

TOLERANCIA AL FUEGO EN *Quercus magnoliifolia*¹

Miguel Ángel López Moctezuma², Dante Arturo Rodríguez Trejo³, Francisco Santiago Cortés⁴, Vicente Alfredo Sereno Chávez⁵ e Diodoro Granados Sánchez⁶

RESUMEN – Con el objetivo de conocer la respuesta de *Quercus magnoliifolia* al fuego en mortalidad y rebrotación, se aplicó una quema prescrita intensa, en fajas a favor de viento y pendiente, a una parcela de 0.5 ha en el estado de Guerrero, México, en abril de 2009. La quema inició a las 10:20 y duró 1 h 26 min. Se midieron las variables meteorológicas temperatura (25-28 °C), humedad relativa (33-24%), y velocidad del viento (7-25 km/h); y de comportamiento del fuego (largo de llama, de 0.5 a 3 m). Seis meses después se midieron variables de la estructura del arbolado y de severidad de la quema. El análisis de datos involucró regresión logarítmica y regresión logística. Los valores estructurales medios fueron: altura (11.2 m), diámetro normal (12.2 cm) y altura de copas (6.8 m). Se halló relación logarítmica directa entre el largo de llama y la velocidad del viento ($R^2=0.65$). No hubo mortalidad producto de la quema, pero 33 % de los árboles rebrotaron. Las variables explicativas de la probabilidad de rebrotación fueron: altura ($p=0.0159$), diámetro normal ($p=0.0394$) y altura a la base de copas ($p=0.0487$). La cicatriz sobre el tronco alcanzó 2.6 m y el chamuscado de copas 62 %, en promedio. La especie muestra resistencia a fuego poco severo, gracias a su corteza, y tolerancia a fuego más severo. Las quemas prescritas contribuirían a reducir impactos negativos de incendios en el arbolado.

Palabras clave: Manejo del fuego, Incendios forestales, Adaptación al fuego.

TOLERÂNCIA AO FOGO DE *Quercus magnoliifolia*

RESUMO – Com o objetivo de avaliar a mortalidade e rebrota de *Quercus magnoliifolia* em resposta ao fogo, aplicou-se uma queima prescrita intensa em faixas a favor do vento e encosta acima, em uma parcela de 0,5 ha, no Estado de Guerrero, México, em abril de 2009. A queima iniciou às 10h20 e teve duração de 1h26. Foram medidas as variáveis meteorológicas temperatura (25-28 °C), umidade relativa (33-24%) e velocidade do vento (7-25 km/h); e o comportamento do fogo (comprimento da chama, de 0,5 a 3 m). Seis meses depois foram mensuradas as variáveis da estrutura do povoamento e da severidade da queima. A análise dos dados envolveu regressão logarítmica e regressão logística. Os valores estruturais médios foram: altura total (11,2 m), diâmetro normal (12,2 cm) e altura das copas (6,8 m). Observou-se relação logarítmica direta entre o comprimento da chama e a velocidade do vento ($R^2 = 0,65$). Não houve mortalidade devido à queima, mas 33% das árvores rebrotaram. As variáveis explicativas da probabilidade de rebrota foram: altura total ($p = 0,0159$), diâmetro normal ($p = 0,0394$) e altura da base das copas ($p = 0,0487$). A cicatriz no tronco alcançou 2,6 m, e o crestamento das copas foi, em média, 62%. A espécie indica resistência ao fogo pouco severo graças à sua casca e tolerância ao fogo mais severo. As queimas prescritas contribuíram para reduzir os impactos negativos de incêndios no povoamento.

Palavras-chave: Manejo do fogo; Incêndios florestais; Adaptação ao fogo.

¹ Recebido em 28.10.2014 aceito para publicação em 25.03.2015

² Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México. E-mail: <Hallconstrucciones@hotmail.com>.

³ Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Chapingo, Edo. de México, México. E-mail: <dantearturo@yahoo.com>.

⁴ Comisión Nacional Forestal, Chilpancingo, Guerrero, México. E-mail: <Hallconstrucciones@hotmail.com>.

⁵ Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México. E-mail: <Hallconstrucciones@hotmail.com>.

⁶ Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Chapingo, Edo. de México, México. E-mail: <didorogg@gmail.com>.



1. INTRODUCCIÓN

Se señalan 157 especies para el género *Quercus* en México (ZAVALA, 2007). Otras fuentes, como Challenger y Soberón (2008), aducen más de 200 y consideran a México como centro de diversidad hemisférica del género. La primera cifra dada, representa aproximadamente un tercio de las 450 especies de encinos que Nixon (1993) señala a nivel global. En México, los encinos se hallan más abundantemente en zonas templado-frías, pero tienen una presencia importante en regiones semiáridas y también alcanzan las zonas tropicales húmedas. Pueden formar masas con sólo especies del género o mezclarse con otros, principalmente *Pinus*, para formar asociaciones ecológicas y etapas sucesionales diversas desde el nivel del mar hasta 3,500 m de altitud, principalmente como comunidades arbóreas, pero también arbustivas (RZEDOWSKI, 1978; ZAVALA, 1998).

Hay unas 32,000,000 ha de superficie potencial con bosques de pino-encino o de encino, aunque la superficie realmente ocupada y la poco o no perturbada es menor (INEGI, 2005). Estos bosques proveen hábitat a la fauna, ostentan una gran diversidad de epífitas en sus copas, además de proteger y de enriquecer al suelo, entre otras funciones (RODRÍGUEZ T.; MYERS, 2010). Los bosques de pino-encino y los de encino tienen la mayor riqueza de especies que cualquier otro tipo de vegetación en el país. Se les estima unas 7,000 especies vegetales, mientras que para los bosques tropicales nacionales se estiman 5,000. Dicha cifra representa un aporte de aproximadamente el 25 % de la flora nacional (RZEDOWSKI, 1998; FCEA, 2011). En las zonas rurales, la madera de encino se utiliza para hacer carbón, construir viviendas, muebles y como leña. A nivel industrial, se utiliza para fabricar mangos de herramientas, muebles y duelas, entre otros usos.

En la actualidad el número promedio anual de incendios a nivel nacional y la superficie afectada (periodo 1998-2012), es de 8,745 incendios sobre 311,407 ha. El año con mayor número de incendios ha sido 1998, con 14,445 de ellos, mientras que la mayor superficie afectada se tuvo en 2011 (956,405 ha) (CONAFOR, 2013) y los encinares son un tipo de vegetación donde ocurren con frecuencia. Durante 2012, las principales causas fueron actividades agropecuarias (36%), fogatas de paseantes (15%) y fumadores (10%). Un grupo

denominado otras causas, cubre 31% de los incendios. En este último se incluye un 23% con causas desconocidas (CONAFOR, 2013).

La ecología del fuego y las adaptaciones a los incendios por parte del género *Quercus* han sido estudiadas principalmente en los Estados Unidos. No obstante, los avances están lejos de poderse comparar con los logrados con las coníferas. Algunos trabajos donde se habla de las relaciones entre *Quercus* y el fuego, son Wright y Bailey (1982), por ejemplo en matorrales del suroeste y en bosques del sureste, así como Wade et al. (2000), contemplando bosques del este de dicho país. Se señala como adaptaciones a este factor ecológico en varios encinos de los Estados Unidos a la propagación vegetativa mediante rebrotes del cuello de la raíz o la base del tronco, así como una mediana resistencia al fuego cuando adultos en algunos de ellos (MILLER, 2000). Han sido propuestas características morfológicas (follaje, bellota, corteza), de composición, climáticas, de hábito de crecimiento, rebrotación, de regeneración y sucesión, para establecer la adaptación al fuego en 72 especies de encinos en México (RODRÍGUEZ T.; MYERS, 2010).

La intensidad y severidad de los incendios en los encinares va de baja a alta, desde incendios superficiales sobre su hojarasca y/o sotobosque, hasta incendios pasivos de copas. Aparentemente tiende a haber una relación inversa entre la intensidad/severidad y la frecuencia del fuego. Los periodos de retorno de los incendios en diferentes asociaciones pino-encino de país, se han documentado en 2-37 años para *Q. crassifolia* y *Q. eduardii* en Durango (FULÉ; COVINGTON, 1999; FULÉ et al., 2000), 4-6 y 14-20 años en *Q. rhysophylla* de Nuevo León (GONZÁLEZ, 2005; GONZÁLEZ et al., 2008), y en 5-17 años para *Q. elliptica*, *Q. obtusata* y *Q. scytophylla* de Jalisco (JARDEL, 1991). Un lapso entre dos incendios en masas con *Q. hypoleuroides* y *Q. arizonica* de Sonora, fue estimado en 35-45 años (RODRÍGUEZ T. et al., 2001).

Quercus magnoliifolia es un árbol de 5 a 10 m de altura normalmente, aunque puede alcanzar 25 m. En muchas partes pierde su follaje durante el mes de abril y florece. Los frutos maduran entre mayo y julio. En el área de estudio, se ha observado que en años húmedos pueden no perder sus hojas o sólo parte de los árboles las pierden. Además, en las mayores altitudes, caen más tarde o no caen, pues ahí se mantiene más

humedad, mientras que en las partes más bajas y secas caen y lo hacen más temprano. Se localiza en 15 estados del país, como Guerrero, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Oaxaca, Estado de México, además de América Central (ZAVALA, 2003). Forma parte de bosques de encino (por ejemplo, se asocia con *Q. castanea* y *Q. glaucoides*, entre otros) y de pino-encino, pero también se le halla en bosques tropicales deciduos. Sus adaptaciones al fuego incluyen rebrotación en la base del tronco y de la copa y, en alguna medida, recolonización de áreas incendiadas (RODRÍGUEZ T.; MYERS, 2010). Como la mayoría de los encinos, es tolerante al fuego. Cabe destacar que los encinos presentan resistencia al fuego cuando se trata de incendios de baja severidad. Pero en incendios severos, que dañan las copas o incluso matan la parte aérea, o bien cuando son juveniles y el fuego destruye su tallo y hojas, es que se comportan como tolerantes.

En México, el país más biodiverso en el género, todavía es muy escasa la investigación sobre su ecología del fuego. Tal investigación es necesaria porque los nuevos esquemas de manejo del fuego están incluyendo quemas controladas y quemas prescritas con fines ecológicos, silvícolas y comunitarios (RODRÍGUEZ T.; MYERS, 2010). Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiarla supervivencia y la tolerancia al fuego que a través de su rebrotación, presenta *Quercus magnoliifolia* en Guerrero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Este trabajo fue desarrollado en el municipio de Tixtla de Guerrero, Gro. El sitio experimental se localiza a 5 kilómetros de la cabecera municipal y a 10 kilómetros al suroeste de la capital del estado, Chilpancingo, en el paraje "La tranca", una propiedad privada. Las coordenadas geográficas del predio son: 17°32'38.9"N y 099°26'18.6"O; 17°32'37.9"N y 099°36'20.2"O; 17°32'31.9"N y 099°26'21.1"O; además de 17°32'40.3"N y 099°26'19.7"O, con un intervalo altitudinal de 1,829 a 1,914 m s.n.m. El clima predominante en la zona es el subhúmedo-semicálido, si bien los meses de diciembre y enero son fríos. La temperatura media anual es de 25.5°C. Las lluvias se presentan en verano con una precipitación media anual de 1,118 mm, con la máxima en julio y la mínima en mayo. Los suelos son derivados de tobas básicas del paleozoico (INEGI, 2000).

2.2. Parcela experimental y quema prescrita

La quema prescrita experimental se llevó a cabo el 17 de abril de 2009, con participación de personal del Departamento de Incendios de la CONAFOR Estado de Guerrero, con autorización tanto de la propia CONAFOR como del propietario del predio. El trabajo se llevó a cabo en un encinar dominado por *Quercus magnoliifolia*, con algunos *Q. conspersa*, sobre una parcela cuadrada de 0.5 ha. Su pendiente es uniforme, de 30 a 35%, y exposición N. La cama de combustibles consta de hojarasca de encino, con una carga aproximada de 14 t/ha. La quema prescrita se realizó a alta intensidad, con la técnica de fajas a favor de viento y pendiente, utilizando 15 m de separación entre fajas. Por seguridad, la quema fue iniciada en la parte superior de la parcela quemando una banda en contra de la pendiente a las 10:20 h. Luego que esta banda de quema de seguridad alcanzara 10 m, se procedió con las fajas a favor. Esta práctica culminó a las 11:46 h. Antes de la quema se abrió una brecha perimetral con 4 m de anchura.

Durante la quema se hicieron 10 observaciones de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento (con un estuche meteorológico portátil) y largo de llamas (con estacas de 3 m graduadas cada 0.5 m). También fue registrada la velocidad de propagación en un tramo de 1 m, con sus extremos marcados por estacas. Seis meses después de la aplicación del tratamiento, se obtuvo una muestra de todos los árboles (120) de *Quercus magnoliifolia*, en la parcela. De ellos se registró: diámetro normal, altura, altura de la cicatriz del fuego sobre el tronco, altura de chamuscado de copas, porcentaje de chamuscado de copas, si estaba vivo o muerto y si presentaba rebrotes en la base del tronco o la parte inferior de éste (independientemente de su número). Se consideraría árbol muerto al que no presentase ni follaje vivo ni rebrotes.

Se debe señalar que, en la zona de estudio, *Q. magnoliifolia* tarda más en perder brevemente su follaje cuando habita partes altas de la montaña, o en años húmedos no pierde las hojas. En años secos, todos los individuos la pierden. En el año en que se hizo este trabajo, más del 75% de los árboles, aproximadamente el 75% superior de la parcela experimental, conservaron su copa en todo o en parte. Los pocos árboles del cuarto inferior, donde el arbolado era menos denso, mostraban follaje escaso o nulo. Por tal razón, en estos últimos no se pudo considerar la variable chamuscado

de copas. Al momento de la quema los árboles ya habían tirado el follaje que correspondía al año. Dichos árboles fueron retirados de la muestra, para tal variable exclusivamente.

2.3. Análisis estadístico

Para estimar la probabilidad de mortalidad y de rebrotación, así como la significancia de las variables explicativas (diámetro normal, altura, altura letal, porcentaje de chamuscado de copas, altura de la cicatriz del fuego sobre el tronco), se utilizó regresión logística (HOSMER; LEMESHOW, 2000), con el siguiente modelo general:

$$P = 1 / (1 + \exp - (\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)) \quad (1)$$

Donde: P = probabilidad de que el árbol rebrote, α = intercepto, β_1 = constante asociada a la variable independiente 1, X_1 = valor de la variable independiente 1, y así sucesivamente.

A efecto de considerar como significativa a cualquier variable explicativa, debió cumplir con los siguientes requisitos: Tener una $p \leq 0.05$, que su intervalo de confianza no incluyese el valor 1 (que implicaría igual probabilidad de ocurrencia o no ocurrencia) y un regular o alto porcentaje de concordancia. Para correr el modelo se usó el programa SAS, v. 6.1 para microcomputadoras. Cada una de las variables explicativas fue corrida por separado y luego por pares, combinaciones de tercias y así, sucesivamente, hasta incluir todas las variables en un solo modelo.

3. RESULTADOS

3.1. Estructura de la masa

Se trata de un rodal compuesto principalmente por *Quercus magnoliifolia*, con pocos *Quercus conspersa*. Los primeros tuvieron diámetros entre 4 y 33 cm, con un promedio de 12.2 cm. Las alturas alcanzaron entre 1 y 20 m, con una media igual a 11.2 m. Hubo alturas a la base de las copas desde 0 hasta 14 m, con una media de 6.8 m. En la medida que los árboles son más altos, tienden a tener su copa más elevada (Figura 1).

3.2. Tiempo atmosférico y comportamiento del fuego

Al inicio de la quema la temperatura fue de 25 °C, pero a las 11:02 alcanzó 28 °C y ahí se mantuvo hasta finalizar. A su vez, la humedad relativa inicial registró

33%, y 24% al término. Al comienzo la velocidad del viento fue de 7 km/h, pero incrementó hasta 22-25 km/h a partir de las 11:24, hasta terminar. Al inicio el largo de llamas fue bajo, del orden de 0.5 m, pero al incrementar el viento también lo hicieron las llamas (Figura 2). La velocidad de propagación se midió una sola vez, a las 11:20 y resultó en 20 m/min. Se halló una relación logarítmica entre la velocidad del viento y el largo de llamas (Figura 3). Una foto de la quema prescrita se aprecia en la figura 4. La cicatriz de quemado sobre el tronco, exhibió un intervalo de entre 0.5 y 9 m, con un promedio de 2.6 m. El chamuscado de copas, abarcó entre 10 y 100%, pero el promedio fue 62% (Figura 4).

3.3. Mortalidad del arbolado

Durante el periodo señalado no hubo mortalidad en la parcela estudiada. Antes de la quema se detectaron cinco árboles muertos ahí. Debido a la nula mortalidad no fue posible modelar esta variable.

3.4. Rebrotación

En este caso, 33.3% de los encinos exhibieron rebrotación en la base del tronco o en los primeros metros del mismo. De todas las variables consideradas individualmente, o en grupos de dos o todas ellas conjuntamente, sólo resultaron significativas para estimar probabilidad de rebrotación el diámetro normal, la altura y la altura a la base de las copas.

Para la probabilidad de rebrotación (P) como función del diámetro normal (DN), el modelo resultó en:

$$P = 1 / (1 + \exp - (0.4863 - 0.0975DN)) \quad (2)$$

Los valores de p para intercepto y diámetro fueron, respectivamente, 0.3892 y 0.0394, con el intervalo de confianza de 0.829 a 0.993, la concordancia de 59%, discordancia de 35.1% y ligado igual a 5.9%.

La expresión resultante para la altura (A) fue:

$$P = 1 / (1 + \exp - (0.9274 - 0.1457A)) \quad (3)$$

Los valores de p para intercepto y altura, respectivamente, alcanzaron 0.1734 y 0.0159, el intervalo de confianza fue de 0.768 a 0.973, la concordancia resultó igual a 56%, la discordancia a 33% y ligado un 11.0%.

Finalmente, el modelo para la altura a la base de las copas (AC):

$$P = 1 / (1 + \exp - (0.1856 - 0.1339AC)) \quad (4)$$

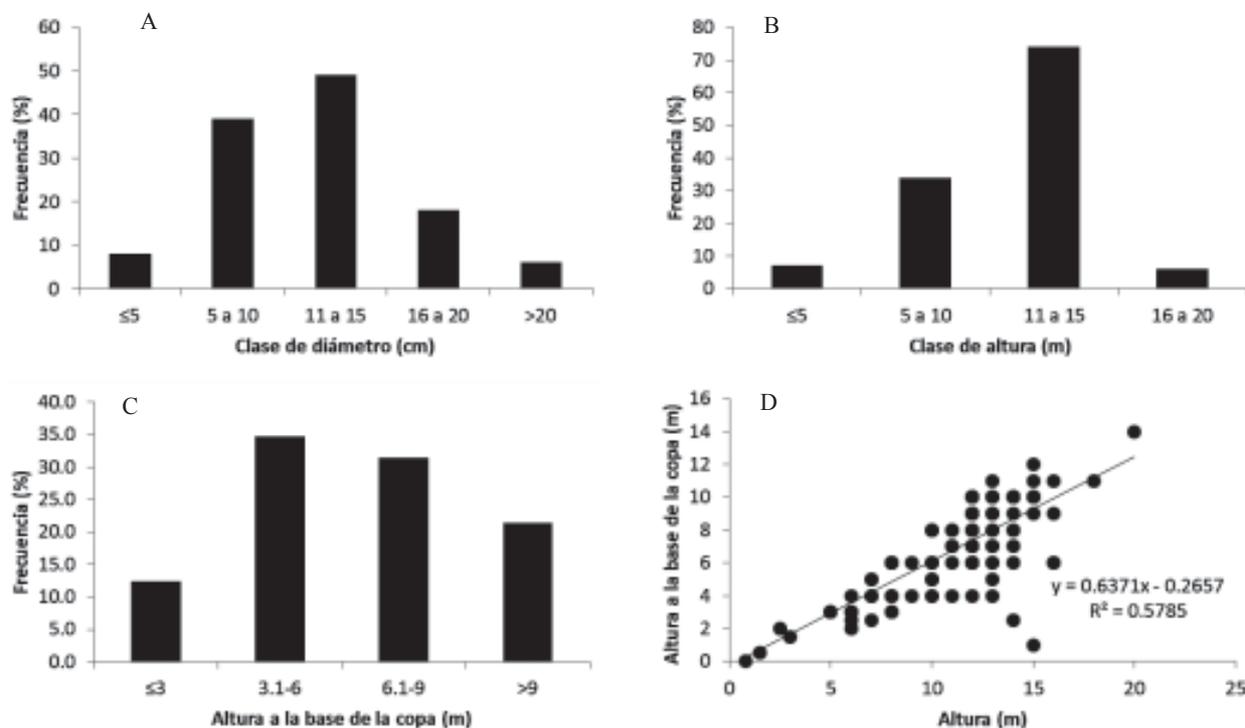


Figura 1 – Datos de estructura del rodal de *Q. magnoliifolia* en el sitio experimental. A) Distribución diamétrica y de alturas (B). C) altura a la base de la copa. D) Relación altura-altura a la base de las copas.

Figura 1 – Dados de estrutura do talhão de *Q. magnoliifolia* na área do experimento. A) Distribuição diamétrica e de alturas (B). C) altura da base da copa. D) Relação altura total-altura da base das copas.

El valor de p para el intercepto fue 0.6968, para la altura a la base de las copas resultó en 0.0487, con intervalo de confianza de 0.766 a 0.999 y concordancia de 56%, discordancia igual a 33.7%, y ligados de 10.3%.

Las expresiones gráficas de los cuatro modelos anteriores se muestran en la Figura 5, así como una imagen del sitio cinco meses después de la quema. Ahí se puede ver que en la medida que los árboles ganan diámetro, altura y su copa es más alta, se reduce su capacidad de emitir rebrotes en la base o en los primeros metros del tronco. Un *Q. magnoliifolia* con 5 cm de DN tendrá poco más de 50% de probabilidad de emitir rebrotes luego de un fuego como el de la quema prescrita experimental, mientras que para un árbol con 30 cm de DN, tal cifra será cercana a 10%.

4. DISCUSIÓN

Q. magnoliifolia muestra ser tanto resistente (a fuegos poco severos) como tolerante al fuego (en eventos severos). A pesar de la elevada intensidad

del fuego en algunos sectores de la quema, con largos de llama de 3 m, no hubo mortalidad. Se requiere de fuego todavía más intenso para implicar mortalidad en la zona de estudio. En el encino mediterráneo de España, *Q. suber* (PAUSAS, 1997) y en otro encino de zona templado fría de México, *Q. crassifolia* (JUÁREZ et al., 2012), ambos en zonas incendiadas con altas intensidad y severidad, al aumentar diámetro se reduce la probabilidad de mortalidad de la parte aérea. En ambas especies, esta última probabilidad es más alta que la de muerte del árbol, es decir, tanto de la parte aérea como de la raíz (CATRY et al., 2012; JUÁREZ B. et al., 2012), en toda la gama de tamaños. Cabe recordar que la intensidad del fuego se relaciona tanto con características de la cama de combustibles, como del tiempo atmosférico. Cargas elevadas, altas temperaturas, baja humedad relativa y vientos intensifican el fuego (BATISTA et al., 2013).

El encino arbóreo de clima subtropical, *Q. magnoliifolia*, parece ser más resistente al fuego e

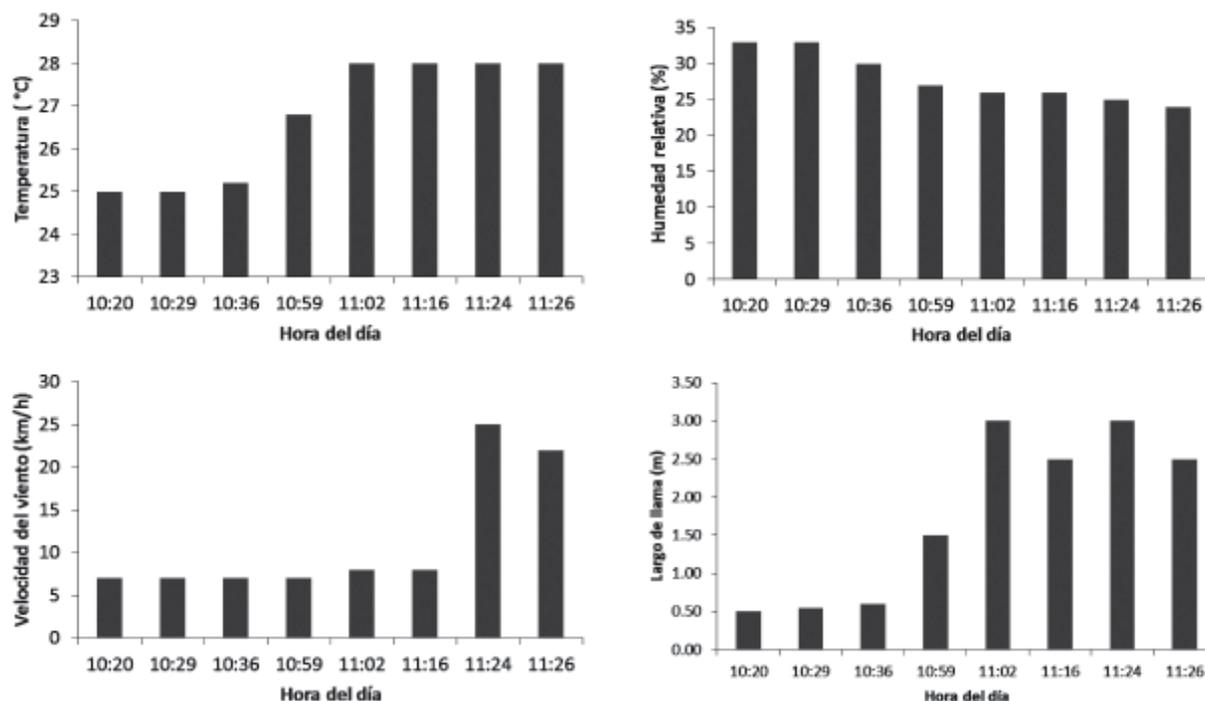


Figura 2 – Registros de temperatura (A), humedad relativa (B), velocidad del viento (C) y largo de llamas (D) durante la quema prescrita.

Figura 2 – Registros de temperatura (A), umidade relativa (B), velocidade do vento (C) e comprimento das chamas (D) durante a queima controlada.

igual de tolerante que los encinos de climas fríos de los Estados Unidos. La resistencia al fuego en 12 encinos americanos es de media a baja, con cortezas de muy delgadas a medianas, si bien todos ellos son tolerantes a través de la rebrotación (MILLER, 2000). Dicha autora anota que los encinos alcanzan cierta resistencia al fuego en la madurez, en tanto que en el área de estudio, *Q. magnoliifolia* con algunos metros de altura, resistieron al fuego.

Además de la capacidad de rebrotación, los mecanismos de adaptación al fuego por esta especie también incluyen la regeneración sobre áreas quemadas (PEÑA R.; BONFIL, 2003). Aparte, cuenta con una bellota pequeña, y follaje deciduo o brevi-deciduo (aunque en años húmedos puede ser perenne), que Rodríguez T. y Myers (2010) consideran indicadores de adaptación al fuego. Cabe señalar que otros encinos arbóreos, como *Q. rugosa*, *Q. acutifolia*, *Q. crassipes*, *Q. germana*, *Q. laurina* y *Q. xalapensis*, muestran tal variación en entre follaje deciduo o brevideciduo y perenne (RODRÍGUEZ T.; MYERS, 2010).

Solamente un tercio de los árboles rebrotaron, lo que puede relacionarse con dos factores. El primero es la variada intensidad que tuvo el fuego durante la quema, pues con quemas poco intensas y poco severas no hay daño en la copa ni tejidos que reponer mediante la rebrotación. El segundo es que el área experimental abarcó tanto árboles que no perdieron su follaje el año en que se desarrolló el trabajo, como árboles que sí lo perdieron. Una quema sobre árboles con o sin follaje puede tener diferente efecto, pues la cantidad de auxinas en yemas puede ser diferente e inhibir en distinta medida la rebrotación. Nótese que los valores más altos de probabilidad de rebrotación para árboles de pequeñas dimensiones son intermedios, del orden de 50 a 60 %. Ello obedece a que no todos los árboles rebrotaron.

Cuando el fuego afecta la copa, elimina parcial o totalmente dicha inhibición, estimulando la rebrotación. A pesar de la moderada respuesta de propagación vegetativa observada, deja ver el potencial de la especie para reponerse, de esta forma, a daños mayores en

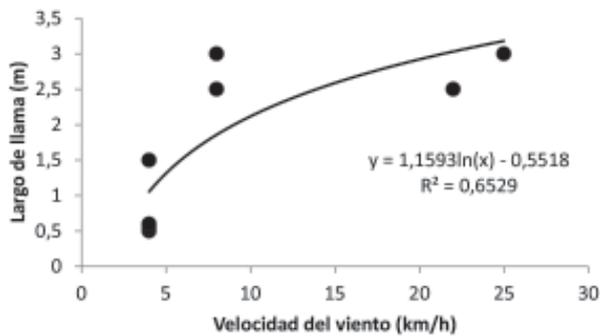


Figura 3 – Relación entre velocidad del viento y largo de llama.

Figura 3 – Relação entre velocidade do vento e comprimento das chamas.

su parte aérea, como se observó en *Q. crassifolia* de Puebla por Juárez B. y colaboradores (2012).

En la abscisión, algunos iones, como el Mg, y moléculas (como aminoácidos y azúcares) retornan al tallo. A lo largo de la base del peciolo, unas enzimas rompen las paredes celulares de la capa de separación en la zona de abscisión. La falta de auxinas en las hojas, entre otros factores, produce la abscisión (RAVEN et al., 1992). El que también haya auxinas en las yemas de las plantas (TAIZ; ZEIGER, 2006), puede explicar el que no se presente una rebrotación generalizada a la caída de las hojas, en ausencia de fuego. Si al afectar la copa el fuego mata yemas, reduce auxinas y promueve la rebrotación. De acuerdo con Kozlowski

Fuente: Foto de Miguel López Moctezuma.

Fonte: Foto de Miguel López Moctezuma.

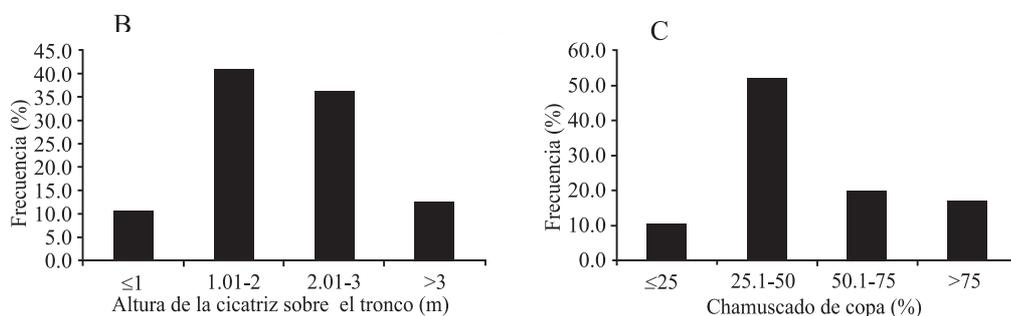


Figura 4 – A) Etapas intermedias de la quema prescrita por franjas a favor, comenzando desde la parte alta de la ladera. Datos de la severidad del fuego en el sitio: B) altura de la cicatriz sobre el tronco y C) chamuscado de copas.

Figura 4 – A) Etapas intermediárias da queima controlada em faixas a favor do vento, começando a partir da parte alta da encosta. Dados da severidade do fogo na área. B) altura da cicatriz no tronco e (C) crestamento das copas.

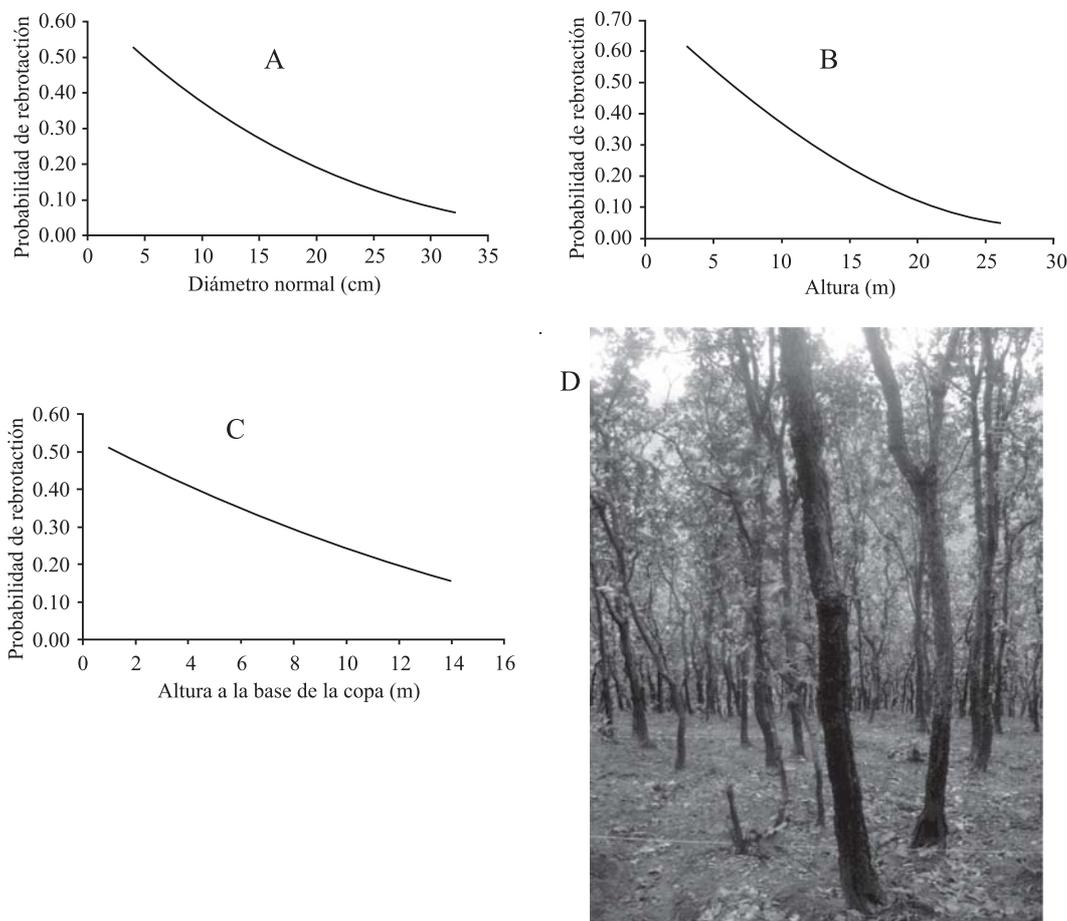


Figura 5 – Expresión gráfica de los modelos logísticos para estimar probabilidad de rebrotación en *Quercus magnoliifolia*, como función de diámetro normal (A), altura (B) y altura a la base de las copas (C). D) Foto del área a cinco meses de la aplicación del tratamiento. Al pie del árbol en primer plano se aprecian rebrotes de la base del tronco.

Figura 5 – Expressão gráfica dos modelos logísticos para estimar a probabilidade de rebrota de *Quercus magnoliifolia* em função do diâmetro normal (A), altura (B) e altura da base das copas (C). Foto da área depois de cinco meses da aplicação do tratamento. Na base da árvore, em primeiro plano, observam-se as brotações na base do tronco.

(1971) y Schier y colaboradores (1985), como respuesta al daño en la parte aérea, las citocininas son trasladadas de la raíz a las yemas latentes, lo que también permite la rebrotación.

A partir de los resultados del presente trabajo y la revisión de literatura realizada, se pueden derivar las siguientes conclusiones: *Q. magnoliifolia* y cabe esperar que la mayoría de los encinos, desde deciduos hasta brevedeciduos, adaptados al fuego también, se comportan como especies resistentes ante fuegos

superficiales, de baja severidad. En esa situación, como respuesta al daño a parte de su copa, recuperarán en parte o en todo el follaje, pasada la temporada de reposo. Si el daño recibido es severo, se estimulará la emisión de rebrotes desde la base del tronco, así como la recuperación del follaje en las zonas de la copa que no hayan resultado muertas, una vez que termine el reposo. Si el daño es muy severo y muere toda la parte aérea, sólo habrá emisión de rebrotes. Ante un daño extremo, los árboles morirán.

Los incendios forestales que acontezcan antes de la caída de las hojas, pueden ser menos severos, dado que la sequía todavía no es tan marcada y no se ha acumulado combustible extra, las hojas caídas. En cambio, los incendios posteriores a la caída, pueden contar con sequía más intensa, además de la mayor carga de combustibles, y resultar más intensos y severos. Dado el menor largo de llama, se esperan menores afectación a la copa y severidad en el daño a los árboles, aunque las frondas estén más susceptibles ante altas temperaturas de los incendios debido a que sus tejidos están activos. Estas últimas tendencias ponen de relieve la importancia del uso de fuego prescrito para reducir peligro de incendio al inicio de la temporada, que pueda matar las partes aéreas o los árboles enteros, y para conocer hasta qué punto imprimir severidad a las quemas prescritas.

Q. magnoliifolia parece tolerar quemas aún más intensas y severas que los momentos de mayor intensidad que se tuvieron al final de la quema prescrita experimental. Una baja proporción de los *Q. magnoliifolia* en el sitio experimental había perdido ya su copa al momento de realizar la quema prescrita, lo que abre la puerta a futuras investigaciones sobre las implicaciones de quemar antes o después de que tal follaje se pierda de manera natural, o en los años húmedos en que la mayor parte del arbolado no lo pierde, o en las partes más elevadas, donde por la mayor humedad los árboles pueden retener el follaje o sólo perderlo durante breve tiempo. Además de los factores ambientales limitativos que determinan la distribución de este encino, el fuego a baja intensidad no elimina ni resta vigor a este encinar.

5. CONCLUSIONES

Las quemas prescritas a bajas intensidad y severidad en *Quercus magnoliifolia*, no afectan la supervivencia y propician su rebrotación. Esto posiciona a la especie como tolerante al fuego, si bien a mayor diámetro del árbol, menor probabilidad de rebrotación. El fuego es una herramienta de manejo con potencial para alcanzar diversos objetivos, como la reducción de combustibles y la manutención de los encinares.

6. RECONOCIMIENTO

Al Dr. Antonio Carlos Batista, por su gentil traducción del español al portugués de resumen, pies de figuras y encabezados de cuadros. A la UAGro, a la UACH y a la Conafor.

7. REFERENCIAS

- BATISTA, A.C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J.F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v.37, n.5, p.779-787, 2013.
- CATRY, F., MOREIRA, F.; PAUSAS, J. G.; FERNANDES, P. M.; REGO F.; CARDILLO, E.; CURT, T. Cork oak vulnerability to fire: the role of bark harvesting, three characteristics and abiotic factors. **PLoS ONE**, v.76, n.6, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0039810
- CHALLENGER, A.; SOBERÓN, J. **Los ecosistemas terrestres**. In: SARUKHÁN K, J. Capital natural de México: Conocimiento actual de la biodiversidad. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2008. v.1. p.87-108.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL - CONAFOR.. Disponível em: <www.conafor.gob.m/portal/>. Acesso em: 1 marzo, 2013.
- FONDO PARA LA COMUNICACIÓN Y LA EDUCACIÓN - FCEA. **Ambiental**. Disponível em: <www.eambiental.org/index.php?option=com_content&task=view&id=98&itemid=202>. Acesso em: enero 20, 2011.
- JUÁREZ B., J.E.; RODRÍGUEZ T., D.A.; MYERS, R.L. Fire tolerance of three species in pine-oak forests of Chignahuapan, Puebla, Mexico. **International Journal of Wildland Fire**, v.21, n.7 p.873-881, 2012.
- FULÉ, P. Z.; COVINGTON, W. Fire regime changes in la Michilía Biosphere Reserve, Durango, Mexico. **Conservation Biology**, v.13, n.3, p. 640-652, 1999.
- FULÉ, P. Z.; GARCÍA A., A.; COVINGTON, W. W. Effects of an intense wildfire in a Mexican pine-oak forest. **Forest Science**, v.46, n.1, p.52-61, 2000.
- GONZÁLEZ T., M. A. **Fire history and natural succession after forest fires in pine-oak forests**. Dissertation. 156 f. Doktograd. (Georg-August-Universität Göttingen). Göttingen, 2005.

- GONZÁLEZ T., M. A.; SCHWENDENMANN, L.; JIMÉNEZ P., J.; SCHULZ, R. Forest structure and woody plant composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. **Forest Ecology and Management**, v.256, p.161-167, 2008.
- HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied logistic regression**. New York: Wiley, 2000. 392p.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA-INEGI. **Anuario geográfico de Guerrero**. México: INEGI, 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA-INEGI. **Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie III**. México: INEGI, 2005.
- JARDEL P., E. Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de las Joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco. **Tiempos de Ciencia**, v.22, p.9-26, 1991.
- KOZLOWSKY, T.T. **Growth and development of trees**. New York: Academic Press, 1971. 443p.
- MILLER, M. Fire autecology. In: BROWN, J.K.; SMITH, J.K. **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora**. General Technical Report RMRS-GTR-42, V. 2. Ogden, Utah: USDA Forest Service, 2000. p.9-34.
- NIXON, K. The genus *Quercus* in Mexico. In: RAMAMOORTHY, R.; LOT, A. F. **Biological diversity of Mexico: origins and distribution**. New York: Oxford University Press, 1993. p.447-458.
- PAUSAS, J. Resprouting of *Q. suber* in NE Spain after fire. **Journal of Vegetation Science**, v.8, n.5, p.703-706, 1997.
- RAVEN, P.H.; VERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biología de las plantas**. Barcelona: Reverté, 1992. 777p.
- Revista Árvore, Viçosa-MG, v.39, n.3, p.523-533, 2015
- PEÑA R., V. M.; BONFIL, C. Efecto del fuego en la estructura poblacional y la regeneración de dos especies de encinos (*Quercus liebmanii* Oerst. y *Quercus magnoliifolia* Née) en la región de La Montaña (Guerrero), México. **Boletín de la Sociedad Botánica de México**, v.72, p.5-20, 2003.
- RODRÍGUEZ T., D.A.; GUERRA L., G.; GARZA, G.; GUERRA L., J. M.; GUIZAR N., E. **Estudio prospectivo. Estructura forestal y diversidad de especies en áreas afectadas por incendios forestales, Sierra de los Ajos-Bavispe, Sonora**. México: UACH, Conanp, 2001.
- RODRÍGUEZ T., D.A.; MYERS, R.L. Using oak characteristics to guide fire regime restoration in Mexican pine-oak and oak forests. **Ecological Restoration**, v.28, n.3, p.304-323, 2010.
- RZEDOWSKI, J. **Vegetación de México**. México: Limusa, 1978. 430p.
- RZEDOWSKI, J. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. In: RAMAMOORTHY, T.P. et al. **Diversidad biológica de México: orígenes y distribución**. Instituto de Biología. México: UNAM, 1998. p.129-145.
- SCHIER, G.A.; JONES, J.R.; WINOKUR, R.P. Vegetative regeneration. In: DEBYLE, N.V.; WINOKUR, R.P. **Aspen: ecology and management in the western United States**. General Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1985. p.29-33. (Technical Report RM-119)
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiología vegetal**. Castelló de la Plana: Universitat Jaume I., 2006. v.2. 1343p.
- WADE, D.D.; BROCK, B.L.; BROSE, P.H.; GRACE, J.B.; HOCH, G.A.; PATTERSON III, W.A. Fire in eastern ecosystems. In: BROWN, J.K.; SMITH, J.K. **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora**. Ogden, Utah: USDA Forest Service, 2000. v.2. p.53-96. (General Technical Report RMRS-GTR-42)
- WRIGHT, H.A.; BAILEY, A.W. **Fire ecology**. United States and Southern Canada. New York: John Wiley & Sons, 1982. 501p.

ZAVALA CH., F. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. **Polibotánica**, v. 8, p.47-64, 1998.

ZAVALA CH., F. **Identificación de encinos de México**. 2.ed. México: División de Ciencias

Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, 2003. 188p.

ZAVALA CH., F. **Guía de los encinos de la Sierra de Tepetzotlán, México**. México: Universidad Autónoma Chapingo, 2007.