



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i57.617>

Artículo

Tamaño de muestra para estimar cargas de combustible en bosque de encino en la región Montaña de Guerrero

Sample size for estimating fuel loads in oak forest in the Mountain Region of Guerrero State

Beatriz Calleja Peláez¹, Bernardo López López^{1*}, Jorge Méndez González², Juan Manuel Ríos Camey³ y Emilia Gutiérrez Merino⁴

Abstract:

Fuel is the only component of the triangle of fire behavior that can be manipulated in prescribed burns for the prevention of large forest fires, so estimating fuel loads will allow designing strategies for the management of forest resources. Fifteen sampling sites were determined in a random manner for the measurement of fuels 1, 10, 100 and 1 000 h based on the planar intersection technique. At the end of each line, leaf litter samples were collected in 0.09 m², which were dried in an oven at 70 °C. The fuel load in the area was 11.11 t ha⁻¹, 65.53 % corresponded to litter and 34.47 % to woody fuels. The comparison of Kruskal-Wallis range means by fuel type showed significant differences in leaf litter with 1, 10, 100 and 1 000 h ($p < 0.001$) and 1 000 h with 1, 10, 100 h ($p < 0.05$); the leaf litter values $> 1000 > 100 > 10 > 1$ h. There was a significant correlation between the thickness of the litter layer (cm) and litter load (t ha⁻¹) with ($r = 0.773, p < 0.001$). Based on the results the area is susceptible to a superficial fire.

Key words: Correlation, leaf litter, forest fire, *Malinaltepec*, prescribed burns, *Quercus* sp.

Resumen

El combustible es el único componente del triángulo de comportamiento del fuego que puede ser manipulado en quemas prescritas para la prevención de grandes incendios forestales, por ello estimar las cargas de combustible permitirá diseñar estrategias para el manejo de los recursos forestales. Se determinaron 15 sitios de muestreo de manera aleatoria para la medición de combustibles 1, 10, 100 y 1 000 h con base en la técnica de intersecciones planares. Al final de cada línea se colectaron muestras de hojarasca en 0.09 m², que fueron secadas en estufa a 70 °C. La carga de combustible en el área fue de 11.11 t ha⁻¹, 65.53 % correspondió a la hojarasca y 34.47 % a combustibles leñosos. La comparación de medias de intervalos de Kruskal-Wallis por tipo de combustible evidenció diferencias significativas en hojarasca con 1, 10, 100 y 1 000 h ($p < 0.001$); 1 000 h con 1, 10, 100 h ($p < 0.05$); los valores de hojarasca $> 1000 > 100 > 10 > 1$ h. Se evidenció una correlación significativa entre el espesor de la capa de hojarasca (cm) y carga de hojarasca (t ha⁻¹) con ($r = 0.773; p < 0.001$). A partir de los resultados, el área es susceptible a un incendio superficial.

Palabras clave: Correlación, hojarasca, incendio forestal, *Malinaltepec*, quemas prescritas, *Quercus* sp.

Fecha de recepción/Reception date: 27 de julio de 2019.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 11 de noviembre de 2019

¹Universidad Intercultural del Estado de Guerrero. México.

²Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

³Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

⁴Departamento BEECA sección Ecología. Facultat de Biología. Universitat de Barcelona. España.

*Autor para correspondencia; correo-e: lopez_020986@hotmail.com.

Introducción

Los incendios forestales constituyen uno de los disturbios antrópicos más importante en los ecosistemas de México (Rentería-Anima *et al.*, 2005), y es una de las principales causas de la degradación y deforestación (Morfin *et al.*, 2012), producción y liberación de gases y partículas a la atmósfera como resultado de la combustión (Castañeda-González *et al.*, 2012), que contribuyen al cambio climático.

Su ocurrencia y comportamiento están influidos por el tipo de combustibles, el tiempo atmosférico y la topografía (DeBano, 1998). Los incendios se producen cuando las sequías son prolongadas, hay suficiente combustible y la cubierta vegetal tiene la continuidad necesaria para que el fuego se propague (Santiago *et al.*, 1999). El combustible es el único elemento que puede ser manipulado para combatir los incendios y aplicar medidas preventivas (Morfin *et al.*, 2012); así, en áreas con altas cargas de combustibles se desprende mayor cantidad de calor provocando conflagraciones más intensas (Vélez, 2000), lo que conlleva a producir impactos devastadores en el ambiente. Por ello, la evaluación de combustibles genera información que permite orientar las alternativas para la prevención y manejo del fuego en los ecosistemas forestales; lo cual coadyuvará a evitar la pérdida de bienes y servicios, la erosión del suelo, así como a mantener la biodiversidad y el ciclo hidrológico, entre otros.

Las cargas de combustible son muy variadas, tal como lo muestran los resultados de Rubio *et al.* (2016), quienes al compararlas en bosques de pino-encino con presencia y ausencia de incendios (36.6 t ha^{-1} y 49.6 t ha^{-1} ; $p < 0.001$) en Iturbide, Nuevo León; Chávez *et al.* (2016) registraron 92.49 t ha^{-1} en encinares del estado de Jalisco; y López *et al.* (2015) estimaron 14 t ha^{-1} de hojarasca en bosque de encino dominado por *Quercus magnoliifolia* Née y *Q. conspersa* Benth. en Guerrero; por ello es pertinente realizar investigaciones por ecosistema y región, además de considerar los posibles factores que condicionan dichas diferencias.

En relación al número de sitios para la evaluación de combustibles forestales, Castañeda *et al.* (2015) establecieron 30 sitios en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl.; Hernández *et al.* (2016) utilizaron 15 sitios en tres ecosistemas con incidencia de incendios, ubicados en Juchitán, Oaxaca; y Barrios-Calderón *et al.* (2018) estudiaron 24 sitios de muestreo en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas; sin embargo los estudios de combustible no consideran un criterio estadístico para definir el tamaño de muestra.

En este contexto, en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos: i) determinar el número de sitios para estimar las cargas de combustible leñosos y hojarasca en el área de estudio ; ii) evaluar la variación de las cargas de combustible por sitio y tipo; y iii) evaluar el efecto de la pendiente del terreno (%) y espesor de la capa de hojarasca (cm) sobre los combustibles leñosos y hojarasca.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El cerro La Lluvia se localiza en la comunidad de La Ciénega, municipio Malinaltepec, Guerrero, cuyas coordenadas son $17^{\circ}13'42.99''$ N y $98^{\circ}38'3.01''$ O; con un intervalo altitudinal de 2 120 a 2 440 msnm (Figura 1). El clima corresponde a un semicálido subhúmedo A(C) w₂ (w) (INEGI, 2008); la precipitación media total anual es de 2 000 mm (INEGI, 2006) y una temperatura media anual de 18 °C (INEGI, 2007). El cerro se ubica en la región hidrológico-administrativa del Pacífico Sur, que se localiza en la parte alta de la cuenca Río Omitlán; esta zona, además de ser un área de conservación estratégica, también es fuente de abastecimiento de agua para la comunidad de La Ciénega, Malinaltepec, Guerrero.

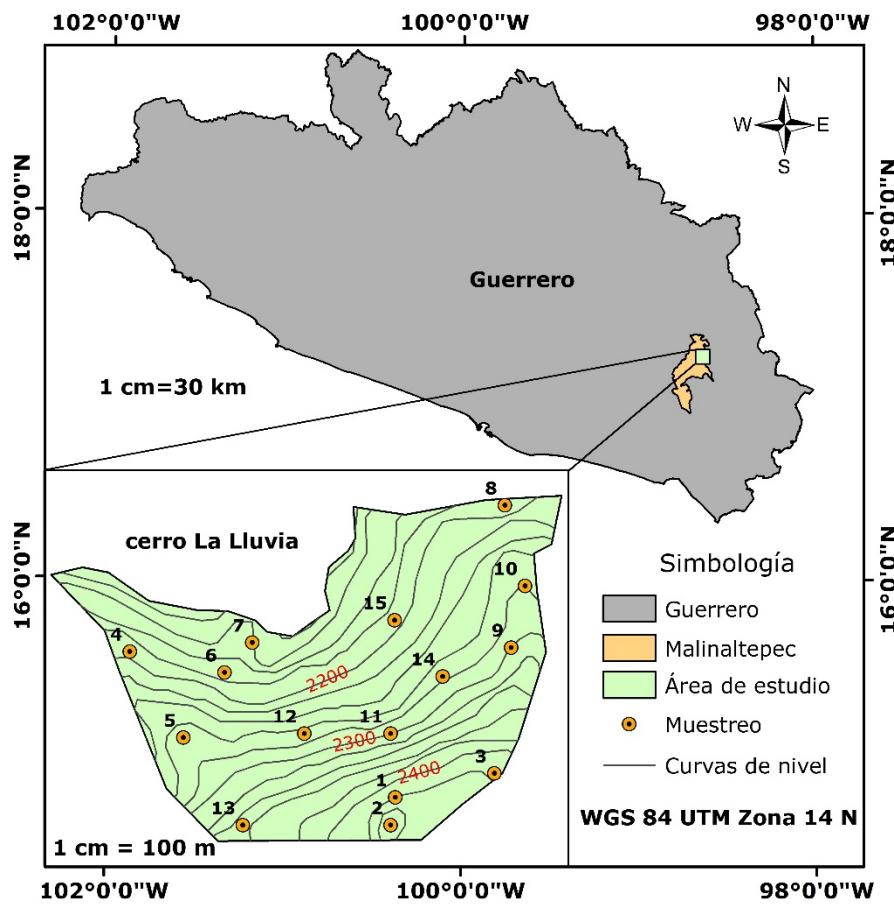


Figura 1. Ubicación del área de estudio y distribución de los sitios de muestreo.

La vegetación corresponde al bosque de encino (Inegi, 2017), cuyo estrato arbóreo forma un dosel semicerrado. Las principales especies son del género *Quercus*: *Quercus elliptica* Née, *Quercus acutifolia* Née, *Quercus candicans* Née, *Quercus martinezii* C. H. Mull., *Quercus obtusata* Bonpl., *Quercus gentryi* C. H. Mull., *Quercus peduncularis* Née; además de *Arbutus xalapensis* Kunth, *Befaria leavis* Benth, *Bejaria aestuans* Mutis ex L., *Vaccinium leucanthum* Schltdl., *Alnus acuminata* Kunth, *Ostrya virginiana* (Mill) K.Koch, *Clethra kenoyeri* Lundell, *Clethra hartwegii* Britton, *Licaria aff. capitata* (Cham. et Schltdl.) Kosterm., *Persea chrysanthia* Lorea-Hern., *Clusia multiflora* Kunth, *Magnolia schiedeana* Schltdl., *Miconia glaberrima* (Schltdl.) Naudin.,

Fraxinus uhdei (Wenz.) Lingelsh., *Phyllonoma laticuspis* (Turcz.) Engl., *Styrax argenteus* C. Presl. y *Daphnopsis nevlingii* J. Jiménez Ram.

Para conocer la superficie del área se georreferenciaron los vértices del polígono que comprende el cerro, mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Garmin, eTrex 20x); posteriormente, con el programa *ArcGis* 10.2, se determinó la superficie total: 44 ha.

Tamaño de muestra y diseño del muestreo

La distribución de los sitios de muestreo en las 44 ha del cerro La Lluvia, se realizó de manera aleatoria con la herramienta *Create Random Points* del *ArcGis* 10.2 (Figura 1). La cantidad de combustible por categoría: hojarasca o material fino y el leñoso se expresó en tamaños de clase que determinan el tiempo que el combustible tarda en alcanzar el equilibrio con la humedad ambiental, denominado tiempo de retardo (Xelhuantzi et al., 2011). En campo y con ayuda de un GPS (Garmin, eTrex 20x), se definió el centro del sitio de muestreo y se marcó con una estaca, en cada sitio se determinó la pendiente (%) con un clinómetro *Brunton*®; a partir del centro del sitio se trazaron tres líneas de intercepción planar, orientadas a 0°, 120° y 240° de azimut con ayuda de una Brújula *Brunton*®, la longitud de las líneas fue de 15 m.

La cuantificación de combustibles leñosos se realizó acorde a la técnica de intersecciones planares, a partir del conteo de ramas o troncos que intersectan el plano vertical definido por un transecto (Brown, 1971); en 2 m se contabilizaron los combustibles de 1 h (0-0.6 cm), en 4 m se contabilizaron los combustibles de 10 h (0.6-2.5 cm), en 10 m se registraron los de 100 h (2.6-7.5 cm); para ello, se utilizaron las medidas prestablecidas en un calibrador elaborado manualmente, y en toda la línea de 15 m se registró el combustible de 1 000 h (>7.5 cm); los materiales fueron separados en sanos o con pudrición, cuyo diámetro se midió directamente con un flexómetro *Truper T-3ME* (Figura 2).

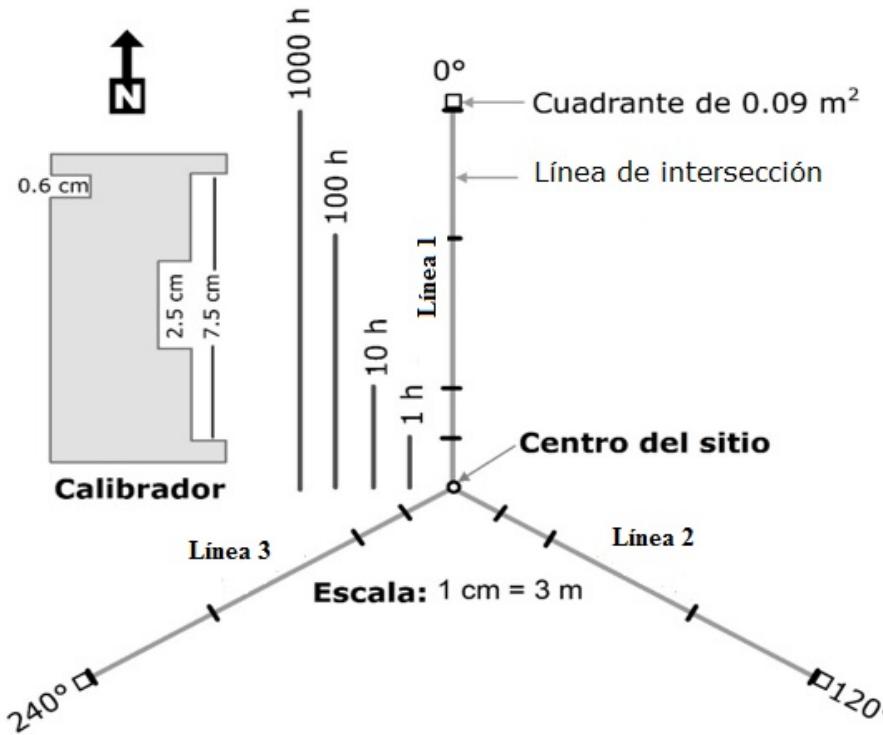


Figura 2. Sitio de muestreo para cuantificar combustibles leñosos y hojarasca.

La cuantificación de hojarasca se llevó a cabo en un cuadro de 30×30 cm al final de cada línea de intercepción planar, para un total de 45 muestras; el espesor de la capa de hojarasca se midió con una regla graduada en cm. Toda la hojarasca colectada en los 0.09 m^2 se introdujo en bolsas de papel estraza, las cuales fueron etiquetadas y transportadas al laboratorio para obtener su peso seco.

Para el cálculo del tamaño de muestra (n) se levantaron 10 sitios de premuestreo; la sumatoria de las cargas de combustible 1, 10 h y hojarasca por sitio se empleó para estimar el coeficiente de variación ($Sx\%$). La muestra definitiva se determinó utilizando la siguiente formula (Ancira-Sánchez y Treviño, 2015):

$$n = \frac{t^2 * Sx\%^2}{S\bar{x}\%^2}$$

Donde:

n = Tamaño muestra

t = Valor t de *Student* (con un grado de libertad y un valor de probabilidad de 90 %)

$Sx\%$ = Coeficiente de variación

$S\bar{x}\%$ = Error estándar porcentual

Con base en la expresión anterior, se determinaron 15 sitios de muestreo para el área de estudio, distribuidos en las 44 ha, con un coeficiente de variación $Sx\% = 54.86\%$.

Trabajo de laboratorio

Las muestras de hojarasca colectadas en campo se trasladaron al laboratorio de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero. El peso seco se obtuvo del proceso de secado a 70 °C en una estufa *Felisa*®, la hojarasca se monitoreó periódicamente, hasta obtener un peso constante medido con una balanza *NOVAL TH-II*, con precisión de 0.1 g; para estimar los combustibles leñosos se utilizaron las fórmulas propuestas por Brown (1971) (Cuadro 1). La carga de hojarasca se estimó en función del peso seco, que fue extrapolado a $t \text{ ha}^{-1}$ con la siguiente ecuación:

$$CH = PSH * 0.1111$$

Donde:

CH = Carga de hojarasca ($t \text{ ha}^{-1}$)

PSH = Peso seco de la hojarasca (g) en 0.09 m^2 ($30 \times 30 \text{ cm}$)

0.1111 = Factor de conversión de g en 0.09 m^2 a $t \text{ ha}^{-1}$

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

Clase diamétrica (cm)	Tiempo de retardo	Fórmula
0-0.6	1 h	$P = \frac{0.484 \times F \times C}{N L}$
0.6-2.5	10 h	$P = \frac{3.369 \times F \times C}{N L}$
2.6-7.5	100 h	$P = \frac{36.808 \times F \times C}{N L}$
>7.5 (sin pudrición)	1 000 h	$P = \frac{1.46 \times d^2 \times C}{N L}$
>7.5 (con pudrición)	1 000 h	$P = \frac{1.21 \times d^2 \times C}{N L}$

P = Peso del combustible en $t \text{ ha}^{-1}$; 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 dada en pies lineales [ft]: 1 m = 3.28 ft; d^2 = 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.

Análisis estadístico

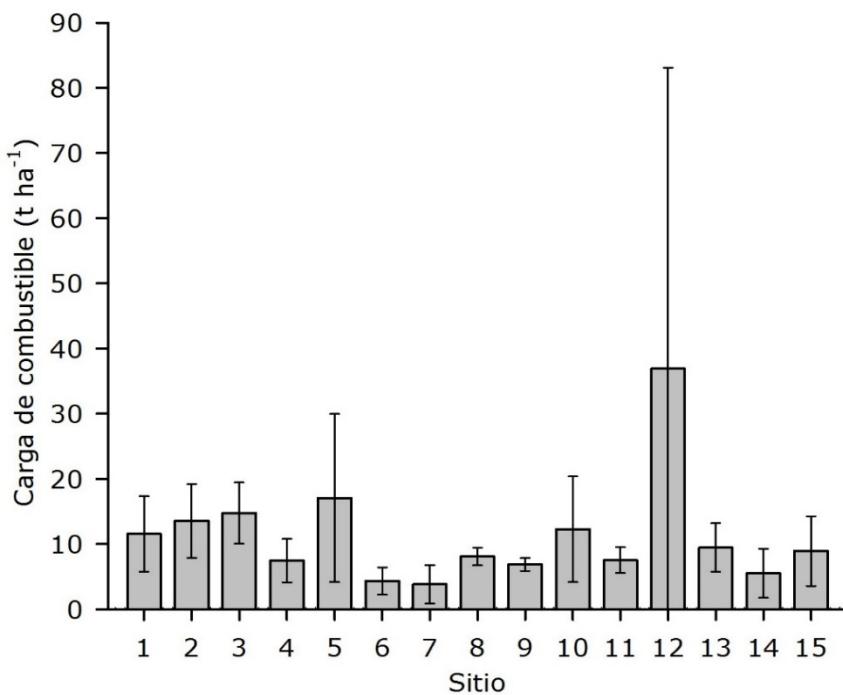
Con los datos de combustible 1, 10, 100, 1 000 h y hojarasca se estimaron las cargas por sitio (15 sitios; 3 líneas por sitio), posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de confianza de 95 % para detectar diferencias estadísticas entre sitios para un combustible dado, cuando existían se efectuó la prueba de comparación de medias *Tukey* ($\alpha = 0.05$).

Así mismo, se analizó si había diferencias estadísticas entre tipos de combustible (1, 10, 100, 1 000 h y hojarasca; $n = 45$); dado que los datos no presentaron una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de medias de rangos de *Kruskal-Wallis* (Kruskal y Wallis, 1952). Por último, se realizaron correlaciones entre los combustibles 1 h, 10 h, 100 h y hojarasca ($t \text{ ha}^{-1}$) con la pendiente del terreno (%) y espesor de la capa de hojarasca (cm). Todos los procedimientos estadísticos se hicieron con el software *IBM SPSS Statistics 20* (SPSS, 2011).

Resultados y Discusión

Carga total de combustible

La carga promedio de combustible en los 15 sitios de muestreo fue de 11.11 t ha^{-1} ; el valor máximo se registró en el sitio 12 (36.90 t ha^{-1}) y el mínimo en el 7 (3.82 t ha^{-1}), sin diferencias significativas, $P = 0.36$ (Figura 3). El promedio estimado estuvo por debajo de lo citado por Rodríguez y Sierra (1995) de 13.33 t ha^{-1} , en un bosque de latifoliadas del Estado de México; Xelhuantzi et al. (2011) obtuvieron 17.90 t ha^{-1} en bosques de pino-encino para los estados de Coahuila, Puebla y Jalisco; y Rubio et al. (2016) consignaron hasta 36.6 t ha^{-1} en bosques de pino-encino en un área sin fuego, en Nuevo León.



Las medias fueron estadísticamente iguales (prueba de medias de Tukey; $n = 3$, $F = 1.14$ ($P = 0.36$)). Las barras representan la desviación estándar.

Figura 3. Carga total de combustibles forestales por sitio en bosque de encino del cerro La Lluvia, Malinaltepec, Guerrero.

La carga media de hojarasca fue de $7.28\ t\ ha^{-1}$ (65.53 %) y correspondió al material más representativo en el área de estudio, sus valores variaron de 97.72 a 18.10 % en los sitios 10 y 12, respectivamente (Figura 4). Registros similares documentan Hernández *et al.* (2016), con $7.33\ t\ ha^{-1}$; Rubio *et al.* (2016) consignan 8.52 y $8.64\ t\ ha^{-1}$ de hojarasca en bosques de pino-encino con quema y sin quema, respectivamente. López *et al.*, (2015) consignan valores altos de hojarasca ($14\ t\ ha^{-1}$) en una parcela de 0.5 ha, en la que dominan *Q. magnoliifolia* y *Q. conspersa*; sin embargo, no citan el componente leñoso lo que hace suponer su ausencia o poca contribución en la carga de combustible total de dicha área.

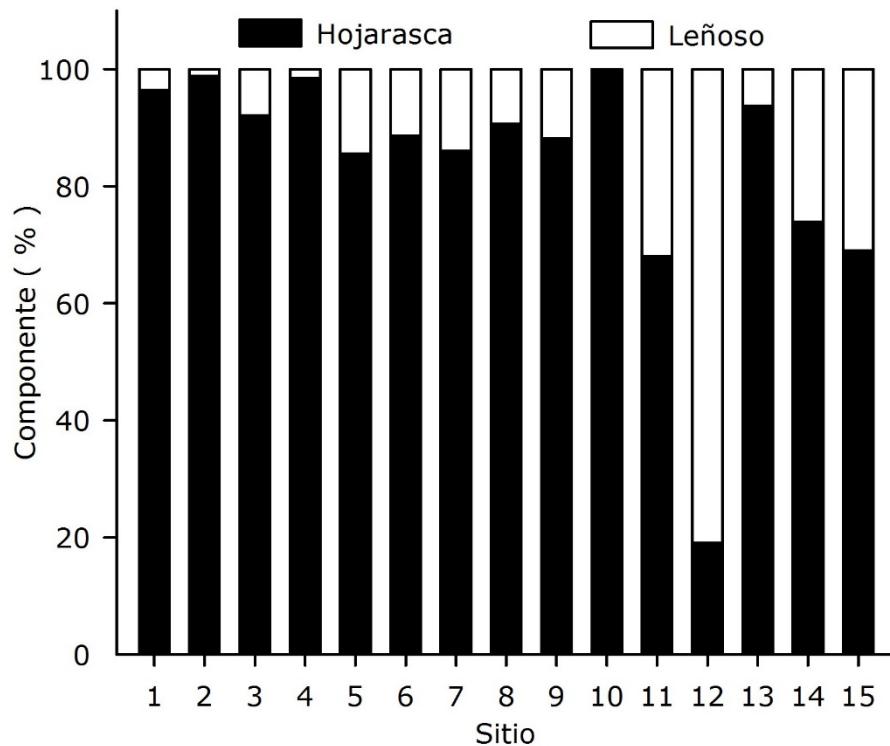


Figura 4. Porcentaje de combustible leñoso y hojarasca por sitio en el cerro La Lluvia, Malinaltepec, Guerrero.

La carga de combustible leñoso registrada fue baja, con apenas 3.87 t ha^{-1} (34.47 % de la carga total); el valor más alto correspondió al sitio 12 (81.90 %) y el más bajo al 10 (2.28 %). Estos resultados son superiores a lo señalado por Hernández *et al.* (2016), con 2.32 t ha^{-1} para ecosistema de encino en Juchitán, Oaxaca. Aunque menores a los citados por Rubio *et al.* (2016) de 18.31 y 15.84 t ha^{-1} al comparar las cargas de combustible en bosques de pino-encino con quema y sin quema, respectivamente.

La variación en las cargas de combustible difiere a escala espacial para un mismo ecosistema, tal como sugieren los resultados de Chávez *et al.* (2016), quienes indican hasta 92.49 t ha^{-1} para bosque de encino en el estado de Jalisco; por el contrario, Villers y López (2004) cuantificaron cargas de combustible en encinares del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala de 16.3 t ha^{-1} de material leñoso y 0.27 m de espesor para el mantillo.

Cargas de combustible por sitio

Con base en los resultados de ANOVA realizado para las categorías de combustible por sitio, la hojarasca no presentó diferencias significativas ($p = 0.36$); el valor máximo del combustible hojarasca, se obtuvo en el sitio 2, con 12.77 t ha^{-1} ; los más bajos se registraron en los sitios 7 y 14, con 2.63 t ha^{-1} (Cuadro 2). En este sentido, Martínez *et al.* (1990) consideran que una alta acumulación de hojarasca contribuye a una mayor incidencia de incendios, ya que su presencia y espesor definen la magnitud del incendio, debido a su fácil ignición.

Cuadro 2. Comparación de medias de Tukey entre sitios para combustibles forestales en bosque de encino.

Sitio	n	Carga de combustible (t ha^{-1})					Total
		1 h	10 h	100 h	1 000 h	Hojarasca	
1	3	0.18 a	0.44 a	0.38 a	-	10.55 a	11.55a
2	3	0.42 ab	0.34 a	-	-	12.77 a	13.54a
3	3	0.62 ab	0.49 a	1.28 a	-	12.36 a	14.75a
4	3	0.40 ab	0.20 a	-	-	6.85 a	7.44a
5	3	0.67 ab	1.02 a	2.67 a	-	12.70 a	17.06a
6	3	0.46 ab	0.28 a	0.41 a	-	3.18 a	4.33a
7	3	0.36 ab	0.45 a	0.39 a	-	2.63 a	3.82a
8	3	0.88 b	1.32 a	-	-	4.55 a	8.09a
9	3	0.77 ab	0.86 a	1.34 a	-	4.78 a	6.87a
10	3	0.10 a	0.18 a	-	-	12.00 a	12.28a
11	3	0.68 ab	1.23 a	1.16 a	0.61 a	3.84 a	7.52a
12	3	0.43 ab	0.52 a	3.05 a	26.22 a	6.68 a	36.90a
13	3	0.17 a	0.95 a	0.38 a	-	7.94 a	9.45a
14	3	0.91 b	0.99 a	0.87 a	-	2.73 a	5.50a
15	3	0.51 ab	0.21 a	0.46 a	2.10 a	5.64 a	8.92a
\bar{X}		0.50	0.63	0.77	1.93	7.28	11.11
S		0.03	0.10	0.64	14.38	3.84	7.97
$Sx\%$		49.68	62.13	91.56	149.05	52.79	80.06

\bar{X} = Media; S = Desviación estándar; $Sx\%$ = Coeficiente de variación. Letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa $p \leq 0.05$.

La estimación de combustibles de 1 h promedió 0.50 t ha^{-1} (4.50 % del total de combustible cuantificado), con valores máximos y mínimos de 0.10 a 0.91 t ha^{-1} (Cuadro 2). Dicha carga es inferior al citado por Muñoz *et al.* (2005) de 0.70 t ha^{-1} ; pero superior a lo documentado por Villers y López (2004) de 0.42 t ha^{-1} . La contribución de esta categoría a la carga total resultó baja.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas en la categoría de 1 h ($p = 0.001$); la comparación de medias de Tukey indicó valores bajos en los sitios 10 y 1 con 0.10 a 0.18 t ha^{-1} ; en contraparte los valores altos correspondieron a los sitios 8 y 14 con 0.88 y 0.91 t ha^{-1} . Barrios-Calderón *et al.* (2018) registraron diferencias entre sitios de manglar con 5.39 y 2.85 t ha^{-1} ; Castañeda *et al.* (2015) lo hicieron en bosques de alta montaña dominados por *Pinus hartwegii* ($p = 0.0399$), con cobertura densa sobre bosques con cobertura semidensa y fragmentados.

Para el combustible de 10 h se cuantificaron 0.63 t ha^{-1} (5.67 %); los valores máximos y mínimos oscilaron entre 0.35 y 0.05 t ha^{-1} en los sitios 8 y 10 (Cuadro 2), no se registraron diferencias significativas ($p = 0.17$). En contraste Castañeda *et al.*, (2015) cuantificaron valores altos con 3.82 , 4.48 y 5.18 t ha^{-1} para la condición de cobertura densa, semidensa y fragmentado ($p = 0.23$).

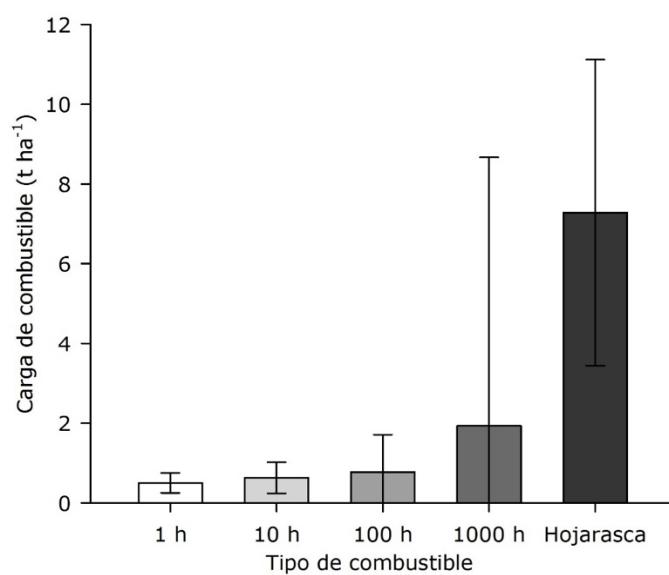
No se registraron diferencias significativas en el combustible de 100 h ($p = 0.61$), cuyo promedio fue de 0.77 t ha^{-1} (6.93 %); los valores más altos y bajos se estimaron para los sitios 12 y 1 con 3.05 y 0.38 t ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 2). Valores más bajos fueron registrados por Xelhuantzi *et al.* (2011) de 0.3 t ha^{-1} en bosques dominados por pino-encino en los estados de Coahuila, Puebla y Jalisco.

Por último, los combustibles de 1 000 h tuvieron de 0.61 a 26.22 t ha^{-1} en los sitios 11 y 12, respectivamente (Cuadro 2); dicho combustible solo se presentó en tres de los 15 sitios, con un promedio de 1.93 t ha^{-1} (17.37 %), sin diferencias significativas ($p = 0.42$); este es un valor superior a lo señalado por Chávez *et al.* (2016) de 0.43 t ha^{-1} para el combustible de 1 000 h en condiciones de podredumbre para un bosque de pino-encino del estado de Jalisco. Similarmente, en el estudio que aquí se

documenta, todo el material cuantificado en esta categoría estaba en estado de descomposición; por lo que representa poco peligro, ya que en poco tiempo se incorporará a la capa orgánica del suelo.

Combustibles forestales por tipo

De los tipos de carga de combustible forestal evaluados resaltó la hojarasca, con 65.53 % (7.28 t ha^{-1}), seguida de los combustibles de 1 000 h con 17.37 % (1.93 t ha^{-1}); el material de 100 h, con 6.93 % (0.57 t ha^{-1}); 10 h, con 5.67 % (0.169 t ha^{-1}); y el de 1 h, con 4.50 % (0.067 t ha^{-1}) (Figura 5). Las cargas difieren de lo consignado por Xelhuantzi *et al.* (2011), cuyas estimaciones fueron de 6.19 t ha^{-1} de hojarasca, 10 h (0.30 t ha^{-1}), 100 h (0.12 t ha^{-1}), 1 h (0.03 t ha^{-1}) en conglomerados de bosque templado distribuidos en Coahuila, Puebla y Jalisco.



Las líneas verticales representan la desviación estándar.

Figura 5. Carga por tipo de combustible en el cerro La Lluvia, Malinaltepec, Guerrero.

Respecto a la comparación de medias de rangos de *Kruskal-Wallis* por tipo de combustible, los que tuvieron diferencias significativas fueron la hojarasca con 1, 10, 100 y 1 000 h ($p < 0.001$); 1 000 h con 1, 10 y 100 h ($p = 0.002$, 0.002 y 0.023); el resto de las comparaciones no evidenciaron diferencias significativas con $p > 0.05$ (Cuadro 3). Dada la mayor carga del combustible hojarasca se esperaría un incendio superficial; aunque el componente de 1 000 h registró la segunda carga más importante su distribución fue incipiente, ya que solo se observó en tres de los 15 sitios.

Cuadro 3. Comparación de medias de rangos de *Kruskal-Wallis* entre combustibles por tipo.

Comparación	Estadístico	
	X²	p
1 h	10 h	0.76
	100 h	0.08
	1 000 h	9.93
	Hojarasca	21.77
10 h	100 h	0.23
	1 000 h	9.93
	Hojarasca	21.77
100 h	1 000 h	5.17
	Hojarasca	20.68
1 000 h	Hojarasca	17.46

* = Significativo ($p \leq 0.05$)

Pendiente y espesor de la hojarasca con combustibles

La correlación entre espesor y carga de la capa de hojarasca fue positiva con $r = 0.773$ y $p = 0.001$ (Cuadro 4); el espesor de la capa fue 3.18 ± 1.28 cm, inferior a los 4.95 y 5.72 cm consignados por Estrada y Ángeles (2007) para bosques de encino del Parque Nacional El Chico, Hidalgo. Asimismo, la relación entre la pendiente del terreno con el combustible de 1 h fue positiva y significativa, con $r = 0.639$ y $p = 0.010$ (Cuadro 4); las mayores cargas (0.91 t ha^{-1}) se registraron en los sitios

con más pendiente (75 %). Este resultado contradice a los de Villers *et al.* (2012), quienes consignan cargas superiores de combustible en lugares con menor pendiente, debido al arrastre por gravedad o escorrentía. Castañeda *et al.* (2015) determinaron una correlación positiva entre los combustibles de 1 000 h en bosques densos con pendientes entre 7 y 12° ($p = 0.049$).

Cuadro 4. Correlación de Spearman entre la pendiente (%) y espesor de la capa de hojarasca (cm) con combustibles de 1, 10, 100 h y hojarasca en bosque de encino.

	Correlación	n	r	p
Pendiente (%)	1 h	15	0.639	0.010
	10 h	15	0.131	0.643
	100 h	11	0.299	0.372
	Hojarasca	15	-0.250	0.368
Espesor (cm)	1 h	15	-0.304	0.270
	10 h	15	0.091	0.746
	100 h	15	0.358	0.279
	Hojarasca	15	0.773	0.001
1 h	10 h	15	0.650	0.009
	100 h	11	0.579	0.062
	Hojarasca	15	-0.368	0.177
10 h	100 h	11	0.451	0.164
	Hojarasca	15	-0.236	0.398
100 h	Hojarasca	11	0.251	0.457

n = Pares de datos, *r* = Coeficiente de correlación; *p* = Probabilidad

Respecto a los tipos de combustibles, solamente, hubo una relación positiva y significativa entre la carga de 1 y la de 10 h, con $r = 0.650$ y $p = 0.009$ (Cuadro 4), lo cual es razonable, ya que de manera natural ocurre el desprendimiento de ramillas y hojarasca por la precipitación y acción del viento; para los otros combustibles se cumple el supuesto indicado por Xelhuantzi et al. (2011), quienes indican que el incremento en cualquier tipo de combustible es independiente del resto de las categorías, y que puede deberse a otros factores de disturbio como incendios, tala inmoderada y pastoreo; aunque este último no se observó en los 15 sitios de muestreo.

Conclusiones

El número de sitios de muestreo (15) para determinar la carga de combustible es adecuado, de acuerdo a la estimación del tamaño de muestra para un coeficiente de variación de 54.86 %; lo cual se corrobora con el análisis estadístico, sin diferencias significativas sobre la suma de todos los combustibles evaluados ($P = 0.36$). Se presentan diferencias significativas por sitio en la categoría de 1 h, y por tipo entre la hojarasca con los de 1, 10, 100 y 1 000 h; así como en la de 1 000 h con las de 1, 10 y 100 h.

La correlación altamente significativa entre el espesor y la carga de hojarasca proporciona una pauta para estimar la carga de hojarasca *in situ*, con solo medir el grosor de la capa, lo que agilizará su estimación y contribuirá a la toma de decisiones en el manejo del fuego y combate de incendios forestales.

La cuantificación de las cargas de combustibles forestales en los ecosistemas es de gran valor y ayuda para conocer el comportamiento y la intensidad que puede tener el fuego. Además, son datos imprescindibles para la toma de decisiones en la gestión, prevención y combate de incendios forestales.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Contribución por autor

Beatriz Calleja Peláez: redacción del texto, ejecución del trabajo de campo y laboratorio; Bernardo López López: planeación del trabajo de campo, análisis estadístico de la información y revisión del manuscrito; Jorge Méndez González: elaboración de gráficas, revisión del manuscrito; Juan Manuel Ríos Camey: apoyo en campo y revisión del documento; Emilia Gutiérrez Merino: revisión del documento.

Referencias

Ancira-Sánchez, L. y E. J. Treviño G. 2015. Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. *Madera y Bosques*. 21(1): 77-91. Doi: 10.21829/myb.2015.211434.

Barrios-Calderón, R. J., D. Infante-Mata, J. G. Flores-Garnica, C. Tovilla-Hernández, S. J. Grimaldi-Calderón and J. R. García A. 2018. Woody fuel load in coastal wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24(3): 339-357. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2017.12.068.

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.

Castañeda-González J. C., A. Gallegos-Rodríguez, M. Sánchez-Durán y P. A. Domínguez-Calleros. 2012. Biomasa aérea y posibles emisiones de CO₂ después de un incendio; caso del bosque "La Primavera", Jalisco, México. *Ra Ximhai* 8(3) 1-15. Doi: 10.35197/rx.08.03.e1.2012.01.jc.

- 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 D., Á. A., J. Xelhuantzi C., E. A. Rubio C., J. Villanueva D., H. E. Flores L. y C. De la Mora O. 2016. Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (13): 2589-2600. Doi: 10.29312/remexca.v0i13.485.
- 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.
- Estrada C., I. y E. R. Ángeles C. 2007. Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. *Ecología y biodiversidad, claves de la prevención. Wildfire*. Sevilla, España. 17 p.
- Hernández G., J., G. Rodríguez O., J. R. Enríquez del V., G. V. Campos A. y A. Hernández H. 2016. Biomasa arbustiva, herbácea y en el piso forestal como factor de riesgo de incendios. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (36): 51-63. Doi: 10.29298/rmcf.v7i36.59.
- 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.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2017. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación Escala 1:250 000. Serie VI (Conjunto nacional). Aguascalientes, Ags., México. s/p.

López M., M. A., D. A. Rodríguez T., F. Santiago C., V. A. Sereno C. y D. Granados S. 2015. Tolerancia al fuego en *Quercus magnoliifolia*. Revista Árvore, Viçosa-MG 19 (3): 223-233. Doi:10.1590/0100-67622015000300013.

Martínez, A., J. G. Flores G. y J. de D. Benavides S. 1990. Índices de riesgo de incendio en la Sierra de Tapalpa, Estado de Jalisco. Ciencia Forestal en México 15(67): 3-34.

Morfin R., J. E., E. J. Jardel P., E. Alvarado C. y J. M. Michel F. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 111 p.

Muñoz R., C. A., E. J. Treviño G., J. Verástegui C., J. Jiménez P. y O. Aguirre C. 2005. Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. Investigaciones geográficas 56: 101-117. Doi: 10.14350/rig.30099.

Kruskal, W. H. and Wallis W. A. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. Journal of the American Statistical Association 47(260): 583-621. Doi: 10.2307/2280779.

Rentería-Anima, J. B., E. J. Treviño-Garza, J. de J. Návar-Chaidez, O Aguirre-Calderón y I. Cantú-Silva. 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(1): 51-56.

- Rodríguez, D. A. y A. Sierra P. 1995. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del Distrito Federal. Ciencia Forestal en México 20(77): 193-218.
- 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.
- Santiago F. H., M. Servín M., H. C. Rodarte R. y F. J. Garfias A. 1999. Incendios Forestales y Agropecuarios: Prevención e impacto y restauración de los ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., México. 178 p.
- Statistical Package for the Social Science (SPSS). 2011. IBM SPSS Statistics for Windows. Version 20.0. IBM Corp. New York, NY, USA. n/p.
- Vélez, R. 2000. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. Mc Graw Hill. Madrid, España. 1320 p.
- Villers R., L. y J. López. 2004. Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el volcán de La Malinche. In: Villers. R. L. y J. López (ed.). Incendios forestales en México. Métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. México, D. F., México. pp. 61-78.
- Villers G., S., L. Villers R. y J. López B. 2012. Modelos que relacionan las características biofísicas del terreno con la presencia de combustibles forestales en las montañas centrales de México. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 59: 369-388. Doi: 10.21138/bage.1462.

Xelhuantzi C., 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. Doi: 10.29298/rmcf.v2i3.624.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.