

# Análisis comparativo de cargas de combustible en área afectada por incendio y sin incendio en Malinaltepec, Guerrero

Comparative analysis of fuel loads in the area affected by fire and without fire in Malinaltepec, Guerrero

Bernardo López López\*

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México.

Beatriz Calleja Pelaez

Magdalena Flores-Altamirano

Cruz Alejandro Rosales Reyes

Universidad Intercultural del Estado de Guerrero. La Ciénega, Malinaltepec. Guerrero, México.

\*Autor para correspondencia: lopez\_020986@hotmail.com

## Resumen

Los incendios forestales son uno de los factores que contribuyen al cambio climático, de los componentes que forman del triángulo del fuego, el combustible es el único factor que puede ser manipulado. El objetivo del presente trabajo fue estimar la carga de combustibles forestales en  $\text{Mg ha}^{-1}$  en un área incendiada en el año 2015 y otra área sin incendio. Para la evaluación del combustible forestal se establecieron tres sitios de muestreo en cada una de las áreas, el material leñoso se contabilizó por tiempo de retardo (1, 10, 100 y 1000 h) acorde a la técnica de intersecciones planares; al final de cada línea se colectó la hojarasca (h) y mantillo (m) en  $0.09 \text{ m}^2$ . Se realizaron pruebas de *t* para contrastar la carga de combustible general y por tipo entre ecosistemas; la prueba de comparación de medias de Tukey se empleó para contrastar los combustibles en un área dada, finalmente se correlacionó el material leñoso (ml), mantillo (m) y hojarasca (h) con la carga total (ct), profundidad de la hojarasca (ph) y profundidad del mantillo (ph) mediante pruebas de correlación de Pearson. La carga total de combustible fue de  $53.10 \text{ Mg ha}^{-1}$  en el área incendiada, mientras que el área sin incendio mostró una carga de  $27.26 \text{ Mg ha}^{-1}$  sin diferencias significativas ( $p = 0.114$ ). Sobre la comparación de cargas por tiempo de retardo el combustible de 1, 10 y 100 h mostraron mayor carga en el área incendiada aunque no fue significativa ( $p > 0.05$ ); el análisis por componente mostró mayor carga de hojarasca en el área no incendiada con  $12.90 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $p = 0.015$ ) y el material leñoso fue estadísticamente superior en el área incendiada con  $35.95 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $p = 0.024$ ). La correlación de variables evidencio un  $r = 0.95$  entre el materia leñoso y carga total; seguido la hojarasca y mantillo ( $r = 0.80$ ); por el contrario la carga total en el área no incendiada evidencio correlación con el mantillo y la hojarasca ( $r = 0.89$  y  $0.83$ ). El incendio forestal contribuyo a la disminución de hojarasca y mantillo pero maximizo la carga de combustible leñoso.

**Palabras clave:** pino, correlación, material leñoso, mantillo y hojarasca.

## Abstract

Forest fires are one of the factors that contribute to climate change, among the components that form the fire triangle, fuel is the only factor that can be manipulated. The objective of this work was to estimate the load of forest fuels in  $\text{Mg ha}^{-1}$  in an area burned in 2015 and another area without fire. For the evaluation of forest fuel, three sampling sites were established in each of the areas, the woody material was counted by delay time (1, 10, 100 and 1000 h) according to the technique of planar intersections; at the end of each line, litter (h) and mulch (m) were collected in  $0.09 \text{ m}^2$ . Tests were carried out to contrast the general fuel load and by type between ecosystems; Tukey's means comparison test was used to contrast the fuels in a given area, finally the woody material (ml), mulch (m) and litter (h) were correlated with the total load (ct), litter depth (ph) and mulch depth (ph) using Pearson correlation tests. The total fuel load was  $53.10 \text{ Mg ha}^{-1}$  in the burned area, while the area without fire showed a load of  $27.26 \text{ Mg ha}^{-1}$  without significant differences ( $p = 0.114$ ). On the comparison of loads by delay time, the fuel of 1, 10 and 100 h showed a higher load in the burned area, although it was not significant ( $p > 0.05$ ); the analysis by component showed a higher litter load in the non-burned area with  $12.90 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $p = 0.015$ ) and the woody material was statistically higher in the burned area with  $35.95 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $p = 0.024$ ). The correlation of variables showed an  $r = 0.95$  between the woody material and the total load; followed by leaf litter and mulch ( $r = 0.80$ ); on the contrary, the total load in the non-burned area showed a correlation with the mulch and leaf litter ( $r = 0.89$  and  $0.83$ ). The forest fire contributed to the reduction of litter and mulch but maximized the load of woody fuel.

**Keywords:** pine, correlation, woody material, mulch and leaf litter.

## Introducción

Los ecosistemas forestales existentes a nivel mundial se ven afectadas por varios factores, uno de ellos son los incendios forestales que de manera general afecta directamente a la vegetación existente contribuyendo al calentamiento global, en México no es la excepción. Los incendios forestales son en su mayoría derivado de las actividades antropogénicas (agricultura), por causas naturales (rayos) y por último la gran acumulación de los combustibles forestales generada por las sequías prolongadas. Por ello es importante conocer y comprender los mecanismos que controlan los regímenes de dichos eventos (Zinck *et al.* 2011; Rodríguez, 2012).

La ocurrencia y comportamiento de los incendios están influidos por el tiempo atmosférico, la topografía y el tipo de combustibles, este último es el único componente que se puede manipular, para la implementación de estrategia para el manejo del fuego (DeBano, 1998; Calleja *et al.* 2020); las áreas con mayor cantidad de combustible desprenderán más calor conllevando a conflagraciones más intensas (Vélez, 2000), por ello la estimación de cargas de combustible en diferentes ecosistemas y regiones del país permitirá orientar alternativas de prevención de incendios forestales y manejo del fuego; para encaminar estrategias de conservación de los recursos forestales.

Los incendios forestales contribuyen a alterar la dinámica de los combustibles forestales dependiendo de la intensidad, magnitud y duración del siniestro (Xelhuanzi *et al.* 2011), el objetivo del presente trabajo fue evaluar la carga de combustible en un área incendiada en 2015 y un área no incendiada para conocer la carga de material leñoso, hojarasca y mantillo en bosque de pino; por ello se plantearon las siguientes hipótesis: a) La carga de combustibles leñosos será mayor en el área incendiada y b) la correlación será más alta en el área no incendiada.

## Materiales y Métodos

### Ubicación de los sitios de muestreo

Se ubicó un área con ocurrencia de incendio forestal en el año 2015 y un área sin incendio forestal en bosque

de pino en el paraje “Loma larga” perteneciente a la comunidad de Ojo de Agua, municipio de Malinaltepec, Guerrero localizado en las coordenadas geográficas 17° 13' 1.50" LN y 98° 39' 51" LW a una altitud de 1620 m (Figura 1). Se establecieron tres sitios de muestreo en un área incendiada en el año 2015 y tres sitios de muestreo en el área sin incendio forestal.

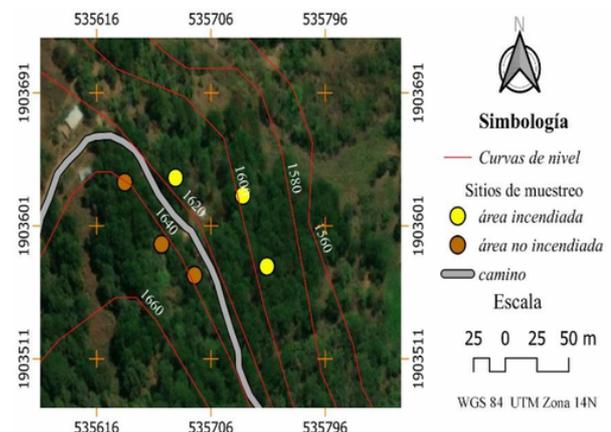


Figura 1. Ubicación de sitios de muestreo en bosque de pino en la comunidad de Ojo de Agua, Malinaltepec, Guerrero.

El clima del área de estudio corresponde a semicálido subhúmedo A(C)w2(w), temperatura media anual de 22 °C y la precipitación media anual de 2000 mm (INEGI, 2008, 2007 y 2006).

### Caracterización de combustibles forestales

Para el muestreo de combustibles leñosos por tiempo de retardo se empleó la técnica de intersecciones planares de Brown (1974) que consiste en establecer tres líneas de 15 m orientados a 0, 120 y 240° de azimut; el conteo del material leñoso 1 h se contabilizaron a 2 m, el de 10 h (4 m) y 100 h a los 10 m (Figura 2a); el diámetro del combustible de 1000 h se cuantificó en toda la línea de 15 m con un flexómetro (Figura 2b).

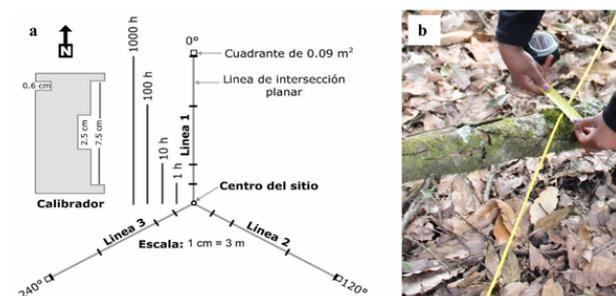


Figura 2. a) Muestreo de combustibles forestales tomado de Calleja *et al.* 2020 y b) medición de combustible 1000 h.

## Colecta y secado de muestras de mantillo y hojarasca

La hojarasca y mantillo se colectó al final de cada línea en un cuadro de 0.09 m<sup>2</sup> (Figura 2a); y se midió la profundidad de la hojarasca y mantillo con un flexómetro, las muestras colectadas en campo se trasladaron al laboratorio de Manejo del Fuego en la Universidad Intercultural del Estado de Guerrero para su pesaje y secado en estufa a 70 °C (Figura 3a y b).

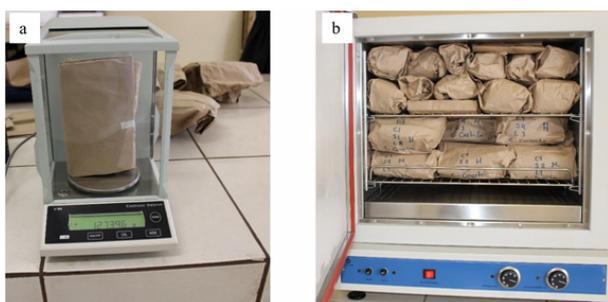


Figura 3. a) Pesado de muestras en laboratorio y b) secado de hojarasca y mantillo en estufas a 70 °C.

## Estimación de cargas de combustible leñoso, hojarasca y mantillo

Para el cálculo de las cargas de material leñoso se emplearon las fórmulas descritas por Brown (1971) Cuadro 1; la carga de hojarasca y mantillo se estimó con la ecuación descrita por Calleja *et al.* (2020).

Cuadro 1. Fórmulas para calcular el peso de combustibles leñosos (Brown, 1971).

Clase diamétrica (cm)	Tiempo de retardo	Fórmula
0-0.6	1 h	$P = \frac{0.484 \times F \times C}{NL}$
0.6-2.5	10 h	$P = \frac{3.369 \times F \times C}{NL}$
2.6-7.5	100 h	$P = \frac{36.808 \times F \times C}{NL}$
>7.5 (sin pudrición)	1000 h	$P = \frac{1.46 \times d^2 \times C}{NL}$
>7.5 (con pudrición)	1000 h	$P = \frac{1.21 \times d^2 \times C}{NL}$

Dónde: P = Peso del combustible en t ha<sup>-1</sup>; F = número de intersecciones; C = factor de corrección por pendiente del terreno (%); N = número de líneas por sitio; L = Longitud de la línea de muestreo o suma de las longitudes de líneas dadas en pies lineales [ft]: 1 m = 3.28 ft; d<sup>2</sup> = diámetro al cuadrado de piezas leñosas mayores a 7.5 cm y 0.488, 3.369, 36.808, 1.46 y 1.21 = constante del peso específico.

$$CH = PSH * 0.1111$$

Donde:

CH = carga de hojarasca (t ha<sup>-1</sup>)

PSH = Peso seco de la hojarasca (g) en 0.09 m<sup>2</sup> (30 x 30 cm)

0.1111 = factor de conversión de g en 0.09 m<sup>2</sup> a t ha<sup>-1</sup>

## Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de t para contrastar las cargas de combustible por tiempo de retardo y por componente

del material leñoso (ml), mantillo (m) y hojarasca (h) entre áreas ( $p = 0.05$ ); la prueba de comparación de medias de Tukey se empleó para contrastaron las cargas de combustible por tipo (1, 10, 100, 1000 h, h y m) en un área dada ( $p = 0.05$ ) los análisis estadísticos se realizaron en el software IBM SPSS Versión 20. Se correlacionó la carga total de combustible (ct), material leñoso (ml), hojarasca (h) y mantillo (m) con la profundidad del mantillo y profundidad de la hojarasca (pm y ph) con la librería metan en el software estadístico R.

## Resultado

### Comparación de cargas de combustible total y por tiempo de retardo

La carga total de combustibles en el área incendiada fue de 53.10 Mg ha<sup>-1</sup> mientras el área sin incendio mostró una carga de 27.26 Mg ha<sup>-1</sup> sin diferencia estadística significativa ( $p = 0.114$ ) acorde a la prueba de t. La carga de combustible 1, 10 y 100 h fue mayor en el área incendiada aunque no evidencio significancia estadística respecto al área no incendiada ( $p > 0.05$ ); el combustible de 1000 h solamente se registró en el área incendiada con 34.30 Mg ha<sup>-1</sup> razón por la cual no se procedió a la comparación estadística (Cuadro 2). La carga de 1 h reportado en ambos áreas fue de 0.44 y 0.66 Mg ha<sup>-1</sup> con mayor presencia en el área incendiada; la carga de combustible 10 y 100 h siguieron la misma tendencia con valores 0.23 a 0.71 Mg ha<sup>-1</sup> y 0.22 a 0.82 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 2. Comparación de cargas de combustible leñoso en área incendiada y no incendiada.

Combustible por tiempo de retardo	Carga de combustible t ha <sup>-1</sup>					
	área incendiada			área no incendiada		
	$\bar{x}$	D. E.	C. V.	$\bar{x}$	D. E.	C. V.
1 h	0.66 a	0.76	115.72	0.44 a	0.28	63.99
10 h	0.71 a	0.26	36.34	0.23 a	0.27	116.87
100 h	0.82 a	0.71	91.95	0.13 a	0.22	173.23
1000 h	34.31	37.72	109.92	-	-	-

Donde:  $\bar{x}$  = media, D. E. = desviación estándar, C. V. = coeficiente de variación y letra distinta indica diferencia significativa entre medias.

### Comparación de cargas de combustible por tipo y componente entre áreas

El análisis comparativo de cargas de combustible 1000 h evidenció diferencia significativa con mayor presencia en el área incendiada, el cual puede estar

relacionado a la intensidad y magnitud del incendio que provocó la mortalidad de los árboles; mientras que en el área no incendiada el mantillo y hojarasca fueron estadísticamente superior a las cuatro categorías de material leñoso (Figura 4a). La comparación de cargas de combustible para el material leñoso fue baja en el área no incendiada 0.64 Mg ha<sup>-1</sup>, mientras el área incendiada registro 35.95 Mg ha<sup>-1</sup> ( $p = 0.024$ ); en contraparte la hojarasca fue mayor en el área no incendiada con una carga de 12.90 Mg ha<sup>-1</sup> representando casi el doble de la carga conferida en el área incendiada ( $p = 0.015$ ), el mantillo no mostró diferencia estadística entre áreas  $p = 0.644$  (Figura 4b).

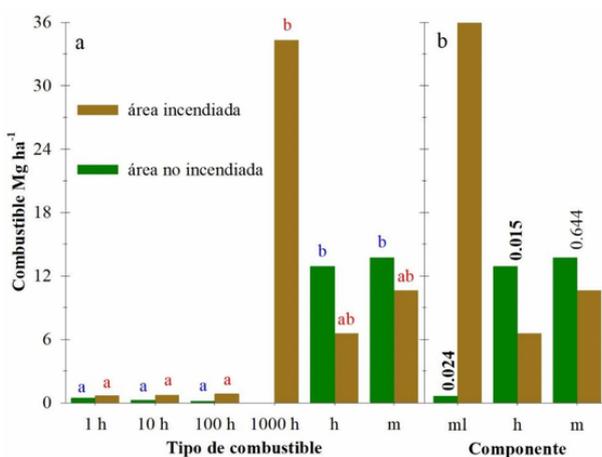


Figura 4. Comparación de cargas de combustibles forestales entre áreas a) por tipo y b) componente. Letras distintas y valores en negritas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

### Correlación de cargas de combustible por componente y profundidad

La carga total de combustibles en el área no incendiada evidenció correlación con el mantillo y hojarasca  $r = 0.89$  y  $0.83$  ( $p < 0.05$ ); la profundidad del mantillo y material leñoso mostraron un  $r = 0.74$  y  $p = 0.02$ ; aunque la profundidad y carga de hojarasca evidenciaron un  $r = 0.65$  la correlación no fue significativa (Figura 5b).

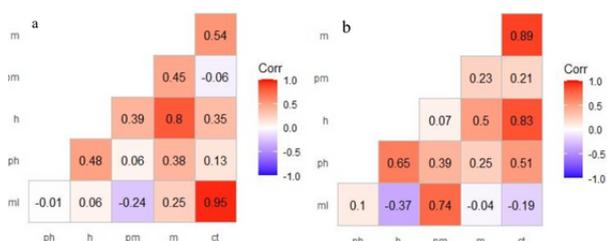


Figura 5. Relación de cargas de combustible con la profundidad del mantillo y hojarasca en a) área incendiada y b) área no incendiada.

La correlación más alta en el área incendiada fue entre el material leñoso y la carga total de combustibles ( $r = 0.95$  y  $p = 0.001$ ); seguido el mantillo con la hojarasca  $r = 0.80$  y  $p = 0.01$ , el resto de las correlaciones no evidenciaron significancia (Figura 5a).

### Discusión

La carga total de combustible en el área no incendiada resulto menor a los 49.6 Mg ha<sup>-1</sup> en bosque de pino-encino sin perturbación (Rubio *et al.* 2016); mientras Xelhuanzi *et al.* (2011) reportaron cargas bajas para áreas sin incendio en bosque templados de Puebla, Coahuila y Jalisco con 17.90 Mg ha<sup>-1</sup>; por el contrario los 53.10 Mg ha<sup>-1</sup> conferida en el área incendiada resulto mayor a los 10 Mg ha<sup>-1</sup> registrado por Xelhuanzi *et al.* (2011) y 28.48 Mg ha<sup>-1</sup> conferida en bosques fragmentados de *P. hartwegii* (Castañeda *et al.* 2015). En relación a la carga de combustible por tipo Calleja *et al.* (2020) confieren mayor carga de hojarasca sobre los combustibles leñosos en bosque de encino.

La carga de combustible 1 h es menor a lo reportado por Rubio *et al.* (2016) de 0.74 y 0.96 Mg ha<sup>-1</sup>, aunque está dentro del rango reportado por Calleja *et al.* (2020) de 0.18 a 0.91 Mg ha<sup>-1</sup> para bosque de encino; el combustible 10 h coincide con los 0.16 a 0.68 Mg ha<sup>-1</sup> en áreas sin incendio y 0.16 a 1.07 Mg ha<sup>-1</sup> para áreas incendiadas (Xelhuanzi *et al.* 2011) por el contrario Rubio *et al.* (2016) cuantificaron cargas de 5.05 y 6.81 t ha<sup>-1</sup> en áreas sin incendio y con incendio respectivamente; la carga de combustible 100 h fue menor a los 4.9 Mg ha<sup>-1</sup> en bosques fragmentados de *P. hartwegii* (Castañeda *et al.* 2015); finalmente el combustible de 1000 h es superior a los 22.90 Mg ha<sup>-1</sup> conferido en ecosistemas fragmentados de *P. hartwegii* (Castañeda *et al.*, 2015) lo cual indica que la presencia de perturbación en los bosques contribuye al incremento de la carga de combustible leñoso.

Las correlaciones coincide con los hallazgos de Chávez *et al.* (2021) al registrar un  $r = 0.97$  y  $0.72$  para la carga de mantillo y hojarasca respecto a la carga total; por el contrario Calleja *et al.* (2020) documentaron correlación entre el espesor de la

hojarasca y carga de hojarasca ( $r = 0.77$ ;  $p = 0.001$ ). La relación entre diferentes componentes de combustible da pauta a la generación de modelos para estimar la carga total de combustibles in situ que facilite la toma de decisiones en el manejo del fuego y combate de incendios forestales.

### **Conclusiones**

La carga de combustibles leñosos en el área incendiada se magnifico por lo que el área requiere tareas adicionales como el acomodo del material de 1000 h para cortar la continuidad horizontal de combustible, ya que por su disposición favorecerá a la propagación del fuego.

Las cargas de combustible en el área no incendiada se consideran alta por lo que se requiere implementar quemas prescritas para reducir la carga de combustible y evitar la ocurrencia de un incendio catastrófico.

Los valores de correlación de la carga total, profundidad de la hojarasca y profundidad del mantillo con respecto al material leñoso, hojarasca y mantillo difieren en cada una de las áreas lo que pudiera conducir a diferentes regímenes de fuego.

**Literatura citada**

- Brown J. K. (1974). Handbook for inventorying downed woody material. Gen. Tech. Rep. INT-16. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range.
- Brown, J. K. (1971). A planar intersects method for sampling fuel volume and surface area. *Forest Science* 17(1): 96–102. Doi: 10.1093/forestscience/17.1.96. Experiment Station. 16, 24.
- Calleja Peláez, B., López López, B., Méndez González, J., Ríos Camey, J. M. y Gutiérrez Merino, E. (2020). Tamaño de muestra para estimar cargas de combustible en bosque de encino en la región Montaña de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(57), 174-195.
- Castañeda R., M. F., A. R. Endara A., M. L. Villers R. y E. G. Nava B. (2015). Evaluación forestal y de combustibles en bosques de *Pinus hartwegii* en el Estado de México según densidades de cobertura y vulnerabilidad a incendios. *Madera y Bosques* 21(2): 45-58. Doi: 10.21829/myb.2015.212444.
- Chávez Durán, Á. A., Bustos Santana, A., Chávez Durán, H. M., Mora Orozco, C. D. L., Flores Garnica, J. G., Rubio Camacho, E. A. y Xelhuantzi Carmona, J. (2021). Distribución espacial de cargas de combustibles en una parcela de muestreo de pino-encino. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(65), 112-133.
- Rodríguez T., D. A. (2012). Génesis de los incendios forestales. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(3):358-373. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01863231201200030008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01863231201200030008) (4 de marzo de 2014).
- Rubio C., E. A., M. A. González T., J de D. Benavides S., A. A. Chávez D. y J. Xelhuantzi C. (2016). Relación entre necromasa, composición de especies leñosas y posibles implicaciones del cambio climático en bosques templados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (13): 2601-2614. Doi: 10.29312/remexca.v0i13.486
- DeBano, L. F., D. G. Neary y P. F. Ffolliot. (1998). *Fire's Effects on Ecosystems*. John Wiley y Sons Inc. New York, NY, USA. 333 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2006). Conjunto de datos vectoriales Precipitación media anual Escala 1:1000 000. Aguascalientes, Ags., México. s/p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2007). Conjunto de datos vectoriales Temperatura media anual Escala 1:1000 000. Aguascalientes, Ags., México. s/p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2008). Conjunto de datos vectoriales Unidades Climáticas Escala 1:1 000 000. Aguascalientes, Ags., México. s/p.
- Vélez, R. (2000). *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Mc Graw Hill. Madrid, España. 1320 p.
- Xelhuantzi-Carmona., J., J. G. Flores G., y Á. A. Chávez D. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2(3), 37-52. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438956004>
- Zinck, D. R., Pascual, M. y Grimm. V. (2011). Understanding shifts in wildfire regimes as emergent threshold phenomena. *The American Naturalist* 178(6): 150-161. <http://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/662675> (6 de marzo de 2014).