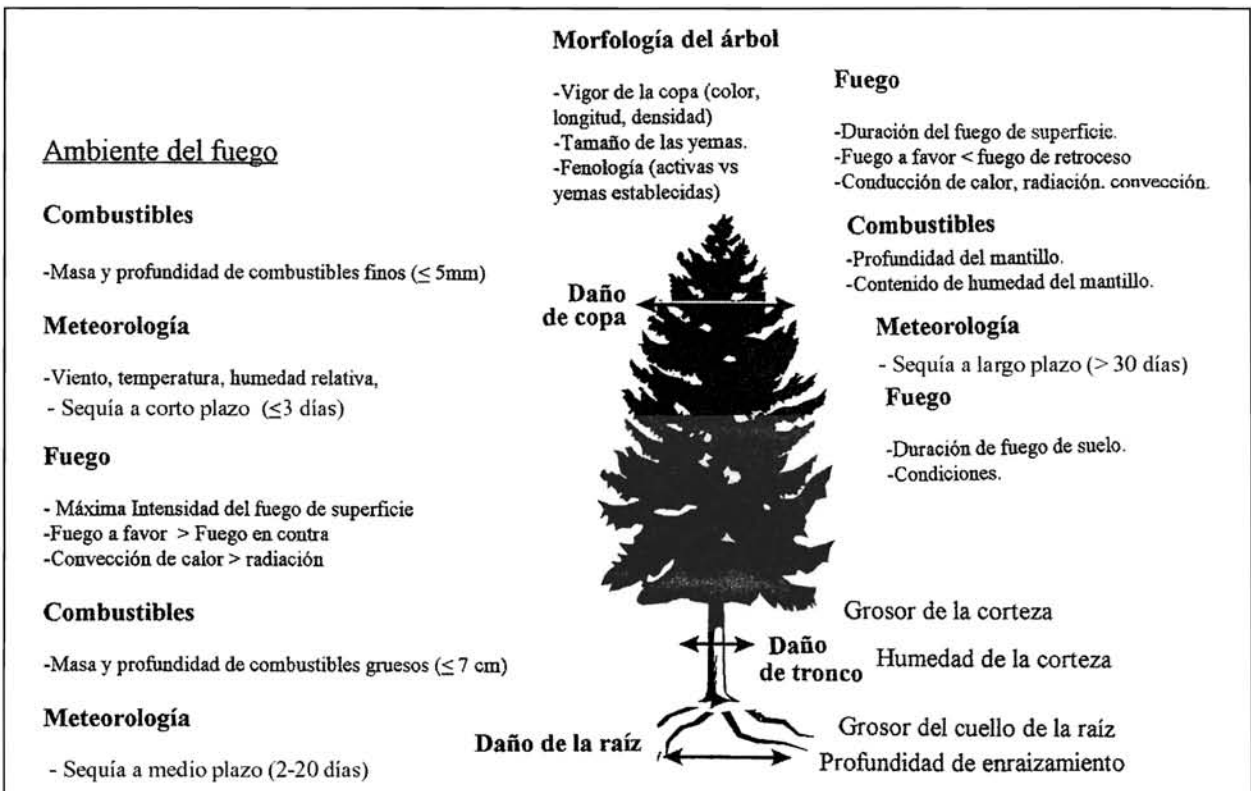


Figura 2. Representación estilizada de un árbol indicando los factores de combustibles y clima asociados con daños a la copa, tronco y raíz

para defenderse de insectos y enfermedades.

Un árbol vigoroso y en crecimiento requiere que los tres órganos se encuentren funcionando y saludables. Diferentes aspectos de las condiciones de combustibles y comportamiento del fuego están asociados con daños provocados a cada uno de los componentes del árbol por el fuego.

Por ejemplo, el daño a la copa está causado casi completamente por calor convectivo (gases calientes encima del fuego). La cantidad de calor recibido depende principalmente de la cantidad y contenido de humedad de los combustibles finos y de cuán rápidamente estos se inflaman. El daño a las raíces está determinado por la cantidad de calor transmitido por conducción dentro del suelo, aunque la profundidad de las raíces también debe ser considerada. La cantidad de calor que se conduce bajo suelo está gobernada principalmente por la cantidad de mantillo (en fermentación y humus) consumido durante la quema y por las propiedades del suelo. El daño al tronco es un complejo proceso que involucra transmisión de calor por radiación, conducción y convección. Los factores más importantes que determinan el nivel de daño al tronco son el grosor de la corteza y la duración de la quema de los combustibles superficiales.

RESISTENCIA A DAÑOS POR FUEGO

Los tejidos vivos de las plantas superiores mueren cuando se ven expuestos a calor excesivo. El tiempo que los tejidos pueden sobrevivir a las altas temperaturas depende de: 1) la temperatura inicial del tejido (es decir, temperatura inicial del aire o suelo); 2) la cantidad de calor aportado por el fuego (de la que se conoce muy poco pero depende de la intensidad y duración del fuego); 3) el grado de aislamiento que tiene el tejido (por ejemplo, por la corteza y/o el suelo), y 4) la capacidad de calor específica del tejido, que depende principalmente de su contenido de agua. Aproximadamente, los tejidos de plantas superiores sobreviven 1 hora a 50°C, 1 minuto a 60°C, y 1 segundo a 70°C.

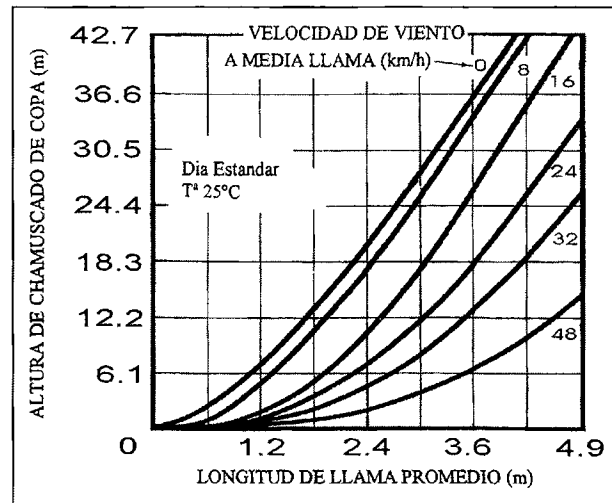


Figura 3. Modelo chamuscado de copa de Van Wagner (1973) adaptado de Albini (1976)

Daño de copa:

El follaje es relativamente pequeño y con aislamiento deficiente; por tanto, es relativamente fácil matarlo. Las yemas son un poco más resistentes al calor, en particular si son grandes (por ejemplo, pino ponderosa) y si las escamas de la yema están formadas. El cambium de las ramas es relativamente resistente al calor. Actualmente la mejor técnica disponible para estimar la cantidad de follaje que morirá en un fuego está basada en el modelo de altura de chamuscado de VAN WAGNER, 1973. (Figura 3). La Figura 3 puede emplearse para encontrar la altura de chamuscado asociada a una longitud de llama en particular, y viceversa, dado un día estándar de 25°C y una velocidad de viento a media llama observada o predicha. El sofado de la copa también depende de la temperatura del aire. Temperaturas más bajas producen alturas menores de chamuscado. Por ejemplo, a 15°C la altura de chamuscado está al 75% de la prevista en la figura 3, en tanto que a 35°C será de un 140%. Una variación de este modelo se presenta también en REINHARDT & RYAN (1988). Si el principal problema con la quema prescrita parece ser la altura de chamuscado, se debe usar la Figura 3 para determinar como ajustar longitudes de llamas y velocidad de viento para producir el nivel deseado de daño.

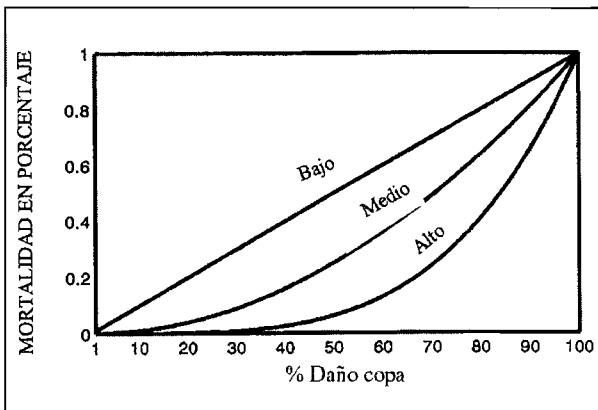


Figura 4. Porcentaje de mortalidad para coníferas en función del daño a la copa y vigor

El chamuscado de la copa depende principalmente de la velocidad a la cual los combustibles finos se inflaman y queman. Los combustibles más importantes a considerar cuando se evalúa el potencial de chamuscado de copa son el promedio en la masa arbolada de combustibles de <5 mm de diámetro y su contenido de humedad. Faltas de continuidad tales como aperturas en el dosel de las copas, zonas de cumbres, terrazas de media ladera, tienden a favorecer la ventilación del humo. La altura de chamuscado puede ser más alta en esas áreas. Puede ser necesario reducir la velocidad de ignición alrededor de los bordes de estas áreas.

El daño a copa es el tipo de daño por fuego más comúnmente observado. Es fácil de detectar (visualmente) y cuantificar. La mayor parte de la literatura acerca de mortalidad de árboles identifica el daño a la copa como el factor más significativo. En general se reconocen dos tipos de daño a la copa: chamuscado del follaje y muerte de copa. La muerte de copa involucra no sólo el chamuscado del follaje sino también la muerte de yemas y cambium de las ramas. La supervivencia del árbol con respecto al daño de la copa depende principalmente de la supervivencia de las yemas. La muerte de la copa es más seria que el sofamado del follaje porque el follaje no puede ser reemplazado si las yemas mueren.

La respuesta a la muerte de copa varía con el vigor de los árboles (Figura 4). Árboles

jóvenes y vigorosos sobreviven frecuentemente al chamuscado completo del follaje si las yemas sobreviven. Con altos niveles de muerte de copa, los árboles que sobreviven exhiben frecuentemente poco o nada de crecimiento radial después de la quema. El crecimiento disminuido puede durar varios años. Con niveles bajos de muerte de copa, el follaje remanente puede de hecho experimentar fotosíntesis elevada sin ninguna pérdida de crecimiento. La muerte de copa ocurre generalmente a menor altura del árbol que la del chamuscado del follaje, particularmente en árboles con yemas grandes o en dormancia. En tales casos, la altura de muerte de yemas puede ser 2 o 3 metros menor que la altura de chamuscado del follaje.

Regla aproximada:

Si tiene una especie con yemas terminales indefinidas (por ejemplo, cedro rojo occidental, Juniperus) o yemas pequeñas creciendo activamente (por ejemplo, picea, abeto, pino de Oregon), las yemas presentarán mortalidad a la misma altura que el follaje. Si se tiene una especie con yemas pequeñas ya formadas (es decir, la guía de crecimiento se ha detenido y se han formado las escamas de la yema) o si tiene una yema grande y protegida (por ejemplo, pino ponderosa, Pinus contorta, Pinus strobus, Alerce) creciendo activamente, las yemas presentarán mortalidad a una altura aproximadamente 10% menor que el follaje. Si se tiene una yema grande o protegida ya formada se puede esperar que la mortalidad se encuentre a una altura aproximadamente 20% menor que la de chamuscado del follaje.

Regla aproximada:

Como primera aproximación, si no ha ocurrido daño a la raíz o al tronco (o que no ocurrirá), la probabilidad de que un árbol de vigor promedio muera es aproximadamente igual al porcentaje al cuadrado del volumen de copa muerto.

$$(P_m = \text{frac. } CM^2).$$

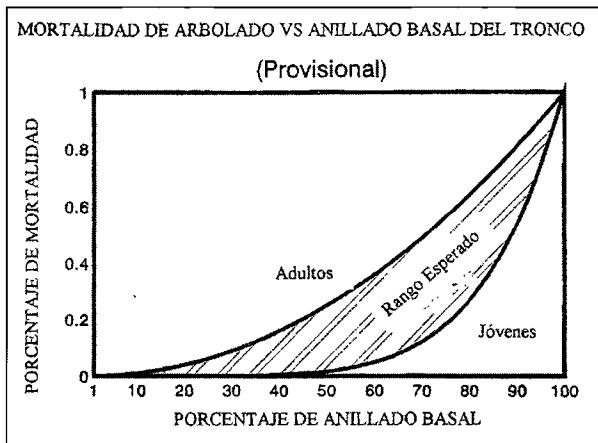


Figura 5. Porcentaje de mortalidad para coníferas en función del anillado basal del tronco y edad

Raíces:

La cantidad de daño a la raíz producido y sus efectos en la supervivencia y crecimiento no han sido cuantificados adecuadamente. Ha habido sólo un par de estudios piloto que han intentado cuantificar el daño causado por el fuego a raíces finas y gruesas en el suelo. Para la quema prescrita considero que las raíces incluyen el cuello de la raíz, es decir, el área a nivel del suelo donde el tronco principal se convierte en las raíces. El daño basal en esa zona es común en los incendios. Es relativamente fácil de cuantificar comparado con los daños más alejados del tronco. Basado en un número limitado de datos provenientes de estudios controlados en árboles jóvenes y en una abundante base de datos proveniente de árboles maduros quemados en incendios, parece que los árboles jóvenes pueden en proporción soportar más daño basal que los árboles maduros (Figura 5).

El daño basal puede ser causado por las llamas sobre combustibles superficiales, pero es más típicamente causado por la combustión lenta del mantillo. Mediciones de la combustión lenta de mantillo de coníferas en fuegos superficiales presentan temperaturas superiores a los 400°C. Estas temperaturas persisten hasta 30 horas pero la duración típica es de 3 a 6 horas. De este modo, la cantidad de mantillo y su contenido de humedad son los factores primarios a

considerar en las quemadas prescritas. En general, contenidos de humedad por encima del 120% minimizan la combustión del mantillo y deben también minimizar los daños a la raíz. Contenidos de humedad menores al 30% significan la combustión de la mayor parte del mantillo, haciendo mayor el daño potencial a la raíz. Entre estos porcentajes hay un rango de combustión intermedia del mantillo y de daño potencial a la raíz. El contenido de humedad del mantillo cambia lentamente. Los cambios diurnos en el contenido de humedad de los combustibles finos, o cambios en el patrón de ignición, no parecen afectar la combustión del mantillo y el daño potencial a la raíz, a menos que resulten en una quema irregular (en parches). Si los combustibles superficiales se encienden, el mantillo debajo suyo es posible que arda tan bien por la noche como durante el día. Un viento ligero puede mejorar en cierto grado la combustión del mantillo. Si las condiciones para la quema no son las adecuadas (estamos fuera de la prescripción) tendrá que esperar una substancial humidificación (si está muy seco) o desecación (si hay demasiada humedad para la prescripción) antes de poder afectar la combustión de mantillo y producir un daño potencial a la raíz.

Las coníferas en las primeras etapas de la sucesión generalmente son intolerantes a la sombra y prefieren un lecho mineral para las semillas. Estas especies tienden a ser de enraizamiento más profundo que las especies de etapas sucesionales tardías, que toleran sombra. Por ejemplo, secuoias, alerces, y pino ponderosa, regeneran naturalmente después del fuego y son generalmente de enraizamiento profundo. El pino de Oregon (abeto Douglas) y el pino contorta son de enraizamiento a profundidad moderada. Pino blanco y pino lambertiana tienen una profundidad de raíz intermedia. El abeto blanco y el "abeto grande" son de raíz moderadamente poco profunda. El Cedro rojo occidental, la cicuta occidental, la picea "engelmann" y "sitka", así como el abeto subalpino son especies de enraizamiento poco profundo. Independientemente del patrón inicial de enraizamiento la mayoría de las raíces finas

“alimentadoras” se encuentran en el mantillo y sobresalen varios centímetros del suelo mineral. Conforme el mantillo tenga mayor profundidad, más raíces se hallarán en las capas orgánicas del suelo. Estas son susceptibles de daño por una prescripción que dé lugar a una gran combustión del mantillo.

Al desarrollar una prescripción de quema se evalúa el daño potencial a la raíz observando la capa de mantillo justo alrededor de la base del árbol. Esta es usualmente más profunda y seca que el mantillo promedio del resto del sitio. Esto es porque la mayoría de la hojarasca de acículas y trozos de corteza caen cerca del árbol. La copa intercepta lluvia hasta que se satura. Entonces la lluvia cae debajo hasta la hojarasca. Como resultado la cantidad de lluvia recibida por el mantillo justo debajo del árbol es reducida. Usualmente tormentas de larga duración de 1 cm o más son necesarias para comenzar una humidificación significativa del mantillo acumulado bajo el árbol. Si el mantillo tiene mas de 8 cm. de profundidad y está mas seco que un 30%, un anillado basal (“basal girdling”) puede ser un problema para los árboles, exceptuando aquellos de corteza más gruesa.

Las raíces gruesas o grandes funcionan lo mismo como soporte estructural que como órganos de almacenamiento de carbohidratos. Son generalmente profundas en la mayoría de las especies pioneras y no es frecuente que mueran directamente por el fuego a menos que una considerable cantidad de mantillo sea consumido. Se deben evitar fuegos que causan fuerte carbonización del suelo a menos que se desee que ocurra daño a las raíces. En contraste, las raíces gruesas de especies en etapa sucesional tardía tienden a ser encontradas más cerca de la superficie. Estas pueden ser dañadas intensamente por los fuegos causando moderada carbonización del suelo.

Regla aproximada:

En árboles profundamente enraizados habrá poca mortalidad adicional debida a daños a la raíz a menos que el consumo de

mantillo esperado sea mayor que 8 cm. Es previsible que especies de raíz superficial sufran daño a la raíz si la prescripción implica más de 4 cm de consumo del mantillo.

Las raíces gruesas en árboles viejos están a veces enfermas y, si el fuego daña a las raíces superficiales más pequeñas, estos árboles pueden caer o morir.

Regla aproximada:

Si se sospecha que hay problemas de enfermedad de raíz en su sitio y se desea que los árboles sobrevivan, se debe usar una prescripción que minimice la combustión de mantillo. Si el sitio de la quema es un sistema de cortes sucesivos (shelterwood) o una unidad de árboles padre y el objetivo es maximizar la cama de suelo mineral entonces se sugiere que varios árboles más sean dejados para incrementar las probabilidades de que sobreviva un número adecuado de árboles.

En el Noroeste de Norteamérica las especies con raíces poco profundas tienden también a tener corteza delgada. No está claro si este patrón ocurre también en otras partes del mundo. Es consistente, sin embargo, esperar que especies que evolucionaron con incendios poco frecuentes no hayan invertido energía en producir cortezas gruesas resistentes al fuego, si era más probable que sufrieran un extenso daño a la raíz por un fuego superficial de combustión lenta. De manera que especies en etapas de sucesión tardías tienden a ser susceptibles tanto a daño a la raíz como al tronco. Como resultado, los árboles de enraizamiento poco profundo raramente sobreviven a fuegos superficiales con llamas de más de 50 cm de altura o aquellos que consumen mas que la hojarasca fresca (por ejemplo, carbonización ligera del suelo). La excepción a esto es cuando el fuego es irregular (en parches) y no quema uniformemente alrededor del árbol.

Tronco:

Para la quema prescrita consideramos que el tronco incluye el tallo principal por enci-

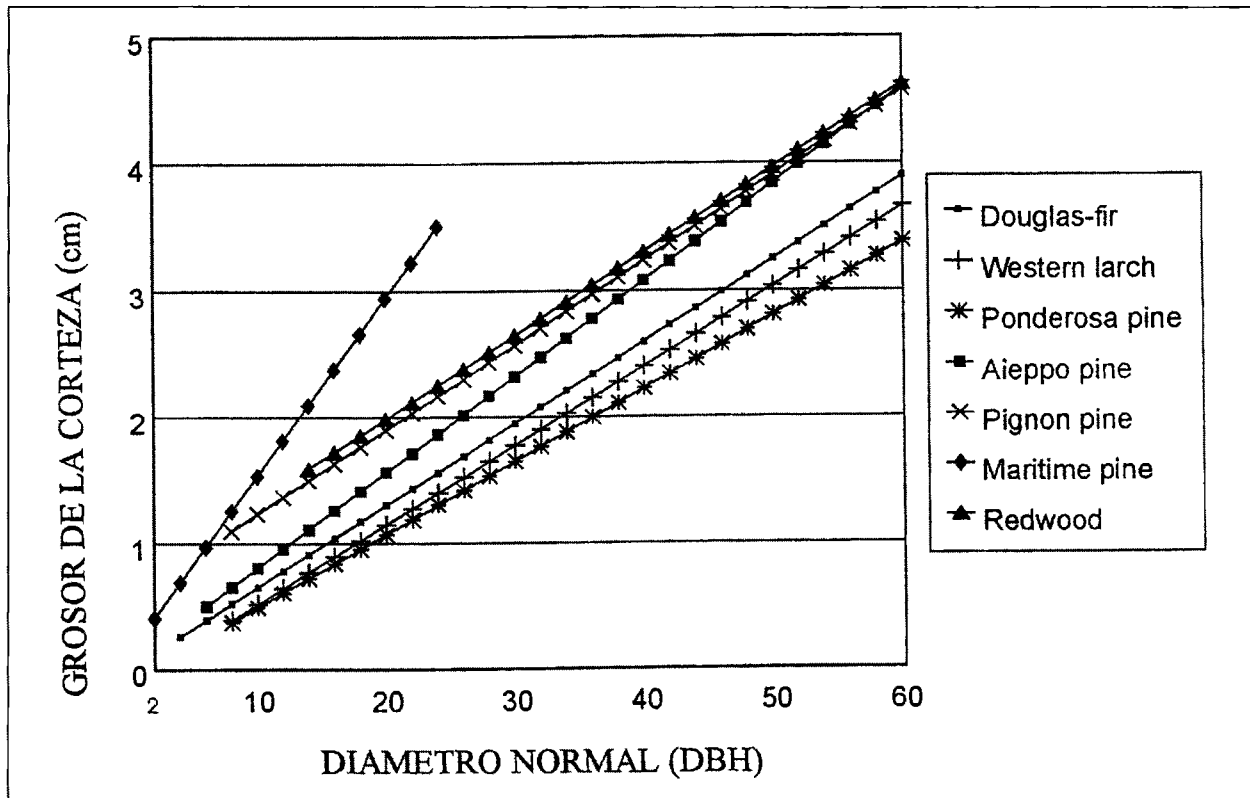


Figura 6. Variación del grosor de la corteza en función del diámetro de tronco para siete especies de coníferas (de RYAN & al. 1994a)

ma de la superficie del mantillo donde la principal fuente de calor viene de las llamas que consumen los combustibles superficiales. Los dos factores que son más importantes para determinar la probabilidad de que los árboles sufran daño al cambium son el grosor de la corteza y la duración del fuego. El grosor de la corteza se incrementa de forma aproximadamente lineal con respecto al diámetro del tronco y varía de una especie a otra (Figura 6). Aunque los factores que controlan la duración de la quema no están bien definidos, el tamaño de los combustibles, su disposición y contenido de humedad parecen ser lo más importante. Algunas estimaciones pueden ayudar a prever potenciales situaciones de combustibles que pueden conducir a daños al *cambium*. Se deben observar los combustibles alrededor del árbol a la distancia de un brazo. Estos son los que deben preocupar prioritariamente. Combustibles más distantes generalmente solo causan problemas cuando se concentran

en pilas o montones que pueden estar en combustión durante mucho tiempo. Si los combustibles tienen en su mayoría menos de 1 cm de diámetro, que la duración de quema será de cerca de 4 minutos. Si hay mucho combustible de 1 a 5 cm de diámetro será entre 10 y 12 minutos. Si hay suficientes combustibles entre 5 y 15 cms de diámetro para producir un fuego sostenido (por ejemplo, un buen fuego pequeño que caliente) la duración será entre 20 y 30 minutos. Combustibles más grandes es decir, ramas o troncos caídos, son un problema sólo cuando están apoyados contra el tronco o amontonados cerca del árbol.

Regla aproximada:

La duración de la quema que un árbol puede resistir es aproximadamente 3 veces el grosor al cuadrado de la corteza (es decir, tiempo en minutos = 3 x grosor de la corteza en cm al cuadrado).

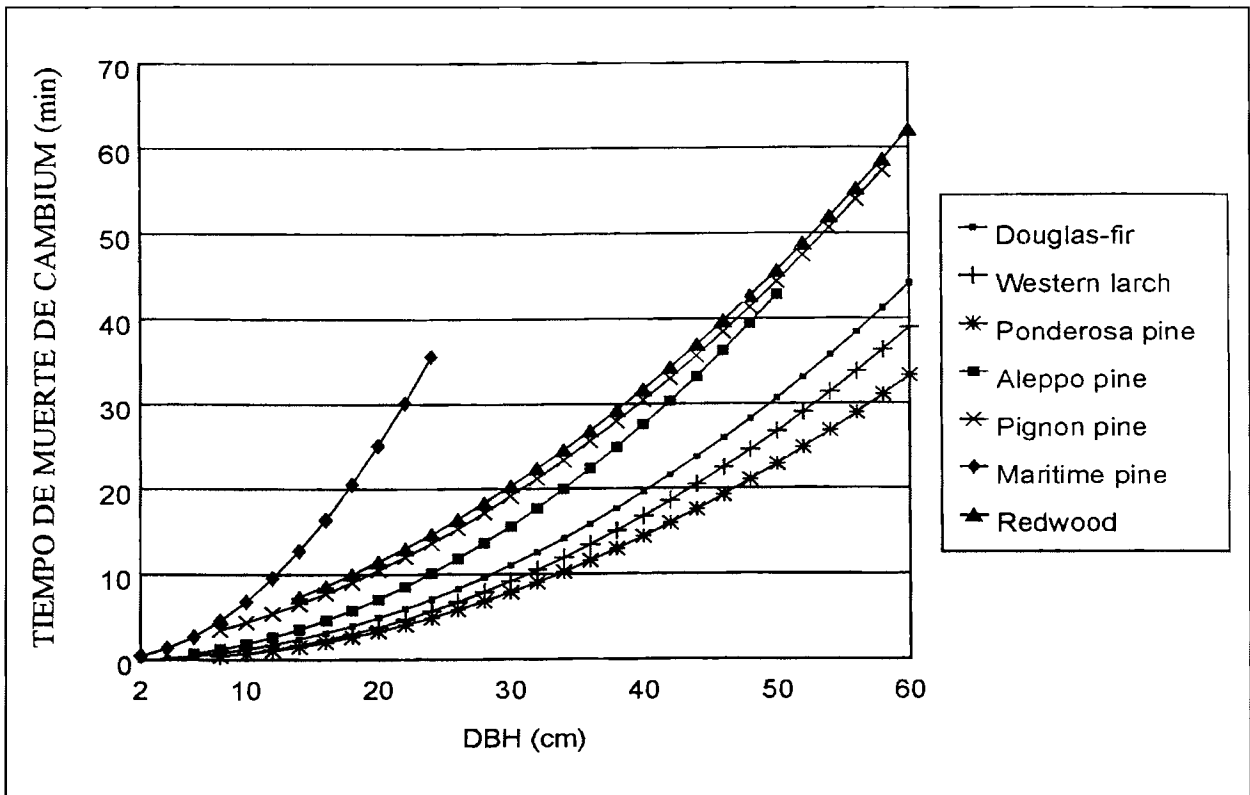


Figura 7. Variación del tiempo de calentamiento crítico en función del grosor de la corteza para siete especies de coníferas (de RYAN & al. 1994a)

En la Figura 7, si la duración del fuego está por encima del punto en la curva que representa una especie y su diámetro, es de esperar daño al cambium. En general: 1) árboles con grosor de corteza inferior a 5 mm son pobres candidatos a la supervivencia en quemas prescritas porque es difícil encontrar unas condiciones de combustibles y meteorológicas adecuadas para producir fuegos de tan corta duración; 2) *cambium* que se encuentre bajo corteza de grosor moderado (10 a 25 mm) es probable que sobreviva a fuegos ligeros superficiales, pero no fuegos moderados superficiales o fuegos de carbonización moderada del suelo (por ejemplo, donde la profundidad del mantillo sea mayor a 5 mm y más secos que un 30%); y 3) *cambium* debajo de una corteza con grosor mayor a 25 mm debe poder sobrevivir la mayoría de los fuegos de superficie. La principal fuente de daño al cambium en los árboles de mayor talla es la combustión lenta del mantillo, esto es la combustión con rescoldos, en fuegos de superficie. Como se

mencionó antes, el anillado basal puede significar un problema si el mantillo tiene más de 8 cm de profundidad y su contenido de humedad es menor del 30%. Si la muerte de la copa es menor a un 30% y los daños a la raíz son mínimos, los árboles frecuentemente sobreviven con cambium dañado en dos cuadrantes de la circunferencia del tronco a la altura de 1,30 m. Si la copa está muerta entre 30 y 60% los árboles a menudo sobreviven con el cambium muerto en alrededor de un cuadrante. La probabilidad de supervivencia es baja para cualquier árbol con el cambium muerto en más de la mitad de su circunferencia a la altura del pecho.

En una quema prescrita, se deben evaluar los combustibles alrededor del árbol. ¿Están los combustibles lo suficientemente secos para quemar? Si la cantidad de combustible alrededor del árbol es demasiada para que pueda sobrevivir, se deberá aceptar un mayor nivel de mortalidad, o cambiar la prescripción, o tomar medidas para proteger

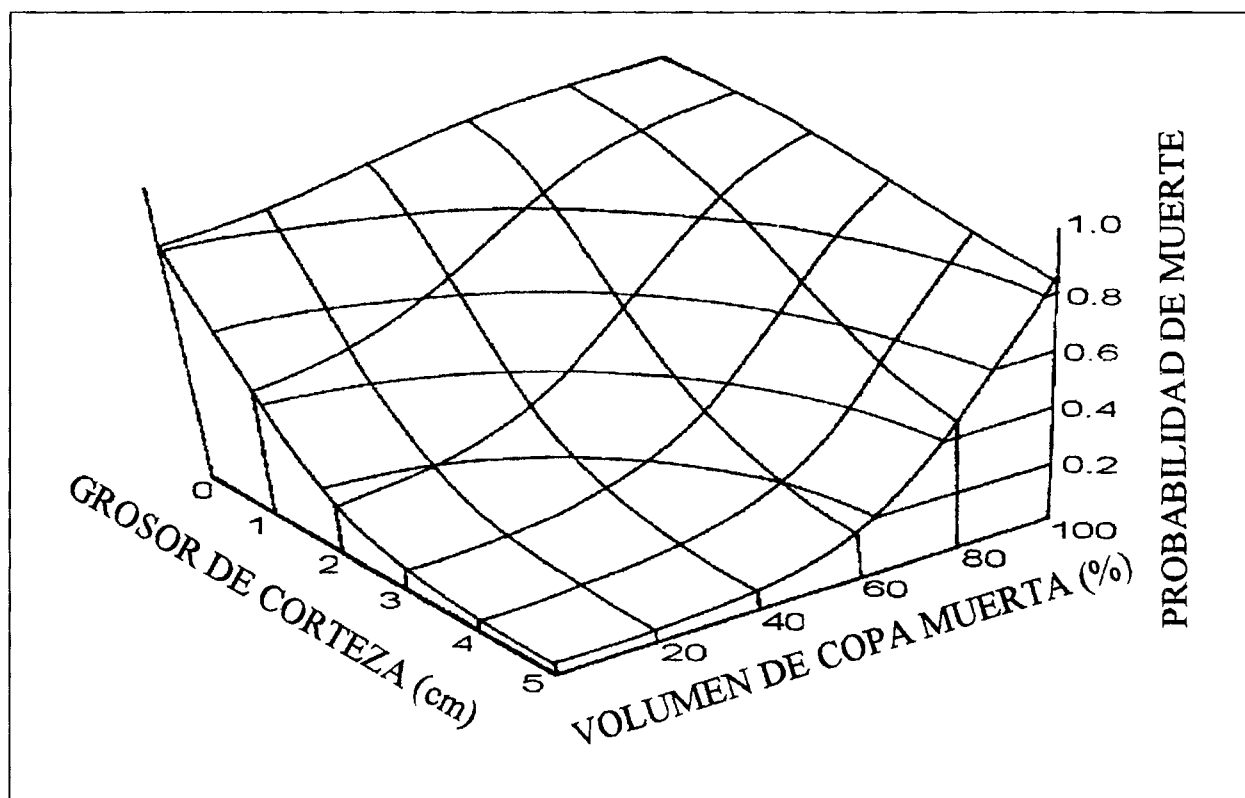


Figura 8. Probabilidad de mortalidad para siete especies de coníferas en función del volumen de copa muerto y el grosor de corteza, calculado a partir del diámetro normal del árbol (de RYAN & REINHARDT, 1988)

a los árboles. Cambiar la prescripción implica quemar cuando el mantillo y los combustibles de mayor talla estén más húmedos. Las medidas de protección suplementarias implican preparar los combustibles con algún tratamiento o dar aislamiento al árbol. Como ejemplos de tratamiento se incluyen: 1) humedecer los combustibles usando una manguera o aspersor; 2) tratar los combustibles aplicando retardantes de fuego en la superficie; 3) aplicar espumas; o 4) retirar combustibles. Los tratamientos con retardantes químicos del fuego no son efectivos contra grandes concentraciones de ramas y troncos caídos o contra una capa profunda y seca de mantillo. No se conoce aún el límite de utilidad de las espumas. Muchas nuevas espumas producidas recientemente han sido desarrolladas para extinguir el fuego pero no se ha evaluado su capacidad para proteger los árboles. Si hay grandes concentraciones de combustibles menores de 25 mm de diámetro, se debe quemar cuando esté más

húmedo a menos que sólo unos cuantos árboles requieran ser limpiados. Hay que retirar los combustibles de 25 mm a 75 mm de diámetro solo si existe un apilamiento de ellos. Retirar los combustibles grandes hasta una distancia al árbol del doble del diámetro del combustible (por ejemplo, retirar todas las ramas o troncos caídos de 25 cm de diámetros hasta una distancia al árbol de 50 cm). Es difícil decir hasta qué distancia debe limpiarse alrededor del árbol. Las consideraciones económicas dictan frecuentemente cuánta mitigación es posible. Usualmente 1 metro es suficiente pero depende de la cantidad de combustible y el grosor de la corteza. Cuanto más delgada sea la corteza y más pesado el combustible disponible, será necesario alejarle a mayor distancia del árbol. Cuando se limpian combustibles alrededor de árboles se distribuye el combustible lateralmente, nunca ladera arriba o abajo (o hacia el lado del viento).

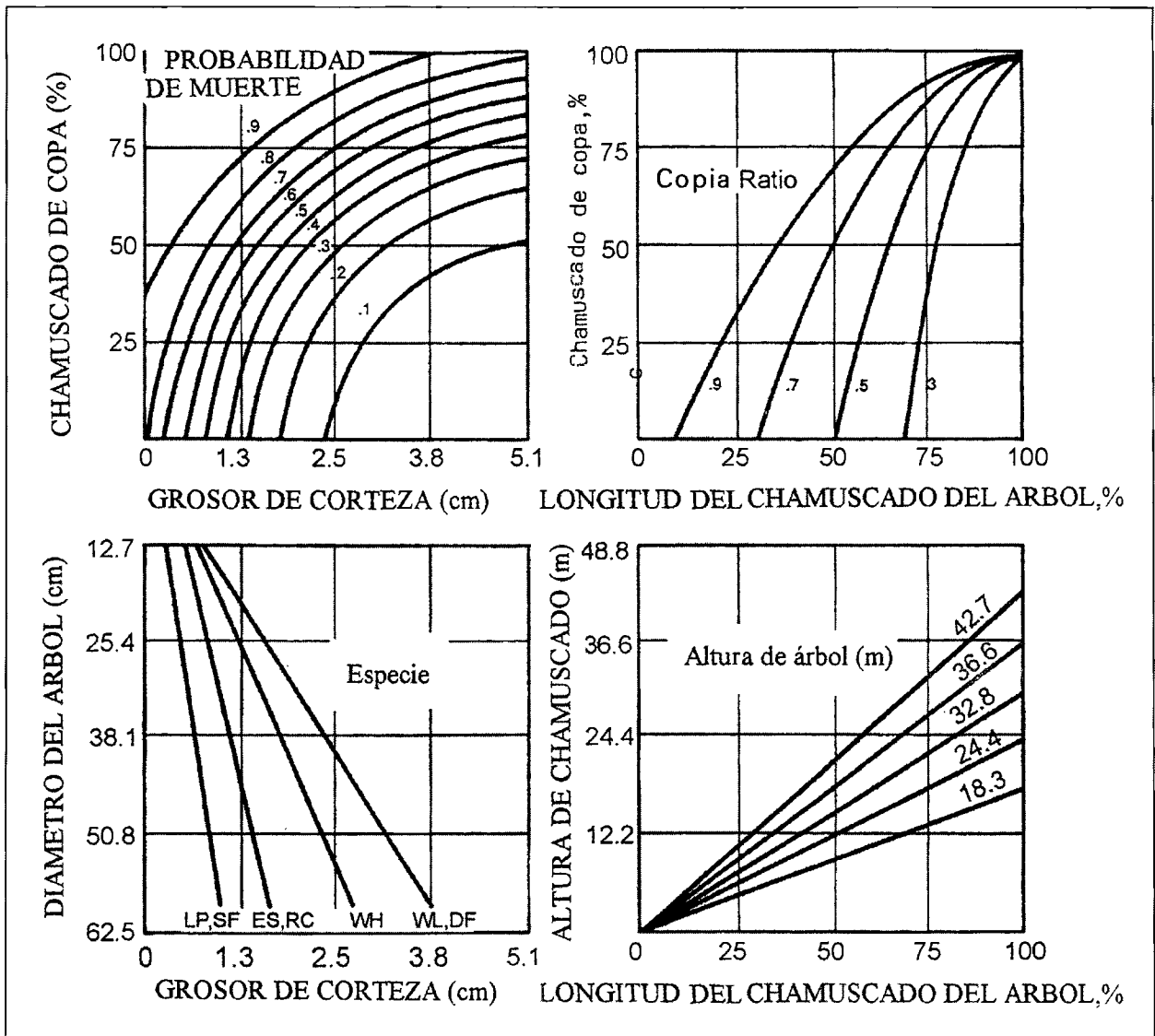


Figura 9. Nomograma para desarrollar parámetros de prescripción de quema para controlar la mortalidad del arbolado (de REINHARDT & RYAN 1988)

Regla aproximada:

No se debe quemar con combustibles pesados en más de un lado del árbol o cuando el mantillo tiene más de 8 cm de profundidad y menos del 30% de humedad.

ESTIMACIÓN DE LA MORTALIDAD DE ARBOLADO POR QUEMA PRESCRITA

La muerte del árbol ocurre con el excesivo daño a la copa, daño a la raíz, daño al tronco, ya sea individualmente o en combinación.

La Figura 8 ilustra que árboles con una corteza muy delgada tienen más probabilidades de morir en casi cualquier fuego que sea lo suficientemente intenso como para rodear su circunferencia. Además, todos los árboles tienen probabilidades de morir debido al sofocado excesivo de su copa, independientemente del grosor de su corteza. Esta figura indica que la muerte puede ser causada por dos distintos tipos de daño: anillado basal debido a una corteza delgada y, por lo tanto, resistencia disminuida, o excesivo daño a la copa causado por un fuego superficial de alta intensidad.

El nomograma (Figura 9) ilustra cómo la morfología del árbol está relacionada con su respuesta al fuego. El grosor de la corteza, la altura del árbol, y el radio de copa son todos factores que determinan la susceptibilidad a daño por fuego y mortalidad. El nomograma puede ser usado en el desarrollo de la prescripción. Una explicación para el uso de este nomograma se encuentra en Reinhardt y Ryan (1988). Las ecuaciones para el nomograma también están incluidas en la sección de efectos del fuego del sistema de predicción de comportamiento del fuego BEHAVE (ANDREWS 1986). Aunque el modelo está basado en 7 coníferas del Noroeste de EEUU, puede ser usado como guía preliminar en el desarrollo de prescripciones para otras especies, si se conoce la relación entre el grosor de la corteza y el diámetro. Por ejemplo, la corteza del pino ponderosa sigue aproximadamente la línea del Alerce occidental y del Abeto Douglas. Este modelo ha sido usado exitosamente para el pino ponderosa aún cuando esta especie no estaba incluida en los datos originales.

En el caso de que, después de haber seguido el nomograma, el nivel de mortalidad sea inaceptable, entonces hay tres opciones: Primero, modificar la cantidad de combustible disponible, ya sea cambiando la cantidad total de combustible (por ejemplo, modificando los estándares de corta o de utilización), o cambiando el contenido de humedad de uno o más elementos del complejo de combustibles. Segundo, cambiar las condiciones meteorológicas prescritas. Además de los efectos debidos a la humedad de los combustibles, cambiar la temperatura del aire y la velocidad del viento modificará los efectos del fuego, particularmente la carbonización de copa. Cambios diurnos en temperatura y viento no es probable que tengan grandes efectos en daños al tronco o a las raíces, y la resultante disminución en crecimiento o mortalidad. Tercero, puede modificar el patrón de ignición ya sea para incrementar o disminuir la cantidad de combustible en cualquier momento de la quema. Por ejemplo, varias franjas que se encienden cercanas unas de otras en tiempo y espacio, resultan en una mayor intensidad

de fuego superficial. Esto incrementa el chamuscado de copa y puede provocar daños al tronco. Fuegos contra viento o de ladera ("Backing fire") dan lugar a una menor intensidad de fuego superficial pero una mayor duración del mismo. Esto puede provocar menos chamuscado de copa pero mayores daños al tronco. Cuando se usa la quema a favor del viento o ladera por fajas, la intensidad puede reducirse sin afectar la duración, encendiendo una franja a la vez, y haciendo que el ancho de la franja de quema sea menor que la máxima profundidad de zona de llama (es decir, si una quema libre a favor del viento o ladera tiene, o está previsto que tenga, una profundidad de zona de llamas de 4 m, encendiéndose separadas a una distancia menor de 4 m resultarán en una menor longitud de llama). Los fuegos de flanco producen una variada intensidad lineal de fuego. Inicialmente, la intensidad es relativamente baja pero se incrementa conforme las franjas convergen. Esto puede ser útil para incrementar la diversidad en áreas quemadas.

UNA NOTA FINAL

El conocimiento acerca de las interacciones entre combustibles, comportamiento del fuego y los daños por fuego, nos ayudan a controlar los daños y por lo tanto, afectan la supervivencia y crecimiento de los árboles. Las prescripciones de quema pueden ser desarrolladas para hacer menor o favorecer el tipo y grado de daño por fuego. Es importante percatarse, sin embargo, que la mayoría de las quemas prescritas causarán al menos daños menores y reducciones de vigor temporales en los árboles. Una de las premisas de la quema prescrita es que la mejora de las condiciones ecológicas y la reducción del riesgo de incendios destructivos de la masa, justifican la inversión en quemas y pérdidas menores de crecimiento. La aplicación de quemas prescritas bajo bosques es un arte. Podemos convertirnos en mejores artistas estudiando cuidadosamente el trabajo de grandes artistas y practicando regularmente nuestro arte, pero no seremos nunca artistas perfectos. Buena suerte.

BIBLIOGRAFÍA

ALBINI, FRANK A.; 1976. *Estimating wildfire behaviour and effects*. Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, UT:US. Departement of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 p.

ANDREWS, PATRICIA L.; 1986. BEHAVE: *Fire behaviour prediction and fuel modeling system BURN Subsystem part 1*. PMS 439-2/NFES 0276. Boise, ID: National Interagency Fire Center, Great Basin Cache Supply Office. 130 p.

REINHARDT, ELIZABETH D. & RYAN, KEVIN C.; 1988. *How to estimate tree mortality resulting from underburning*. Washington, DC. Fire Management Notes. 49(4):30-36.

RYAN, KEVIN C.; 1990. *Predicting prescribed fire effects on trees interior West*. In: *The Art and Science of Fire Management: Proceedings, First Interior West Fire Council Annual Meeting and Workshop*; 1998 October 24-27; Kananaskis Village, Alberta. Information Report NOR-X-309. Edmonton, Alberta, Canada: Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry

Centre: 148-162.

RYAN, KEVIN C.; Reinhardt, Elizabeth D.; 1998. Predicting postfire mortality of seven western conifers. *Canadian Journal of Forest Research*.18:1291-1297.

RYAN, KEVIN C., RIGOLOT, ERIC & BOTELHO, HERMINIO; 1994a. *Fire response of Mediterranean vs. Western North American Conifers*. In : *Forester Together: Meeting Tomorrow's Challenges; Proceedings of Symposium*; 1993. November 7-10; Indianapolis, IN. Bethesda, MD: Society of American Foresters:170-175.

RYAN, KEVIN C., RIGOLOT, ERIC & BOTELHO, HERMINIO; 1994b. *Comparative analysis of fire resistance and survival of Mediterranean and Western North American Conifers*. In: *Proceedings, 12th Conference on Fire and Forest Meteorology*; 1993 October 26-2, Jekyll Island, GA. Bethesda, MD: Society of American Foresters: 701-708.

VAN WAGNER, C.E.; 1973. Height of crown scorch in forests fires. *Canadian Journal of Forest Research*. 3: 373-378.