

EFECTO DEL CHAMUSCADO DE COPA EN EL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE *Pinus hartwegii* Lindl. EN EL DISTRITO FEDERAL, MÉXICO

EFFECT OF CROWN SCORCH ON DIAMETER GROWTH OF *Pinus hartwegii* Lindl. AT THE DISTRITO FEDERAL, MÉXICO

Andrés González-Rosales¹ y Dante A. Rodríguez-Trejo²

¹CONAFOR. Estado de Michoacán. (cosmoandres@hotmail.com). ²División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. (dantearuro@yahoo.com)

RESUMEN

Dada la necesidad de mayor información acerca de los impactos de los incendios forestales, en este trabajo se estudió el efecto del chamuscado de copa sobre: la anchura del anillo de crecimiento anual producido un año después del paso del fuego, recuperación de copa y rebrotes en la base del árbol, en *Pinus hartwegii* Lindl. en el Parque Desierto de los Leones, Distrito Federal. Los datos se analizaron con métodos estadísticos multivariados. El chamuscado de copa ligero (<30%) está asociado a anillos 32% más anchos que los del testigo. Con un nivel medio de chamuscado (30-60%) se generan anillos con una anchura no diferente a la del testigo. El chamuscado intenso (>60%) produce una reducción de 13% en la anchura del anillo. A mayor proporción de copa afectada, mayor producción de follaje nuevo en las ramas afectadas por el fuego.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, ecología del fuego, incendios forestales, manejo del fuego.

INTRODUCCIÓN

El *Pinus hartwegii* Lindl. en México se distribuye en 14 Estados, entre 2900 y 4000 m de altitud, aunque algunos individuos pueden encontrarse a 4200 m, que es el límite altitudinal arbóreo en México. Esta especie alcanza 20 m de altura y forma masas abiertas o relativamente abiertas, asociado con un zacatonal denso, con especies dominantes como *Festuca tolucensis* H.B.K. y *Muhlenbergia macroura* H.B.K. (Rzedowski, 1978; 1981).

Pinus hartwegii 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-Trejo 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.

ABSTRACT

Since more information about the impact of forest fires is needed, this research studied the effect of crown scorch on the width of the annual ring produced the year after the fire, crown restoration, and resprouting in *Pinus hartwegii* Lindl., in the Desierto de los Leones Park in the Distrito Federal of México. Data were analyzed using multivariate statistical methods. The results indicated that light crown scorch (<30%) was associated to a production of annual rings 32% wider than those of the control. At medium level scorch (30-60%), annual rings with a width not different from those of the control were produced, whereas an intense crown scorch (>60%) produced a reduction in ring width of 13%. The higher the intensity of crown scorch, the higher the production of new foliage on the branches affected by fire.

Key words: Growth rings, fire ecology, forest fires, fire management.

INTRODUCTION

Pinus hartwegii Lindl. in México is found in 14 states at heights between 2900 and 4000 m, though some individuals may be present at 4200 m, which is the altitude limit of the tree line in México. This species reaches a height of 20 m and forms open or relatively open stands, associated to thick grasses with dominant species, such as *Festuca tolucensis* H.B.K. and *Muhlenbergia macroura* H.B.K. (Rzedowski, 1978; 1981).

Pinus hartwegii is one of the Mexican pine trees most adapted to superficial fires. Its bark is thick and protects the cambium, and it regenerates well in burnt sites, fire removing the physical barrier represented by grass and creating a layer of ashes rich in nutrients for sustenance (Rodríguez-Trejo and Fulé, 2003); besides resprouting in early ontogeny in burnt areas (Rzedowski *et al.*, 1977), the fire as well provides good natural pruning, which diminishes the vertical continuity for fuels, and a cespitose state.

In México, on average 8877 forest fires per year are recorded, affecting 330 384 ha (SEMARNAT, 2001). Many of these fires occur in pine forests including those of the species under study. The excess of anthropogenic fire, mainly related to pasturage, has degraded this

Recibido: Febrero, 2003. Aprobado: Agosto, 2004.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 38: 537-544. 2004.

En promedio, en México se registran 8877 incendios forestales por año, afectando 330 384 ha (SEMARNAT, 2001). Muchos de estos incendios ocurren en bosques de pino, incluyendo los de la especie en estudio. El exceso de fuego antrópico, principalmente relacionado con pastoreo, ha degradado este ecosistema en diversas localidades. Los incendios muy frecuentes eliminan este pino y favorecen la dominancia de gramíneas amacolladas (Miranda y Hernández-Xolocotzi, 1985). Pero la exclusión del fuego puede favorecer el avance de la sucesión vegetal, en algunos casos bosques de *Abies religiosa* H.B.K. desplazan a este pino en altitudes no mayores a 3500 m. La falta de fuego implica mayor acumulación de combustible, con la consecuente mayor intensidad de un incendio, que mata una mayor proporción de brinzales y árboles juveniles. Esto va en detrimento de la única especie arbórea nacional que puede sobrevivir en altitudes mayores de 3500 m.

El manejo del fuego va más allá de prevenir y combatir incendios forestales. Por tanto, investigar la ecología del fuego, los impactos de los incendios y la ciencia del fuego es importante. Así, es necesario aplicar este nuevo conocimiento en el manejo de los suelos, usando fuego prescrito en la administración de ecosistemas para conservarlos, restaurarlos o volverlos productivos, educar a los usuarios del fuego y a la opinión pública (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2002).

La política nacional oficial en manejo del fuego ha sido de exclusión, y aunque la prevención y combate de incendios es indispensable, no son la mejor opción para la conservación y manejo de los ecosistemas forestales relacionados con incendios frecuentes de baja intensidad. Por tanto, es necesario el uso de quemas prescritas, con técnicas que maximicen los impactos positivos, como el reciclaje de la materia orgánica para favorecer la disponibilidad de nutrientes, regeneración, reducción de peligro de incendios más intensos, hábitat adecuado para fauna, heterogeneidad para favorecer la diversidad, y los usos silvícolas, de conservación y tradicionales. Además, minimizar los impactos negativos, como mortalidad de árboles y fauna, deforestación, erosión y contaminación.

El chamuscado de copa es la deshidratación o quema de una parte o la totalidad de la copa por el fuego, y contribuye a la poda natural de los árboles. En especies como *Pinus taeda* (Weise *et al.*, 1987) se ha encontrado que bajos niveles de chamuscado de copa están asociados con mayor incremento en diámetro, a veces también en altura, pero niveles altos de chamuscado reducen o nulifican tales crecimientos. Sin embargo, no se han efectuado estudios sobre este tópico en México.

Por tanto, dada la necesidad de mayor información sobre los efectos del fuego, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) estudiar el efecto de diferentes niveles

ecosystem in several localities. Very frequent fires eliminate this pine and favor the dominance of bunch grass (Miranda and Hernández-Xolocotzi, 1985). But the exclusion of the fire may favor the advance of plant succession; in some cases, forests of *Abies religiosa* H.B.K. replace this pine at altitudes not beyond 3500 m. The lack of fire entails larger accumulation of fuel and, consequently, greater intensity of a fire, killing a higher proportion of seedlings and young trees. This results in detriment of the only national tree species which is able to survive at altitudes over 3500 m.

Knowing how to manage fire is useful for preventing and fighting forest fires. Therefore, it is important to research into fire ecology, the impact of fires, and fire science. So, it is necessary to apply this new knowledge in soil management using controlled fire in the administration of ecosystems in order to conserve and restore them, or turning them productive again, furthermore, to educate the users of fire, and influence public opinion (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2002)

The official national policy in fire management has been exclusion, and though prevention and fighting of fires is essential, they are not the best options to conserve and manage forest ecosystems, related to frequent fires of low intensity. Therefore the use of prescribed burnings and techniques maximizing positive impact is required such as the conversion of organic to mineral soil, in order to favor availability of nutrients, regeneration, and the reduction of the danger of more intense fires, as well as adequate habitat for fauna, heterogeneity to favor diversity, and silvicultural, traditional and conservation uses. Furthermore, it is necessary to minimize negative impact, like mortality of trees and fauna, deforestation, erosion, and contamination.

Crown scorch is the dehydration or burning of part or the whole of the crown by fire, and contributes to the natural pruning of the trees. In species like *Pinus taeda* (Weise *et al.*, 1987), it has been found that low levels of crown scorch are associated to an increase in diameter, sometimes also in height, but high levels of scorch reduce or nullify such growth. Nevertheless, there have been no studies about this topic in México.

So, facing the need of greater information about the effects of fire, the objectives of the present work were: 1) to study the effect of different levels of crown scorch on the width of the annual rings produced one year after the fire, and on the proportion of early and late wood in the same growth ring; 2) to evaluate the restoration of the crown foliage and resprouting capacity at the base of individuals affected by fire in their crowns; 3) to obtain a model for estimating the width of the annual growth ring produced in the year following the fire. The hypothesis was, the lower the levels of crown affection by the fire, the higher the growth rate of annual rings in the year after the fire.

de chamuscado de copa en la anchura de los anillos anuales producidos un año después del fuego, y en la proporción de madera temprana y tardía en el mismo anillo de crecimiento; 2) evaluar la recuperación del follaje de la copa y la capacidad de rebrote en la base de individuos afectados por el fuego en sus copas; 3) obtener un modelo para estimar la anchura del anillo anual de crecimiento producido el año siguiente del fuego. La hipótesis fue que a bajos niveles de afectación de copa por el fuego se tendrá mayor crecimiento de los anillos el año siguiente al fuego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en el Parque Desierto de los Leones, Distrito Federal (19° 15' a 19° 20' N; 99° 18' a 99° 20' O). Tiene una superficie de 1529 ha y está cubierto principalmente por bosque de oyamel (*Abies religiosa* Schl. et Cham.), excepto en las partes más altas (3450 a 3750 m), al sur del Parque, donde *Pinus hartwegii* forma masas puras sobre suelos volcánicos. En el Parque, a 3200 m, la temperatura media anual es 10.7 °C, hay heladas más de 50% de los días del año, y la precipitación media anual es 1300 mm, la que ocurre principalmente durante el verano (García de Miranda, 1981).

Muestreo

En el año 2000 se tomaron medidas en 153 árboles seleccionados al azar con diferentes niveles de chamuscado de copa. El chamuscado fue causado por una quema prescrita de baja intensidad (el 14 de marzo) o por un incendio forestal (el 17 de marzo). Los árboles seleccionados no deberían tener otro tipo de daño mecánico, no estar afectados por plagas ni por muérdago enano, con características similares de altura (5 a 7 m), diámetros normales de 15 a 19 cm y edades de 26 a 33 años; se tomaron árboles en crecimiento libre, sin competencia. Cincuenta y tres árboles tuvieron menos de 30% de la copa afectada por el fuego (chamuscado bajo); 21, 30 a 60% (chamuscado medio), y 29 más de 60% (chamuscado alto); más 50 árboles de características similares como testigo, en sitios alejados no afectados por el fuego. Todos los árboles estaban cercanos, en una calidad de sitio semejante, sobre pendientes someras ($\leq 30\%$). En cada tratamiento se muestrearon árboles de tres exposiciones (N, S, y E). Para determinar un posible efecto de la exposición en la anchura del anillo de crecimiento el año posterior al paso del fuego, se hizo un análisis de varianza para dicha variable, considerando los factores tratamiento, exposición y su interacción. Ni la exposición ($p=0.78$) ni la interacción ($p=0.93$) resultaron significativas.

Variables medidas

Una semana después del fuego se midieron los siguientes datos por árbol: altura, longitud de copa original, longitud de copa no afectada por el fuego, porcentaje de copa chamuscada (en intervalos de 10% y calculada como se muestra en la ecuación (1), diámetro

MATERIALS AND METHODS

Area of Study

The research was carried out in the Desierto de los Leones Park in the Distrito Federal of México (19° 15' to 19° 20' N; 99° 18' to 99° 20' W). Its surface is 1529 ha, covered mainly by "oyamel" (*Abies religiosa* Schl. et Cham.) forest, except for the highest parts (3450 to 3750 m), at the south of the park, where *Pinus hartwegii* forms pure stands on volcanic soils. In the Park at 3200 m, the annual mean temperature is 10.7 °C, more than 50% of the days of the year present frosts, and the annual mean precipitation is 1300 mm, occurring mainly during the summer (García de Miranda, 1981).

Sampling

In the year 2000, measures were taken in 153 trees randomly chosen with different levels of crown scorch. The scorch was caused by a prescribed burn of low intensity (on March 14) or by a forest fire (on March 17). The selected trees ought not to have any other type of mechanical damage and not to be affected by plagues or dwarf mistletoe; they had to possess similar characteristics of height (5 to 7 m), normal diameters of 15-19 cm, and to be 26-33 years old; free-growing trees without competition were chosen. Fifty-three trees showed less than 30% crown scorch caused by the fire (light scorch), 21 from 30 to 60% (medium scorch), and 29, more than 60% (intense scorch); another 50 trees with similar characteristics in neighboring sites, not affected by the fire, were taken as control. All the trees were nearby, in a similar quality of site, on non-steep slopes ($\leq 30\%$). In each treatment, trees of three expositions (N, S and E) were sampled. In order to determine a possible effect of the exposition on the width of the growth ring the year after the fire, an analysis of variance was made for said variable, considering the factors treatment, exposition, and their interaction. Neither exposition ($p=0.78$) nor interaction ($p=0.93$) turned out to be significant.

Measured variables

A week after the fire, the following data per tree were taken: height, original crown length, length of the crown unaffected by the fire, percentage of crown scorch (in intervals of 10% and calculated as shown in equation (1), normal diameter, and number of resprouts at the tree base; two drill cores per tree were obtained using a Pressler borer, one at each side of the slope to get a total of 306 drill cores. After a year, the same variables were measured, drill cores were gathered in the same way, length of the live crown was registered (without including the height growth of the last year), and the percentage of crown, present a year after the fire. The latter corresponds to the new foliage produced, where the heat of the fire, or the fire directly killed the foliage, without considering the new height growth, calculated as shown in equation (2).

$$cc = (lcc/lco) (100) \quad (1)$$

where cc = percentage of crown scorch, lcc = length of the dehydrated crown, or the crown burnt by the fire, lco = length of the original crown.

normal, número de rebrotes en la base del árbol, y se obtuvieron dos virutas de incremento por árbol con la ayuda de un taladro de Pressler, una a cada lado de la pendiente, para un total de 306 virutas de incremento. Un año después se midieron las mismas variables, se recolectaron virutas de incremento en la misma forma, se registró la longitud de copa viva (sin incluir el crecimiento en altura del último año), y el porcentaje de copa presente un año después del fuego. Esta última corresponde a lo producido en las ramas donde el calor del fuego o el fuego mataron directamente al follaje, sin considerar el nuevo crecimiento en altura, calculado como se muestra en la ecuación (2).

$$cc = (lcc/lco) (100) \quad (1)$$

donde cc = porcentaje de chamuscado de copa, lcc = longitud de copa deshidratada o quemada por el fuego, lco = longitud de copa original.

$$cr = (lcr/lco) (100) \quad (2)$$

donde cr = porcentaje de copa recuperada un año más tarde, lcr = longitud de copa recuperada un año más tarde (igual a la longitud de copa un año después, sin considerar el crecimiento en altura del último año, menos la longitud de copa residual del año anterior).

Todos los porcentajes se calcularon con respecto a longitudes de copa. Los porcentajes de chamuscado de copa se obtuvieron en intervalos de 10% y se agruparon en las cuatro categorías ya referidas.

Análisis en laboratorio

En las virutas de incremento se determinó: edad de los árboles (número de anillos más siete años, que incluye duración calculada del estado cespitoso y tiempo para alcanzar 1.3 m), anchura de los anillos producidos los años previo y posterior al incendio o quema; proporción de madera tardía y temprana en esos anillos. Estas dos últimas variables fueron determinadas usando un microscopio estereoscópico de fibra óptica.

Análisis estadístico

Se practicó un análisis multivariado para estudiar el efecto de las tres categorías de chamuscado de copa sobre: 1) la anchura de los anillos; 2) la proporción de madera temprana y tardía; 3) la recuperación de copa afectada. El modelo, con un criterio de clasificación para p respuestas, fue:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}; \quad i=1, 2, 3, 4; \quad j=1, 2, \dots, r_i \quad (3)$$

(pxl) (pxl) (pxl) (pxl)

donde y_{ij} = vector de respuestas en la j -ésima repetición con el i -ésimo tratamiento; μ = vector general de medias; τ_i = vector de los efectos del i -ésimo tratamiento; ε_{ij} = vector de errores aleatorios, los cuales se suponen independientes, con distribución $N_p(0, \Sigma)$.

$$cr = (lcr/lco) (100) \quad (2)$$

where cr = percentage of the restored crown one year later, lcr = length of the restored crown one year later (equal to the crown length after one year, without considering the height growth of the last year, minus the length of the remaining crown of the year before).

All the percentages were calculated with respect to crown length. The percentages of crown scorch were obtained in intervals of 10% and grouped in the four categories previously referred to.

Laboratory analysis

In the drill cores the following data were determined: age of the trees (number of growth rings plus seven years, including estimated duration of the grass stage and the time to reach 1.3 m), width of the rings produced in the years before and after the fire or burn, and the proportion of late and early wood in these rings. These last two variables were determined using a stereoscopic microscope of optical fiber.

Statistical analysis

A multivariate analysis was carried out in order to study the effect of the three categories of crown scorch on: 1) width of growth rings; 2) the proportion of early and late wood; 3) restoration of the affected crown. The model, with a classification criterion for p responses was:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}; \quad i=1, 2, 3, 4; \quad j=1, 2, \dots, r_i \quad (3)$$

(pxl) (pxl) (pxl) (pxl)

where y_{ij} = vector of response in the j th repetition with the i th treatment; μ = the general vector of means; τ_i = vector of effects of the i th treatment; ε_{ij} = vector of random errors, which are supposed to be independent, with distribution $N_p(0, \Sigma)$.

A comparison of means with Tukey's test was carried out ($p=0.05$) for each dependent variable, and a polynomial model was chosen to predict the width of the growth ring. Crown scorch was the independent variable.

RESULTS AND DISCUSSION

The width of the growth rings during the year after the incidence of the fire, the proportion of late and early wood in the same ring, and the restoration of the crown were significant ($p=0.0001$); unlike the number of resprouts ($p=0.19$).

Width of the growth rings

The average width of the rings was greater when crown scorch was low (3.09 mm), as compared to medium crown scorch and the control (2.41 and 2.33 mm). The ring width of the two previous treatments was greater than the ring

Se aplicó la prueba de comparación de medias de diferencia mínima significativa protegida, con $p=0.05$, a cada variable, y se eligió un modelo polinomial para predecir el ancho del anillo de crecimiento. El chamuscado fue la variable independiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La anchura de los anillos de crecimiento durante el año siguiente a la incidencia del fuego, la proporción de madera tardía y temprana en el mismo anillo, y la recuperación de copa fueron significativos ($p=0.0001$). No así el número de rebrotes ($p=0.19$).

Anchura de los anillos de crecimiento

La anchura promedio de los anillos resultó mayor cuando el chamuscado de copa fue bajo (3.09 mm), en comparación con el chamuscado medio y el testigo (2.41 y 2.33 mm). La anchura del anillo de los dos tratamientos anteriores resultó mayor a la anchura de los anillos del chamuscado alto (2.03 mm). En el análisis de anillos para el año previo a la aplicación de fuego no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p>0.01$), con valores de 2.28, 2.52, 2.52, y 2.47 mm, para el testigo y chamuscados bajo, medio y alto (Figura 1).

Tendencias similares se han señalado para otras especies de pino, como *P. palustris* Mill. (Grelen, 1983a), *P. pinaster* Ait. (Ronde, 1983), *P. ponderosa* Laws. (Landsberg *et al.*, 1984), *P. elliotii* Engelm. (Johansen y Wade, 1987) y *P. lambertiana* Dougl. (Mutch y Parsons, 1998). En el año siguiente al fuego, *P. elliotii* con 0 a 15%, 15 a 40% y >40% de chamuscado de copa, tuvo mayor, igual y menor crecimiento radial con respecto al testigo (Johansen, 1975).

Este efecto puede relacionarse con la eliminación de follaje viejo en la parte baja de la copa, que es menos eficiente fotosintéticamente, con elevadas tasas respiratorias, en comparación con las acículas más jóvenes, excepto las muy jóvenes (Kozłowski y Pallardy, 1997). Un incremento en el crecimiento secundario puede ser producido por la poda debida al fuego y el aporte de nutrientes de las cenizas (Aguirre-Bravo y Rey-Contreras, 1980). En suelos en bosques de *P. hartwegii* (Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México), después de quemas prescritas de baja intensidad hubo una ligera pérdida inicial de N por volatilización, sin que los niveles remanentes resultaran pobres, así como aumentos en P, Ca, K, Mg y Na.

Los resultados de este trabajo sugieren que la práctica de quemas prescritas de baja intensidad, aplicadas antes de, o durante marzo, así como los chamuscados de copa ligeros, pueden aumentar el crecimiento en diámetro de la especie estudiada en el Distrito Federal,

width with intense crown scorch (2.03 mm). In the analysis of rings for the year previous to the application of fire, there were no significant differences among treatments ($p>0.01$), with values of 2.28, 2.52, 2.52, and 2.47 mm for the control, light, medium, and high crown scorch (Figure 1).

Similar tendencies have been pointed out for other pine species, such as *P. palustris* Mill. (Grelen, 1983a), *P. pinaster* Ait. (Ronde, 1983), *P. ponderosa* Laws. (Landsberg *et al.*, 1984), *P. elliotii* Engelm. (Johansen and Wade, 1987), and *P. lambertiana* Dougl. (Mutch and Parsons, 1998). In the year following the fire, *P. elliotii* with 0-15%, 15-40%, and >40% of crown scorch, had greater, equal, and less radial growth with respect to the control (Johansen, 1975).

This effect may be related to the elimination of old foliage in the low parts of the crown, which is photosynthetically less efficient, with high respiration rates, compared to the younger aciculae, except the very young ones (Kozłowski and Pallardy, 1997). An increase in secondary growth may be produced by the pruning due to the fire and the contribution of nutrients from the ashes. In soils of *P. hartwegii* forests (Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México) after prescribed burning of low intensity, there was a light initial loss of N due to volatilization, without the remaining levels proving to be poor, and an increase in P, Ca, K, Mg, and Na.

The results of this study suggest that the practice of prescribed burning of low intensity, applied before or during March, as well as light crown scorch, may increase the diameter growth of the studied species in the Distrito Federal, México. It is necessary, however, to research into

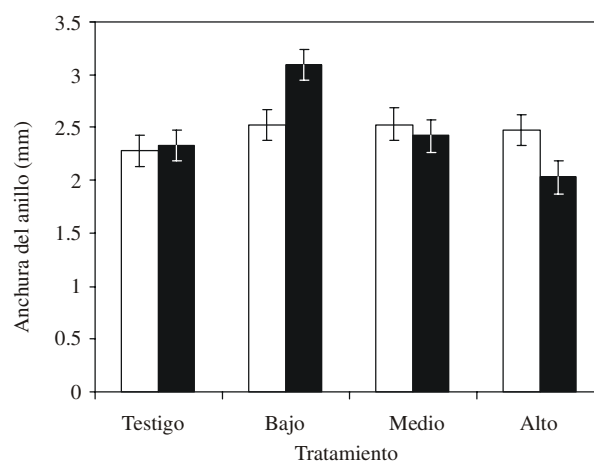


Figura 1. Anchura del anillo los años: anterior (blanco) y posterior (negro) al fuego. La barra de error representa diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

Figure 1. Ring width in the years: previous (white) and after (black) the fire. The error bar represents minimum significant difference ($p \leq 0.05$).

México. Sin embargo, es necesario investigar la frecuencia promedio de incendios o quemas prescritas y su variación, la época de quema y el efecto del fuego en otros componentes del ecosistema. En *P. elliotii* de cuatro años y 2.4 m de altura media en Louisiana, las quemas prescritas de baja intensidad anuales o cada dos años redujeron el crecimiento en diámetro, pero las quemas cada tres años no (Grelen, 1983b). Asimismo, en *P. taeda* L. y *P. echinata* Mill. de nueve años y hasta 6 m de altura, a mayor chamuscado de copa hubo menor crecimiento en diámetro (Cain, 1985).

Proporción de madera temprana y tardía

La proporción de madera tardía fue diferente para el testigo en los dos años comparados. En el año siguiente al fuego, el testigo y los chamuscados medio y alto generaron una proporción semejante de dicha madera; sin embargo, el chamuscado bajo tuvo un porcentaje significativamente menor de madera tardía (Cuadro 1). Por tanto, el fuego a baja intensidad influiría en las propiedades físicas de la madera, como la densidad. Esto indica que los factores ambientales influyen en la proporción de madera temprana y tardía. En años con abundante precipitación, los anillos contienen una mayor proporción de madera temprana y son más anchos (Kozlowski *et al.*, 1991). Sin embargo, la influencia del fuego ha sido poco documentada.

Recuperación de copa chamuscada

La recuperación de copa afectada fue elevada (69.6%) con el chamuscado alto, y tendió a ser más baja ($p \leq 0.01$) a menores niveles de afectación (39.3% para el chamuscado medio, 11.8% para el bajo y 0% para el testigo). En el caso del testigo hubo copa nueva, pues aparece el brote del último año con hojas, pero creció poco y mantuvo el resto de su copa no afectada por el fuego (Figura 2). La tendencia hallada indica que la prioridad de un árbol bajo tensión es la producción de nuevo follaje

Cuadro 1. Proporción de madera tardía en los anillos de crecimiento los años anterior y posterior al fuego.

Table 1. Proportion of late wood in the growth rings the years before and after the fire.

Tratamiento	Proporción (%) de madera tardía en el anillo	
	Año anterior	Año posterior
Testigo	22.4 a	33.5 a
Bajo	24.1 a	23.2 b
Medio	21.2 a	28.9 a
Alto	23.9 a	33.9 a

Letras distintas en una columna denotan diferencias significativas ($p \leq 0.01$).

the average frequency of fires and prescribed burns and their variation, the period of burning, and the effect of fire on other components of the ecosystem. In four-year-old *P. elliotii* trees of 2.4 m average height in Louisiana, the prescribed burns of low intensity, annually or every two years, reduced the diameter growth, unlike the burning every three years (Grelen, 1983b). Likewise, the more intense the crown scorch in nine-year-old and up to 6 m-tall *P. taeda* L. and *P. echinata* Mill. trees, the lesser was the diameter growth (Cain, 1985).

Proportion of early and late wood

The proportion of late wood was different for the control in the two years compared. The year after the fire, the control and the trees with medium and high crown scorch generated a similar proportion of said wood; however, those with light crown scorch had a significantly lower percentage of late wood (Table 1). Therefore, the fire at low intensity would influence the physical properties of the wood, such as density. This indicates that environmental factors have an influence on the proportion of early and late wood. In years with abundant precipitation, the rings contain a larger proportion of early wood and are wider (Kozlowski *et al.*, 1991). Nevertheless, the influence of the fire has been little documented.

Restoration of scorched crowns

The restoration of affected crowns was high (69.6%) with intense crown scorch, and tended to be less at lower

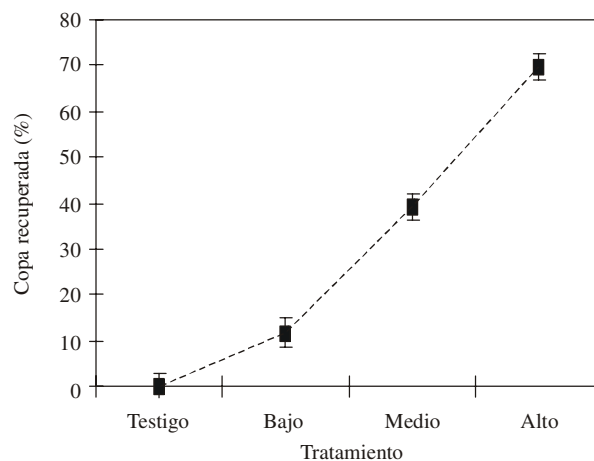


Figura 2. Copa recuperada a un año de los tratamientos, en diferentes categorías de afectación de copa por el fuego. Las barras de error representan la diferencia mínima significativa ($p \leq 0.01$).

Figure 2. Restored crown at one year after treatments, in different categories of crown affection by fire. The error bars represent significant minimum difference ($p \leq 0.01$).

para recuperar capacidad fotosintética (Waring y Pitman, 1985).

Se ha observado comportamientos parecidos en *P. elliottii* (Wade, 1983); *P. hartwegii* puede tolerar la pérdida de 100% de su follaje y no morir de inmediato, siempre que la yema terminal permanezca viva, aunque el árbol puede morir si su copa fue severamente afectada. Si la yema terminal muere, el árbol también, como ocurrió en *P. ponderosa* var. *ponderosa* (Saveland y Bunting, 1988).

Rebrotos

El número de rebrotos en la base del tallo fue 0.68 por árbol en el chamuscado alto, 1.09 en el medio, 1.34 en el bajo y sin rebrotos en el testigo; pero estas diferencias no fueron significativas ($p > 0.01$). No obstante, el rebrote ha sido documentado en pinos mexicanos como *Pinus montezumae*, *P. oocarpa* Schiede (Rzedowski *et al.*, 1977), *P. leiophylla* Schl. *et* Cham. (Perry Jr., 1991), *P. rudis* Endl. y *P. pseudostrobus* Lindl. (Rodríguez-Trejo, 1996), y *P. chihuahuana* Engelm. (Fulé *et al.*, 2000).

Predicción de la anchura de los anillos de crecimiento

Utilizando promedios para los intervalos de chamuscado de copa (en intervalos de 10%), se apreció una tendencia polinomial (Figura 3), que incluye los términos lineal, cuadrático y cúbico. El ajuste fue bueno ($p = 0.009$, $R^2 = 0.86$, $CV = 9.06$).

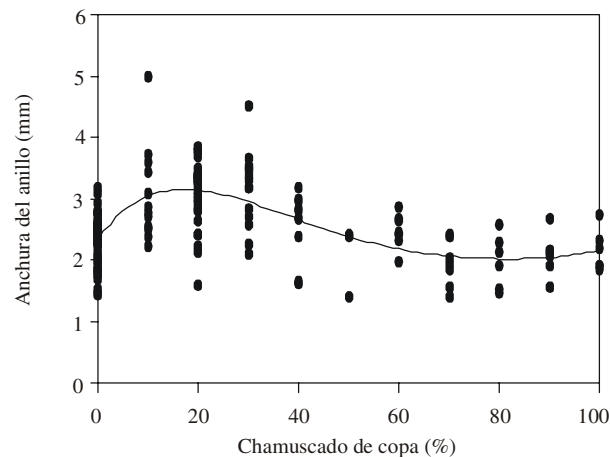


Figura 3. Anchura de los anillos el año posterior al fuego, a diferentes niveles de afectación de copa. Los puntos representan cada uno de los árboles muestreados. El cero corresponde a árboles no afectados (testigo).

Figure 3. Width of growth rings a year after the fire at different levels of crown affection. The data represent each of the sampled trees. Zero corresponds to unaffected trees (control).

levels of affection (39.3% for medium, 11.8% for low crown scorch, and 0% for the control. As regards the control, there was a new crown since last year's sprout appears with leaves, but it grew little and the rest of the crown remained without being affected by the fire (Figure 2). It was found that trees under stress have the tendency to produce new foliage to recover photo-synthetic capacity (Waring and Pitman, 1985).

Similar reactions have been observed in *P. elliottii* (Wade, 1983); *P. hartwegii* can tolerate the loss of 100% of its foliage without dying immediately, provided that the terminal shoot bud remains alive, though the tree might die if its crown was severely damaged. If the terminal bud dies, so will the tree; this happened with *P. ponderosa* var. *ponderosa* (Saveland and Bunting, 1988).

Resprouting

The number of new shoots at the base of the stem was 0.68 per tree with high scorch, 1.09 with medium, 1.34 with light scorch, and without any resprouts in the control; but these differences were not significant ($p > 0.01$). Nevertheless, resprouting has been documented in Mexican pine trees, such as *Pinus montezumae*, *P. oocarpa* Schiede (Rzedowski *et al.*, 1977), *P. leiophylla* Schl. *et* Cham. (Perry Jr., 1991), *P. rudis* Endl. and *P. pseudostrobus* Lindl. (Rodríguez-Trejo, 1996), and *P. chihuahuana* Engelm. (Fulé *et al.*, 2000).

Prediction of the width of growth rings

Utilizing averages for the intervals of crown scorch (in 10% intervals), a polynomial tendency was observed (Figure 3), including linear, square, and cubic terms. The fit was adequate ($p = 0.009$, $R^2 = 0.86$, $CV = 9.06$).

$$Y = 2.50119 + 0.05176X - 0.00156X^2 + 0.00001X^3 \quad (3)$$

where Y = width (mm) of the annual ring the year after the fire, and X = crown scorch, in intervals of 10%.

The model corresponds to young free-growing trees for the year and the conditions under study.

CONCLUSIONS

Moderate crown scorch (equal to or less than one third of the original crown) of young free-growing trees, caused by prescribed burns or by fires of low intensity in March, in the zone and under the conditions of study, was associated to a greater width of the annual growth ring, formed in the year after the application of the fire. The width of the growth ring in trees of 30 to 60% (higher

$$Y = 2.50119 + 0.05176X - 0.00156X^2 + 0.00001X^3 \quad (3)$$

donde Y = anchura (mm) del anillo anual el año siguiente al fuego, y X = chamuscado de copa, en intervalos de 10%. El modelo ajustado implica que no hay una relación directa entre las variables.

El modelo corresponde a árboles jóvenes, en crecimiento libre, para el año y las condiciones bajo estudio.

CONCLUSIONES

El chamuscado de copa moderado (igual o menor a un tercio de la copa original) de árboles jóvenes en crecimiento libre, originado por quemaduras prescritas o por incendios de baja intensidad en marzo, en la zona y las condiciones de estudio, se asoció con una mayor anchura del anillo de crecimiento formado el año siguiente a la aplicación del fuego. La anchura del anillo de crecimiento en árboles con 30 a 60% (superior al chamuscado de copa medio), no mostró diferencias estadísticamente significativas respecto al testigo. El chamuscado superior a 60% (alto) redujo la anchura del anillo respecto a la del testigo. Una menor proporción de madera tardía se asocia con menos de 30% de chamuscado (bajo), y conforme el árbol pierde más follaje por el fuego, al cabo de un año tiende a producir más hojas en las ramas afectadas.

AGRADECIMIENTOS

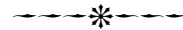
A Amparo Borja de la Rosa, Antonio Villanueva-Morales y Javier Santillán Pérez. Al CONACYT, la DICIFO, y la UACH.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Bravo, C., y J. A. Rey-Contreras. 1980. Escorrentía y pérdida de suelo en asociaciones vegetales sujetas a quemaduras controladas. *Revista Chapingo* 23-24: 18-24.
- Cain, M. D. 1985. Prescribed winter burns can reduce the growth of nine year old loblolly pines. USDA, FS. Southern Forest Experiment Station. New Orleans, LA. SO-31-2. 4 p.
- Fulé, P. Z., A. García-Arévalo, and W. Covington. 2000. Effects of an intense wildfire in a Mexican oak-pine forest. *For. Sci.* 46(1): 52-61.
- García de Miranda, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. S. E. México, D. F. 252 p.
- Grelen, H. E. 1983a. May burning favor survival and early growth of longleaf pine seedlings? *South. J. Appl. For.* 7(1): 16-20.
- Grelen, H. E. 1983b. Comparison of seasons and frequencies of burning in a young slash pine plantation. USDA, FS. Res. Pap. SO-185. Southern Forest Experiment Station. New Orleans, LA. 5 p.
- Johansen, R. W. 1975. Prescribed burning may enhance growth of young slash pine. *J. For.* 73: 148-149.
- Johansen, R. W., and D. D. Wade. 1987. Effects of crown scorch on survival and diameter growth of slash pines. *South. J. Appl. For.* 11(4): 180-184.

than medium crown scorch) did not show statistically significant differences with respect to the control. Scorch, higher than 60% (intense), reduced the ring width with respect to that of the control. A lesser proportion of late wood is related to less than 30% scorch (light), and since the tree loses more foliage due to the fire at the end of one year, it tends to produce more leaves on the affected branches.

—End of the English version—



- Kozlowski, T. T., and G. S. Pallardy. 1997. *Physiology of Woody Plants*. 2nd ed. Academic Press. San Diego. 411 p.
- Kozlowski, T. T., P. J. Kramer, and S. G. Pallardy. 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press. San Diego. 657 p.
- Landsberg, J. D., P. H. Cochran, M. M. Fick, and R. E. Martin. 1984. Foliar nitrogen content and tree growth after prescribed fire in Ponderosa pine. *Research Note PNW-412*. USDA, Forest Service.
- Miranda, F., y E. Hernández-Xolocotzi. 1985. Los tipos de vegetación en México y su clasificación. *In: Xolocotzia*. Tomo I. *Rev. Geog. Agríc. UACH*. Chapingo, Edo. de Méx. pp: 41-162.
- Mutch, L. S., and D. J. Parsons. 1998. Mixed conifer forest mortality and establishment before and after prescribed burning in Sequoia National Park, California. *For. Sci.* 44(3): 341-355.
- Perry Jr., J. P. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, OR. 231 p.
- Rodríguez-Trejo, D. A. 1996. Incendios Forestales. *Mundi Prensa, UACH, INIFAP*. México, D. F. 630 p.
- Rodríguez-Trejo, D. A., and P. Z. Fulé. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *Int. J. Wildland Fire* 12: 23-37.
- Rodríguez-Trejo, D. A., M. Rodríguez-Aguilar, F. Fernández-Sánchez, y S. J. Pyne. 2002. *Educación e Incendios Forestales*. 2^a ed. *Mundi Prensa*. México, D. F. 201 p.
- Ronde, C. de. 1983. Controlled burning in pine stands in the Cape. The influence of crown scorch on tree growth and litter fall. *South African For. J.* 127: 39-41.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México, D. F. 432 p.
- Rzedowski, J. 1981. Principales comunidades vegetales. *In: Rzedowski, J. y G. C. de Rzedowski* (eds). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. CECSA. México, D. F. pp: 47-54.
- Rzedowski, J., L. Vela-Gálvez, y X. Madrigal-Sánchez. 1977. Algunas consideraciones acerca de los bosques de coníferas en México. *Ciencia Forestal* 2(5): 25-35.
- Saveland, J. M., and S. C. Bunting. 1988. Fire effects in ponderosa pine forests. *In: Baumgartner, D. M. and J. A. Lotan* (comps.). *Proceedings Ponderosa pine: the species and its management*. Spokane, Washington. Sept. 29-Oct. 1, 1987. Washington State University. pp: 125-131.
- SEMARNAT. 2001. Reporte de incendios. *Semarnat*. Folleto. 2 p.
- Wade, D. D. 1983. Fire management in the slash pine ecosystem. *Proceedings of the managed slash pine ecosystem*. University of Florida, Gainesville, Florida. pp: 203-227.
- Waring, R. H., and G. B. Pitman. 1985. Modifying lodgepole pine stands to change susceptibility to mountain pine beetle attack. *Ecology* 66: 889-897.
- Weise, D. R., R. W. Johansen, and D. P. Wade. 1987. Effects of spring defoliation on first year growth of young loblolly and slash pines. *Research Note*. Southeastern Forest Experiment Station. USDA, Forest Service. 4 p.