

SUPERVIVENCIA E INCREMENTO EN ALTURA DE *PINUS HARTWEGII* A DOS AÑOS DE QUEMAS PRESCRITAS E INCENDIOS EXPERIMENTALES

SURVIVAL AND HEIGHT INCREMENT OF *PINUS HARTWEGII* TWO YEARS AFTER PRESCRIBED BURNS AND EXPERIMENTAL FOREST FIRES

Violeta Vera-Vilchis y Dante A. Rodríguez-Trejo

División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. (dantearthuro@yahoo.com).

RESUMEN

En muchos países hay poca información sobre impactos de incendios y quemas prescritas a pesar de su importancia en el manejo del fuego, por lo que el objetivo del presente trabajo, conducido en el volcán Ajusco, México, D. F., fue estudiar el efecto del fuego en la mortalidad y crecimiento relativo en altura de *Pinus hartwegii* Lindl. juveniles, a dos años de la aplicación de los tratamientos; que fueron quemas prescritas realizadas en dos épocas de 2002 (21 de marzo y 29 de mayo), a dos intensidades (alta y baja), en dos condiciones de rodales con arbolado juvenil de *Pinus hartwegii* (300-700 árboles ha⁻¹, con zacates como combustible más abundante; 900-2500 árboles ha⁻¹, con hojarasca como combustible más abundante). Se analizó el efecto de los tratamientos considerados en la mortalidad, mediante regresión logística y con la prueba de t se determinó su efecto en el incremento relativo en altura. Las quemas en mayo originaron mayor mortalidad que las de marzo ($p \leq 0.0001$); al igual que aquellas de alta intensidad en comparación con las de baja intensidad ($p \leq 0.0001$); y las áreas de alta densidad, con respecto a las de baja densidad ($p \leq 0.0001$). En la medida en que los árboles tenían menor diámetro normal, la mortalidad fue mayor ($p \leq 0.0001$). Acorde con el modelo resultante, un árbol de 5 cm de diámetro normal, creciendo a alta densidad, que es afectado por fuego a alta intensidad en mayo, tiene una probabilidad de mortalidad de 0.90, mientras que para otro con igual diámetro, creciendo a baja densidad y afectado por fuego a baja intensidad en marzo, tal probabilidad será 0.01. El experimento tuvo una duración de dos años. El incremento relativo en altura, después de la aplicación de las quemas, fue mayor en las áreas de baja densidad, quemadas en marzo a baja intensidad (11.4 cm m⁻¹ el primer año y 8.1 cm m⁻¹ el segundo año), en comparación con el testigo a baja densidad (6.5 cm m⁻¹ el primer año y 4.8 cm m⁻¹ el segundo año) ($p = 0.0067$ y 0.0001 , respectivamente).

Palabras clave: Ecología del fuego, efectos del fuego, fuego, impactos del fuego.

Recibido: Enero, 2006. Aprobado: Enero, 2007.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 219-230. 2007.

ABSTRACT

In many countries there is scarce information on the impact of prescribed burns and forest fires, despite its importance for fire management, hence the objective of the present investigation, conducted on the Ajusco volcano at México, D.F., was to study the effect of fire on the mortality and relative increment in height of young *Pinus hartwegii* Lindl., two years after the application of the treatments. The treatments consisted of prescribed burns carried out at two periods of 2002 (March 21 and May 29), at two intensities (high and low), in two conditions of stands with young trees of *Pinus hartwegii* (300-700 trees ha⁻¹, with grasses as most abundant fuel; 900-2500 trees ha⁻¹, with needle litter as most abundant fuel). An analysis was made of the effect of the considered treatments on mortality, through logistic regression, and its effect was determined on relative height increment with the t test. The May burns caused higher mortality than those of March ($p \leq 0.0001$); as did those of high intensity with respect to the low intensity burns ($p \leq 0.0001$); and the areas of high density, with respect to those of low density ($p \leq 0.0001$). The smaller the tree diameter to the breast height, the higher was the mortality ($p \leq 0.0001$). According to the resulting model, a tree with a normal diameter of 5 cm, growing at high density, which is affected by high intensity fire in May, has a probability of mortality of 0.90, whereas for a tree of equal diameter growing at low density and affected by low intensity fire in March, the probability of mortality will be 0.01. The experiment was carried out over a two year period. The relative height increment after the application of the fires was greater in the areas of low density, burned in March at low intensity (11.4 cm m⁻¹ the first year and 8.1 cm m⁻¹ the second year) compared to the control at low density (6.5 cm m⁻¹ the first year and 4.8 cm m⁻¹ the second year) ($p = 0.0067$ and 0.0001 , respectively).

Key words: Fire ecology, effects of fire, fire, impacts of fire.

INTRODUCTION

Between 1991 and 2004, an average of 7985 annual forest fires were registered in México, affecting an annual average surface of 243 750 ha. During this period, 1998 is outstanding, with 14 445

INTRODUCCIÓN

Entre 1991 y 2004 se registraron, en promedio 7985 incendios anuales en México, afectando una superficie promedio anual de 243 750 ha. En ese lapso destaca 1998, con 14 445 incendios y 850 000 ha afectadas (CONAFOR, 2004)¹. En 2004, el primer lugar nacional en número de incendios correspondió al Distrito Federal, con 1653, aunque en superficie afectada ocupó el lugar 16, con 1651 ha. Muchos de estos incendios acontecen en pinares. Uno de ellos es el de *Pinus hartwegii* Lindl., especie adaptada al fuego pero que entre otros disturbios humanos, ha sido sometida tanto a un exceso de fuego, relacionado con actividades agropecuarias, como a la falta de este factor ecológico en varios casos (Rodríguez, 2001).

Por su relación con el fuego, los ecosistemas forestales pueden dividirse en mantenidos por él (pinares, zacatales, sabanas o matorrales); susceptibles (selvas y bosques mesófilos de montaña); e independientes del mismo (vegetación desértica sin continuidad entre sus combustibles). El exceso de fuego antrópico ha degradado ecosistemas mantenidos por el fuego en diversas localidades del planeta. En el otro extremo, la falta de fuego implica más acumulación de combustibles, favoreciendo incendios de mayor intensidad que matan una mayor proporción de brinzales, árboles juveniles y adultos (TNC, 2004).

P. hartwegii se halla entre 16° 20' a 25° 03' N y 92° 20' a 103° 55' O, entre 3000 y 4000 m de altitud (Musálem y Solís, 2000). Rzedowski (1978) considera que algunas de las comunidades dominadas por *P. hartwegii* son secundarias, mantenidas por incendios. Sin embargo, Miranda y Hernández (1985) anotan que los incendios muy frecuentes eliminan este pino y favorecen la presencia de zacates. Este es uno de los pinos mexicanos más adaptados a los incendios superficiales. Tiene una corteza gruesa que protege al cambium, se regenera bien sobre sitios quemados, pues el fuego remueve la barrera física que representan zacates y crea una cama de cenizas rica en nutrimentos para sustento (Rodríguez y Fulé, 2003), además de rebrotar en ontogenia temprana en áreas quemadas (Rzedowski *et al.*, 1977), presentando buena poda natural que resta continuidad vertical a los combustibles, y estado cespitoso (González y Rodríguez, 2004).

Una alternativa ante los incendios forestales es realizar quemas prescritas, de acuerdo con las comunidades rurales y con objetivos ecológicos o de manejo de recursos forestales (Rodríguez, 1994). Sin embargo, hay poca información sobre los impactos del fuego,

fires and 850 000 ha affected (CONAFOR, 2004)¹. In 2004, the first place nationally in number of fires corresponded to the Distrito Federal, with 1653 fires, although it occupied 16th place in affected surface, with 1651 ha. Many of these fires occur in pine forests. One of these is *Pinus hartwegii* Lindl., a species adapted to fire, but among other human disturbances, has been subjected as much to an excess of fire, related to agricultural activities, as to the lack of this ecological factor in various cases (Rodríguez, 2001).

Because of their relationship to fire, the forest ecosystems can be divided into those that are maintained by it (pine forests, grasslands, savannas or shrublands); susceptible (rainforests and cloud forests); and independent of fire (desert vegetation without continuity among its fuels). The excess of anthropic fire has degraded ecosystems maintained by fire in diverse locations of the planet. At the other extreme, the lack of fire implies a greater accumulation of fuels, favouring fires of higher intensity that kill a higher proportion of seedlings, young and old trees (TNC, 2004).

P. hartwegii is found between 16° 20' to 25° 03' N and 92° 20' to 103° 55' W, between 3000 and 4000 m altitude (Musálem and Solís, 2000). Rzedowski (1978) considers that some of the communities dominated by *P. hartwegii* are secondary, maintained by fires. However, Miranda and Hernández (1985) note that very frequent fires eliminate this pine and favour the presence of grasses. This is one of the Mexican pines best adapted to surface fires. It has a thick bark that protects the cambium, and regenerates well over burned sites, given that fire removes the physical barrier represented by grasses and creates a bed of ash which is rich in nutrients for sustenance (Rodríguez and Fulé, 2003), and resprouts in early ontogenia in burned areas (Rzedowski *et al.*, 1977), presenting good natural pruning that lowers vertical continuity of the fuels, and grass stage (González and Rodríguez, 2004).

An alternative to face fires is to carry out prescribed burns, according to the rural communities and with ecological objectives or of management of forest resources (Rodríguez, 1994). However, there is little information of the impacts of fire, prescribed and free, on the survival and growth of the trees, especially young ones. According to Robbins and Myers (1992), the effect of fire on trees is different at the beginning than at the end of the fire season. The information of effects considering period of application of the fire and its intensity is even more limited, and it is necessary as a basis for the application of prescribed burns.

Beverly and Martell (2003) mention that the mortality in *Pinus strobus* L. depends on the size of

¹CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2004. Reporte de Incendios Forestales.

prescrito y libre, en la supervivencia y crecimiento del arbolado, particularmente del juvenil. Según Robbins y Myers (1992), el efecto del fuego en los árboles es distinto a inicios que a fines de la temporada de incendios. La información de efectos considerando época de aplicación del fuego e intensidad del mismo es aún más limitada, y es necesaria como base para la aplicación de quemas prescritas.

Beverly y Martell (2003) mencionan que la mortalidad en *Pinus strobus* L. depende del tamaño del árbol, de la intensidad del fuego, y de las características del combustible en el piso forestal. Asimismo, la mortalidad de *Pinus ponderosa* Laws. está influenciada por la interacción entre el daño de la copa y la severidad de daño en el fuste, así como por las diferencias en resistencia al fuego entre árboles (McHugh y Kolb, 2003). Estos últimos autores también señalaron la mayor supervivencia en áreas quemadas de manera prescrita, en comparación con áreas afectadas por incendios forestales.

La regresión logística es útil para modelar trabajos de supervivencia porque la variable dependiente es binomial (Hosmer y Lemeshow, 2000). Se ha usado para estudiar el efecto del fuego, empleando como variables explicativas el nivel de chamuscado de copas, diámetro normal o altura de los árboles. Ryan y Reinhardt (1988) calcularon la probabilidad de muerte en árboles de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. en función del diámetro y de la altura de afectación de la copa. En México, Fonseca *et al.*² emplearon regresión logística para calcular la afectación por *Ips* en árboles de *P. montezumae* Lamb. ante daños por fuego y en función del diámetro normal.

La hipótesis en el presente trabajo fue que a mayor intensidad del fuego, a mayor densidad de árboles, a menor diámetro normal y conforme la temporada de incendios esté más avanzada, mayor será la mortalidad. El objetivo fue estudiar el efecto del quemas prescritas e incendios forestales en distintas épocas y a diferentes intensidades en la supervivencia e incremento en altura de arbolado juvenil de *P. hartwegii*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del experimento

El área de estudio se localiza al sur del Distrito Federal, México en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, (entre 19° 12' 25" y 19° 16' 00" N y 99° 13' 08" y 99° 19' 17" O). El sitio del experimento se ubica en el volcán Ajusco, a 3600 m de altitud, con

the tree, the intensity of the fire, and the characteristics of the fuel on the forest floor. In addition, the mortality of *Pinus ponderosa* Laws. is influenced by the interaction between crown damage and the severity of the trunk damage, as well as by the differences in resistance to fire among trees (McHugh and Kolb, 2003). These authors also pointed out higher survival in areas of prescribed burns, with respect to areas affected by forest fires.

Logistic regression is useful for modelling studies of survival, because the dependent variable is binomial (Hosmer and Lemeshow, 2000). It has been used to study the effect of fire, employing as explanatory variables the level of crown scorch, normal diameter or tree height. Ryan and Reinhardt (1988) calculated the probability of mortality in trees of *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. as a function of the diameter and height of crown damage. In México, Fonseca *et al.*² employed logistic regression to calculate the damage by *Ips* in trees of *P. montezumae* Lamb. resulting from fire and as a function of the normal diameter.

The hypothesis of the present study was that the higher the intensity of the fire, the higher the density of trees, the smaller the normal diameter and the more advanced the fire season, the higher the tree mortality will be. The objective was to study the effect of prescribed burns and forest fires in different periods and at different intensities on the survival and height increment of young trees of *P. hartwegii*.

MATERIALS AND METHODS

Establishment of the experiment

The area of study is located south of the Federal District, México in the Parque Nacional Cumbres del Ajusco (between 19° 12' 25" and 19° 16' 00" N and 99° 13' 08" and 99° 19' 17" W). The experimental site is located on the Ajusco volcano, at 3600 m altitude, with slopes of 55% and NW aspect. The mean annual temperature fluctuates between 5 and 12 °C, with a mean annual precipitation of 1138.62 mm (García, 1981).

In 2002, five adjoining plots were delimited in this zone, each with a surface of 0.6 to 0.75 ha. Two levels of tree density were considered in each plot: open (300-700 trees ha⁻¹, mean=500 ha⁻¹) and dense (900-2500 trees ha⁻¹, mean=1933 ha⁻¹), from 1.3 to 8.7 m height (mean=3.3 m), and diameter of 1 to 24 cm (mean=8 cm). The low density corresponded approximately to the upper half of the plots, and the high density corresponded to the lower half (Figure 1). The differentiation of density is due to the fact that within the dense area, the forest fuels (mean density equal to 13.2 t ha⁻¹) are

² Fonseca G., J., H. M. de los Santos P., C. Llanderal C., D. Cibrián T., D. A. Rodríguez T., J Vargas H. *Ips* and wood-borer insects in *Pinus montezumae* trees (enviado).

pendientes del 55% y exposición NO. La temperatura media anual fluctúa entre 5 y 12 °C, con una precipitación media anual de 1138.62 mm (García, 1981).

En 2002 se delimitaron cinco parcelas contiguas en esta zona, cada una con 0.6 a 0.75 ha de superficie. En cada parcela se consideraron dos niveles de densidad de arbolado: arbolado abierto (300-700 árboles ha⁻¹, media=500 ha⁻¹) y denso (900-2500 árboles ha⁻¹, media=1933 ha⁻¹), de 1.3 a 8.7 m de altura (media=3.3 m), y diámetro de 1 a 24 cm, media=8 cm). La densidad baja correspondió aproximadamente a la mitad superior de las parcelas, y la alta a la mitad inferior (Figura 1). La diferenciación por densidad se debe a que dentro del arbolado denso el material combustible (carga media igual a 13.2 t ha⁻¹) está compuesto en su mayoría por hojarasca (73.5% de la carga), mientras que en el arbolado abierto (carga media de 11.2 t ha⁻¹), los zacates son el principal material combustible (99.1% de la carga), sin diferencias significativas entre ambas cargas (Martínez *et al.*)³. La carga de combustibles leñosos se determinó con la técnica de intersecciones planares y la de hojarasca, zacates, otras herbáceas y arbustos, con la medición de cobertura y altura (profundidad en el caso de hojarasca) y su relación con peso anhidro determinado en horno de secado (Brown, 1974). Se obtuvieron

composado for the most part of needle litter (73.5% of the fuel load), whereas in the open tree area (mean density 11.2 t ha⁻¹), the grasses are the principal forest fuel (99.1% of the fuel load), with no significant differences between both fuel loads) (Martínez *et al.*)³. The load of woody fuels was determined with the technique of planar intersections and that of needle litter, grasses, forbs and shrubs, with the measurement of coverage and height (depth in the case of needle litter) and their relationship with anhydrous weight determined in a drying oven (Brown, 1974). Three samples were obtained of each type of fuel per combination of treatment (Martínez *et al.*)³. Although the fuel loads are similar, differential effects are expected on the trees as a result of the type of fuels burned, given that the needle litter, with less height and greater compaction than the grasses, releases more heat toward the forest floor and the surface roots of the trees when burned (Brockway and Outcalt, 1998).

The fire treatments were applied in two areas on March 21 of 2002, in the middle of the fire season. In one of them a prescribed burn was carried out, at low intensity, against the wind and slope during the morning; in the other area, a forest fire was simulated (high intensity prescribed fire) in favour of the wind and slope during the hours of highest solar intensity. Similar treatments were applied

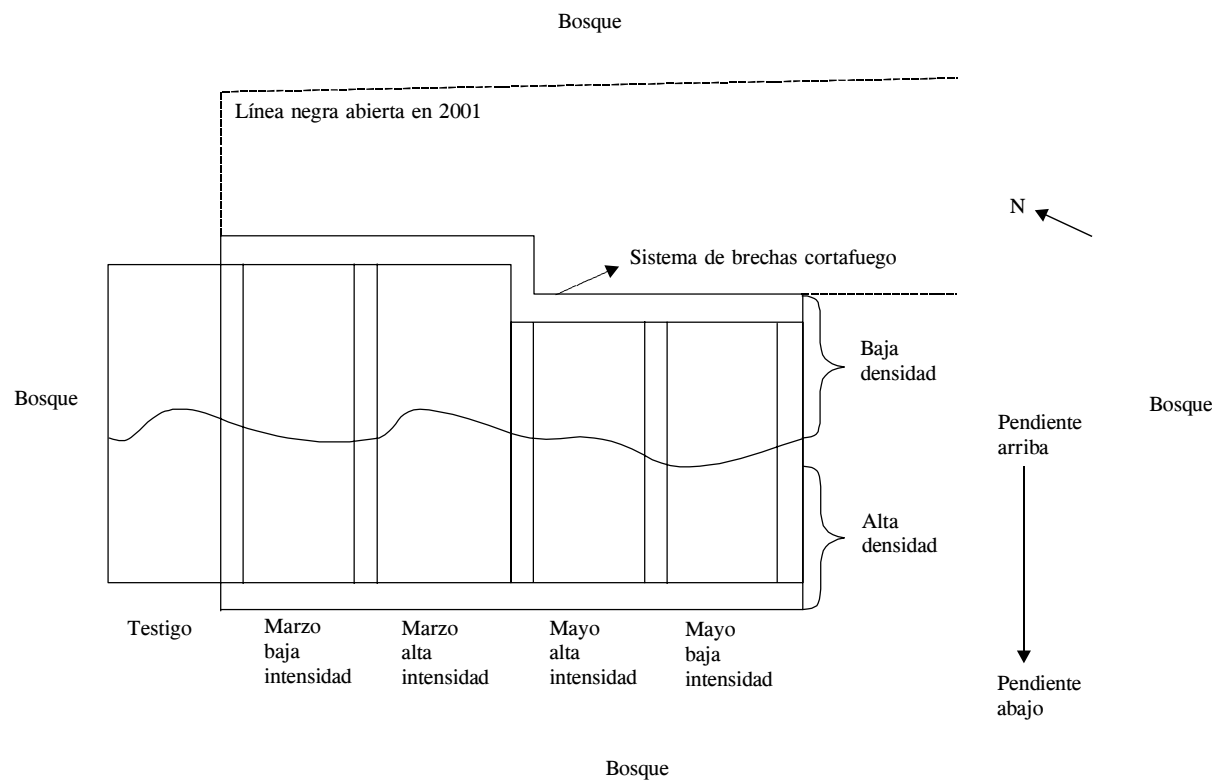


Figura 1. Boceto de la distribución de parcelas (no a escala). Cada una de las tres parcelas de la izquierda tiene una superficie de 0.75 ha; cada una de las dos de la derecha, 0.6 ha.
Figure 1. Diagram of the distribution of plots (not to scale). Each of the three plots on the left have a surface of 0.75 ha; each of the two on the right, 0.6 ha.

³ Martínez R., J., O. Rodríguez, D. A. Rodríguez T., J. Morfín R., y E. Alvarado C. Dinámica de combustibles forestales en bosques de *Pinus hartwegii* (Enviado).

tres muestras de cada tipo de combustible por combinación de tratamiento (Martínez *et al.*)³. Aunque las cargas sean similares se esperan efectos diferenciales sobre el arbolado como resultado de la quema del tipo de combustibles, pues la hojarasca, con menor altura y mayor compactación que el zacate, al quemarse libera más calor hacia el piso forestal y las raíces superficiales de los árboles (Brockway y Outcalt, 1998).

En dos áreas se aplicaron los tratamientos de quema el 21 de marzo de 2002, a mediados de la temporada de incendios. En una de ellas se realizó una quema prescrita, a baja intensidad, en contra del viento y pendiente durante la mañana; en la otra área se simuló un incendio forestal (incendio experimental confinado) a favor de viento y pendiente durante las horas de mayor intensidad solar. En otras dos áreas se aplicaron tratamientos similares a éstas el 29 de mayo de 2002, durante lo más severo de la temporada de ese año. El fuego fue más intenso debido a la sequía acumulada. La quinta área se mantuvo como testigo no quemado. La asignación de tratamientos se hizo al azar. Para controlar el fuego se abrieron previamente brechas cortafuego de 2 m de ancho, y durante las quemas prescritas se iba quemando en los flancos por delante y liquidando tales flancos. En el caso de las quemas a alta intensidad, se aplicó un contrafuego cuando se había quemado ya la mayor parte de las parcelas. Este contrafuego no incluyó árboles muestreados.

Para caracterizar el comportamiento del fuego se determinó el largo de llama con estacas de 3 m marcadas, y la velocidad de propagación con estacas distanciadas 10 m entre sí. Se realizaron 24 observaciones. En las quemas prescritas el largo de llama no superó 1 m de altura y la velocidad de propagación fue menor a 1 m min⁻¹; en el incendio de mayo los valores fueron de hasta 8 m y 80 m min⁻¹ (Cuadro 1).

Muestreo

En octubre de 2004 se delimitaron tres sitios de muestreo al azar para cada área tratada con fuego y densidad de arbolado; cada uno de 100 m², para 30 sitios. La superficie muestreada representa entre 8 a 10% del total en cada área tratada, y el número de árboles muestreado fue 365. Los sitios de 100 m² se usan en inventarios forestales para arbolado con diámetro normal <12.5 cm. En el presente estudio, 85.5% de los árboles tuvieron un diámetro normal <12.5 cm. En los sitios de muestreo se registró la supervivencia, así como el diámetro normal (a 1.30 m) con cinta diamétrica, y la

in another two areas on May 29 of 2002, during the severest part of the season for that year. The fire was more intense because of the accumulated drought. The fifth area was maintained as unburned control. Treatments were randomly assigned. In order to control the fire, fire breaks of 2 m width were previously opened, and during the prescribed burns, burning was carried out ahead of the flanks, and thus liquidating these flanks. In the case of the high intensity burns, a backing-fire was applied when most of the plot had already burned. This backing-fire did not include sampled trees.

To characterize the behaviour of the fire, the length of the flame was determined with marked 3 m stakes, and the rate of propagation was measured with stakes spaced at 10 m intervals from one another. Twenty-four observations were made. In the prescribed burns the flame length was not over 1 m in height, and the rate of spread was less than 1 m min⁻¹; in the May fire, the values were as high as 8 m and 80 m min⁻¹ (Table 1).

Sampling

In October of 2004, three sampling sites were randomly determined for each area treated with fire and tree density; each one of 100 m², for 30 sites. The sampled surface represents 8 to 10% of the total in each treated area, and the number of sampled trees was 365. The sites of 100 m² were used in forest inventories for trees with a diameter to the breast height of <12.5 cm. In the sampling sites, survival was registered, as well as the normal diameter (up to 1.30 m) with diametric tape, and the length of the last four cycles of stem growth was measured with a telescopic ruler. Trees less than 5 m from the borders were not sampled, in order to exclude a potential border effect, given that in the field it was observed that the heat of the high intensity burns affected the crowns of trees of adjacent plots that were at a distance of up to 5 m.

Statistical analysis

For the survival analysis, a logistic regression model was used (Hosmer and Lemeshow, 2000), which requires samples of individuals subjected to the treatments, but not an experimental design:

$$P = 1 / (1 + \exp - (\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4)) \tag{1}$$

where, P=probability of occurrence for the binomial variable (mortality per tree); exp=e (base of the natural logarithms) elevated

Cuadro 1. Comportamiento del fuego durante las quemas prescritas. Table 1. Behaviour of the fire during the prescribed burns.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km h ⁻¹)	Longitud de llamas (m)	Velocidad de propagación (m min ⁻¹)
MRB	7-17	49-70	<3.2-12.8	0.2-1	0.1-1
MRA	16-18	30-49	<6.4-16	0.5-6	0.2-5
MYB	12-18	20-25	<2.5-4	0.2-1	0.2-1
MYA	16-19	12-18	<3-16	0.5-8	0.3-80

MRB=Marzo a baja intensidad, MRA=Marzo a alta intensidad, MYB=Mayo a baja intensidad, MYA=Mayo a alta intensidad.

longitud de los últimos cuatro ciclos de crecimiento del tallo, con una regla telescópica. No se muestrearon árboles que estuviesen a menos de 5 m de las orillas, para excluir un potencial efecto de borde, pues en campo se observó que el calor de las quemas de elevada intensidad afectó copas de árboles de parcelas contiguas que estaban hasta 5 m de distancia.

Análisis estadístico

Para el análisis de supervivencia, se utilizó un modelo de regresión logística (Hosmer y Lemeshow, 2000), que requiere muestras de individuos sometidos a los tratamientos, mas no de un diseño experimental:

$$P = 1 / (1 + \exp - (\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4)) \quad (1)$$

donde, P=probabilidad de ocurrencia para la variable dependiente binomial (mortalidad por árbol); $\exp = e$ (base de los logaritmos naturales) elevado a la expresión que sigue en el modelo; α =intersección en el eje de ordenadas; β_1 =constante asociada a la variable X_1 ; X_1 =valor de la variable época de quema (que adquiere los valores: 1=mayo, 0=marzo); β_2 =constante asociada a la variable X_2 ; X_2 =variable intensidad del fuego (1=alta, 0=baja); β_3 =constante asociada a la variable X_3 ; X_3 =variable densidad del arbolado (1=alta, 0=baja); β_4 =constante asociada a la variable X_4 ; X_4 =variable diámetro del árbol (expresada como variable continua, cm).

En este caso, un momio es la probabilidad de mortalidad entre la probabilidad de no mortalidad para un tratamiento dado. Una razón de momios es igual al momio de un tratamiento entre el momio de otro, con respecto al cual se compara.

El análisis estadístico se realizó con el procedimiento logistic, del programa SAS para microcomputadores (v. 8.00). Para comparar el incremento en altura de árboles con diferencias en la altura inicial, se relativizó a la siguiente expresión (2), considerándose los árboles de 2 m o más de altura:

$$IRA = I Au / A p \quad (2)$$

donde, IRA=incremento relativo en altura; I Au=incremento en altura del último año (por ejemplo, 2004); A p=altura del año previo (por ejemplo, 2003).

Así se obtuvieron los incrementos relativos en altura para los años 2001 a 2004 de cada árbol muestreado. Esta variable se evaluó comparando, mediante pruebas de t, a los tratamientos con su respectivo testigo: los tratamientos: mayo baja intensidad alta densidad; mayo baja intensidad baja densidad; marzo alta intensidad alta densidad; marzo alta intensidad baja densidad; marzo baja intensidad alta densidad; marzo baja intensidad baja densidad, con su testigo correspondiente a alta o baja densidad. Las medias se obtuvieron a partir de la totalidad de árboles muestreados en cada parcela. Este análisis se hizo mediante el procedimiento ttest de SAS para microcomputadoras (v 8.00).

to the expression that follows in the model; α =intercept in the axis of ordinates; β_1 =constant associated to the variable X_1 ; X_1 =value of the variable period of burn (which acquires the values: 1=May, 0=March); β_2 =constant associated to the variable X_2 ; X_2 =variable fire intensity (1=high, 0=low); β_3 =constant associated with the variable X_3 ; X_3 =variable tree density (1=high, 0=low); β_4 =constant associated to the variable X_4 ; X_4 =variable tree diameter (expressed as continuous variable, cm).

In this case, an odd is the probability of mortality divided by the probability of non-mortality for a given treatment. An odds ratio is equal to the odds of a treatment divided by the odds of another treatment, with respect to the one it is compared with.

The statistical analysis was carried out with the logistic procedure, of the SAS program for microcomputers (v. 8.00). To compare the increment in tree height with differences in the initial height, the following expression was relativized (2), considering the trees of a height of 2 m or more:

$$IRA = I Au / A p \quad (2)$$

where, IRA=relative height increment; I Au=height increment of the last year (for example, 2004); A p=height of the previous year (for example, 2003).

In this way, the relative increments in height were obtained for the years 2001 to 2004 for each sampled tree. This variable was evaluated comparing, by means of t tests, the treatments with their respective control: the treatments: May low intensity, high density; May low intensity, low density; March high intensity high density; March high intensity low density; March low intensity high density; March low intensity low density, with the corresponding treatment of high or low density. The means were obtained from the total of sampled trees in each plot. This analysis was made with the SAS t test procedure for microcomputers (v 8.00).

RESULTS AND DISCUSSION

Mortality

The model fit was significant ($p=0.0001$). The association of predicted probabilities and observed responses resulted in a concordance of 90.5%. The four tested factors (period of burn, intensity, tree density and diameter to the breast height of the trees) were statistically significant (Table 2). The odds obtained for the prescribed burns in May were 13 times higher in May than in March, and seven times higher in the experimental fires than in the prescribed burns. For density, the odds were eight times higher in dense areas with respect to those of low density. Finally, for each centimetre less that the trees had of normal diameter, the odds ratio increased by 0.7% (Table 3).

Substituting the values of the coefficients of Table 1, equation 1 is:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mortalidad

El ajuste del modelo resultó significativo ($p=0.0001$). La asociación de probabilidades predichas y respuestas observadas arrojó una concordancia de 90.5%. Los cuatro factores probados (época de quema, intensidad, densidad del arbolado y diámetro normal de los árboles) fueron estadísticamente significativos (Cuadro 2). La razón de momios obtenida para las quemas prescritas en mayo fue 13 veces mayor que la de marzo. Asimismo, dicha razón fue siete veces mayor en los incendios experimentales que en las quemas prescritas. Para la densidad, la razón de momios fue ocho veces mayor en áreas densas en comparación con aquellas de baja densidad. Finalmente, por cada centímetro menos que los árboles tuvieron de diámetro normal, la razón de momios se incrementó en 0.7 (Cuadro 3).

Sustituyendo los valores de los coeficientes del Cuadro 2, la ecuación 1 es:

$$P = 1 / (1 + \exp(-2.7135 + 2.5935X_1 + 1.9889X_2 + 2.0829X_3 - 0.3504X_4)) \quad (2)$$

Para una mejor interpretación de los resultados del modelo, en la Figura 2 se representa la probabilidad de mortalidad para diferentes escenarios, notándose la mayor probabilidad de mortalidad conforme avanza la temporada de incendios, el fuego es más intenso, el arbolado es más denso y conforme los árboles tienen menor diámetro normal. El extremo corresponde a las quemas en mayo con alta intensidad y en áreas de alta densidad de arbolado. En este último caso, los árboles con 1 cm de diámetro normal casi alcanzan la certeza de mortalidad.

Sin embargo, se aprecia que la probabilidad de mortalidad es mínima en quemas prescritas de marzo a baja intensidad, particularmente en áreas de baja densidad, donde los mismos árboles con 1 cm de diámetro normal, tienen una probabilidad de morir de aproximadamente 0.05 (Figura 2), la cual se reduce aún más en la medida en que los árboles tienen mayor diámetro.

No hay diferencia en la mortalidad promedio entre los tratamientos de marzo a baja intensidad (4.4%) y el testigo (4.2%). La principal causa de mortalidad en el área testigo se considera relacionada con la competencia (autoaclareo), en sitios de alta densidad. La mortalidad en el incendio experimental de marzo fue 13.9%.

Los tratamientos de mayo aumentaron aún más su mortalidad a dos años de las quemas e incendios, en comparación con el primer año. Con base en Rodríguez

$$P = 1 / (1 + \exp(-2.7135 + 2.5935X_1 + 1.9889X_2 + 2.0829X_3 - 0.3504X_4)) \quad (2)$$

For a better interpretation of the results of the model, Figure 2 shows the probability of mortality for different scenarios, noting the probability of mortality is greater the farther along in the fire season, the more intense the fire, the higher the tree density, and the smaller the normal tree diameter. The extreme corresponds to the May burns with high intensity and in areas of high tree density. In this latter case, the trees with a normal diameter of 1 cm reach a probability of mortality that is almost 100%.

However, it can be observed that the probability of mortality is minimal in low intensity prescribed burns in March, particularly in low density areas, where the same trees with a normal diameter of 1 cm present a probability of mortality of 0.05 (Figure 2), which is reduced even more as the tree diameter increases.

There is no difference in the average mortality between the March low intensity treatments (4.4%) and the control (4.2%). The principal cause of mortality in the control area is considered to be related with competition (self-thinning), is high density sites. The mortality in the March experimental fire was 13.9%.

In the May treatments, the mortality increased even more two years after the burns and fires, with respect to the first year. Based on Rodríguez *et al.* (2007), a year after the May low intensity treatment and the May high intensity treatment, there was a mortality of 14.5% and 52%, whereas for the second year, these values were equal to 33 and 67.3%.

Cuadro 2. Valor de los coeficientes y significancia de las variables.

Table 2. Value of the coefficients and significance of the variables.

Variable	Coficiente	Error estándar	χ^2	p
Intercepción	-2.713	0.722	14.112	0.0002
Época de quema	2.593	0.398	42.441	<0.0001
Intensidad de quema	1.989	0.392	25.745	<0.0001
Densidad	2.083	0.527	15.639	<0.0001
Diámetro normal	-0.350	0.067	27.319	<0.0001

Cuadro 3. Razones de momios y sus intervalos de confianza al 95%.

Table 3. Odd ratios and their confidence intervals at 95%.

Variable	Razón de momios	Intervalo de confianza
Época (mayo-marzo)	13.376	6.130 - 29.186
Intensidad (alta - baja)	7.308	3.389 - 15.756
Densidad (alta - baja)	8.028	2.859 - 22.539
Diámetro	0.704	0.618 - 0.803

et al. (2007), a un año el tratamiento de mayo a baja intensidad y el de mayo a alta intensidad arrojaron mortalidades de 14.5% y 52%, mientras que para el segundo año estos valores fueron iguales a 33 y 67.3%.

Para la densidad, el nivel bajo (con zacates como principal combustible) tuvo una supervivencia mayor a la del nivel alto, con prevalencia de hojarasca entre los combustibles (Figura 2). Esto denota que los incendios provocan mayor mortalidad en áreas densas por el mayor calor transmitido a las raíces superficiales debido al tipo de combustible, según han referido Brockway y Outcalt (1998) para *Pinus palustris* Mill. Asimismo, Ryan y Frandsen (1991) indican que en masas densas de *Pinus ponderosa* Douglas ex. Laws prevalecen hojarasca y mantillo como combustibles, con respecto a zacates, y que en las primeras la combustión sin llama es más común, y libera más calor bajo el piso forestal, afectándose a las raíces e incrementando mortalidad.

Incremento relativo en altura

Para esta variable se excluyeron de los análisis los tratamientos de mayo a alta intensidad, por su elevada mortalidad y baja muestra resultante. El incremento relativo en altura tiende a reducirse con la edad; Verkaik y Espelta (2005) señalan dicha tendencia para masas de *Pinus halepensis* Mill. de 10 a 22 años, producto de regeneración en áreas incendiadas. Sin embargo, en el presente trabajo las clases de tamaño en cada parcela no fueron comparadas a través del tiempo, sino entre tratamientos. Así, los crecimientos relativos en altura del brote correspondientes a 2001 (previo a la aplicación de las quemas), no tuvieron diferencias significativas para ninguna comparación entre parcelas (Cuadro 4), lo que denota uniformidad para esta variable antes de la aplicación de tratamientos y condiciones de crecimiento equivalentes en todas las parcelas.

En 2002, cuando se aplicaron los tratamientos con fuego, no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de los brotes con respecto al testigo (sin quema), excepto en las quemas de mayo a baja intensidad y alta densidad (8.2 cm m^{-1}), que fue 32% superior a su testigo respectivo ($6.2 \text{ cm}^{-1} \text{ año}$) (Cuadro 4). En este último caso, si bien la probabilidad de mortalidad a densidad alta fue mayor que a densidad baja, aparentemente fue suficiente para abrir espacio de crecimiento y favorecer el crecimiento en altura del arbolado superviviente, con respecto al testigo. Las diferencias más evidentes en crecimiento relativo del brote se presentaron en el año 2003, en las quemas realizadas en marzo a baja intensidad, con diferencias entre 40 y 75% superiores a sus testigos respectivos (Cuadro 4). A diferencia de 2002, la quema en mayo a baja intensidad en la parcela de alta densidad no ocasionó

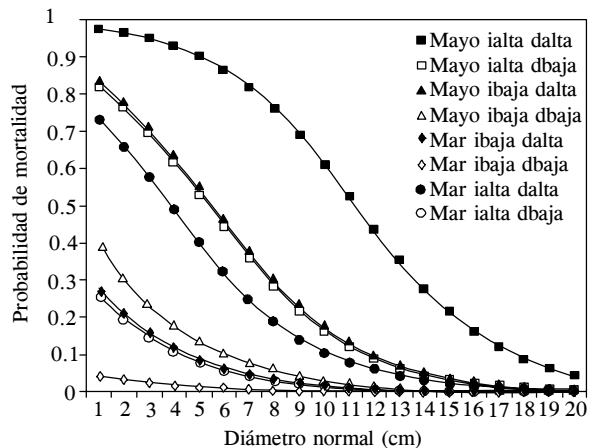


Figura 2. Probabilidad de mortalidad por categoría diamétrica por incendios y quemas prescritas en diferentes épocas, intensidades y densidades de arbolado, a dos años del paso del fuego. mayo=quema en mayo; mar=quema en marzo; ialta=intensidad alta; ibaja= intensidad baja; dalta=densidad alta; dbaja=densidad baja.

Figure 2. Probability of mortality per category of diameter to the breast height for forest fires and prescribed burns at different periods, intensities and tree densities, two years after the fire. May=May burn; Mar=March burn; ialta=high intensity; ibaja=low intensity; dalta=high density; dbaja=low density.

For density, the low level (with grasses as principal fuel) had a higher survival rate than the high level, with prevalence of needle litter among the fuels (Figure 2). This denotes that the fires provoke greater mortality in dense areas due to greater heat that is transmitted to the superficial roots because of the type of fuel, according to what Brockway and Outcalt (1998) observed for *Pinus palustris* Mill. Furthermore, Ryan and Frandsen (1991) indicate that in dense stands of *Pinus ponderosa* Douglas ex. Laws, needle and other types of litter prevail as fuels with respect to grasses, and that in the former, combustion without flame is more common, and releases more heat beneath the forest floor, thus affecting roots and increasing mortality.

Relative height increment

For this variable, the May high intensity treatments were excluded from the analyses, because of their high mortality and low resulting sample. The relative height increment tends to decrease with age; Verkaik and Espelta (2005) point out this tendency for stands of *Pinus halepensis* Mill. of 10 to 20 years, product of regeneration in burned areas. However, in the present study the size classes in each plot were not compared through time, but among treatments. Thus, the relative height increases of the leader shoot corresponding to

un mayor crecimiento del brote con respecto a su testigo. Sin embargo, en la parcela de baja densidad, la quema en mayo con baja intensidad ocasionó un menor crecimiento del brote con respecto a su parcela testigo, probablemente como resultado postergado de daños por el fuego, más intenso mientras más avanzada está la temporada.

En 2004 sólo la parcela de baja densidad que recibió una quema de baja intensidad en marzo presentó un crecimiento relativo superior a su testigo; ningún otro tratamiento exhibió diferencias significativas con respecto a su testigo (Cuadro 4).

El efecto acumulado en incremento relativo de 2002 a 2004, en la parcela de baja densidad que se quemó en marzo a baja intensidad fue 48% superior al testigo, mientras que en la parcela de alta densidad que recibió el mismo tratamiento de quema el efecto acumulado sólo fue 14% superior a su testigo. En contraste, en la parcela de baja densidad que recibió una quema de baja intensidad en mayo, el incremento relativo acumulado en tres años fue 18% menor que su testigo.

A mayor nivel de chamuscado de copas, asociado con mayores intensidades del fuego se observa un menor crecimiento de los árboles, excepto para niveles muy bajos de afectación de copas. Así, en *P. taeda* L. se han encontrado reducciones en el crecimiento en altura iguales a 0.73 m, en árboles con su copa chamuscada entre 30% y 40%, reducción que cambió a 1.71 m cuando se afectó entre 85% y 99% de las copas, para un período de 4.5 años (Chambers *et al.*, 1986). De manera similar, Landsberg *et al.* (1984) encontraron que en masas naturales de *P. ponderosa* el crecimiento en altura se redujo 8% en áreas quemadas con intensidad moderada y 18% en áreas quemadas con mayor intensidad. Las bajas intensidades de quema se asocian con bajos niveles de chamuscado de copa, a su vez relacionados con mayor incremento en altura, como

2001 (prior to the application of the burns) did not show significant differences for any comparison among plots (Table 4), which denotes uniformity for this variable before the application of the treatments and equivalent growth conditions in all of the plots.

In 2002, when the fire treatments were applied, no significant differences were found in shoot increment with respect to the unburned control, except in the low intensity and high intensity May burns (8.2 cm m⁻¹), which were 32% higher than their respective control (6.2 cm⁻¹ year) (Table 4). In this last case, although the probability of mortality at high density was higher than at low density, it was apparently sufficient to open growing space and to favour the height growth of the surviving trees, with respect to the control. The most evident differences in relative increment of the shoot were shown in 2003, in the low intensity burns carried out in March, with differences between 40 and 75% higher than their respective controls (Table 4). Contrary to 2002, the low intensity burn in May in the high density plot did not cause greater shoot increment with respect to the control. However, in the low density plot, the low intensity burn caused lower growth of the shoot with respect to its control plot, probably as a delayed result of fire damage, more intense as the season progressed.

In 2004, only the low density plot that received a low intensity fire in March presented a relative increment that was higher than its control; no other treatment exhibited significant differences with respect to its control (Table 4).

The accumulated effect in relative increment from 2002 to 2004, in the low density plot that was burned in March at low intensity, was 48% higher than the control, whereas in the high density plot that received the same burn treatment, the accumulated effect was only 14% higher than its control. In contrast, in the

Cuadro 4. Comparaciones del IRA mediante la prueba de t, entre los diferentes tratamientos y para distintos años (2001 corresponde a antes de la aplicación de tratamientos con fuego, 2002 durante, 2003 y 2004 posteriormente a la aplicación de los mismos).
Table 4. Comparisons of the IRA by means of the t test, among the different treatments and for different years (2001 corresponds to before the application of the treatments with fire, 2002 during, 2003 and 2004 after the application of the treatments).

Tratamientos		2001			2002			2003			2004		
		IRA	(cm/m)	p	IRA	(cm/m)	p	IRA	(cm/m)	p	IRA	(cm/m)	p
MyBa	Ta	6.3	5.2	0.149	8.2	6.2	0.043	5.8	5.2	0.343	4.7	4.5	0.667
MyBb	Tb	7.1	8.7	0.406	6.0	8.9	0.066	4.2	6.5	0.003	5.9	4.8	0.309
MzAa	Ta	5.4	5.2	0.761	6.8	6.2	0.457	4.8	5.2	0.485	5.4	4.5	0.076
MzAb	Tb	7.3	8.7	0.518	11.4	8.9	0.178	5.7	6.5	0.432	6.7	4.8	0.078
MzBa	Ta	6.2	5.2	0.090	5.8	6.2	0.529	7.4	5.2	0.001	5.4	4.5	0.079
MzBb	Tb	9.8	8.7	0.620	7.9	8.9	0.503	11.4	6.5	0.007	8.1	4.8	0.001

MyBa=mayo baja intensidad alta densidad; MyBb=mayo baja intensidad baja densidad; MzAa=marzo alta intensidad alta densidad; MzAb=marzo alta intensidad baja densidad; MzBa=marzo baja intensidad alta densidad; MzBb=marzo baja intensidad baja densidad. p=probabilidad. Ta=testigo alta densidad, Tb=testigo baja densidad, IRA=incremento relativo en altura.

ocurre en *Pinus elliottii* Engelm (Johansen, 1975; Johansen y Wade, 1987). Un mayor crecimiento en diámetro asociado con bajos niveles de chamuscado de copa se ha determinado también en *P. taeda* (Villarrubia y Chambers, 1978), *P. elliottii* (Johansen, 1975), y el propio *P. hartwegii* (González y Rodríguez, 2004).

Estos efectos de mayor crecimiento no se registran en todas las especies ni condiciones y puede deberse a la eliminación de ramas bajas con follaje viejo, poco eficiente fotosintéticamente y que demandan más fotosintatos de los que producen (Villarrubia y Chambers, 1978; Wade y Johansen, 1986), así como a la mayor fotosíntesis que realiza el follaje residual en un árbol podado, a la redistribución de carbohidratos producto de la poda (Kozłowski y Pallardy, 1997), y a la fertilización con cenizas (Wade y Johansen, 1986). Dada la menor mortalidad y el efecto positivo en el crecimiento del brote, se sugiere el uso de fuego prescrito en la especie bajo estudio, a baja intensidad, no después de marzo, particularmente en áreas de baja densidad.

CONCLUSIONES

En el presente estudio, conducido en árboles de *P. hartwegii* de hasta 24 cm de diámetro normal, los incendios forestales (emulados mediante quemas prescritas de gran intensidad, con longitudes de llama de hasta 8 m) originaron una mortalidad mayor que las quemas prescritas a baja intensidad en marzo (con longitudes de llama de hasta 1 m). Estas últimas no provocan una mortalidad diferente a la que se da en las áreas no quemadas, e inclusive uno y dos años después del paso del fuego producen mayores IRA que los de áreas no quemadas.

La probabilidad de muerte es mayor cuando el fuego ocurre en mayo que en marzo, probablemente por la mayor sequía acumulada durante la temporada de incendios forestales. Asimismo, el fuego a alta intensidad, como el de los incendios forestales, mata más árboles que el de baja intensidad, como el de quemas prescritas. La densidad del arbolado, relacionada con el complejo de combustibles superficiales, también afecta la mortalidad, siendo mayor si el rodal es denso (900 a 2500 árboles ha⁻¹), que si es poco denso (300 a 700 árboles ha⁻¹).

Asimismo, en la medida en que los árboles son de menor diámetro, su probabilidad de muerte aumenta particularmente en los tratamientos de mayo a alta intensidad y densidad, en comparación con los tratamientos de marzo a baja intensidad y a baja densidad. Sin embargo, a medida que el diámetro del árbol aumenta se reducen la probabilidad de mortalidad en general y las diferencias de ésta entre los tratamientos.

low density plot that received a low intensity fire in May, the relative increment accumulated in three years was 18% lower than its control.

At higher levels of crown scorch, associated with higher intensities of fire, lower tree growth is observed, except for very low levels of crown damage. Thus, in *P. taeda* L., reductions have been found in height growth equal to 0.73 m, in trees with between 30% and 40% crown scorch, reduction which changed to 1.71 m when 85% to 99% of the crowns were affected, for a period of 4.5 years (Chambers *et al.*, 1986). Similarly, Landsberg *et al.* (1984) found that in natural stands of *P. ponderosa*, height growth was reduced by 8% in areas burned with moderate intensity and by 18% in areas burned with higher intensity. The low burn intensities are associated with low levels of crown scorch, which are in turn associated with greater height increment, as occurs in *Pinus elliotti* Engelm (Johansen, 1975; Johansen and Wade, 1987). A higher level of growth in diameter associated with low levels of crown scorch has also been determined in *P. taeda* (Villarrubia and Chambers, 1978), *P. elliottii* (Johansen, 1975), and in *P. hartwegii* (González and Rodríguez, 2004).

These effects of increased growth are not registered in all of the species or conditions, and may be due to the elimination of the lower branches with old foliage, which is photosynthetically less efficient and demand more photosynthates than the ones produced in such branches (Villarrubia and Chambers, 1978; Wade and Johansen, 1986), as well as to the greater photosynthesis made by the residual foliage in a pruned tree, to the redistribution of carbohydrates resulting from the pruning (Kozłowski and Pallardy, 1997), and to the fertilization with ashes (Wade and Johansen, 1986). Given the lower mortality and the positive effect in shoot increment, the use of prescribed fire is suggested in the species under study, at low intensity, no later than March, particularly in low density areas.

CONCLUSIONS

In the present study, conducted in trees of *P. hartwegii* of up to 24 cm of diameter to the breast height, forest fires (simulated through prescribed fires at high intensity, with flame lengths of up to 8 m) caused higher mortality than the low intensity prescribed burns in March (with flame lengths of up to 1 m). The latter do not cause a mortality different from that of unburned areas, and in fact produce greater IRA one and two years after the fire than those of unburned areas.

The probability of mortality is greater when the fire occurs in May than when it occurs in March, probably because there is a higher level of accumulated

Los resultados anteriores evidencian que las quemadas prescritas a baja intensidad a comienzos o mediados de la temporada de incendios, no originan mortalidad significativa e inclusive pueden aumentar el incremento relativo en altura en arbolado juvenil de la especie estudiada.

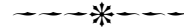
AGRADECIMIENTOS

A las Comunidades de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, por permitir la instalación del Proyecto Ajusco (al cual este experimento pertenece) en sus terrenos. Al CONACYT (Proyecto de instalación no. I35626-B), por financiar el establecimiento y evaluación inicial del experimento. A la Universidad Autónoma Chapingo, y a CONAFOR-CONACYT (Proyecto 2002-C01-6181), por su financiamiento para la medición a dos años. A CONAFOR y a CORENADER, por su autorización y apoyo para el establecimiento del experimento, y al Sr. Gerardo Medoza Ángeles, por su valiosa ayuda en la toma de datos.

LITERATURA CITADA

- Beverly L., J., and L. D. Martell. 2003. Modeling *Pinus strobus* mortality following prescribed fire in Quetico provincial Park, Northwestern Ontario. *Can. J. Forest Res.* 33(3): 740-751.
- Brockway, D. G., and K. Outcalt. 1998. Gap-phase regeneration in longleaf pine wiregrass ecosystem. *For. Ecol. Manag.* 106: 125-139.
- Brown, J. K. 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA, For. Serv. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report INT-16. Ogden, Utah. 24 p.
- Chambers, J. L., P. Dougherty, and T. C. Hennessey. 1986. Fire: Its effects on growth and physiological processes in conifer forests. *In: Hennessey, T. C., P. M. Dougherty, V. Kossuths and J. D. Johnson (eds). Stress Physiology and Forest Productivity.* Martinus Nijhoff Pub. Boston. pp: 177-189.
- García, E. 1981. Apuntes de Climatología. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D. F. 116 p.
- González R., A., y D. A. Rodríguez T. 2004. Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* Lindl. *Agrociencia* 38 (5): 537-544.
- Hosmer, D. W., and S. Lemeshow. 2000. Applied Logistic Regression. Wiley. New York. 392 p.
- Johansen, R. W. 1975. Prescribed burning may enhance growth of young slash pine. *J. For.* 73(3): 148-149.
- Johansen, R. W., and D. D. Wade. 1987. Effects of crown scorch on survival and diameter growth of slash pines. *Southern J. Appl. For.* 11(4): 180-184.
- Kozlowsky, T. T., and G. S. Pallardy. 1997. Physiology of Woody Plants. 2nd ed. Academic Press. San Diego. 411 p.
- Landsberg, J. D., P. H. Cochran, M. M. Finck, and R. E. Martin. 1984. Foliar nitrogen content and tree growth after prescribed fire in ponderosa pine. USDA For. Serv., Pacific South-west Forest and Range Experiment Station. Research Note PNW-412. Portland, Oregon. 13 p.
- McHugh, C. W., and T. E. Kolb. 2003. Ponderosa pine mortality following fire in Northern Arizona. *Int. J. Wildland Fire* 12(1): 7-22.
- drought during the forest fire season. In addition, fire at high intensity, as with that of forest fires, kills more trees than low intensity fire, such as with prescribed burns. Tree density, related to the complex of surface fuels, also affects mortality, and is higher if the stand is dense (900 to 2500 trees ha⁻¹) than if the density is low (300 to 700 trees ha⁻¹).
- Furthermore, the smaller the diameter of the trees, the higher the probability of death, particularly in the May treatments at high intensity and density, with respect to the March treatments at low intensity and low density. However, the greater the diameter of the tree, the lower the probability of mortality in general and the fewer the differences in mortality among the treatments.
- The above-mentioned results show that the prescribed burns at low intensity at the beginning or middle of the fire season, do not cause significant mortality and may even increase relative height increment in young trees of the species under study.

—End of the English version—



- Miranda, F., y E. Hernández X. 1985. Los tipos de vegetación en México y su clasificación. *In: Xolocotzia. Tomo I. Rev. Geog. Agríc. UACH.* Chapingo, Estado de México. pp: 41-162.
- Musálem S., M. A., y A. Solís M. 2000. Monografía de *Pinus hartwegii*. SAGAR. INIFAP. CIRSE Campo Experimental Valle de México. Libro Técnico No. 3, Chapingo, Estado de México. 96 p.
- Robbins, L. E., and R. L. Myers. 1992. Seasonal Effects of Prescribed Burning in Florida: A review. Tall Timbers Research Inc. Miscellaneous Publication No. 8. Tallahassee, Florida. 96 p.
- Rodríguez T., D. A. 1994. 24,000 años de incendios forestales en México. *México y sus Bosques* 22: 7-26.
- Rodríguez T., D. A. 2001. Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(2): 145- 151.
- Rodríguez T., D. A., and P. Z. Fulé. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *Int. J. Wildland Fire* 12(1): 23-37.
- Rodríguez T., D. A., U. B. Castro S., y M. Zepeda B., and R. J. Carr. 2007. First year survival of *Pinus hartwegii* following prescribed burns at different seasons in Central México. *Int. J. Wildland Fire* 16 (in press).
- Ryan, K. C., and E. D. Reinhardt. 1988. Predicting postfire mortality of seven western conifers. *Can. J. For. Res.* 18: 1291-1297.
- Ryan K. C., and W. H. Frandsen. 1991. Basal injury from smoldering fires in mature *Pinus ponderosa* Laws. *Int. J. Wildland Fire* 1: 107-118.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 432 p.
- Rzedowski, J., L. Vela G., y X. Madrigal S. 1977. Algunas consideraciones acerca de los bosques de coníferas en México. *Ciencia Forestal* 2(5): 25-35.
- TNC (The Nature Conservancy). 2004. El fuego, los ecosistemas y la gente. TNC. Tallahassee, Florida. 9 p.

- Verkaik, I., and J. M. Espelta. 2005. Effect of thinning and post-fire regeneration age on the reproductive characteristics of *Pinus halepensis* Mill forests. *In: Memoria II Conferencia Internacional sobre Estrategias de Prevención de Incendios en el Sur de Europa*. Barcelona, España, 9-11 mayo, 2005. pp: 1-7.
- Villarrubia, C. R., and J. L. Chambers. 1978. Fire: its effect on growth and survival of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Louisiana Acad. Sci.* 41: 85-93.
- Wade, D. D., and R. W. Johansen. 1986. Effects of fire on Southern pine: Observations and recommendations. USDA For. Serv. Southeastern Forest Experiment Station General Technical Report SE-41. Asheville, North Carolina. 20 p.