

ECOLOGÍA DEL FUEGO EN EL ECOSISTEMA DE *Pinus hartwegii* Lindl.

D. A. Rodríguez-Trejo¹

¹División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, e-mail: dantearturo@yahoo.com

RESUMEN

Se hace una integración y análisis de la información relativa a incendios forestales en este ecosistema, incluyendo régimen de fuego, comportamiento de los incendios (con base en complejo de combustibles, topografía y tiempo atmosférico), adaptaciones al fuego de este pino (regeneración en sitios quemados, capacidad de rebrote, corteza gruesa, poda natural y recuperación de follaje perdido por chamuscado de copa) y especies asociadas, así como el impacto de los incendios en vegetación, suelo, régimen hidrológico y calidad del aire. Se hace una propuesta de manejo del fuego orientada a la restauración.

PALABRAS CLAVE: incendios forestales, adaptaciones al fuego, manejo del fuego

FIRE ECOLOGY IN THE *Pinus hartwegii* Lindl. ECOSYSTEM

SUMMARY

This work is an integration and analysis of information about forest fires in this ecosystem, including fire regime, fire behavior (based on fuels complex, topography and weather), fire adaptations of this pine (regeneration on burned localities, resprouting ability, thick bark, natural pruning, and restoration of foliage lost to fire) and associated species, and about fire impacts on vegetation, soil, hydrologic regime and air quality. A fire management proposal oriented to restoration is included.

KEY WORDS: fire ecology, forest fires, *Pinus hartwegii*, fire adaptations, fire management.

INTRODUCCIÓN

En México ocurren un promedio anual de 8,877 incendios registrados sobre una media de 330,384 ha (Rodríguez, 2001). Muchos de estos incendios acontecen en pinares. Uno de ellos es el *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 por las actividades de prevención y combate de incendios.

Existen dos valiosas monografías sobre *Pinus hartwegii* Lindl. (Solís, 1994 y Musálem y Solís, 2000), lo que demuestra que ésta es una de las especies forestales mejor estudiadas en el país. Sin embargo, también existe información sobre la ecología del fuego en los ecosistemas con esta especie, misma que no ha sido analizada a la fecha, por lo que el objetivo del presente trabajo es revisar, analizar e integrar dicha información, a efecto de contar con más elementos para un mejor manejo del fuego en tales ecosistemas.

En el presente trabajo, se entenderá por manejo del fuego a todo lo que un país, estado y/o región hacen para: prevenir y combatir los incendios forestales; comprender cómo, cuándo y con qué objetivos las comunidades rurales usan el fuego en las diferentes regiones ecológicas; regular el uso del fuego; investigar la ecología del fuego y los impactos de los incendios y, en general, investigar la ciencia del fuego y aplicar el nuevo conocimiento en el manejo de la tierra; hacer uso del fuego en la administración de ecosistemas para preservarlos, restaurarlos o hacerlos producir (silvicultura, usos tradicionales); y educar e informar a los usuarios del fuego y a la opinión pública en esta materia (Rodríguez *et al.*, 2002).

EL ECOSISTEMA

Pinus hartwegii solamente se localiza en México y Guatemala. En México, está presente en 14 estados, principalmente en la región central del país, donde forma generalmente masas puras y abiertas entre 2,900 y 4,000 msnm, aunque se pueden hallar algunos individuos a 4,200

msnm (Rzedowski, 1978, 1981; Perry, 1991). Se encuentra en sitios con clima semifrío, con temperaturas medias anuales de entre 5 a 12 °C, con precipitaciones medias anuales del orden de 967 a 1,200 mm, régimen de lluvias en verano y con menos de 5 % de la precipitación en invierno (Mendoza, 1977; Benitez, 1988; García, 1981). Los suelos que habita son andosoles, podzoles o cafés forestales (Aguirre y Rey, 1980; Benitez, 1988), pero también se le halla sobre malpaís en algunos casos. En la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, en ocasiones se mezcla con *Alnus firmifolia*, estando presentes ocasionalmente árboles como *Salix oxylepis*, *Arbutus glandulosa* y *Buddleia parviflora*. Ahí mismo, entre los componentes del sotobosque se encuentran *Penstemon gentianoides*, *Eupatorium glabratum* y *Baccharis conferta* (formando un ralo estrato arbustivo), y *Muhlenbergia quadridentata*, *M. macroura*, *Festuca toluensis*, *F. hephaestophila*, y *Lupinus* spp. en el estrato herbáceo, entre otras especies (Zavala, 1984).

RÉGIMEN DE INCENDIOS Y PAPEL DEL FUEGO EN LA SUCESIÓN

Aunque hasta la fecha no se han concluido investigaciones dendrocronológicas para estudiar el régimen de fuego en este ecosistema, es evidente que muchas masas, particularmente las puras y abiertas (cuando no se deben a otros tipos de disturbio humano), son mantenidas así en buena medida por frecuentes incendios superficiales, naturales o provocados por el hombre. Se estima que la frecuencia promedio de incendios en este ecosistema no es superior a los 10 años, y probablemente la media está en torno a cinco años. La ocurrencia de incendios de origen humano supera a la natural, considerándose que esta última está subestimada en los reportes oficiales. La temporada de incendios comienza en enero de cada año y continúa hasta mayo, aunque en algunos años puede iniciarse desde noviembre. En las partes más elevadas, el exceso de fuego puede implicar la eliminación del estrato arbóreo, pues esta especie marca el límite altitudinal para los árboles en México. Acorde con Miranda y Hernández (1985), los incendios muy frecuentes eliminan este pino y favorecen la presencia de los pastos *Muhlenbergia macroura* y *Festuca toluensis*. Ern (1973), citado por Rzedowski (1978), considera que algunas de las comunidades dominadas por *P. hartwegii* son secundarias, mantenidas por incendios, correspondiendo el clímax a especies como *Abies religiosa*, por lo que en ausencia de fuego, en altitudes donde puede estar presente el oyamel u otras especies, *P. hartwegii* es desplazado.

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

Combustibles

Las cargas de combustibles varían en función de la etapa sucesional del bosque, de su altitud y tipo y nivel de

disturbio presente. Rodríguez (1988) y Rodríguez y Sierra (1995), refieren cargas abarcando diversidad de condiciones, con un intervalo de 5.644 a 22.605 ton·ha⁻¹ (media igual a 15.06 ton·ha⁻¹). Acorde con tales fuentes, el renuevo de pino puede abarcar de prácticamente cero a 31 % de la carga total (media igual a 8.8 %), los arbustos de cero a 8.5 % (media igual a 1.3 %), los zacates de 10.2 a 67.7 % (media igual a 38.3 %), la hojarasca de pino de prácticamente cero a 14 % (media igual a 4.7 %), y los materiales leñosos con 1 a 1,000 horas de tiempo de retardo, pueden constituir de 4.5 a 82 % (media igual a 46.9 %) de la carga.

Topografía

Esta especie se puede encontrar tanto en terrenos planos, adyacentes a praderas alpinas o sobre terreno irregular de malpaís, hasta pendientes pronunciadas, en algunos casos superiores al 100 %. También ocurre en cañadas.

Tiempo atmosférico

Por la altitud a la que se encuentra este bosque, se presentan en las horas de mayor peligro vientos superiores a 20 km·h⁻¹, particularmente durante febrero y marzo. Con frecuencia los vientos son razonablemente predecibles en su dirección. Así, en las montañas del Valle de México, durante el día los vientos son ascendentes, y al atardecer y por la noche, descendentes. Sin embargo, cerca de los parteaguas en partes elevadas, no son raros los vientos descendentes durante el día. Estas zonas también son susceptibles de formar turbulencias. Aunque las temperaturas son bajas, los abundantes combustibles finos (zacates, hojarasca) y leñosos con bajos tiempos de retardo, frecuentemente están disponibles durante la temporada. Por ejemplo, a inicios del mes de abril la humedad relativa es de 32 % hacia las 8:30 A.M., que se ha reducido a 18 % hacia las 11:00 A.M., con humedades de combustibles ligeros, de 9 y 4 %, respectivamente.

Características del fuego

Las cargas totales de combustibles superficiales relativamente bajas, pueden hacer suponer erróneamente un moderado comportamiento del fuego. Si bien éste puede ser en efecto de poca intensidad y velocidad de propagación, sobre terrenos con poca pendiente y con vientos moderados, o por la noche, alcanzando velocidades de propagación de 5 m·min⁻¹ y largos de llama de menos de 1 a 3 m, la conjugación de pendientes pronunciadas y vientos veloces puede producir velocidades de propagación superiores a 40 m·min⁻¹ y largos de llama de 5 m o incluso mayores. Dadas las pendientes comunes, la presencia de pavesas rodantes no es rara.

La intensidad del fuego se puede estimar despejando el modelo de Alexander (1982) (Ecuación 1), resultando valores de 260 a 8 591 kW·m⁻¹ respectivamente, para largos de llama de 1 a 5 m (Figura 1).

$$L = 0.0775 (I)^{0.46} \quad \dots(1)$$

Donde: L, es el largo de llama (m); I, la intensidad de Byram (kW·m⁻¹).



Figura 1. Quema prescrita de intensidad regular, conducida por el autor en masas de *P. hartwegii* en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México (2001).

Los incendios son generalmente superficiales. Sin embargo, en sitios con malpaís, la presencia de fracturas y de corredores bajo el piso rocoso en los que se acumulan combustibles, facilitan la presencia de incendios subterráneos. La falta de contacto entre las copas de los árboles adultos no permite la propagación de fuego aéreo, aunque en algunos individuos ocoteados o resinados las llamas pueden ascender y quemarlos parcialmente.

ADAPTACIONES AL FUEGO EN *Pinus hartwegii*

Este es uno de los pinos mexicanos más adaptados al fuego, siendo, una de las seis especies que han sido documentadas, cada una, con cinco diferentes tipos de adaptaciones a este factor ecológico (Rodríguez y Fulé, 2003). Tales adaptaciones se explican en los siguientes párrafos.

Regeneración en sitios quemados

El fuego permite el contacto de la semilla con el suelo mineral, eliminando la barrera física que los zacatones representan y reduciendo temporalmente la competencia que las plántulas tendrán con los mismos. El suelo es enriquecido por el lecho de cenizas que posteriormente

permitirá a las plántulas contar con más nutrientes. Cuando hay abundante producción de semilla, que está lista para su liberación en el invierno, se puede observar abundante regeneración sobre sitios quemados. Así, Sarukhán y Franco (1981), reconocen en el fuego un elemento importante para la repoblación de *Pinus hartwegii*. No obstante, las plántulas y brinzales de esta especie son susceptibles al fuego en esta etapa. Velázquez (1984) y Velázquez *et al.* (1986), señalan que una supervivencia igual a 84.3 % (56,667 plantas·ha⁻¹) luego de quemas prescritas de baja intensidad, se reduce a 8.1 % (5,733 plantas·ha⁻¹) en quemas sobre pendientes pronunciadas. Análogamente, Hernández (1990) recomienda no practicar quemas prescritas en presencia de plántulas de esta especie con cargas mayores a 4 ton·ha⁻¹, de lo contrario la mortalidad será igual o mayor a 50 %. A reserva de la marcada susceptibilidad al fuego que tiene el renuevo de la especie durante su primer año de vida, la información anterior deja ver la participación del factor ecológico fuego como un elemento de aclareo natural.

Rebrotes

La única adaptación al fuego que se observa en estas plántulas es la capacidad de rebrote a partir del cuello de la raíz. Sin embargo, aunque esta propiedad es común, no se observa en todas las poblaciones. Rodríguez (1996) señala que esta capacidad se abate con la edad. En poblaciones con uno a ocho años de edad, refiere que sólo el 27.7 % de los arbolitos con 1.3 a 4 m de altura, exhibieron rebrotes (3.3 por arbolito), en comparación con 96.7 % para aquellos con menos de 1.3 m de altura (y 7.8 rebrotes por arbolito). Asimismo, González (2001) y González y Rodríguez (enviado), refieren una relación inversa entre chamuscado de copa (quema o deshidratación del follaje debidos a la intensidad calorífica de las llamas) y número de rebrotes, con 0.68 rebrotes por árbol con chamuscados de copa superiores a 60 %, 1.09 rebrotes por árbol con chamuscados de entre 30 y 60 % y 1.34 rebrotes por árbol con chamuscados menores al 30 %.

Grosor de corteza

La corteza representa una crucial protección para el cambium vascular ante los incendios. La aplicación de temperaturas de 60 °C durante dos a 60 minutos resulta letal para los tejidos vegetales, dependiendo de su contenido de humedad (Wright, 1970). Una corteza de *Pinus palustris* de 1 a 1.3 cm de grosor, tiene una capacidad de aislamiento del orden de 1:10 (Fahnestock y Hare, 1964), es decir, las temperaturas a que el cambium es sometido durante un incendio, son 1/10 de las temperaturas del fuego. En el caso de *Pinus hartwegii*, en pinos desde 15 cm de diámetro y 0.38 cm de grosor de corteza, González (2001) reporta 100 % de supervivencia de los árboles a incendios de intensidad moderada, si bien Rodríguez (1996)

menciona que árboles de menor diámetro (y por ende menor grosor de corteza), también sobreviven a incendios poco intensos.

Chamuscado de copa

El fuego es sin duda un elemento de poda natural. A menor altura del arbolado y mayor longitud de llama, el chamuscado alcanzará una mayor proporción de la copa. Cuando moderada, tal poda reporta un importante efecto en el crecimiento en diámetro. González (2001) y González y Rodríguez (enviado), señalan que los chamuscados de copa pequeños aumentan el ancho del anillo de crecimiento que se forma al año siguiente del incendio, pero que chamuscados de copa elevados, reducen dicho crecimiento. Encontraron que chamuscados de copa menores a 30 % (bajos) produjeron anillos con un ancho promedio igual a 3.09 mm, que chamuscados de 30 a 60 % (medios) produjeron anchos de 2.41 mm, sin diferencias estadísticamente significativas con respecto a árboles control (2.33 mm), pero que los chamuscados de copa superiores a 60 % (altos) dieron como resultado anillos con 2.03 mm.

Recuperación de follaje

Esta especie puede tolerar pérdidas de todo el follaje, al menos por incendios producidos en el invierno, siempre y cuando no se mate a la yema terminal o a las yemas enclavadas en la parte más alta de la copa, que en caso de muerte de la primera puedan tomar su lugar. A mayor chamuscado de copa, el árbol tiene como prioridad recuperar su follaje para poder producir fotosintatos. Acorde con ello, González (2001) y González y Rodríguez (enviado), señalan que los árboles que pierden más del 60 % del follaje de su copa, recuperan un 69.9 % al cabo de un año: los árboles afectados entre 30 y 60 %, recuperan 39.3 %; mientras que aquellos que pierden menos del 30 %, recuperan 11.8 %.

HISTORIA DE VIDA EN UN AMBIENTE CON INCENDIOS

Las adaptaciones al fuego mencionadas en los párrafos anteriores, corresponden a varias etapas de desarrollo del árbol, por lo que pueden ser ligadas en la historia de vida del mismo. *Pinus hartwegii* libera su semilla en el invierno. Si la semilla cae en una localidad no quemada, germina y sufre el paso de las llamas al siguiente año, se perderá, pues requiere de mayor diámetro en el cuello de la raíz para poder rebrotar. Si la planta no sufre de un incendio al siguiente año de la germinación de la semilla que le dio origen, o si esta última cae en una localidad ya quemada (reduciéndose las probabilidades de

que sufra otro siniestro al siguiente año), sobrevivirá hasta alcanzar un diámetro en la base que le permita rebrotar, y que se ha apreciado en el campo en 1 cm. A partir de los dos años de edad, aproximadamente, la planta puede sufrir la pérdida de su parte aérea por el fuego y rebrotar. Diámetros de algunos centímetros facilitan la expresión de más yemas que permiten la emisión de más rebrotes. Este proceso de destrucción por fuego (o por algún otro factor) de la rebrotada parte aérea, y la emisión de nuevos rebrotes puede durar varios años, pues no es difícil hallar arbolitos de no más de 1 m de altura que tienen más grueso el cuello de la raíz que el tallo, alcanzando 5 cm y denotando que aquél es un rebrote. Lo anterior evidencia la resistencia al fuego que tiene la especie. Eventualmente uno o unos pocos rebrotes logran alcanzar un grosor de corteza que protege al cambium y finalmente quedan uno o dos troncos cuando los árboles alcanzan alrededor de 4 m de altura. La competencia entre éstos dejará finalmente sólo un tronco, aunque algunas veces perduran dos durante toda la vida del árbol. Con frecuencia el tronco más bajo es el que se pierde, por estar en desventaja en competencia por luz y ser más proclive a sufrir pérdida de todo su follaje y yemas durante incendios intensos. Cada vez que hay incendios, los niveles de chamuscado de copa influenciarán crecimiento y vigor de los árboles (modificada de Rodríguez Trejo, 1996).

ADAPTACIONES AL FUEGO EN OTRAS ESPECIES ASOCIADAS

Los pastos asociados a este árbol, con frecuencia dominados por *Muhlenbergia macroura* y *Festuca tolucensis*, también están adaptados al fuego, pues son capaces de rebrotar a partir de rizomas, siendo influida por el fuego la época y cuantía de su floración. En áreas que sufrieron incendios durante el invierno, Benitez (1988) encontró que 14 meses después de aquellos, este pastizal cubría el 67.2 % de la superficie en áreas control, en tanto que en las áreas afectadas por el fuego dicho valor era de 87.5 %. 20 % de los individuos de *F. tolucensis* florecieron entre julio y diciembre en las áreas control, en tanto que en los sitios incendiados florecieron más del 80 % de los individuos, que comenzaron a hacerlo en abril. En el caso de *Muhlenbergia macroura*, en las áreas control la floración no superó el 20 % y se observó entre julio y enero, mientras que en los sitios quemados se observó en más del 80 % de los individuos, aunque en este caso no hubo anticipación de la misma.

Algunas especies aparecen justo después del fuego, su presencia es considerada indicadora de incendios frecuentes. Tal es el caso de la leguminosa *Lupinus montanus* y de *Penstemon gentianooides*. Es interesante señalar la importancia de la primera, que es fijadora de nitrógeno. Asimismo, la necesidad de escarificación de la

semilla para favorecer su germinación, sugiere la relevancia del factor fuego para dicho efecto, pues Rodríguez y Rojo (1997), encontraron para un lote procedente de la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, cero germinación en cámaras de ambiente controlado para el control, y 53.3 % para la semilla a la que se aplicó ácido sulfúrico concentrado durante 15 minutos. Sin embargo, los NO_x del humo también podrían ser un agente de escarificación en *Lupinus*, con dormición física, como Keeley y Fotheringham (1997, 1998) y Malakoff (1997) refieren para la especie *Emmenanthe pedunculiflora*, del matorral californiano.

Cabe señalar que luego de los extensos e intensos incendios presentes durante 1998 (la temporada más severa que ha tenido el país), en varias localidades, como la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, se observó en estos pinares la dominancia del arbusto alto *Senecio cinerarioides*, cuya presencia continuaba a cuatro años de dichos siniestros.

Respecto a la fauna, y como sucede en ecosistemas similares, los reptiles y los batracios son los más susceptibles a ser muertos por las llamas, dada su menor movilidad. Los incendios atraen aves que se alimentan de insectos que escapan de las llamas. Por cuanto toca a los mamíferos, escapan con mayor facilidad de las llamas, como el caso de los conejos, o se refugian en madrigueras. Cabe esperar que en los rebrotes de zacate y otras plantas, haya menores niveles de parásitos y mayores niveles de nutrientes y apetencia (palatabilidad) para la fauna que se alimenta de los mismos, como puede ser el caso de la especie endémica zacatuche (*Romerolagus diazii*), el conejo de los volcanes.

EFFECTOS EN SUELO Y RÉGIMEN HIDROLÓGICO

Existe información sobre el efecto de quemas prescritas de baja intensidad en algunas propiedades químicas de suelos de *Pinus hartwegii*, erosión y escorrentía, que ha sido obtenida por Aguirre (1978) y Aguirre y Rey (1980), quienes refieren para suelos andosoles mólicos, de textura franco arenosa, ricos en materia orgánica, ácidos ($\text{pH}=5.5$) a neutros ($\text{pH}=7$), ricos en nitrógeno y fértiles, que el fuego a baja intensidad no provocó cambios significativos en pH , pero que sí se registró una pequeña pérdida de nitrógeno por volatilización. El fósforo aumentó del intervalo trazas a 5.04 ppm, hasta 1.57 a 7.42 ppm; el Ca aumentó del intervalo 1,755 a 3,406 ppm, hasta 2,145 a 3 900 ppm; también refieren aumentos en K, Mg y un ligero incremento en Na.

Por cuanto toca a erosión y escorrentía, Aguirre (1978) y Aguirre y Rey (1980), señalan una moderada y temporal pérdida de suelo de $564.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en localidades quemadas, contra $140 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en los controles, así

como una escorrentía de 204 m^3 en áreas quemadas y de 68.5 m^3 en sitios no afectados por el fuego.

HUMO

Muchos de los cientos de subproductos que hay en el humo son tóxicos y algunos corrosivos, destacando CO , NO_x y SO_2 . También debe recordarse que las partículas suspendidas son muy dañinas para la salud, y que el CO_2 , que junto con el vapor de agua forma la mayor parte de la masa del humo, contribuye al efecto de invernadero. Contreras (2002) y Contreras *et al.* (enviado), refirieron emisiones de NO , NO_2 , NO_x , CO y SO_2 por unidad de peso de combustibles (Cuadro 1) para los principales tipos de combustibles.

CUADRO 1. Emisiones de contaminantes por unidad de peso de combustibles de bosque de *Pinus hartwegii* (adaptado de Contreras, 2002 y Contreras *et al.*, enviado).

Combustible	Emisión (kg de contaminante·t ⁻¹ de combustible)				
	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	CO
<i>Muhlenbergia macroura</i>	0.34	0.25	0.80	0.46	14.66
Acículas de <i>P. hartwegii</i>	1.55	0.55	2.83	0.58	51.39
Madera de <i>P. hartwegii</i>	0.73	1.00	1.73	0.14	46.62
<i>Senecio cinerarioides</i>	1.37	0.62	7.06	1.98	76.71
<i>Lupinus montanus</i>	1.75	0.59	3.62	0.49	74.07

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pinus hartwegii presenta cinco adaptaciones al fuego, que involucran desde la germinación de su semilla en lechos de ceniza con más nutrientes y liberación temporal de competencia en la parte aérea, pasando por la capacidad de rebrote en estado juvenil, capacidad de reponer follaje perdido por deshidratación o quema, poda natural con efectos positivos en crecimiento, en diámetro cuando moderada, hasta grosor de corteza; los últimos en estados, juvenil a adulto. A reserva de la relativamente baja carga de combustibles presente, las características de tiempo atmosférico y topográficas, pueden hacer que el fuego se comporte violentamente. Otros componentes del ecosistema como *Muhlenbergia macroura*, *Festuca tolucensis*, y *Lupinus montanus*, muestran claras adaptaciones al fuego. Las quemas prescritas de baja intensidad producen niveles de erosión temporales tolerables.

Los contaminantes contenidos en los humos no son despreciables. Esto último es particularmente importante porque diversos bosques de la especie en cuestión se hallan en la parte central del país, relativamente cercanos a zonas urbanas como la ciudad de México, la urbe más poblada del país, donde la calidad del aire es un tema crítico.

El exceso de incendios es a todas luces perjudicial, sin embargo, la exclusión del fuego implica eventuales acumulaciones de combustibles que imprimirán mayor intensidad al fuego, que finalmente es inevitable, matando una mayor cuantía de brinzales (que ya no podrán rebrotar) y árboles jóvenes por altos niveles de chamuscado de copa, emitiéndose además más humos.

El manejo y la restauración de estos ecosistemas deberían involucrar tanto la eliminación del exceso de fuego, como la reintroducción de este factor ecológico, según sea el caso. Dado lo anterior, es deseable mantener y aún aumentar la eficiencia en prevención y combate de incendios de origen humano, pero también es recomendable incorporar el uso de fuego prescrito a baja intensidad, con objetivos múltiples, destacando los ecológicos. Es evidente la importancia del fuego para mantener composición (previniendo el avance de la sucesión en las zonas de menor altitud), estructura (abierto, relativamente baja densidad) y función (reciclaje de materia orgánica y nutrientes, efectos en la productividad, influencias en fenología y régimen hidrológico) de este ecosistema.

Sin embargo, deberá insertarse al campesino en los esquemas de uso del fuego, pues por pobreza, necesidad y falta de cultura forestal origina la mayoría de los incendios en estos bosques; deberá atenderse sus necesidades y comprender mejor su tecnología de uso del fuego. El uso de quemas prescritas con fines de manejo del ecosistema, además de la comprensión de los efectos ecológicos del fuego, debiera estar sustentado en estudios dendrocronológicos de los que se permita inferir con precisión el intervalo de frecuencias más adecuado para cada asociación y localidad particulares. La aplicación del fuego debe ser a baja intensidad, a efecto de maximizar beneficios ecológicos y silvícolas y minimizar impactos negativos (como erosión, contaminación y mortalidad de árboles).

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE B., C. 1978. Efecto del fuego en algunas características y propiedades de suelos forestales. Tesis profesional. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 270 p.
- AGUIRRE B., C.; REY C., J. A. 1980. Escorrentía y pérdida de suelo en asociaciones vegetales sujetas a quemas controladas. Revista Chapingo 23-24: 18-24.
- ALEXANDER, M. E. 1982. Calculating and interpreting forest fire intensities. Canadian Journal of Botany 60: 349-357.
- BENÍTEZ B., G. 1988. Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en la Sierra del Ajusco. En Rapoport, E. H. y López M., I. R. (eds.). Aportes a la ecología urbana de la ciudad de México. MAB-Limusa. México, D. F. pp. 111-152.
- CONTRERAS M., J. El humo de los incendios forestales en el bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Maestría en Ciencias. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- CONTRERAS M., J.; RODRÍGUEZ T., D. A.; RETAMA H., A. y SÁNCHEZ. El humo de los incendios forestales en el bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. (enviado a: Agrociencia).
- ERN, H. 1973. Repartición, ecología e importancia económica de los bosques de coníferas en los estados mexicanos de Puebla y Tlaxcala. Com. Proy. Pue. Tlax. 7: 21-23.
- FAHNESTOCK, G. R.; HARE, R. C. s/f. Heating of tree trunks in surface fires. Journal of Forestry 62: 799-805.
- GARCÍA DE M., E. 1981. Apuntes de climatología. UNAM. México, D. F. 155 p.
- GONZÁLEZ R., A. 2001. Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Maestría en Ciencias. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 98 p.
- GONZÁLEZ R., A.; RODRÍGUEZ T., D. A. Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* (enviado a: Agrociencia).
- HERNÁNDEZ R., S. 1990. Efecto del fuego controlado sobre la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. con diferentes cargas de combustibles, Zoquiapan, Edo. de México. Memoria 10 Años de Investigación Forestal en la Región Central de México. Metepec, Toluca, Edo. de México. 14 de agosto de 1990. SARH, INIFAP, CIFAPMEX, Probosque. 123 p.
- KEELEY, J. E.; FOTHERINGHAM, C. J. 1997. Trace gas and smoke-induced seed germination. Science 276(3): 1248-1259.
- KEELEY, J. E.; FOTHERINGHAM, C. J. 1998. Mechanisms of smoke-induced seed germination in a post-fire chaparral. Ecology 86: 27-36.
- MALAKOFF, D. A. 1997. Nitrogen oxide pollution may spark seeds growth. Science 276(23): 1199.
- MENDOZA B., M. A. 1977. Datos meteorológicos de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, México. Información Técnica de Bosques 4(10): 23-25.
- MIRANDA, F.; HERNÁNDEZ X., E. 1985. Los tipos de vegetación en México y su clasificación. En: HERNÁNDEZ X., E. Xolocotzia. Tomo I. Revista de Geografía Agrícola. Chapingo, Edo. de México. pp. 41-162.
- MUSALEM S., M. A.; SOLIS P., J. A. 2000. Monografía de *Pinus hartwegii*. SAGAR-INIFAP. 71 p.
- PERRY JR., J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- RODRÍGUEZ G., J. E. 2001. Programa de protección contra incendios para el año 2001. En: RODRÍGUEZ T., D. A. (comp.). Foro de análisis sobre la problemática de los incendios en las áreas naturales protegidas del sur de México. Instituto de Ecología, Instituto de Historia Natural de Chiapas, The Nature Conservancy, USAID. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, marzo 6-8, 2001. pp. 20-21. <http://www.tncfire.org/intl.htm>
- RODRÍGUEZ T., D. A. (coord.). 1988. Evaluación de combustibles forestales en las zonas de protección extensiva de la COCODER, DDF. Reporte técnico. México, D. F.
- RODRÍGUEZ T., D. A. 1996. Incendios forestales. MundiPrensa-Universidad Autónoma Chapingo. México, D. F. 630 p.
- RODRÍGUEZ T., D. A.; FULÉ, P. Z. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. International Journal of Wildland Fire 12(1): 23-37.
- RODRÍGUEZ T., D. A.; SIERRA P., A. 1995. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del Distrito Federal. Ciencia Forestal en México 20(77): 193-218.

- RODRÍGUEZ T., D. A.; RODRÍGUEZ A., M.; FERNÁNDEZ S., F.; PYNE, S. J. 2002. Educación e incendios forestales. 2a ed. MundiPrensa. México, D. F. 201 p.
- RODRÍGUEZ T., D. A.; ROJO Z., C. 1997. Estudio de la semilla del arbusto *Lupinus montanus* H.B.K. (Leguminosae). Revista Chapingo 1: 39-45.
- RZEDOWSKI, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 432 p.
- RZEDOWSKI, J. 1981. Principales comunidades vegetales. En: Rzedowski, J. y Rzedowski, G. C. DE (eds.). Flora fanerogámica del Valle de México. Vol. I. CECSA. México, D. F. pp. 47-54.
- SARUKHÁN K., J.; FRANCO B., M. 1981. Un modelo de simulación de la productividad forestal de un bosque de pino. SARH, Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Unidad de Apoyo Técnico 1. Serie Premio Nacional Forestal.
- SOLIS P., M. A. 1994. Monografía de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 130 p.
- VELÁZQUEZ M., A. 1984. Estudio de algunos factores que influyen en la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. En Zoquiapan, Méx. Tesis M.C. Programa Forestal, Colegio de Posgraduados. Chapingo, Edo. de México. 123 p.
- VELÁZQUEZ M., A.; MUSÁLEM S., M.A.; KEYES, M. R.; ZÁRATE, L. G. 1986. Influencia del tratamiento en el suelo y la condición de apertura del dosel en el establecimiento inicial de la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. Agrociencia 64:147-170.
- WRIGHT, H. A. 1970. A method to determine heath-caused mortality in bunchgrass. Ecology 51: 582-587.
- ZAVALA CH., F. 1984. Sinecología de la vegetación de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, estados de México y Puebla. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. 164 p.