

Planificación de una quema prescrita en una plantación de *Tectona grandis* Linn F

Planning a prescribed burn at *Tectona grandis* Linn F. plantation

Marcos Pedro Ramos Rodríguez¹

Diocles Omar Albán Ventura²

Alfredo Jiménez González³

Otto Francisco Mero Jalca⁴

Máximo Tenencio Ganchozo Quimis⁵

¹Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura / Docente. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Correo electrónico: marcos.ramos@unesum.edu.ec ; d_omar@hotmail.es ; alfredo.jimenez@unesum.edu.ec; otto.mero@unesum.edu.ec; maximo.ganchozo@unesum.edu.ec

Recibido: 1 de febrero de 2018.

Aprobado: 3 de marzo de 2018.

RESUMEN

Durante las últimas décadas, ha aumentado tanto la frecuencia como la severidad de los incendios forestales en la región tropical y en otras partes del mundo. La acumulación de combustibles forestales sobre el piso de los bosques a lo largo de los años aumenta drásticamente el riesgo de incendios. Una de las alternativas, para disminuir este riesgo o el potencial de daños, es reducir la cantidad de combustible utilizado en quemas prescritas. Este trabajo tuvo el objetivo de planificar una quema prescrita en una plantación de *Tectona grandis* en Jipijapa, Manabí, Ecuador. La cantidad de material combustible muerto leñoso se determinó utilizando el método de las intersecciones planares. La cantidad de misceláneas y de combustibles verdes se evaluó al recolectar el material, en cuadros de 30 x 30 cm. y en parcela de 1 m², respectivamente, colocando en estufas muestras para eliminar la humedad. El comportamiento del fuego se estimó calculando parámetros tales como: intensidad del fuego, altura de las llamas y altura de secado letal. La cantidad total de combustible estimada fue de 11,17 t ha⁻¹. Las prescripciones obtenidas para los intervalos óptimos de los parámetros del comportamiento del fuego presentaron valores de intensidad lineal entre 16,43 y 33,89 kcal m⁻¹ s⁻¹; alturas de llamas entre 0,54 y 0,76 m. y alturas de secado letal entre 1,38 y 4,20 m. Estos valores argumentan suficientemente la aplicación del fuego en el rodal de *T. grandis*, sin peligro para los árboles.

Palabras clave: Combustibles forestales, comportamiento del fuego, prevención, método de intersecciones planares.

ABSTRACT

During the last decades, the frequency and severity of forest fires in the tropical region and in other parts of the world, have increased. The accumulation of forest fuel on the forest floor over the years dramatically increases the risk of fire. One of the alternatives to reduce this risk or the potential for damages is to reduce the amount of forest fuel using prescribed burns. This work had the objective of planning a prescribed burning at a *Tectona grandis* plantation in Jipijapa, Manabí, Ecuador. The amount of woody dead fuel was determined using the planar intersections method. The amount of miscellaneous and green fuels was evaluated by collecting the material in boxes of 30 x 30 cm and in a plot of 1 m², respectively, placing samples in stoves to remove moisture. Fire behavior was estimated by calculating parameters such as fire intensity, flame length and lethal scorch height. The total amount of forest fuel estimated was 11.17 t ha⁻¹. The prescriptions obtained for the optimal intervals of the fire behavior parameters presented values of fire intensity between 16.43 and 33.89 kcal m⁻¹.s⁻¹; flame length between 0.54 and 0.76 m and lethal scorch height between 1.38 and 4.20 m. These values sufficiently argue the application of fire in the stand of *T. grandis* without danger to the trees.

Keywords: Forest fuels, fire behavior, prevention, planar intersect method.

INTRODUCCIÓN

Resulta difícil saber con exactitud hoy día cuál es la superficie que ocupan las plantaciones de *Tectona grandis* Linn F. en Ecuador. No obstante, de acuerdo con De Camino y Morales (2013), en el 2010, la superficie se podía estimar en 45 000 ha. Dicha especie, según Keogh (2013), es la de madera tropical de calidad más cultivada en el mundo. Sus cualidades ambientales son aceptables, y aunque se cultiva como especie exótica en muchos países, no es invasora. El mismo autor agrega que es una especie resistente al fuego, por lo que es poco probable que muera como consecuencia de eventuales incendios. No obstante, se sabe que el fuego puede provocar pérdida de nutrientes y daños a la corteza por donde pueden ingresar hongos que infectan la madera y provocan afectaciones mayores.

Relacionado con lo anterior, puede decirse que después de fuegos de alta intensidad, las plantas de teca responden emitiendo gran cantidad de ramas e, incluso, rebrotando a partir de la base del árbol, por lo que, si no se hacen las intervenciones silviculturales oportunas, puede afectarse la calidad de la madera y los rendimientos por hectárea.

Tanto en el Cantón Jipijapa como en otros lugares de la República del Ecuador, los productores de madera de la especie mencionada tienen por costumbre quemar el combustible existente sobre el piso del bosque. Esta práctica permite, según algunos de ellos, aumentar la belleza de la madera, mientras que, para otros, permite incrementar el crecimiento en diámetro de los árboles. Sean estas ideas mito o realidad, lo cierto es que todos los años se utiliza el fuego en los rodales de esta especie, alcanzando en algunos casos un comportamiento no deseado que pone en peligro el desarrollo adecuado de los árboles, lo cual ocurre también cuando el fuego llega a estos rodales provenientes de las áreas agrícolas colindantes. Paradójicamente, el uso del fuego también permite reducir drásticamente el riesgo de incendios, siendo esto una alternativa rápida y económica de la silvicultura preventiva. El problema estaría en utilizar el fuego con seguridad, lo cual puede

conseguirse a través de la planificación y ejecución de quemas prescritas, las cuales, según North *et al.*, (2015), citados por Battipaglia *et al.*, (2016) es una de las técnicas más debatidas de manejo de la tierra, particularmente en relación con sus beneficios cualitativos para disminuir el peligro de incendios, el aumento de la probabilidad de protección de los activos y los impactos ecológicos sobre los rodales forestales.

El comportamiento del fuego en bosques de diferentes especies ha sido reportado por varios autores. En el caso de *Pinus* sp., pueden mencionarse los estudios realizados por Batista *et al.* (1997), Moreira *et al.* (2003), Rodríguez & Fulé (2013) citados por Urrutia-Hernández *et al.*, (2013), De Loro & Hiramatsu (2004), Martínez-Becerra *et al.*, (2004), Soares (1979), Pérez-Pereda *et al.*, (2012), Cerano-Paredes *et al.*, (2015) Cerano-Paredes *et al.*, (2016) y Battipaglia *et al.*, (2016) en *Araucaria angustifolia*, Beutling *et al.*, (2005); en *Eucalyptus* sp., Rodríguez-Trejo (2002) y White *et al.*, (2014); en *Austrocedrus chilensis*, Urretavizcaya (2010); en *Prosopis caldenia*, Medina (2007) en vegetación de estepa, Seger *et al.*, (2013); en bosques siempre verdes, Romero-Mieres *et al.*, (2014); y en especies de arbustos, Lam *et al.*, (2008).

En correspondencia con el problema planteado anteriormente, el presente trabajo tuvo el objetivo de planificar una quema prescrita en una plantación de *T. grandis* en Jipijapa, Manabí, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área experimental

El trabajo se realizó en una plantación de *T. grandis* ubicada en el Cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador. El clima predominante de Jipijapa es cálido seco en la zona oeste y cálido húmedo, con temporadas secas, en la zona este, con una temperatura media de 25 °C, afectada por la presencia de dos estaciones: invierno (mayo a octubre) y verano (noviembre a abril). Los valores más altos de humedad y temperatura se registran en el mes de marzo, donde se alcanza una temperatura media del aire de 28 °C. La precipitación promedio anual es de 670 mm., concentrándose la mayor cantidad entre los meses de febrero y marzo. La altitud del sitio es de 320 m. snm.

La vegetación herbácea y arbustiva en el área objeto de estudio es poca, compuesta por hierbas y arbustos aislados de menos de un metro de altura. El estrato arbóreo está formado por individuos de *T. grandis* con valores medios de diámetro a 1,30 m. de 15 cm. La altura promedio de los árboles fue de 13,42 m., con una altura promedio de fuste sin ramas de 8 m. El modelo de combustible de acuerdo con la modelación Cuba 19 (Ramos *et al.*, 2012) es HCL2, correspondiendo al grupo de Hojarasca con Combustibles Leñosos (HCL). En este modelo, el fuego se propaga por una capa de hojarasca compacta de especies de latifolias, con presencia continua de combustible leñoso o herbáceo muerto. La profundidad del complejo hojarasca-restos es superior a los 15 cm. El comportamiento del fuego es liviano, y su transición a las copas es difícil.

Carga de combustibles

Para cuantificar los combustibles leñosos muertos, se utilizó el método de las intersecciones planares, descrito por Brown (1974) y adaptado por Sánchez y Zerecero (1983). Se ubicaron ocho sitios de muestreo, distribuidos sistemáticamente en el área, separados 20 m. entre sí. En cada sitio, se establecieron cuatro líneas de muestreo para un total de 32 líneas por hectárea lo cual es aceptable ya que, como regla general, según Sánchez y Zerecero (2008) para cualquier área se sugiere inventariar de 15 a 20 líneas, intensidad que producirá estimaciones con un porcentaje de error iguales o menores al 20 %. La longitud de las líneas fue de 15 m. de largo, en dirección hacia los puntos cardinales.

En las líneas de intersecciones planares, se contaron los combustibles según la clasificación de los tiempos de retardo de 1, 10 y 100 horas de retardo, (Fosberg, 1970, citado por Brown, 1974). En los dos primeros metros, se contaron las partículas cuyo diámetro fue menor a 0,6 cm. (1 h.); de igual forma, de los 0 a los 4 m. sobre la línea de intersecciones, se contaron las partículas cuyo diámetro estuvo entre 0,6 y 2,5 cm. (10 h.); asimismo, las partículas, cuyo diámetro osciló entre 2,5 y 7,5 cm. (100 h.), se contaron desde los 0 y hasta los 10 m. No se encontraron materiales con diámetros superiores a 7,5 cm. El conteo de los combustibles leñosos se hizo con ayuda de calibradores o clasificadores de combustibles. Para realizar los cálculos, se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3, correspondientes a las clases de 1, 10 y 100 horas de retardo, respectivamente.

$$P = \frac{0,484 * n * c}{N} \quad [1]$$

$$P = \frac{3,369 * n * c}{N} \quad [2]$$

$$P = \frac{36,808 * n * c}{N} \quad [3]$$

Donde P : Peso de los combustibles ($t \cdot ha^{-1}$); n : Frecuencia o número de intersecciones; c : Factor de corrección por pendiente; $\sum d^2$: Suma de los cuadrados de los diámetros de las ramas y trozas; N : Número total de líneas de muestreo para una zona específica; l : Longitud de la línea de muestreo en pies lineales, donde 1 m. = 3,28 pies.

Los combustibles no leñosos muertos se clasificaron como misceláneas; se incluyeron aquí hojas, hierbas, hojarasca, humus, conos y frutos. La evaluación de estos combustibles se llevó a cabo colocando un cuadro flexible de 30 x 30 cm. al final de cada línea de muestreo. Todo el material que se encontraba dentro del cuadro se colocó en fundas de nailon para evitar coleccionar suelo mineral, rocas, material leñoso u otras impurezas. Con la ayuda de una balanza de gancho, se pesó el combustible y se anotó el resultado en el registro correspondiente.

En cada sitio de muestreo, sobre la línea de intersecciones orientada en dirección norte, a 10 m. del punto central, se delimitó una parcela de 1 m² en la cual se recolectó y pesó, separadamente, el material vivo herbáceo y leñoso. Dentro del material vivo herbáceo, se incluyeron lianas, hierbas y pequeñas plántulas leñosas cuyos tallos aún no están lignificados. Como materiales leñosos verdes, se consideraron el follaje y las ramas o tallos de los arbustos con diámetros menores a 0,6 cm.

Humedad de los combustibles

La humedad de los combustibles muertos no leñosos (misceláneas) fue determinada a través de la Ecuación 4. Submuestras de aproximadamente 50 g. cada una fueron colocadas en estufas en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Las muestras permanecieron 24 horas en la estufa a 100 °C., después fueron pesadas y colocadas nuevamente en la estufa durante 2 horas y, pasado un tiempo, se pesaron nuevamente. Esto se repitió hasta obtener peso constante.

$$Hm = \left(\frac{Ph - Ps}{Ps} \right) * 100 \quad [4]$$

Donde

Hm: Humedad del combustible;

Ph: Peso húmedo;

Ps: Peso seco

Para determinar la humedad de los combustibles vivos herbáceos, fue seguido un procedimiento similar al utilizado en el caso de las misceláneas, con la diferencia de que las muestras permanecieron en la estufa por un espacio de 24 horas a 80 °C.

Los valores de humedad de los combustibles leñosos muertos de 1 hora de retardo (*timelag*) fueron definidos; se utilizaron las tablas técnicas descritas por Rothermel (1983). Estas tablas utilizan como variables de entrada la temperatura del aire y la humedad relativa. Para obtener la humedad de los combustibles de 10 y 100 h. de retardo, se le adicionaron 2 y 4 unidades respectivamente a la humedad obtenida para los de 1h. Los cálculos se realizaron para el mes de julio durante el día (08:00 a 19:59); se utilizaron valores de temperatura del aire en los rangos de 10 a 20 y 21 a 31 °C., y de humedad relativa, entre 45 y 94 %.

Pronóstico del comportamiento del fuego

El pronóstico del comportamiento del fuego se basó en los parámetros: intensidad del fuego, longitud de las llamas y altura de secado letal, calculados según las ecuaciones 5 (Byram, 1959, citado por Küçük, 2008); 6 (Batista, 1990, citado por Ramos, 2010) y 7 (Van Wagner, 1973, citado por Ramos, 2010).

$$I = H * w * r \quad [5]$$

Donde

I: intensidad lineal del fuego en kcal.m⁻¹.s⁻¹;

H: calor de combustión en kcal.kg⁻¹; *w*

: peso del combustible disponible en kg.m⁻²;

r: velocidad de propagación del fuego en m.s⁻¹

Se utilizó una velocidad de propagación del fuego entre 0,033 y 0,166 m.s⁻¹, la cual es considerada media por Botelho y Cabral {Citation}. Estos autores establecieron una clasificación de la velocidad de propagación del fuego donde la velocidad es lenta cuando es menor de 0,033 m.s⁻¹; media cuando está entre 0,033 y 0,166 m.s⁻¹; es alta entre 0,166 y 1,166 m.s⁻¹ y es extrema cuando es mayor de 1,166 m.s⁻¹.

$$h_c = 0,15 * I^{0,46} \quad [6]$$

Donde

I : intensidad lineal del fuego en $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$;

h_c : longitud de la llama en m

$$h_s = \frac{3,94.I^{7/6}}{(0,107.I + V^2)^{1/2} (60 - T)} \quad [7]$$

Donde

h_s : altura de secado letal en m;

I : intensidad del fuego en $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$;

V : velocidad del viento en m.s^{-1} ;

T : temperatura del aire en $^{\circ}\text{C}$.

El calor de combustión del material húmedo se calculó a través de la ecuación 8 (Soares, 1985, citado por Ramos, 2010).

$$H_w = H_d \left(\frac{100 - U/7}{100 + U} \right) \quad [8]$$

Donde

H_w : Calor de combustión del material húmedo;

H_d : Calor de combustión del material seco;

U : contenido de humedad del material combustible en %

Se trabajó con un calor de combustión seco de $4000 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ($16\,720 \text{ kJ.kg}^{-1}$), el cual fue utilizado con fines similares a los de esta investigación, Batista (1995) y Martínez (2006). Para calcular el calor de combustión húmedo, se consideró una humedad de 14,30 %, donde esta es el promedio de las humedades de las diferentes clases de combustible, ponderadas a la cantidad de cada una. Se obtuvo un valor de $3\,428,07 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ($14\,352,69 \text{ kJ.kg}^{-1}$).

Prescripción de intervalos óptimos para la quema prescrita

La quema prescrita puede ser definida como la aplicación cuidadosa del fuego en un sector con vegetación, que se desea eliminar, bajo condiciones ambientales que permitan mantener el efecto dentro de un área predeterminada y que, al mismo tiempo, sea posible lograr un comportamiento tal, del fuego, que se obtengan precisamente los objetivos o beneficios perseguidos con un mínimo de daños y siempre a un costo razonable, (Haltenhoff, 1998; citado por Ramos, 2010).

Las prescripciones definen las condiciones que deben ser observadas para poder hacer un uso del fuego con seguridad, a la vez que se alcancen los objetivos planificados. Estas prescripciones se definen de acuerdo con el grado de daño tolerable para los árboles, lo cual depende del comportamiento del fuego, intrínsecamente asociado con el combustible, las condiciones meteorológicas y la topografía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carga de combustibles

La Tabla 1 muestra el peso seco del combustible disponible presente en el área de investigación. Puede observarse que el mayor porcentaje correspondió a las misceláneas. Este resultado coincide con los reportados por Batista (1995), Martínez-Becerra *et al.*, (2004) y Urrutia-Hernández *et al.*, (2013), en quemas prescritas experimentales, realizadas en plantaciones de *Pinus* sp. Resultados similares obtuvo Grodzki (2000), en *Mimosa scabrella*.

En *Araucaria angustifolia*, Beutling *et al.*, (2005), encontraron para las misceláneas valores entre 4,85 y 4,88 t. ha⁻¹ para árboles con edades entre 19 y 38 años. No coincide en todos los casos la alta cantidad obtenida en las clases de 10 y 100 horas de retardo, lo cual está relacionado con la fenología de la *T. grandis*, cuyas ramas, por lo general, son de diámetros superiores a 0,6 cm. En este sentido, White *et al.*, (2014), encontraron en bosques de *Eucalyptus* sp. que la clase de 1 hora de retardo aportó el mayor porcentaje de carga de combustible. También Lam *et al.*, (2008), obtuvieron los mayores valores para esta clase en formaciones arbustivas de *maquis*, con alturas medias entre 0,53 y 1,30 m (Tabla 1).

Tabla 1. Peso seco del material combustible disponible

Clases de combustibles	Peso seco		
	(kg.m ²)	(t.ha ⁻¹)	(%)
Vivos (herbáceos y leñosos)	0,0044	0,0444	0,40
Misceláneas	0,8776	8,7762	78,57
1 hora de retardo (< 0,6 cm)	0,0184	0,1845	1,65
10 hora de retardo (0,6 – 2,5 cm)	0,1043	1,0432	9,34
100 hora de retardo (2,5 – 7,5 cm)	0,1122	1,1222	10,05
Totales	1,1169	11,1705	100,00

Humedad de los combustibles

La humedad obtenida para los combustibles vivos y misceláneas fue de 216,84 y 25,34 %, respectivamente, mientras que para los combustibles leñosos muertos de 1 hora de retardo se consideraron valores de 10, 12, 15 y 17 %.

Pronóstico del comportamiento del fuego

Los valores correspondientes a la intensidad del fuego y la longitud de las llamas, según la velocidad de propagación del fuego, se observan en la Tabla 2. Wade (1986), citado por De Ronde *et al.* [1990], donde describieron niveles de intensidades asociados con el comportamiento del fuego para auxiliar los planes de quemas prescritas en poblaciones de *Pinus elliotii* en el sur de los EUA. Según estos autores, existen dos niveles: el límite de óptima variación que estaría entre 17 y 60 kcal.m⁻¹. s⁻¹ y el máximo de intensidad de quema que no debe sobrepasar las 165 kcal.m⁻¹. s⁻¹. Comparando los resultados de la Tabla 3 con estos valores, podemos clasificar la velocidad de propagación del fuego de 0,009 m.s⁻¹ de óptima variación y las velocidades de 0,015 y 0,020 m.s⁻¹ fuera de este rango, pero ambas por debajo de la máxima intensidad de quema (Tabla 2).

Tabla 2. Intensidad lineal del fuego (I) y longitud de las llamas (hc) según la velocidad de propagación del fuego (r)

r (m.s ⁻¹)	I (kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹)	hc(m)
0,016	16,43	0,54
0,033	33,89	0,76
0,099	101,68	1,26
0,166	170,49	1,59
0,666	684,02	3,02
1,166	1197,54	3,91

Julio y Giroz (1975), realizaron diversos experimentos con quemas controladas en plantaciones de diferentes especies en Valdivia, Chile; se varió la intensidad del fuego en estas quemas entre 77 y 289 kcal.m⁻¹. s⁻¹ para *Ulex* sp.; entre 18,5 y 42,4 kcal.m⁻¹. s⁻¹ en *Pinus radiata*, mezclado con zarzamora; entre 155 y 447 kcal.m⁻¹. s⁻¹ en restos de explotación de *P. radiata* (8 meses), mezclado con murra. Por su parte, Kauffman y Martin [1989], obtuvieron valores de intensidades muy variables, desde 4,78 hasta 144,63 kcal.m⁻¹. s⁻¹ en plantaciones de *Pinus radiata* en Australia, mientras que Burrows *et al.*, (1989), obtuvieron, para la misma especie y país, intensidades del fuego entre 4,78 y 144 kcal.m⁻¹. s⁻¹. En plantaciones de *Pinus taeda*, Batista (1995), obtuvo intensidades de fuego entre 2,88 y 25,22 kcal.m⁻¹. s⁻¹. En *Mimosa scabrella*, Grodzki (2000), obtuvo un valor medio de 384,08 kcal.m⁻¹. s⁻¹. Flores y Benavides (1994) reportaron valores de altura de la llama de 0,5 m. para quemas en retroceso y hasta 5 m. para quemas en avance para bosques de pinos en Jalisco. Por otra parte, Vega *et al.*, (2000), obtuvieron longitud de llama entre 0,30 a 1,50 metros en pinares de Andalucía y Galicia, en España.

Las alturas de secado letal, estimadas para diferentes intensidades, temperaturas del aire y velocidades del viento, se muestran en la Tabla 3. Se observa que, con temperaturas de 15, 18 y 21 °C, velocidades del viento entre 0,0 y 1,0 m.s⁻¹ e intensidades de 16,43, 33,89 y 101,68 kcal.m⁻¹. s⁻¹ la altura de secado letal calculada muestra valores entre 1,38 y 6,73 metros, los cuales son inferiores a los 7 m., altura considerada máxima para este parámetro, teniendo en cuenta que la altura del fuste sin ramas es de 8 m. Se observa también que, si se utilizan temperaturas de 24, 27 y 30 °C. con las velocidades del viento mencionadas, entonces, para mantener la altura de secado letal por debajo de 7 m., es necesario que la intensidad del fuego manifieste valores entre 16,43 y 33,89 kcal.m⁻¹. s⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3. Altura de secado letal según la intensidad lineal, la temperatura del aire y la velocidad del viento

Intensidades	16,43 kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹					33,89 kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹					101,68 kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹				
	Velocidades del viento (m.s ⁻¹)														
Temperaturas (°C)	0,0	0,4	0,6	0,8	1,0	0,0	0,4	0,6	0,8	1,0	0,0	0,4	0,6	0,8	1,0
15	1,73	1,70	1,63	1,52	1,38	2,80	2,78	2,72	2,62	2,48	5,83	5,81	5,77	5,70	5,58
18	1,85	1,82	1,75	1,63	1,48	3,00	2,98	2,92	2,81	2,66	6,25	6,23	6,19	6,11	5,98
21	2,00	1,96	1,88	1,76	1,59	3,23	3,21	3,14	3,03	2,86	6,73	6,71	6,66	6,58	6,44
24	2,16	2,12	2,04	1,90	1,73	3,50	3,47	3,40	3,28	3,10	7,29	7,27	7,22	7,12	6,98
27	2,36	2,32	2,23	2,08	1,88	3,82	3,79	3,71	3,58	3,38	7,95	7,93	7,87	7,77	7,61
30	2,59	2,55	2,45	2,28	2,07	4,20	4,17	4,08	3,94	3,72	8,75	8,72	8,66	8,55	8,37

Prescripciones de intervalos óptimos

La Tabla 4 muestra los intervalos óptimos para las condiciones meteorológicas y el comportamiento del fuego. De acuerdo con Soares y Batista (1997), citados por Ramos (2010), las experiencias han demostrado que, por lo menos para las coníferas, la principal causa de mortalidad es el secado de la copa, en vez de daños al cambium. Las cicatrices eventualmente dejadas por el fuego en la base del tronco de un árbol reducen su valor económico; pueden facilitar la penetración de hongos o insectos, pero no afectan directamente su sobrevivencia. Para morir apenas, a través de daños al cambium, un árbol debe ser completamente anillado por el fuego y un incendio, suficientemente intenso para provocar ese anillamiento fatal, será capaz también de secar toda su copa. La muerte a través del anillamiento puede llevar varios años, mientras que por el secado de la copa es bastante rápido. Árboles de algunas especies, no obstante, pueden soportar la pérdida de gran parte de la copa por secado sin mortalidad, sin embargo, la tasa de incremento se ve temporalmente reducida (Tabla 4).

Tabla 4. Prescripciones de intervalos óptimos para las condiciones meteorológicas y el comportamiento del fuego

Elementos	Parámetros	Intervalos
Condiciones meteorológicas	Humedad relativa (%)	50 - 70
	Temperatura del aire (°C)	15 - 30
	Velocidad del viento (m.s ⁻¹)	0,0 - 1,0
	Días desde la última lluvia	3 - 6
Comportamiento del fuego	Intensidad lineal (kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹)	16,43 - 33,89
	Velocidad de propagación (m.s ⁻¹)	0,016 - 0,033
	Altura de las llamas (m)	0,54 - 0,76
	Altura de secado letal (m)	1,38 - 4,20

La cantidad total de material combustible disponible en el área fue de 11,17 t ha⁻¹, correspondiendo el 78,57 % del total a las miscelâneas.

Los valores obtenidos para los intervalos óptimos de las condiciones meteorológicas y del comportamiento del fuego, durante la planificación de la quema, son elementos que fundamentan la posibilidad de usar el fuego con seguridad en plantaciones de *T. grandis* con vista a reducir la cantidad de material combustible, disminuyendo así el riesgo de ocurrencia y propagación de un incendio forestal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, A.C., REISSMANN, C.B. y SOARES, R.V., 1997. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés-PR., vol. 27, no. 1/2, pp. 5970.
- BATTIPAGLIA, G., T., SAVI, ASCOLI, D., CASTAGNERI, D., ESPOSITO, A., MAYR, S. y NARDINI, A., 2016. Effects of prescribed burning on ecophysiological, anatomical and stem hydraulic properties in *Pinus pinea* L. *Tree Physiology*., vol. 36, no. 8, pp. 113.
- BEUTLIN, A., BATISTA, A. C., SOARES, R. V. y VITORINO, M. D., 2005. Quantificação de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. *Floresta*., vol. 35, no. 3, pp. 465472.
- CERANO-PAREDES, J., VILLANUEVA-DÍAZ, J., CERVANTES-MARTÍNEZ, R., FULÉ, P., YOCOM, L., ESQUIVEL-ARRIAGA, G. y JARDEL-PELÁEZ, E., 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque*., vol. 36, no. 1, pp. 4152.
- CERANO-PAREDES, J., VILLANUEVA-DÍAZ, J., VÁZQUEZ-SELEM, L., CERVANTES-MARTÍNEZ, R., ESQUIVEL-ARRIAGA, G., GUERRA-DE LA CRUZ, V. y FULÉ, P. Z., 2016. Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. *Bosque*, vol. 37, no. 2, pp. 389399.
- DE CAMINO, R. y MORALES, J.P., 2013. La teca en América Latina. *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*. S.l.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), pp. 30-41. ISBN 978-9977-57-620-6.
- DE LORO, L. V. y HIRAMATSU, N. A., 2004. Comportamento do fogo, em condições de laboratório, em combustíveis provenientes de um povoamento de *Pinus elliottii* L. *Floresta*., vol. 34, no. 2, pp. 127130.
- KEOGH, R. M., 2013. La teca y su importancia económica a nivel mundial. En: R DE CAMINO R, y MORALES, J. P. (eds.), *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*. S.l.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), pp. 8-28. ISBN ISBN 978-9977-57-620-6.
- KUCUK, O, BILGILI, E., AĐLAM, B., AĐKAYA, S. y DINĐURMAZ, B., 2008. Some Parameters Affecting Fire Behavior in Anatolian Black Pine Slash. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*., vol. 32, pp. 121129.
- LAM, B. S. A., KÜÇÜK, O, BILGILI, E., DINĐ DURMAZ, B y BAYSAL, L., 2008. Estimating Fuel Biomass of Some Shrub Species (Maquis) in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 32, pp. 349-356.
- MEDINAA. A., 2007. Reconstrucción de los regímenes de fuego en un bosque de *Prosopis caldenia*, provincia de La Pampa, Argentina. *Bosque*., vol. 28, no. 3, pp. 234240.

- MOREIRA, F., DELGADO, A., FERREIRA, S., BORRALHOA, R. F., OLIVEIRA, N., M. INÁCIO, J. S. SILVAD y F. REGO, 2003. Effects of prescribed fire on vegetation structure and breeding birds in young *Pinus pinaster* stands of northern Portugal. *Forest Ecology and Management.*, vol. 184, pp. 225237.
- PÉREZ-PEREDA, A., DURÁN-MANUAL, F., MARTÍNEZ-BECERRA, L. W., RAMOS-RODRÍGUEZ, M. P. y TAMAYO-ECHEVARRÍA, W., 2012. Regeneración natural de *Pinus cubensis* Griseb en Guantánamo al aplicar quemas prescritas. *Revista Forestal Baracoa.*, vol. 31, no. 2, pp. 15-22.
- RODRÍGUEZ-TREJO, D. A., 2002. Efecto del fuego en el crecimiento en diámetro de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.*, vol. 8, no. 1, pp. 71-74.
- ROMERO-MIERES, M., GONZÁLEZ, M. E. y LARA, A., 2014. Recuperación natural del bosque siempreverde afectado por tala rasa y quema en la Reserva Costera Valdiviana, Chile. *Bosque*, vol. 35, no. 3, pp. 257,267.
- SÁNCHEZ, C. y ZERECERO, L. G., 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. *Nota Divulgativa 9. CIFONOR-INF.*, pp. 34.
- SEGER, C. D., BATISTA, A. C., TETTO, A. F. y., 2013. Comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de estepe no Município de Palmeira, Paraná, Brasil. *Floresta.*, vol. 43, no. 4, pp. 547558.
- URRETAVIZCAYA, M., 2010. Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. *Bosque*, vol. 31, no. 2, pp. 140149.
- URRUTIA-HERNÁNDEZ, I., FLEITAS-CAMACHO, Y., HERNÁNDEZ-ABREU, J. A., FLORES-GARNICA, J. G., MARTÍNEZ-BECERRA, L. W. y BONILLA- VICHOT, M., 2013. Efecto de quemas prescritas sobre las propiedades físico-químicas del suelo en la estación hidrológica amistad. *Revista Forestal Baracoa.*, vol. 32, no. 1, pp. 4350.