



Recuperación del estrato arbóreo de un ecosistema de alta montaña impactado por el fuego

José Israel López Martínez¹

Eduardo Javier Treviño Garza*¹

Oscar Alberto Aguirre Calderón¹

Enrique Buendía Rodríguez²

Juan Carlos Ramos Reyes¹

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

² Campo Experimental Valle de México. CIR Centro. INIFAP. México.

* Autor por correspondencia, email: eduardo.trevinogr@uanl.edu.mx



Resumen:

Con la finalidad de evaluar la recuperación ecológica de un ecosistema forestal de alta montaña, se compararon las estructuras florística y horizontal de la vegetación arbórea de dos zonas aledañas, una impactada por el fuego y otra no impactada. Bajo cada una se establecieron cinco unidades de muestreo en forma de conglomerado, compuestas por cuatro sitios circulares de 400 m², donde se registraron las especies arbóreas (DAP ≥ 7.5 cm). Se describió la vegetación a nivel de comunidad mediante el índice de valor de importancia (IVI), se hizo una categorización diamétrica, la estimación de la riqueza mediante el índice de Margalef (D_{Mg}) y de diversidad de especies con el índice de Shannon (H'). Se realizó un análisis estadístico de comparación de medianas considerando dos variables de la estructura florística y tres de la estructura horizontal (densidad, área de copa y área basal). En ambas condiciones, la especie con mayor representatividad fue *Pinus pseudostrobus*. Las variables de la estructura florística (índice de Margalef e índice de Shannon) y la densidad no presentaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$), mientras que en la estructura horizontal, los valores de área de copa y área basal fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Los resultados indican que a 19 años de la ocurrencia del incendio, la vegetación arbórea registra una recuperación parcial.

Palabras clave: Bosque de pino-encino, diversidad de especies, incendios forestales, índice de Margalef, índice de Shannon, riqueza de especies.

Fecha de recepción/ Reception date: 6 de abril de 2016

Fecha de aceptación/ Acceptance date: 30 de abril de 2017

Introducción

Los incendios forestales son alteraciones ocasionadas por el fuego sobre la vegetación forestal; sus efectos pueden ser positivos o negativos a partir de su intensidad, duración y tipo de vegetación impactada. Los efectos positivos se reflejan en particular, sobre aquellas especies que han logrado desarrollar ciertas adaptaciones que les permiten tolerar la defoliación e incluso la destrucción de sus tallos por la acción del fuego, mientras que los negativos se presentan mayoritariamente en la vegetación de tipo arbustiva o de porte bajo debido a que, por lo general, su corteza es más delgada (Pellegrini *et al.*, 2017).

En México este fenómeno adquirió gran importancia para el sector público y la comunidad científica, sobre todo después de los incendios ocurridos en 1998 debido a la gran cantidad de eventos que se suscitaron (14 445 incendios) y la superficie impactada (849 632 ha). La vegetación más afectada en esa época fueron los pastizales (42 %), seguida de otros tipos (35 %) y en menor medida los bosques (23 %) (FAO, 2002). Aunque la proporción de áreas incendiadas provistas de vegetación arbórea no fue tan significativa en comparación con otras, sus efectos han tenido mayor impacto debido a que su recuperación ha sido más prolongada.

Los efectos que el fuego ejerce sobre la vegetación han sido estudiados en diversas partes del mundo. Crotteau *et al.* (2013) evaluaron la dinámica de la vegetación después de nueve y diez años de haber sido impactada por incendios a diferentes niveles de severidad en tres tipos de bosque del norte de California, Estados Unidos de América. Verma y Jayakumar (2015) ponderaron las repercusiones de la frecuencia del fuego en un periodo de 15 años en bosques tropicales secos caducifolios de Western Ghats, India. Marzano *et al.* (2012) describieron y cuantificaron el impacto del fuego y las respuestas a corto plazo de un bosque mediterráneo afectado por un incendio de copa de alta severidad a partir de la diversidad composicional y estructural de árboles vivos y muertos.

Para México también existen algunas investigaciones como las efectuadas por Méndez *et al.* (2014) quienes analizaron la regeneración en un bosque de pino-encino de la Sierra de Guerrero después de siete años de un siniestro de esta naturaleza a partir de los parámetros ecológicos de índice de valor de importancia, riqueza y diversidad de especies y algunas relaciones dasométricas. Alanís-Rodríguez *et al.* (2012) se enfocaron en la regeneración natural a medio plazo de especies leñosas en un bosque mixto de *Pinus-Quercus* sometido a alta recurrencia de incendios (años 1972, 1984 y 1998) de mediana y alta intensidad en el noreste de México, considerando variables ecológicas, dasométricas, diversidad de especies y su relación con la exposición de la ladera.

Otros aspectos muy importantes y que pocas veces han sido evaluados son la recuperación de los ecosistemas impactados y el tiempo en que tardan en regresar a su condición original. La recuperación de un ecosistema forestal es integral e implica recomponer las condiciones e interacciones de los elementos que lo conformaban. A partir de la vertiente de la vegetación, la recuperación se estima en relación con la aptitud del sistema para lograr los niveles de recubrimiento vegetal, y las propiedades fisionómicas y florísticas anteriores al incendio (Pérez-Cabello *et al.*, 2011).

Una forma de evaluar los niveles de recuperación de la cubierta vegetal y las propiedades fisionómicas y florísticas es analizar algunas variables de la estructura florística y horizontal. Las primeras se asocian a las características ecológicas de las poblaciones vegetales como pueden ser los valores de importancia y la riqueza y diversidad de especies, mientras que las segundas están relacionadas con las dimensiones y densidades de los individuos (Gutiérrez *et al.*, 2015). La estructura florística está directamente relacionada con la estructura horizontal, ya que el comportamiento de las diferentes dimensiones y densidades de cada uno de los individuos presentes en la comunidad, dan origen a diferentes valores de importancia e influyen en los valores de riqueza y diversidad de especies.

La recuperación de la vegetación impactada por el fuego es de suma importancia en todos los ecosistemas forestales, pero existen partes que por sus características físicas y biológicas requieren de una mayor atención. En México, la legislación en materia forestal considera como áreas prioritarias para su conservación los ecosistemas forestales situados arriba de los 3 000 msnm, dentro de los cuales se sitúan los bosques de alta montaña. Con base en la importancia de estas áreas, es necesario realizar estudios que permitan conocer su recuperación posterior a incendios forestales, lo cual coadyuvará en la implementación de labores de restauración. En este contexto el objetivo planteado en este trabajo fue estimar la recuperación de la vegetación arbórea de un bosque de pino-encino de alta montaña impactado por el fuego, mediante un análisis de la estructura florística y algunas variables dasométricas de la estructura horizontal.

Materiales y Métodos

El área de estudio se localiza en el noreste de México, en la parte sureste del estado de Nuevo León, en la provincia fisiografía denominada Sierra Madre Oriental, entre las coordenadas geográficas 23°49.2' y 23°51.4' norte y 99°49.5' y 99°51.3' oeste (Figura 1).



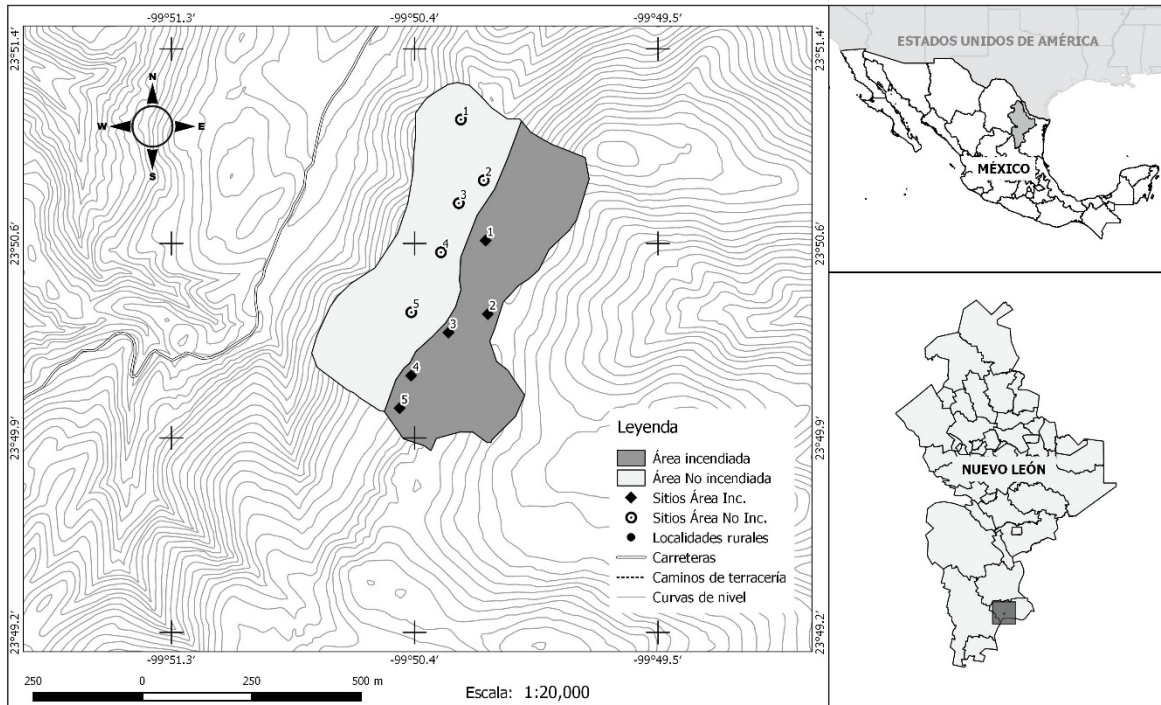


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y distribución de las unidades de muestreo.

El clima es de tipo C(E)(w1)(x') semifrío subhúmedo, con una temperatura media anual que oscila entre los 5 y 12 °C y una precipitación media anual de 700 mm con lluvias en verano (Inegi, 2001). La topografía es accidentada con pendientes pronunciadas y una altitud de 3 000 m, con exposición noreste. Según lo reportado en la cartografía de uso del suelo y vegetación proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), estas condiciones favorecen el desarrollo de un bosque de pino-encino (Inegi, 2012). Parte del bosque fue impactado por un incendio forestal en 1998 provocado por un rayo asociado a las condiciones meteorológicas atribuidas al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), cuya severidad implicó daños parciales (Yocom *et al.*, 2010; Treviño *et al.*, 2000).

Se consideraron dos escenarios libres de aprovechamiento forestal: un área afectada por el fuego hace 19 años con daños parciales a la vegetación y otra aledaña sin quemar, ambas sin cerca de protección, por lo que son susceptibles al

pastoreo. Se asumió que las condiciones pre-incendio de la vegetación y que los procesos ambientales generales (meteorológicos y fisiográficos, por ejemplo) ocurridos desde el incendio hasta la fecha de medición fueron razonablemente similares en los dos escenarios. En ambas condiciones se establecieron cinco unidades de muestreo en forma de conglomerado siguiendo el esquema del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (Conafor, 2012). Cada conglomerado estuvo integrado por cuatro sitios de forma circular de 400 m² acomodados en forma de "Y" invertida con distancias de 45.14 m desde el sitio central, a partir del primer sitio se estableció el segundo con rumbo norte franco, el tercero con rumbo sureste azimut de 120° y el cuarto con rumbo suroeste azimut de 240°. En cada sitio se registraron las especies arbóreas con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 7.5 cm, se midió el DAP y el diámetro de copa en dos direcciones (norte-sur y este-oeste), además, se realizó una colecta botánica para la identificación de las especies.

Previo al análisis de la recuperación de la vegetación arbórea se hizo su descripción al nivel de comunidad para ambas condiciones, con la finalidad de tener un panorama general de las especies ahí reunidas, su comportamiento y la riqueza y diversidad que representan en el ecosistema. Dicha caracterización se efectuó mediante el índice de valor de importancia (*IVI*), una categorización diamétrica y una estimación de la diversidad ecológica mediante la riqueza y diversidad de especies.

El *IVI* se determinó con indicadores ecológicos de abundancia (A_r), dominancia (D_r) y frecuencia (F_r) considerando valores relativos. A_r se calculó dividiendo el número de individuos de cada especie (n) entre el número total de individuos (N). Para D_r se utilizó el área de copa, dividiendo la superficie ocupada de cada especie entre la superficie ocupada por todas las especies. F_r se estimó por división de la frecuencia de cada especie (f) entre la sumatoria de frecuencias de todas las especies (F). Cada indicador se multiplicó por 100 para obtener valores relativos. La sumatoria de

los tres indicadores dio como resultado el IVI de cada especie (Müeller-Dombois y ElleMBERG, 1974).

Para conocer la riqueza de especies se aplicó el índice de Margalef (Margalef, 1957), el cual se define por la ecuación 1.

$$D_{Mg} = (S - 1)/\ln(N) \quad (1)$$

Donde:

D_{Mg} = Riqueza de especies

S = Número de especies presentes

\ln = Logaritmo natural

N = Número total de individuos

La diversidad de especies se calculó mediante el índice de Shannon, que considera dos aspectos: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon y Weaver, 1949). Este índice se define por las ecuaciones 2 y 3.

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i * \ln(P_i) \quad (2)$$

$$P_i = n_i/N \quad (3)$$

Donde:

H' = Diversidad de especies

P_i = Proporción de las especies

\ln = Logaritmo natural

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos

Posteriormente, se realizó una comparación estadística entre ambas condiciones para determinar la recuperación de la vegetación con dos variables de la estructura florística (riqueza y diversidad de especies) y tres variables de la estructura horizontal (densidad, área de copa y área basal).

Para las variables de la estructura florística se calcularon la riqueza y diversidad de especies pero de forma individual para cada uno de los cuatro sitios que conforman la unidad de muestreo, con el fin de obtener valores promedio y poder hacer las comparaciones estadísticas. Para las variables de la estructura horizontal, de igual manera los datos se analizaron con los valores promedio de cada uno de los cuatro sitios. La densidad se obtuvo al dividir el número de individuos (N) entre la unidad de superficie (A) (Mostacedo y Fredericksen, 2000). El área basal se estimó según lo establecido por Diéguez *et al.* (2003) mediante la ecuación 4, que se utilizó para calcular el área de copa.

$$g = \frac{\pi}{4} * d^2 \quad (4)$$

Donde:

g = Área basal

π = 3.1416

d = Diámetro

Previo al análisis estadístico, los datos fueron sometidos a pruebas preliminares de normalidad e igualdad de varianzas. Resultó que las variables de las estructuras florística y horizontal no presentaron una distribución normal, por lo que se optó por utilizar una comparación de medianas con la prueba U de Mann-Whitney (Spiegel y Stephens, 2002). Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el paquete estadístico R versión 3.2.1.

Al asumir que la recuperación de la vegetación implica lograr los niveles de recubrimiento vegetal, y las propiedades fisionómicas y florísticas previas al

incendio se conocen (Pérez-Cabello *et al.*, 2011), se consideró que la recuperación sería total si las variables analizadas en las estructuras florística y horizontal alcanzaban niveles estadísticamente iguales a las anteriores al evento, mientras que si solo se regresaba a los niveles en algunas de las variables, la recuperación sería parcial.

Resultados y Discusión

La caracterización de la vegetación arbórea efectuada a nivel comunidad indicó que en el área incendiada la familia con mayor valor de importancia fue *Pinaceae*, representada por *Pinus pseudostrobus* Lindl. (*IVI* = 190.1) y *Abies vejarii* Martínez (*IVI* = 69.5), mientras que en el área no incendiada fueron *Pinaceae* y *Fagaceae* las más destacadas, con *Pinus pseudostrobus* (*IVI* = 146.7) y *Quercus sideroxyla* Bonpl. (*IVI* = 97.7) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Indicadores ecológicos e índice de valor de importancia de las áreas evaluadas.

| Especie | Abundancia ¹ | | Dominancia ¹ | | Frecuencia ¹ | IVI |
|-----------------------------------|-------------------------|------|---------------------------------|------|-------------------------|-------|
| | N ha ⁻¹ | (%) | m ² ha ⁻¹ | (%) | (%) | |
| Área incendiada | | | | | | |
| <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. | 125 | 67.1 | 3197.2 | 70.4 | 52.6 | 190.1 |
| <i>Abies vejarii</i> Martínez | 45 | 24.2 | 985.8 | 21.7 | 23.7 | 69.5 |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | 11 | 6.0 | 293.1 | 6.5 | 15.8 | 28.3 |
| <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. | 3 | 1.3 | 62.4 | 1.4 | 5.3 | 8.0 |
| <i>Populus tremuloides</i> Michx. | 3 | 1.3 | 3.6 | 0.1 | 2.6 | 4.1 |

| Total | 186 | 100 | 4542.1 | 100 | 100 | 300 |
|-----------------------------------|-----|------|---------|------|------|-------|
| Área no incendiada | | | | | | |
| <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. | 89 | 43.0 | 4 477.2 | 60.4 | 43.2 | 146.7 |
| <i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. | 81 | 39.4 | 2 116.6 | 28.6 | 29.7 | 97.7 |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth | 34 | 16.4 | 769.0 | 10.4 | 21.6 | 48.4 |
| <i>Abies vejarii</i> Martínez | 1 | 0.6 | 35.6 | 0.5 | 2.7 | 3.8 |
| <i>Populus tremuloides</i> Michx. | 1 | 0.6 | 11.4 | 0.2 | 2.7 | 3.5 |
| Total | 206 | 100 | 7 409.9 | 100 | 100 | 300 |

IVI = Índice de valor de importancia; N = Individuos; ¹ = Calculados a partir de valores promedio.

En el área incendiada también se identificaron individuos arbóreos de *Quercus* spp., con diámetros pequeños que, por ello, no fueron considerados para el análisis, pero que forman parte del reclutamiento natural de la masa forestal en la comunidad; pueden estar afectando el uso del espacio y de los recursos, así como otras funciones ecológicas a nivel de sitio (por ejemplo, movilidad y refugio de fauna).

El análisis de la categorización diamétrica refleja los resultados obtenidos en la valoración de las especies mediante el IVI; bajo condiciones sin incidencia de fuego, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus sideroxyla* están presentes en la mayoría de categorías; 56 % de los pinos se distribuye dentro de categorías de los 35 a 55 cm (árboles maduros), 37 % en categorías de los 15 a 30 cm (árboles jóvenes) y el restante 7 % se sitúa en categorías \geq 60 cm (árboles viejos).

Respecto a *Quercus sideroxyla*, 77 % de los individuos se clasifica en las categorías de los 10 a los 30 cm y el restante 23 % en categorías \geq 35 cm. Es posible que esta situación esté generando condiciones desfavorables para *Pinus pseudostrobus*, sobre todo para los pinos en las categorías de entre 15 y 30 cm (árboles jóvenes), debido a la competencia que parece ejercerse con el encino (Figura 2).

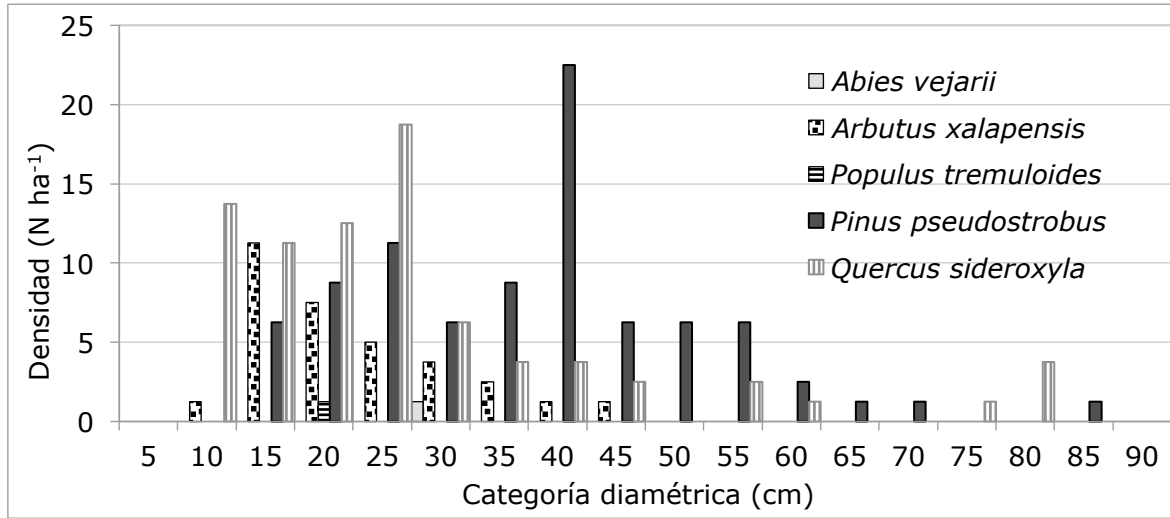


Figura 2. Categorización diamétrica de especies arbóreas presentes en el área no incendiada.

Por otra parte, los datos de la zona con incidencia de fuego parecen mostrar que la pérdida de arbolado viejo de las categorías diamétricas ≥ 60 cm y la reducción de especies hojosas está indudablemente vinculada a este factor. Dicha condición aparentemente favoreció el desarrollo de las coníferas, *Pinus pseudostrobus* y *Abies vejarii*, las cuales se distribuyen de preferencia en categorías diamétricas inferiores a los 40 cm, lo cual sugiere una masa forestal joven (Figura 3).

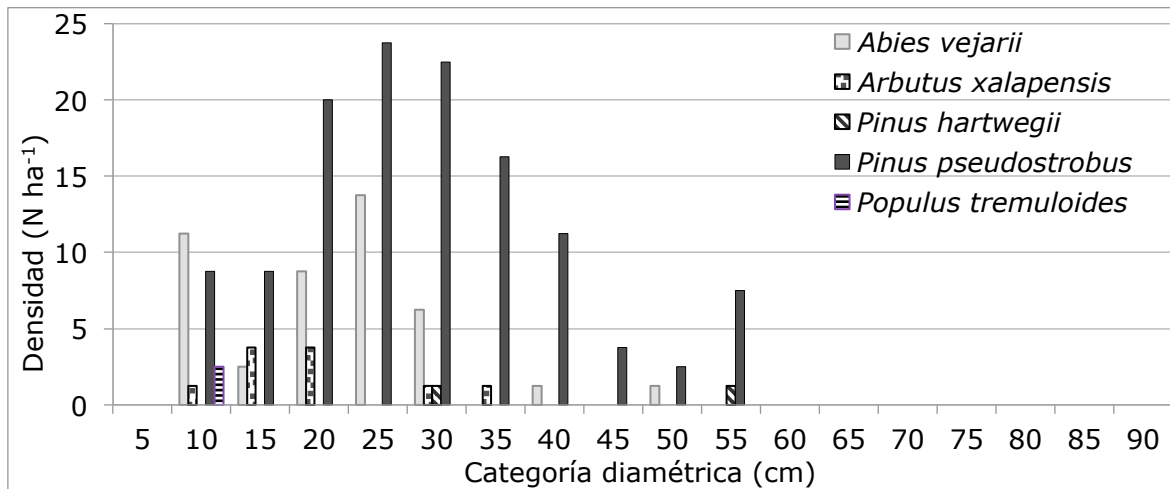


Figura 3. Categorización diamétrica de especies arbóreas presentes en el área incendiada.

En el ecosistema incendiado se registró una riqueza de especies ($D_{Mg} = 0.80$) semejante a la del no incendiado ($D_{Mg} = 0.78$); de igual manera, los valores de diversidad de especies del área incendiada ($H' = 0.9$) en comparación con la no incendiada ($H' = 1.09$) fueron parecidos. Los resultados concuerdan con los de Alanís-Rodríguez *et al.* (2008), quienes encontraron que los valores de riqueza y diversidad de especies arbóreas de un bosque de pino-encino no restaurado después de nueve años de haber sido impactado por el fuego se vieron incrementados respecto a un ecosistema de referencia y otro rehabilitado.

En lo referente a la evaluación directa de la recuperación de la vegetación, estadísticamente los resultados obtenidos en la comparación de medianas indicaron que las variables de la estructura florística (riqueza (D_{Mg}) y diversidad (H')) de especies, no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), lo que quiere decir que efectivamente, tal como se había previsto en la caracterización a nivel comunidad, la riqueza y diversidad de especies presentes en ambas condiciones son iguales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados estadísticos de las estructuras florística y horizontal.

| Variable | Incendiada | No incendiada | Valor-p ¹ |
|---|-----------------------|---------------|----------------------|
| | Estructura florística | | |
| Índice de Margalef (D_{Mg}) | 0.44 a | 0.42 a | 0.978 |
| Índice de Shannon (H') | 0.53 a | 0.57 a | 0.697 |
| Estructura horizontal | | | |
| Densidad (N ha ⁻¹) | 188 a | 188 a | 0.786 |
| Área de copa (m ² ha ⁻¹) | 3 944 a | 6 813 b | 0.022 |
| Área basal (m ² ha ⁻¹) | 13 a | 20 b | 0.008 |

¹ = Valor-p obtenido con la prueba U de Mann-Whitney. Cifras seguidas con la misma letra en cada fila, son estadísticamente iguales.

En la estructura horizontal, los valores de densidad presentes en el área incendiada resultaron ser similares respecto a los valores del área de referencia al no mostrar diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en la comparación de medianas (Cuadro 2). Al respecto, los valores en ambas condiciones se aproximan a los registrados por Jiménez *et al.* (2001) en un ecosistema maduro de bosque de pino-encino situado en la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León, lo que indica que estas densidades son propias de tales ecosistemas en la región.

La recuperación en densidad, según algunos autores se atribuye a la regeneración de especies arbóreas después del incendio, ejercida por especies de reproducción vegetativa y la germinación de semillas procedentes de especies adaptadas a este tipo de siniestros, como algunas coníferas (De las Heras, 2015). Estas últimas dispersan sus semillas después de ser estimuladas por el calor y son favorecidas por espacios libre de competencia, con abundancia de luz y condiciones de suelo más favorables (Godínez *et al.*, 2016).

Por otra parte, los valores de área de copa y área basal presentes en el área incendiada resultaron ser inferiores respecto a los valores del área de referencia, los cuales si presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Cuadro 2). La reducción en la copa difiere de los resultados de Alanís-Rodríguez *et al.* (2011), quienes caracterizaron la vegetación leñosa de un bosque de pino-encino después de 12 años de haber sido impactado por el fuego, y registraron una cobertura de dosel superior a las obtenidas en la presente investigación.

Los resultados del área basal coinciden con los de González-Tagle *et al.* (2008), quienes reconocieron una reducción de la misma en rodales de pino-encino después de ocho años de haber sido impactados por el fuego respecto a rodales no impactados en más de 70 años. La disminución en los valores de área de copa y área basal que aún prevalecen, se atribuyen a que la vegetación arbórea tuvo una pérdida total y parcial de individuos, además de que la regeneración leñosa posterior al incendio aún no concluye y todavía no alcanza dimensiones finales en estos criterios.

Conclusiones

Se partió del supuesto de que las condiciones pre-incendio de la vegetación y que los procesos ambientales generales (meteorológicos y fisiográficos por ejemplo) ocurridos desde el incendio hasta la fecha de medición fueron razonablemente similares en el área quemada y en la no quemada y, con base en el valor de importancia de las especies arbóreas, puede establecerse que el fuego fue un factor decisivo de las diferencias observadas en la composición de este valor.

Las especies con mayor representatividad en el área incendiada fueron *Pinus pseudostrobus* (IVI = 190.1) y *Abies vejarii* (IVI = 69.5); estas dos especies se encuentran bien representadas dentro de categorías jóvenes que llegaron a formar parte de la regeneración natural y que no tuvieron competencia por parte del arbolado adulto y las especies hojosas que se encontraban previas al incendio. La incidencia del fuego afectó principalmente al arbolado adulto y la cantidad de especies hojosas sufrió una disminución significativa.

A nivel comunidad, la vegetación arbórea incendiada aparentemente presentó una recuperación en riqueza (D_{Mg}) y diversidad de especies (H'). Se concluye que a 19 años de la ocurrencia del incendio, la vegetación arbórea presenta una recuperación parcial.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal técnico que apoyo en el trabajo de campo, C. Humberto Alonso López Alejandro e Ing. Alejandro Luna. A las autoridades del Ejido la Siberia, Municipio de General Zaragoza, Nuevo León por las facilidades brindadas, así como a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el financiamiento a través del Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT 2011 -CT 310-10).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

José Israel López Martínez: planeación, levantamiento y análisis de la información, redacción del texto; Eduardo Javier Treviño Garza: planeación, análisis de la información, redacción y revisión del texto; Oscar Alberto Aguirre Calderón: revisión del texto; Enrique Buendía Rodríguez: análisis de la información y revisión del texto; Juan Carlos Ramos Reyes: levantamiento y análisis de la información.

Referencias

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, D. Espinoza-Vizcarra, E. Jurado-Ybarra, O. A. Aguirre-Calderón y M. A. González-Tagle. 2008. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2): 113-118.

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, A. Valdecantos-Dema, M. Pando-Moreno, O. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza. 2011. Caracterización de regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1): 31-39.

Alanís-Rodríguez, E., J. Jiménez-Pérez, A. Valdecantos-Dema, M. A. González-Tagle, O. A. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza. 2012. Composición y diversidad de la regeneración natural en comunidades de *Pinus-Quercus* sometidas a una alta recurrencia de incendios en el noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(4): 1208-1214.

- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2012. Inventario nacional forestal y de suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Re-muestreo 2012. Zapopan, Jal., México. 136 p.
- Crotteau, J. S., J. M. Varner III and M. W. Ritchie. 2013. Post-fire regeneration across a fire severity gradient in the southern Cascades. *Forest Ecology and Management* 287:103-112.
- De las Heras I., J. 2015. ¿Qué hacer después del fuego? Principales retos y algunas respuestas. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 39: 213-235.
- Diéguez, U., M. Barrio A., F. Castedo D., A. D. Ruiz G., M. F. Álvarez T., J. G. Álvarez G. y A. Rojo A. 2003. *Dendrometría*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2002. *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2000 - Informe Principal*. Estudio FAO Montes 140. Roma, Italia. 418 p.
- Godínez, S. M., F. A. Rodríguez, N. P. López y J. Camposeco. 2016. Evaluación de la regeneración natural de tres especies coníferas en áreas de distribución natural en el altiplano occidental de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud* 3(1): 5-16.
- González-Tagle, M. A., L. Schwendenmann, J. Jiménez P. and R. Schulz. 2008. Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pineoak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management* 256: 161-167.
- Gutiérrez B., C., P. Zamora-Crescencio y G. G. Cabrera-Mis. 2015. Estructura y Composición florística de la selva mediana subperennifolia de Jaina, Hecelchakán, Campeche, México. *Foresta Veracruzana* 17(1): 17-26.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2000. *Diccionario de datos climáticos escalas 1: 250 000 y 1:1000 000 (vectorial)*. Inegi. Aguascalientes, Ags., México. 65 p.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2012. Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión). <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/mapas-de-uso-del-suelo-y-vegetacion-escala-1-250-000-serie-v-mexico> (02 de mayo de 2017).
- Jiménez, J., O. Aguirre y H. Kramer. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el noreste de México. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales* 10(2): 355-366.
- Margalef, R. 1957. Information Theory in Ecology. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona* 23:373-449.
- Marzano, R., E. Lingua and M. Garbarino. 2012. Post-fire effects and short-term regeneration dynamics following high-severity crown fires in a Mediterranean forest. *Forest-Biogeosciences and Forestry* 5: 93-100.
- Méndez O., C., E. Alanís R., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C. y E. J. Treviño G. 2014. Análisis de la regeneración postincendio en un bosque de pino-encino de la Sierra de Guerrero, México. *Ciencia UANL* 17(69): 63-70.
- Mostacedo, B. y T. S. Fredericksen. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Müeller, D. D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons. Nueva York, NY USA. 547 p.
- Pellegrini, A. F. A., W. R. L. Anderegg, C. E. T. Paine, W. A. Hoffmann, T. Kartzinel, S. S. Rabin, D. Sheil, A. C. Franco and S. W. Pacala. 2017. Convergence of bark investment according to fire and climate structures ecosystem vulnerability to future change. *Ecology Letters* 20: 307–316.
- Pérez-Cabello, F., M. Echeverría, de la Riva, J. y P. Ibarra. 2011. Apuntes sobre los efectos de los incendios forestales y restauración ambiental de área quemadas. Estado de la cuestión y principios generales. *Geographicalia* (59-60): 295-308.

- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, IL USA. 144 p.
- Spiegel M. R. y L. J. Stephens. 2002. Estadística. Tercera edición. McGraw-Hill. México, D. F., México, 541 p.
- Treviño G., E. J., J. Jiménez P. y O. A. Aguirre C. 2000. Evaluación de las superficies incendiadas en el sur de Nuevo León susceptibles a restauración. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. 6 al 10 de noviembre de 2000. Iguazú, Argentina. pp. 353-362.
- Verma, S. and S. Jayakumar S. 2015. Post-fire regeneration dynamics of tree species in a tropical dry deciduous forest, Western Ghats, India. *Forest Ecology and Management* 341: 75-82.
- Yocom, L. L., P. Z. Fulé, P. M. Brown, J. Cerano, J. Villanueva-Díaz, D. A. Falk and E. Cornejo-Oviedo. 2010. El Niño-Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology* 91(6): 1660-1671.

