

Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático*

Characterization of forest fuel load for the management of carbon reservoirs and the contribution to climate change

Álvaro Agustín Chávez Durán^{1§}, Jaqueline Xelhuanzi Carmona¹, Ernesto Alonso Rubio Camacho¹, José Villanueva Díaz², Hugo Ernesto Flores López¹ y Celia de la Mora Orozco¹

¹Campo Experimental Centro Altos de Jalisco-INIFAP. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. C. P. 47600 Tel: 01 800 0882222. (xelhuanzi.jaqueline@inifap.gob.mx; rubio.ernesto@inifap.gob.mx; flores.hugo@inifap.gob.mx; delamora.celia@inifap.gob.mx). ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera-INIFAP. Gómez Palacio, Durango. C. P. 35140. Tel: 01 871 1590104. (villanueva.jose@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: chavez.alvaro@inifap.gob.mx.

Resumen

El cambio climático es una de las mayores amenazas medioambientales a las que enfrenta la humanidad. La biomasa quemada durante los incendios son fuente importante de gases de efecto invernadero (Beitler, 2006). Diversas investigaciones señalan que por cada tonelada de biomasa presente en el bosque, la mitad corresponde a carbono (Brown *et al.*, 1996). Para que un incendio forestal ocurra se requiere de tres factores básicos: material combustible, condiciones ambientales favorables y un factor de inicio (Santiago *et al.*, 1999). Los combustibles forestales constituyen uno de los factores más importantes para el manejo y control de los incendios pues, este puede manipularse (Flores, 1996). En México se han realizado importantes trabajos para caracterizarlos (Xelhuanzi *et al.*, 2011); sin embargo, las investigaciones realizadas son ejecutadas en áreas específicas, limitando conocer un contexto general sobre los combustibles forestales. En el presente trabajo se describe la estimación de combustibles forestales en zonas de bosque del Estado de Jalisco, a través de métodos de recolección de datos *in situ* y estimaciones de cargas por unidad de área. Se encontraron sitios con cargas de combustibles muertos de hasta 840.85 t ha⁻¹, diferentes valores para el complejo de combustibles muertos

Abstract

Climate change is one of the greatest environmental threats facing humanity. Burned biomass during the fires is an important source of greenhouse gases (Beitler, 2006). Various researches indicate that for every ton of biomass present in the forest, half are carbon (Brown *et al.*, 1996). For a wildfire to occur requires three basic factors: combustible material, favorable environmental conditions and initiation factor (Santiago *et al.*, 1999). Forest fuels are one of the most important factors in the management and control of the fire, since this can be manipulated (Flores, 1996). In Mexico has been made important an important work to characterize them (Xelhuanzi *et al.*, 2011); however, researches carried are made in specific areas, limiting to know a general context on forest fuels. This paper describes the estimation of forest fuels in forests from Jalisco, through *in situ* data collection methods and loading estimates per unit area. Sites with dead fuel load of up to 840.85 t ha⁻¹, different values for the dead fuels complex and differences between fuel load from coniferous forests and oak were found. The result obtained allows setting the bases to implement fuel management strategies that favor their reduction, thus avoiding catastrophic fires that release into the atmosphere large amounts of greenhouse gases.

* Recibido: noviembre de 2015
Aceptado: febrero de 2016

y diferencias entre las cargas de combustibles de los bosques de coníferas y encinos. Los resultados obtenidos permiten cimentar las bases para la implementación de estrategias de manejo de combustibles que favorezcan su reducción evitando así, incendios catastróficos que liberen a la atmósfera grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: cambio climático, caracterización, combustibles, incendios, manejo.

Introducción

El cambio climático es una de las mayores amenazas medioambientales a las que enfrenta la humanidad. En la actualidad es muy discutido, debido principalmente a que las estimaciones realizadas requieren ser fundamentadas con mayor información (UNEP, 1992). Se requieren estudios que ayuden a evaluar las causas y efectos de los diferentes aspectos que propician dicho fenómeno (Bettwy, 2007). Los incendios forestales son un factor ecológico importante, no solo como destructor sino como agente modelador de los ecosistemas ya que, son un detonador del proceso de sucesión vegetal el cual, tiende a garantizar la continuidad de los mismos (Pickett y White, 1985). Pueden ser causados por la naturaleza (Martínez y Rodríguez, 2008), o por la acción antropogénica (Flores *et al.*, 2010). La biomasa quemada durante los incendios son fuente importante de gases de efecto invernadero y de gases foto-químicamente reactivos (Beitler, 2006), considerados como uno de los principales agentes que aportan contaminantes a la atmósfera (Flannigan y Wagner, 1991). Se han realizado investigaciones importantes para conocer la emisión de componentes y las partículas tipo aerosol que son liberadas mediante quemas de biomasa en terrenos agrícolas (Andreae y Merlet, 2001); sin embargo, información sobre la extensión espacial y temporal de los incendios de en áreas forestales y su asociación con la emisión los gases es muy limitada (Guenther *et al.*, 1995).

Diversas investigaciones señalan que por cada tonelada de biomasa presente en el bosque, la mitad corresponde a carbono, con variaciones dependiendo las especies por lo tanto, realizar medidas de biomasa en los bosques ayudará a estimar la cantidad de carbono concentrada en ellos y su posible liberación a la atmósfera durante un incendio (Brown *et al.*, 1996). Para que un incendio forestal ocurra se requiere de tres factores básicos: el material combustible, las condiciones ambientales favorables y un factor de inicio (Santiago *et al.*, 1999).

Keywords: characterization, climate change, fire, fuel, management.

Introduction

Climate change is one of the greatest environmental threats facing humanity. Currently it is very argued, mainly because the estimates made need to be substantiated with more information (UNEP, 1992). It is necessary to carry studies that help assess the causes and effects of different aspects that favor this phenomenon (Bettwy, 2007). Forest fires are a major ecological factor, not only as a destroyer but as a modeler agent of the ecosystems, since they are a detonator for the plant succession process, which tends to ensure the continuity of the same (Pickett and White 1985). Fires can be caused by nature (Martinez and Rodriguez, 2008), or by anthropogenic action (Flores *et al.*, 2010). Burned biomass during fires is an important source of greenhouse gases and photo-chemically reactive gases (Beitler, 2006), considered as one of the main players contributing with pollutants into the atmosphere (Flannigan and Wagner, 1991). There have been extensive researches to understand the emission of components and aerosol particles that are released by burning biomass on agricultural land (Andreae and Merlet, 2001); however, information on spatial and temporal extent of fires in forest areas and its association with gas emission is very limited (Guenther *et al.*, 1995).

Various researches indicate that for every ton of biomass present in the forest, half are carbon, with variations depending on species therefore, to perform biomass measurements in forests will help to estimate the amount of carbon concentrated in them and their possible release into the atmosphere during a fire (Brown *et al.*, 1996). For a wildfire to occur requires three basic factors: combustible material, favorable environmental conditions and initiation factor (Santiago *et al.*, 1999).

Forest fuels constitute one of the most important factors in the management and control of the fire, therefore this can be handled either by eliminating it or decreasing it (Flores, 1996). It is necessary to implement fuels management strategies that favor their reduction, to do so, it is necessary to characterize fuels and to know its spatial distribution. This usually is too costly and difficult in fact, the definition of spatial distribution of forest fuels has been one of the most complex challenges that forest scientists have faced (Keane *et al.*, 1999; Flores, 2001).

Los combustibles forestales constituyen uno de los factores más importantes para el manejo y control de los incendios pues, este puede manipularse, ya sea eliminándolo o disminuyéndolo (Flores, 1996). Es necesario implementar estrategias de manejo de combustibles que favorezcan su reducción para ello, es necesario caracterizar los combustibles y conocer su distribución espacial. Esto generalmente resulta demasiado costoso y difícil de hecho, la definición de la distribución espacial de los combustibles forestales ha representado uno de los retos más complejos que han enfrentado los científicos forestales (Keane *et al.*, 1999; Flores, 2001).

De acuerdo a su condición, los combustibles pueden dividirse en vivos y muertos. Los primeros incluyen hierbas, arbustos y árboles o plantas que se encuentran bajo el dosel mientras que los combustibles muertos están representados por los troncos, las ramas y las hojas que normalmente se encuentran sobre el suelo (Villers, 2006). Los combustibles muertos a su vez, se dividen en finos y gruesos (Flores y Benavides, 1994). Para ser utilizada como variable cuantificable, la cantidad de combustible debe expresarse por clases de tamaño (Villers, 2006), asociado al tiempo que tardan en alcanzar el equilibrio con la humedad ambiental, denominado “tiempo de retardo”. Este se define como el lapso en que un combustible tarda en perder o ganar (por condiciones de humedad ambiental) dos tercios de la diferencia entre su contenido inicial de humedad y el del ambiente (Foresberg, 1971). Conforme el combustible es más grande, perderá o ganará humedad más lentamente; es decir, tendrá un mayor tiempo de retardo (Villers, 2006). De esta forma, se tienen combustibles de 1, 10, 100 y 1 000 h (Cuadro 1).

Para los combustibles muertos, la técnica de levantamiento más utilizada es la de intersecciones planares *in situ* descrita por Brown *et al.* (1982) mediante la cual, se estima el volumen de los combustibles muertos a través de procedimientos rápidos y sencillos, con posibilidad de utilizarse en cualquier tipo de bosque (Bautista *et al.*, 2005).

La importancia de los combustibles muertos radica en que es en donde generalmente comienzan las igniciones. Los combustibles ligeros arden con facilidad y encienden a los medianos, estos a su vez a los pesados (SEMARNAT, 2007). Los combustibles muertos en combustión fungen como factores de ignición de los combustibles vivos, habitualmente a través de hierbas y arbustos, que sirven como escalera en el paso del fuego, de la superficie del

According to its condition, fuel can be divided into living and dead. The first include grasses, shrubs and trees or plants under canopy, while dead fuels are represented by trunks, branches and leaves normally found on the ground (Villers, 2006). The dead fuels are divided into fine and coarse (Flores and Benavides, 1994). To be used as a measurable variable, the amount of fuel must be expressed by size class (Villers, 2006), associated with the time it takes to reach equilibrium with ambient moisture and called "time lag". This is defined as the period in which a fuel loses or gains (for moisture conditions) two-thirds of the difference between its initial moisture content and the environment (Foresberg, 1971). As the fuel is larger, it will lose or gain moisture more slowly; i.e. will have a longer time lag (Villers, 2006). Thus, there are fuel of 1, 10, 100 and 1000 h (Table 1).

Cuadro 1. Relación del diámetro de combustibles con el tiempo de retardo.

Table 1. Relationship of fuels diameter with time lag.

Clase	Tamaño (cm)
< 0.60	1 hora
0.61 - 2.50	10 horas
2.51 - 7.60	100 horas
> 7.61	1 000 horas

For dead fuels, the survey technique most commonly used is the *in situ* planar intersection described by Brown *et al.* (1982) by which the volume of the dead fuels is estimated through fast and simple procedures, with the possibility of being used in any type of forest (Bautista *et al.*, 2005).

The importance of dead fuels lies where it usually starts ignition. Light fuel burn easily and ignite medium fuels, these in turn ignite heavy fuels (SEMARNAT, 2007). Dead fuel combustion serve as ignition factors of living fuels, usually through herbs and shrubs that serve as ladder for fire to spread from the surface to treetops, allowing the propagation of large fire and releasing into the atmosphere concentrated carbon on the various strata of fuels complex.

Nationally there has been significant work to characterize forest fuels present in ecosystems (Flores *et al.*, 2010), the state of Jalisco has not been the exception (Xelhuantzi *et al.*, 2011); however, researches conducted are generally performed in given areas fulfilling specific objectives, limiting to know the overall State context on forest fuels.

piso del bosque a las copas de los árboles, permitiendo la propagación de incendios de grandes dimensiones y liberando a la atmósfera el carbono concentrado en los diversos estratos del complejo de combustibles.

A nivel nacional se han realizado importantes trabajos para caracterizar los combustibles forestales presentes en los ecosistemas (Flores *et al.*, 2010), en el estado de Jalisco no ha sido la excepción (Xelhuanzi *et al.*, 2011); sin embargo, las investigaciones realizadas generalmente son ejecutadas en áreas específicas cumpliendo objetivos precisos, lo que limita conocer un contexto general Estatal sobre los combustibles forestales.

Con la finalidad de inventariar los recursos forestales del país, se ha establecido una actividad denominada Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) (CONAFOR, 2011) el cual, en sus versiones 2009, 2010 y 2011, incluyó en sus acciones el inventario de los combustibles forestales muertos como parte de sus metodologías. La información recolectada en el INFyS es una importante fuente de datos que permite generar un contexto general sobre las cargas de combustibles presentes a nivel nacional, regional y estatal, fungiendo como punto de comparación para las investigaciones realizadas a escalas más precisas.

En el presente trabajo se ha realizado una estimación de cargas de combustibles forestales muertos en zonas de bosque de coníferas y encinos del estado de Jalisco, usando la información de campo recolectada mediante el INFyS 2009, 2010 y 2011. Los resultados obtenidos permitirán cimentar las bases para la implementación de estrategias de manejo de combustibles que favorezcan su reducción, evitando así incendios catastróficos que liberen a la atmósfera grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Materiales y métodos

El estado de Jalisco se localiza en la porción media occidental del país en las coordenadas extremas 18° 57' a 22° 45' de latitud norte y 101° 28' a 105° 42' de longitud oeste. Representa 4% de la superficie total nacional y una superficie arbolada de 3.5 millones de hectáreas, de las cuales 51% es bosque y el 49% restante es selva. Cuenta con 19 áreas naturales protegidas con una superficie total estimada de 833 442 mil ha (Sandoval *et al.*, 2014).

In order to inventory the country's forest resources, it has been established an activity called National Forest and Soil Inventory (INFyS) (CONAFOR, 2011) which, in its versions 2009, 2010 and 2011, included in its actions to inventory dead forest fuels as part of its methodologies. The information collected in the INFyS is an important source of data that can generate an overall context on fuel load present at national, regional and state level, serving as a benchmark for researches carried at more accurate scales.

In the present study was made an estimate of dead forest fuel load in forests of conifers and oaks forest from Jalisco, using field data collected by INFyS 2009, 2010 and 2011. The results allow lay the groundwork to implement management strategies that favor fuels reduction, thus avoiding catastrophic fires that release large amounts of greenhouse gases into the atmosphere.

Materials and methods

The state of Jalisco is located in the western portion of the country in the extreme coordinates 18° 57' to 22° 45' north latitude and 101° 28' to 105° 42' west longitude. It represents 4% of the total national surface and wooded area of 3.5 million hectares, of which 51% is forest and the 49% left is jungle. It has 19 natural protected areas with an estimated total area of 833 442 thousand ha (Sandoval *et al.*, 2014).

Field data used for the analysis was collected *in situ* through resampling 2009, 2010 and 2011 from INFyS. The sampling design from INFyS is systematic stratified, where the layers are formed by the spatial distribution of the various types of vegetation and location of each cluster survey is governed by a grid of 5 x 5 km for forest areas (CONAFOR, 2011) (Figure 1).

INFyS samplings are constituted by four circular recording units or equidistant sites from the center to every 45.14m, whose distribution corresponds to a "Y inverted" (Figure 2).

On site 3 of each cluster the measurements for the evaluation of dead fuels forest are made by planar intersections technique described by Brown *et al.* (1982). Each cluster has four transects of 15 m length, where the frequencies of pieces from fallen woody material (MLC) are recorded. In the last five meters transect the pieces of 1 h and 10 h

La información de campo utilizada para los análisis fue la recolectada *in situ* a través de los remuestreos 2009, 2010 y 2011 del INFyS. El diseño de muestreo del INFyS es sistemático estratificado, en donde los estratos están conformado por la distribución espacial de los diversos tipos de vegetación y la ubicación de cada conglomerado de levantamiento se encuentra regido por una malla de 5 x 5 km para las zonas de bosques (CONAFOR, 2011) (Figura 1).

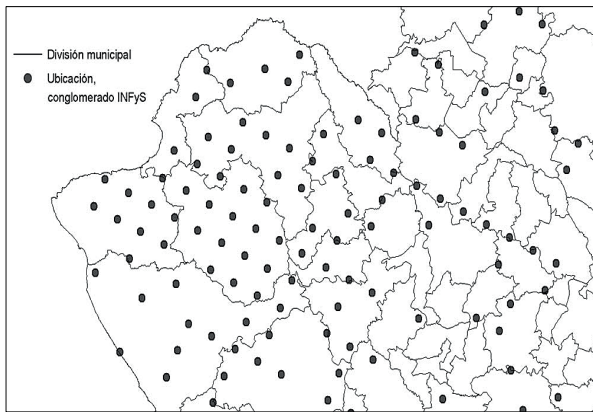


Figura 1. Ejemplificación del diseño de muestreo del INFyS.
Figure 1. Exemplification of INFyS sampling design.

Los muestreos del INFyS están compuestos por conglomerados, integrados por cuatro unidades circulares de registro o, sitios equidistantes del centro a cada 45.14m, cuya distribución corresponde a una “Y invertida” (Figura 2).

En el sitio 3 de cada conglomerado se realizan las mediciones para la evaluación de combustibles forestales muertos, mediante la técnica de intersecciones planares descrita por Brown *et al.* (1982). Cada conglomerado consta de cuatro transectos de 15 m de longitud, donde se registran las frecuencias de piezas del material leñoso caído (MLC). En los últimos 5 metros del transecto se registran las piezas de 1 h y 10 h, en todo el transecto las piezas de 100 y 1 000 h además, se mide el diámetro a las piezas leñosas de 1 000 h. También se registra información concerniente a las capas hojarasca (H) y fermentación (F) a los 2 y 4 m de los transectos (Figura 3).

Fueron procesados a nivel estatal, 434 sitios de muestreo. Para el cálculo de la carga de material leñoso caído, se utilizó la siguiente ecuación, descrita por Morfin *et al.* (2012).

$$C = ((k) * (\Sigma D^2) * GE * (c)) / L \tag{1}$$

Donde: C= carga de combustible (mg/ha); k= 1.234; ΣD^2 = sumatoria del diámetro cuadrado de las partículas intersectadas; GE= gravedad específica; c= factor de corrección de la pendiente y L= largo del transecto.

are recorded throughout the transect pieces of 100 and 1 000 h; in addition the diameter of woody parts of 1 000 h are measured. Also records information regarding fallen leaves layer (H) and fermentation (F) at 2 and 4 m from transects (Figure 3).

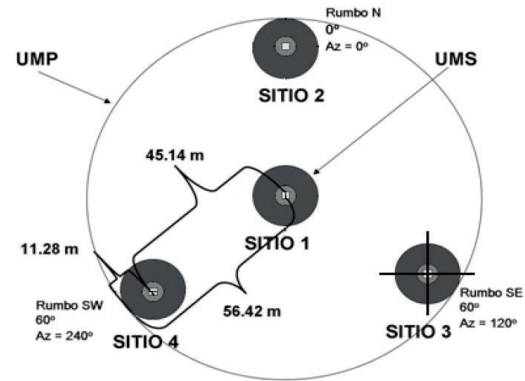


Figura 2. Diseño de conglomerados INFyS.
Figure 2. INFyS cluster design.

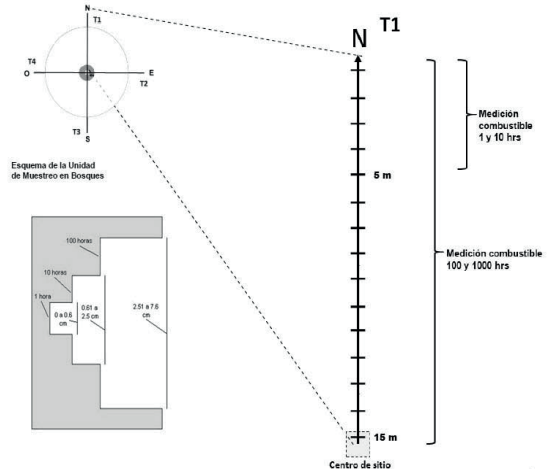


Figura 3. Diseño de transectos para recolección de MLC, H y F.

Figure 3. Transects design to collect MLC, H and F.

Data processing was at state level, 434 sampling sites. To calculate the loading of fallen woody material, the following equation described by Morfin *et al.* (2012) was used.

$$C = ((k) * (\Sigma D^2) * GE * (c)) / L \tag{1}$$

Where: C= fuel loading (mg/ha); k= 1.234; ΣD^2 = sum of the square diameter of particles intersected; GE= specific gravity; c= slope correction factor and L= transect length.

For fuels of 1, 10 and 100 h, a simplification of the above equation, described by Morfin *et al.* (2012) was used.

Para los combustibles de 1, 10 y 100 h, se utilizó una simplificación de la ecuación anterior, descrita por Morfin *et al.* (2012).

$$C = ((k) * GE * (DCP) * (f) * (c)) / L \quad 2)$$

Donde: C=carga de combustible (mg/ha) de 1, 10 y 100 h; K=1.234; GE= gravedad específica; DCP= diámetro cuadrático promedio de cada categoría (1, 10 y 100 h); F= frecuencia de las partículas intersectadas; c= factor de corrección de la pendiente; y L= largo del transecto.

Para el factor de corrección de pendiente se utilizó la siguiente ecuación.

$$c = \sqrt{1 + \left(\frac{\% \text{pendiente}}{100}\right)^2} \quad 3)$$

Donde: c= factor de corrección de la pendiente.

Para el cálculo de la carga de combustible fermentación, se hizo uso de la siguiente ecuación, descrita por Morfin *et al.* (2012).

$$Cf = (Oe) * (DA) \quad 4)$$

Donde: Cf= carga de combustible fermentación (mg/ha); Oe= profundidad en cm de la capa de fermentación; y DA= densidad aparente.

Para el cálculo de la carga de combustible hojarasca, se utilizó la siguiente ecuación, descrita por Morfin *et al.* (2012).

$$Ch = (Oi) * (DA) \quad 5)$$

Donde: Ch= carga de combustible hojarasca (mg/ha); Oi= profundidad en cm de la capa de hojarasca; y DA= densidad aparente.

La información referente a GE y DCP fue consultada del documento titulado "caracterización y cuantificación de combustibles forestales" (Morfin *et al.*, 2012), en donde dichas variables se encuentran clasificadas por categoría diamétrica del combustible, tipo de vegetación y región bioclimática (Cuadro 2).

Por otra parte, los valores sobre DA fueron consultados de la publicación titulada "fotoseries para la cuantificación de combustibles forestales de México" (Morfin *et al.*,

$$C = ((k) * GE * (DCP) * (f) * (c)) / L \quad 2)$$

Where: C= fuel loading (mg/ha) of 1, 10 and 100 h; K= 1.234; GE= specific gravity; DCP= quadratic average diameter of each category (1, 10 and 100 h); F= frequency of particles intersected; c= slope correction factor; and L= transect length.

For slope correction factor the following equation was used.

$$c = \sqrt{1 + \left(\frac{\% \text{pendiente}}{100}\right)^2} \quad 3)$$

Where: c= slope correction factor.

To calculate fermentation fuel load, the following equation, described by Morfin *et al.* (2012) was used.

$$Cf = (Oe) * (DA) \quad 4)$$

Where: Cf= fuel loading fermentation (mg/ha); Oe= depth in cm of fermentation layer; and DA= bulk density.

To calculate fuel loading of fallen leave, the following equation described by Morfin *et al.* (2012) was used.

$$Ch = (Oi) * (DA) \quad 5)$$

Where: Ch= fuel loading fallen leaves (mg/ha); Oi= depth in cm of fallen leaves; and DA= bulk density.

Information regarding GE and DCP was consulted in the document entitled "characterization and quantification of forest fuels" (Morfin *et al.*, 2012) where these variables are classified by diameter category of fuel, vegetation type and bioclimatic region (Table 2).

Moreover, DA values were consulted in the publication entitled "photo series for the quantification of forest fuels in Mexico" (Morfin *et al.*, 2007) in which, stipulates their use depending on vegetation type and bioclimatic region to calculate fuel loads of fallen leaves and fermentation (Table 3).

Estimates of fuel load in $t \text{ ha}^{-1}$ were made using the system to calculate forest fuels (SICCO, 2015) which is part of the tools developed by the wildfires program from the National Forest, Agriculture and Livestock Research Institute (INIFAP), and considers for their processes the equations described above.

2007) en la cual, ese estipula su uso dependiendo el tipo de vegetación y región bioclimática para los cálculos de carga de combustible en hojarasca y fermentación (Cuadro 3).

The results of the estimates were structured in plain text files and subsequently processed their descriptive statistics with the Statistical Analysis System® (SAS) system. A

Cuadro 2. Información sobre GE y DCP. Extraída de Morfín *et al.* (2012).

Table 2. Information on GE and DCP extracted from Morfín *et al.* (2012).

Tipo de ecosistema	Categoría	GE	DCP
Bosque de pino y pino-encino (BP-general)	1 h	0.54	0.2
	10 h	0.54	1.56
	100 h	0.5	16.16
	1 000 h F	0.46	140.45
	1 000 h P	0.22	-
Bosque de pino y pino encino de zonas templadas subhúmedas	1 h	0.52	0.16
	10 h	0.52	1.46
	100 h	0.5	17.07
	1 000 h F	0.46	139.58
	1 000 h P	0.22	-

Cuadro 3. Información sobre DA. Tabla extraída de Morfín *et al.* (2007).

Table 3. DA information. Table extracted from Morfín *et al.* (2007).

Capa	BMS01	BMS02	BMS12	BMS14	BMS15	BMS16	BMS17
Hojarasca de coníferas	-	1.75	1.89	1.38	-	2.26	2.26
Hojarasca de latifoliadas	1.17	1.75	1.89	1.38	2.26	2.26	2.26
Fermentación	5.43	6.78	6.76	7.26	6.75	6.75	6.75

Las estimaciones de las cargas de combustibles en $t\ ha^{-1}$ se realizaron mediante el sistema para el cálculo de combustibles forestales (SICCO, 2015) el cual, forma parte de las herramientas desarrolladas por el programa de incendios forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y contempla para sus procesos las ecuaciones antes descritas.

Los resultados de las estimaciones fueron estructurados en archivos de texto planos y posteriormente procesadas sus estadísticas descriptivas mediante el sistema Statistical Analysis System® (SAS). Se realizó una prueba de normalidad a los datos resultantes a través del método Anderson Darling (Chambers *et al.*, 1983) y se aplicó una normalización a los datos resultantes de las cargas de combustibles totales mediante el método de transformación de Johnson (Chou *et al.*, 1998). Finalmente se realizó un análisis de varianzas (Tejedor, 1999) con la finalidad de verificar la existencia de diferencia significativa entre las carga de combustibles totales de acuerdo a la clase de vegetación serie IV (INEGI, 2012) identificada en los conglomerados.

normality test was made to the resulting data through Anderson Darling (Chambers *et al.*, 1983) method and applied normalization to the resulting data of total fuel load by transformation method from Johnson (Chou *et al.*, 1998). Finally, an analysis of variance (Weaver, 1999) was performed in order to verify the existence of significant difference between total fuel loading according to vegetation class IV series (INEGI, 2012) identified in the clusters.

Results and discussion

434 sampling sites for the state of Jalisco were processed. According to the standard classification IV from the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI), for land use and vegetation, 173 sites correspond to coniferous forest and 261 to oak forests. Table 4 shows values found ranging from 0 to $840.85\ t\ ha^{-1}$ on total fuel that is, the sum of MLC, H and F. The asymmetry values indicate that data show a positive bias. This is confirmed by

Resultados y discusión

Se procesaron 434 sitios de muestreo para el estado de Jalisco. De acuerdo a la clasificación serie IV de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), para uso del suelo y vegetación, 173 corresponden sitios corresponden a bosque de coníferas y 261 a bosques de encino. En el Cuadro 4, se observa que se encontraron valores desde 0 hasta 840.85 t ha⁻¹ en los combustibles totales esto es, la suma de MLC, H y F. Los valores de asimetría indican que los datos presentan un sesgo positivo. Esto es confirmado por el valor del tercer cuartil, cuyo dato es muy inferior al máximo encontrado indicando que, pese a existir cargas de combustible extremadamente altas, la mayoría se encuentran concentradas por debajo de las 140.40 t ha⁻¹.

Cuadro 4. Estadísticas generales de las cargas de combustibles MLC, H, y F.
Table 4. General Statistic of fuel loads MLC, H and F.

Variable	MIN	MAX	MED	Q1	MDNA	Q3	RIQ	D_E	CV	AS	CUR
MLC	0.00	129.51	6.98	1.06	2.88	8.68	7.62	11.78	170.89	4.91	35.90
H	0.00	607.66	54.33	9.49	33.62	77.35	67.86	64.91	119.48	2.84	14.70
F	0.00	606.66	41.90	0.00	0.00	56.95	56.95	78.07	186.31	3.34	15.88
Totales	0.00	840.85	103.13	25.84	64.65	140.40	114.56	115.21	111.71	2.33	7.70

**MIN= mínimo; MAX= máximo; MED= media; Q1= cuartil 1; MDNA= mediana; Q3= cuartil 3; RIQ= rango Intercuartílico; D_E= desviación estándar; C_VAR= coeficiente de variación; AS= asimetría; CUR= curtosis.

En la Figura 4 se puede ver que los valores superiores a 312.24 t ha⁻¹ en los combustibles totales pueden ser considerados como atípicos. Los combustibles de H y F se encuentran comprendidos mayormente por debajo del tercer cuartil respecto a los combustibles totales, mientras que los valores para MLC son considerablemente pequeños en comparación al resto.

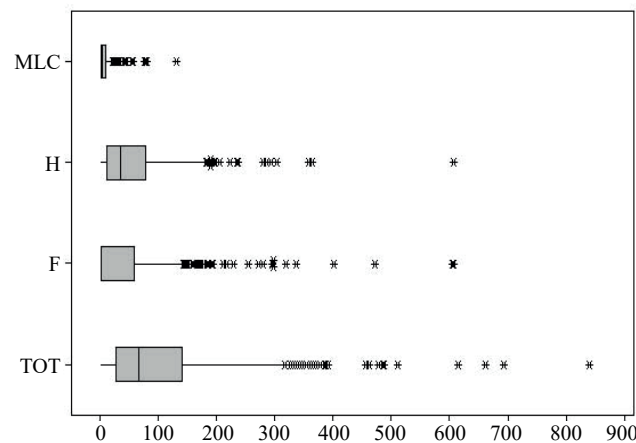


Figura 4. Gráfica de dispersión y asimetría de los valores MLC, H, F y totales de las cargas de combustibles forestales.
 Eje X= t ha⁻¹, eje Y= tipo de combustible.

Figure 4. Scatter plot and asymmetry values of MLC, H, F and total forest fuel load. X axis= t ha⁻¹, Y axis= fuel type.

the value from the third quartile, whose figure is well below the maximum found, indicating that, despite the existence of extremely high fuel loads, most are concentrated below the 140.40 t ha⁻¹.

Figure 4 shows that values higher than 312.24 t ha⁻¹ in the total fuel can be considered as atypical. Fuels H and F are included mostly below the third quartile regarding total fuel, while MLC values are considerably smaller compared to the rest.

Fuel values comprising MLC 1, 10, 100 and 1000 h are found in Table 5. The higher loads are placed on 1 000 h fuels both firm and rotten however, also concentrate higher coefficients of variation and a pronounced positive bias, shown in Figure 5. This may be due to some atypical values are

raising the average values. In INFyS clusters, information collection on dead fuels only on site 3 are contemplated, preventing the values to be averaged with the other sites, this influence is often more marked in 1000 h fuels than in the rest of MLC.

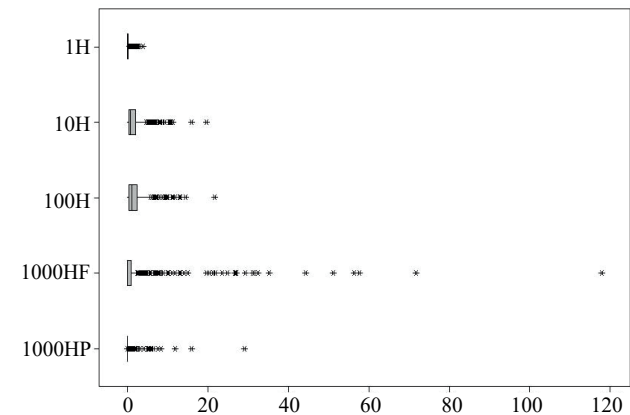


Figura 5. Gráfica de dispersión y asimetría de los combustibles de 1, 10, 100 y 1 000 horas firmes y podridos. Eje X= t ha⁻¹, eje Y= tipo de combustible.

Figure 5. Scatter plot and asymmetry from firm and rotten fuels of 1, 10, 100 and 1 000 hours. X axis= t ha⁻¹, Y axis= fuel type.

Los valores para los combustibles que comprenden el MLC 1, 10, 100 y 1 000 h se encuentran en el Cuadro 5. Las cargas más altas se ubican en los combustibles de 1 000 h tanto firmes como podridos sin embargo, también concentran los coeficientes de variación más elevados así como un pronunciado sesgo positivo, evidenciado en la Figura 5. Esto puede ser debido a que algunos valores atípicos estén elevando los valores promedios. En los conglomerados del INFyS, se contempla la recolección de información sobre combustibles muertos solo en el sitio 3, impidiendo que los valores sean promediados con el resto de los sitios, esta influencia suele ser más marcada en los combustibles de 1 000 h que en el resto del MLC.

As shown in Table 6, total fuel load for oak forest, show maximum values of 840.85 t ha⁻¹, 147.25 t higher than coniferous forest; however, both the mean and median from coniferous forest is slightly higher than oak forest.

Normality and normalization test results performed to total fuel load can be seen in Figure 6. Anderson Darling (AD) test gave a value AD= 26,005 and $p < 0.005$ indicating that the data do not show a normal distribution. The data were normalized by Johnson's transformation reaching a value for AD= 0.392 and $p = 0.377$.

Cuadro 5. Estadísticas generales de las cargas de combustibles de 1, 10, 100 y 1 000 h.

Table 5. General Statistics from fuel load of 1, 10, 100 and 1000 h.

VARIABLE	MIN	MAX	MED	Q1	MDNA	Q3	RIQ	D_E	CV	AS	CUR
1 h	0.00	3.86	0.24	0.03	0.09	0.23	0.20	0.47	193.93	3.92	18.06
10 h	0.00	19.61	1.64	0.32	0.77	2.02	1.69	2.32	142.15	3.15	14.00
100 h	0.00	21.69	1.87	0.27	1.08	2.38	2.11	2.56	137.06	2.98	12.59
1000 h F	0.00	117.81	2.72	0.00	0.00	0.91	0.91	9.64	355.00	6.69	59.39
1000 h P	0.00	29.02	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	464.59	9.08	108.19

** F= firme; P= podrido; MIN= mínimo; MAX= máximo; MED= media; Q1= cuartil 1; MDNA= mediana; Q3= cuartil 3; RIQ= rango Inter cuartilico; D_E= desviación estándar; C_VAR= coeficiente de variación; AS= asimetría; CUR= curtosis.

Como se puede observar en el Cuadro 6, las cargas de combustibles totales para la clase bosque de encino, muestra valores máximos de 840.85 t ha⁻¹, 147.25 t más altas que el bosque de coníferas; sin embargo, tanto la media como la mediana del bosque de coníferas es ligeramente superior al bosque de encino.

Figure 7 graphically shows the result of hypothesis test performed, considering the identifier on clusters with classification IV series from INEGI, showing null hypothesis Ho. = There is no difference between the total fuel loads for conifers and oaks vegetation type. The hypothesis was rejected by obtaining a value of $p = 0.038$

Cuadro 6. Estadísticas generales de las cargas de combustibles totales.

Table 6. General statistics of total fuel load.

Variable	N	MIN	MAX	MED	Q1	MDNA	Q3	RIQ	D_E	CV	AS	CUR
Coníferas	173	0.00	693.60	119.20	25.50	71.00	173.30	147.90	131.80	110.59	1.98	4.49
Encinos	261	0.00	840.85	92.49	25.96	59.03	126.36	100.41	101.63	109.58	2.61	11.82

**N= número de datos; MIN= mínimo; MAX= máximo; MED= media; Q1= cuartil 1; MDNA= mediana; Q3= cuartil 3; RIQ= rango Inter cuartilico; D_E= desviación estándar; C_VAR= coeficiente de variación; AS= asimetría; CUR= curtosis.

El resultado de la prueba de normalidad y la normalización realizada a las cargas de combustibles totales puede observarse en la Figura 6. La prueba Anderson Darling (AD) arrojó un valor AD= 26.005 y $p < 0.005$ indicando que los datos no muestran una distribución normal. Los datos fueron normalizados a través de la transformación de Johnson alcanzando un valor AD= 0.392 y $p = 0.377$.

from the analysis of variance for a confidence level of 95%. This indicates that there is a significant difference between total fuel load for coniferous and oak vegetation type, being conifers which represent the highest fuel load. These data differ from those reported by Villers and López (2004) where fuel load in oaks are superior to those from conifers.

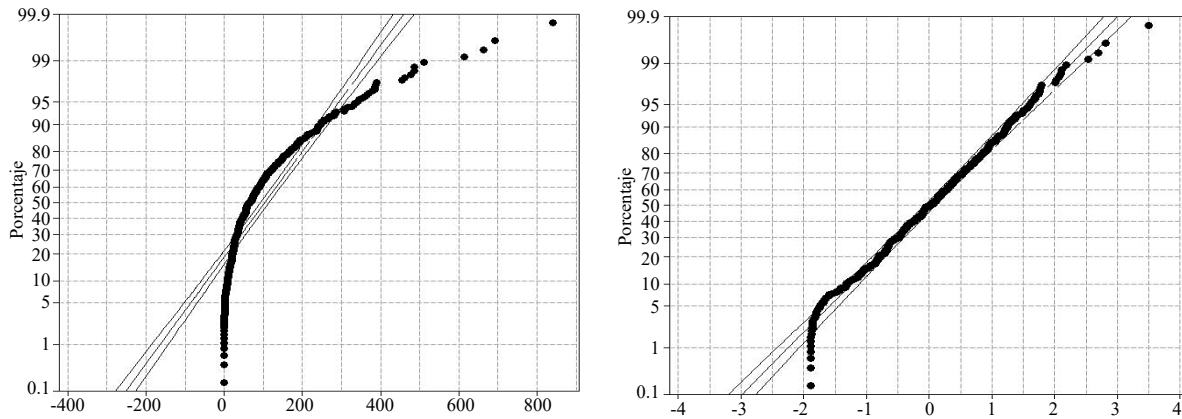


Figura 6. Imagen izquierda: prueba de normalidad realizada a las cargas de combustibles totales, $p < 0.005$. Imagen derecha: normalización de valores mediante transformación de Johnson, $p = 0.377$.
Figure 6. Left image: normality test conducted to total fuel load, $p < 0.005$. Right image: normalization value by Johnson transformation, $p = 0.377$.

En la Figura 7, se muestra gráficamente el resultado de la prueba de hipótesis realizada, considerando el identificador sobre los conglomerados de la clasificación serie IV de INEGI, que contempló la hipótesis nula $H_0 =$ No existe diferencia entre las cargas de combustibles totales para los tipos de vegetación coníferas y encinos. La hipótesis fue rechazada al obtener un valor $p = 0.038$ del análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%. Esto indica que sí existe una diferencia significativa entre las cargas de combustibles totales para los tipos de vegetación coníferas y encinos, siendo las coníferas las que representan la mayor carga de combustibles. Estos datos difieren de los reportados por Villers y López (2004) en donde las cargas de combustibles en encinos son superiores a las de coníferas.

La distribución espacial de los sitios de muestreo considerados en el análisis se observa en la Figura 8 en donde, los sitios correspondientes a coníferas son simbolizados por un triángulo mientras que los correspondientes a encinos son simbolizados con un cuadro.

Conclusiones

La caracterización de cargas de combustibles muertos para el estado de Jalisco, pese a ser una caracterización general, cimienta las bases para un adecuado manejo de los mismos. Esto debido a que evidencia de forma cuantitativa las cantidades y tipos de vegetación en donde concentran las cargas de combustibles forestales, así como la ubicación

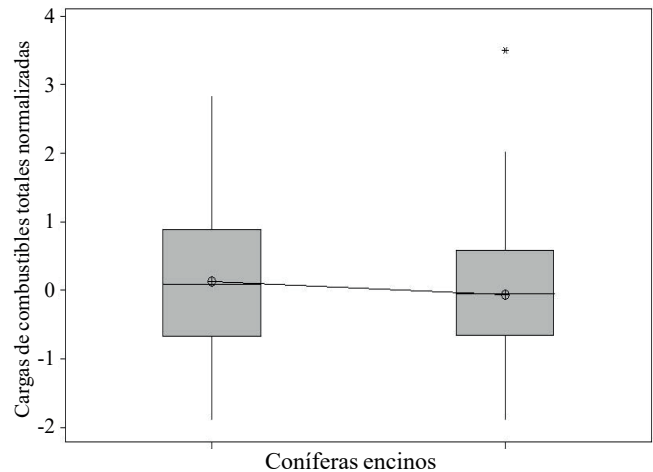


Figura 7. Representación gráfica de los resultados del análisis de varianza sobre el identificador serie IV de INEGI y las cargas de combustibles totales normalizadas.
Figure 7. Graphical representation of the results from analysis of variance on the identification IV series from INEGI IV and normalized total fuel loads.

La distribución espacial de los sitios de muestreo considerados en el análisis se observa en la Figura 8 en donde, los sitios correspondientes a coníferas son simbolizados por un triángulo mientras que los correspondientes a encinos son simbolizados con un cuadro.

The spatial distribution of sampling sites considered in the analysis is shown in Figure 8 wherein, the sites corresponding to conifers are symbolized by a triangle while those corresponding to oak are symbolized with a square.

espacial de los sitios analizados mismos que, de presentarse condiciones atmosféricas adecuadas y un factor de ignición (natural o antropogénico) podrían desencadenar incendios forestales de grandes dimensiones cuya biomasa quemada, se convertiría en una enorme fuente de gases de efecto invernadero que contribuirán a la acentuación de las consecuencias del cambio climático.

Literatura citada

- Andreae, M. O. and Merlet, P. 2001. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15:955-966.
- Bautista, R. J.; Treviño, G. E.; Nívar, C. J.; Aguirre, C. O. y Cantú, S. I. 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. *Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Ambientales*. 11(001):51-56.
- Beitler, J. 2006. Tracking nature's contribution to pollution. *EARTH System Science data and Services*. <http://earthobservatory.nasa.gov/Study/ContributionPollution/>.
- Bettwy, M. 2007. NASA data links Indonesian Wildfire Flare-up to recent El Niño. *Goddard Space Flight Center*. http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/elnino_wildfire.html.
- Brown, J. K.; Oberheu, R. D. and Johnston, C. M. 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior West. *USDA, Forest Service General Technical Report INT-129*. 48 p.
- Brown, S.; Sthaye, J.; Cannel, M. and Kauppi, P. 1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review*. 75(1):80:91.
- Chambers, J. M.; Cleveland, W. S.; Kleiner, B. and Tukey, P. A. 1983. *Graphical methods for data analysis*. Belmont, CA: Wadsworth International Group. Libro, ISBN: 0412052717. 336 p.
- Chou, Y.; Polansky, A. M. and Mason R. L. 1998. Transforming nonnormal Data to normality in statistical process control. *J. Quality Technol.* 133-141 pp.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2011. Manual y procedimientos para el muestreo de campo Re-muestreo inventario nacional forestal y de suelos (INFyS). SEMARNAT/ CONAFOR. 141 p.
- Flannigan, M. D. F. and Wagner, C. E. 1991. Climate change and wildfire in Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 21:66-72.
- Flores, G. J. G. 1996. Aplicación de sensores remotos y sistemas de información geográfica para el mapeo de riesgo de incendios forestales. *INIFAP, SAGAR*. Campo Experimental Colomos. Folleto informativo Núm. 1. 16 p.
- Flores, G. J. G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. Ph.D. Dissertation. Dept. For. Sc. Colorado State University. 184 p.
- Flores, G. J. G. y Benavides, S. J. D. 1994. Efecto de las quemaduras prescritas sobre algunas características del suelo en un rodal de pino. *Revista Terra*. 12(4):393-400.
- Flores, G. J. G.; Moreno, G. D. A. y Morfín, R. J. E. 2010. Muestreo directo y fotoseries en la evaluación de combustibles forestales. *INIFAP, SAGARPA*. Campo experimental Centro Altos de Jalisco. Folleto técnico Núm. 4. 69 p.

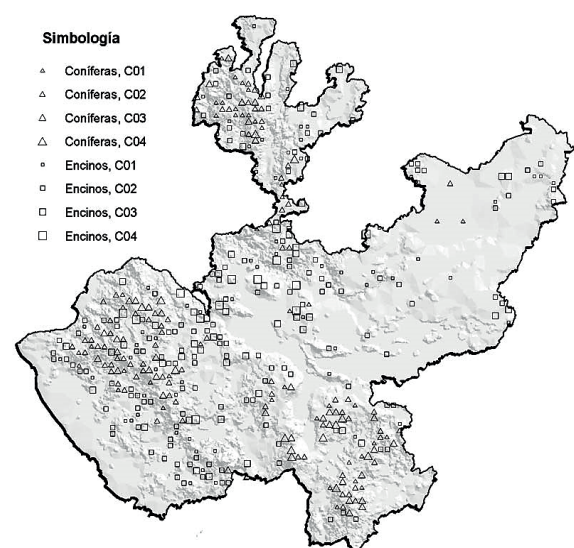


Figura 8. Distribución espacial de los sitios de muestreo clasificados de acuerdo a sus cargas de combustibles totales en $t\ ha^{-1}$. C01: <25.84 , C02: $25.85-140.40$, C03: $140.41-312.24$ y C04: >312.24 .

Figure 8. Spatial distribution of sampling sites classified according to their total fuel load in $t\ ha^{-1}$. C01: <25.84 , C02: $25.85-140.40$, C03: $140.41-312.24$ and C04: >312.24 .

Conclusions

The characterization of dead fuel load for the state of Jalisco, despite being a general characterization, sets the bases for proper management thereof. This is because it proves quantitatively the amounts and vegetation types where forest fuel load concentrate, thus spatial location from analyzed sites, same that if showing suitable weather conditions and an ignition factor (natural or anthropogenic) could trigger large-scale forest fires which burned biomass, would become a huge source of greenhouse gases that contribute to accentuating the effects of climate change.

End of the English version



Foresberg, M. A. 1971. Moisture calculations for the 100 hour timelag fuels for fire danger rating. *USDA For. Serv. Res. Note RM-199.7 p.*

Guenther, A.; Hewitt, C. N.; Erickson, D.; Fall, R.; Geron, G.; Graedel, T.; Harley, P.; Klinger, L.; Lerdau, M.; McKay, W. A.; Pierce, T.; Scholes, B.; Steinbreker, R.; Tallamraju, R.; Taylor, J. and Zimmerman, P. 1995. A global model of natural volatile organic compound emissions. *J. Geophys. Res.* 100:8873-8892.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 Serie IV.
- Keane, R. E.; Burgan R. and Van W. 1999. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. USDA. For. Ser. RMRS. Fire Sciences Laboratory, Fire Modeling Institute. 32 p.
- Martínez, D. R. y Rodríguez, T. D. A. 2008. Los incendios forestales en México y América Central. *In*: memorias del segundo simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los programas de protección contra incendios forestales: Una visión global. General Technical Report psw-gtr-208. USADA Forest Service. 767-779 pp.
- Morfin, R. J. E.; Alvarado, C. E.; Jardel, P. E. J.; Vihnanek, R. E.; Wright, D. K.; Michel, F. J. M.; Wright, C. S.; Ottmar, R. D.; Sandberg, D. V. y Nájera, D. A. 2007. Fotoseries para la cuantificación de combustibles forestales de México: bosques montanos subtropicales de la Sierra Madre del Sur y bosques templados y matorral submontano del Norte de la Sierra Madre Oriental. www.fs.fed.us/pnw/fera/.../photoseriesmexicouw-ferapublication.pdf.
- Morfin, R. J. E.; Jardel, P. E. J.; Alvarado, C. E. E. y Michel, F. J. M. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal- Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. Libro, ISBN: 978-607-450-544-3. 59 p.
- Pickett, S. and White, P. 1985. Patch dynamics: a synthesis. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Nueva York. 371-384 p.
- Sandoval, D. J. A.; Ruíz, M. M. M.; García, S. B.; Aguilar, H. M. y Martínez, M. A. 2014. Programa Estratégico Forestal del estado de Jalisco. Gobierno del estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco (FIPRODEFO). Libro. 260 p.
- Santiago, F. H.; Servín, M. M.; Rodarte, R. H. y Garfias, A. F. 1999. UNAM. Programa Universitario de Medio Ambiente Dirección general de Publicaciones y Fomento Editorial. 107 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA. Especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario. Publicación electrónica gubernamental. 69 p.
- Tejedor, F. J. 1999. Análisis de varianza: Introducción conceptual y diseños básicos. Editorial: Arco Libros. 136 p.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1992. Earthwatch United Nations Environment Programme Chemical pollution: a global overview. Geneva. 106 p.
- Villers, R. L. y López, B. J. 2004. Incendios forestales en México. Métodos de evaluación Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. México, D. F. 164 p.
- Villers, R. M. L. 2006. Incendios Forestales. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., Ciencias. 081:60-66.
- Xelhuantzi, C. J.; Flores, G. J. G. y Chávez, D. Á. A. 2011. Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 2(3):37-52.