



Artículo / Article

Biomasa arbustiva, herbácea y en el piso forestal como factor de riesgo de incendios

Biomass in bushes, weeds and on the forest floor as a risk factor of fires

Jorge Hernández García¹, Gerardo Rodríguez Ortíz², José Raymundo Enríquez del Valle², Gisela Virginia Campos Ángeles² y Adán Hernández Hernández³

Resumen

El presente estudio destaca la importancia de generar información de los combustibles forestales para determinar el riesgo de incendio en bosques de pino, de encino y mesófilo de montaña en San Antonio, Chimalapa, Oaxaca. Su objetivo consistió en calcular el contenido de biomasa aérea en los diferentes componentes encontrados en el piso forestal de tres tipos de vegetación, bajo índice de riesgo de incendio. Durante 2014, se establecieron de manera dirigida 15 sitios de 1 000 m², y subsitios de 9 y 1 m² para evaluar los compartimentos de madera, hojarasca, necromasa, arbusto y herbácea; se determinaron índices de riesgo por tipo de vegetación. La información se validó mediante análisis de varianza y pruebas de medias (Duncan, 0.05), bajo un diseño completamente aleatorizado. Los contenidos de biomasa en el piso forestal fueron de 8.77 t ha⁻¹ para el bosque mesófilo de montaña, de 15.23 t ha⁻¹ para bosque de encino y de 11.07 t ha⁻¹ para bosque de pino. La biomasa contenida en herbáceas fue superior ($p = 0.009$) en el pinar, en comparación con los otros tipos de vegetación; sin embargo, al ponderar la carga total de combustible en el piso forestal, resultó entre 2.0 y 2.59 t ha⁻¹, lo cual indica que el índice de riesgo de incendio forestal en el área de estudio es bajo; en el bosque mesófilo de montaña se registró el valor más alto.

Palabras clave: Bosque de encino, bosque de pino, bosque mesófilo de montaña, carga combustible forestal, compartimentos de materia seca, Oaxaca.

Abstract

The present study highlights the importance of generating information on forest fuels to determine the risk of forest fire in pine, oak and montane cloud forests in *San Antonio, Chimalapa, Oaxaca*. Its purpose was to calculate the content of aboveground biomass in the various components found on the forest floor of three vegetation types, at risk of fire. In the course of the year 2014, fifteen 1 000 m² sites and nine 1 m² subsites were established under supervision, in order to assess the wood, dead leaves, necromass, bushes and weeds compartments. The risk rates were determined by vegetation type. The information was validated using variance analysis and mean tests (Duncan, 0.05), under a fully randomized design. The biomass contents of the forest floor were 8.77 t ha⁻¹ for the montane cloud forest, 15.23 t ha⁻¹ for the oak forest, and 11.07 t ha⁻¹ for the pine forest. The biomass content of the weeds was higher ($p = 0.009$) in the pine forest than in other vegetation types. However, the total fuel load of the forest floor turned out to be between 2.0 and 2.59 t ha⁻¹, which indicates that the risk of fire in study area is low; in contrast, the montane cloud forest had the highest risk rate.

Key words: Oak forest, pine forest, montane cloud forest, forest fuel load, dry matter compartments, Oaxaca.

Fecha de recepción/ Reception date: 27 de abril de 2016; Fecha de aceptación/Acceptance date: 19 de junio de 2016.

¹ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). México.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación-ITVO. México. Correo-e: grodriguez.itvo@yahoo.com

³ Campo Experimental Valles Centrales, CIR- Pacífico Sur. INIFAP. México.

Introducción

Los incendios forestales son producto de las condiciones climatológicas, especialmente de sequías prolongadas, de la gran cantidad de material combustible acumulado y de un factor de ignición natural (rayos y vulcanismo) o humano, cuando son provocados (Estrada y Ángeles, 2007). Por ello es importante comprender los mecanismos que controlan los regímenes propios de estos siniestros (Zinck *et al.*, 2011; Rodríguez, 2012).

El combustible forestal es uno de los principales elementos involucrados en la ocurrencia de esos fenómenos y es un factor determinante para definir el riesgo del evento, ya que el grado de peligro está en función de la cantidad y del tipo de material susceptible de quemarse presente en cada una de las áreas boscosas (Rentería *et al.*, 2005).

Por su localización, la región de Los Chimalapas tiene en su mayor parte climas cálido, templado, húmedo, subhúmedo, cálido húmedo, semicálido subhúmedo, templado subhúmedo, lo que se debe a su relieve con pronunciadas diferencias de altitud (200 a 2 000 m), orientación y topografía. Su temperatura media anual fluctúa entre 22 a 24 °C y los valores medios de precipitación de 200 a 2 000 mm anuales (Rodríguez, 2014). Por otra parte, es un complejo mosaico de tipos de vegetación, que acentúa el valor biológico de la zona, y es considerada un área rica en biodiversidad y con un elevado índice de endemismos potenciales (Contreras, 2009). Destacan los siguientes tipos de vegetación: selva alta, mediana y baja; chaparrera; bosque mesófilo de montaña; bosque de pino, pino-encino y encino (Rojas y Ríos, 2012).

Las causas más frecuentes de los incendios forestales en los Chimalapas, Oaxaca son de origen antropogénico: actividades agropecuarias, quemas intencionales, cacería y problemas agrarios, mientras que un bajo porcentaje son atribuidos a causas naturales (rayos) (Grupo Mesófilo A. C., 2006). En la región el impacto ha sido cada vez mayor en los últimos años, el más crítico de los cuales fue en 1998, cuando se registraron 77 incendios que afectaron 210 564 ha (Anta y Plancarte, 2001). En el municipio San Miguel Chimalapa, la extensión dañada fue de 37 806 ha y se identificaron sitios con especial efecto, de los cuales sobresalen el bosque mesófilo, el bosque de coníferas y el de encinos (Asbjornsen y Gallardo, 2004).

La acción antropogénica y el cambio climático han alterado el régimen del fuego en varios ecosistemas forestales, por lo que se hace necesario conocer las cargas de combustibles (biomasa), ya que es el único factor del triángulo del fuego que se puede manipular (Rubio *et al.*, 2016). Esta información permite implementar estrategias de manejo de los materiales susceptibles de quemarse, orientadas a su reducción y con ello, disminuir el riesgo de conflagraciones catastróficas (Chávez

Introduction

Forest fires are a product of the climate conditions, mainly of long draughts, of the great amount of accumulated combustible material, and of a natural (lightning and volcanism) or, when induced, a human ignition factor (Estrada and Ángeles, 2007). For this reason it is important to understand the mechanisms controlling the regimens of these accidents (Zinck *et al.*, 2011; Rodríguez, 2012).

Forest fuel is one of the main elements involved in the occurrence of these phenomena and a key factor for determining the risk of the event, as the degree of hazard is in terms of the amount and the type of combustible material present in each of the forest areas (Rentería *et al.*, 2005).

Because of its location, the *Los Chimalapas* region has mostly warm, temperate, humid, subhumid, warm humid, semiwarm subhumid and temperate subhumid climates; this is due to its relief with pronounced differences in altitude (200 to 2 000 m), orientation and topography. In this area the mean annual temperature ranges between 22 and 24 °C, and the mean annual precipitation is between 200 and 2 000 mm (Rodríguez, 2014). On the other hand, it is a complex mosaic of vegetation types, which enhances the biological value of the area, considered to be rich in biodiversity and to have a high rate of potential endemism (Contreras, 2009). The main types of vegetation are: high, medium and low rain forests, bush, montane cloud forest, and pine, oak and pine-oak forests (Rojas and Ríos, 2012).

The most frequent causes of forest fires in the *Los Chimalapas* region, *Oaxaca*, are anthropogenic: agricultural and livestock breeding activities, intentional burnings, hunting and agrarian problems, while a low percentage of fires are attributed to natural causes (lightning) (Grupo Mesófilo A. C., 2006). In these territories, the impact has been increasingly greater in the last few years; it was most critical in 1998, when reportedly 77 fires affected 210 564 ha (Anta and Plancarte, 2001). In the municipality of *San Miguel Chimalapa*, the damaged area was 37 806 ha, and particularly affected areas were located, notably in the montane cloud, conifer and oak forests (Asbjornsen and Gallardo, 2004).

The anthropogenic action and climate change have altered the fire regimen in various forest ecosystems; therefore, the fuel loads (biomass) must be estimated, as they are the only factor in the fire triangle that can be manipulated (Rubio *et al.*, 2016). This information makes it possible to implement strategies for the management and reduction of those materials that can burn in order to diminish the risk of catastrophic fires (Chávez *et al.*, 2016). Also, the longer the forest fire interval, the more fuel will be accumulated, and therefore, the impact of a fire on these ecosystems will be greater (Xelhuantzi *et al.*, 2011).

et al., 2016); asimismo, conforme el intervalo de los incendios forestales es mayor, se acumula más combustible y, por lo tanto, el alcance de un incendio será más importante (Xelhuantzi *et al.*, 2011).

Por otra parte, la cantidad y calidad de los combustibles superficiales en los bosques son indicadores de las condiciones de vulnerabilidad y de riesgos de sufrir incendios en localidades específicas (Castañeda *et al.*, 2015). La información así generada también contribuye a tomar decisiones relacionadas con el manejo del fuego, así como instrumentar acciones preventivas como las quemadas prescritas, y de evaluación de los efectos de los incendios sobre los ecosistemas (Rodríguez *et al.*, 2011; Villers *et al.*, 2013).

Con base en todo lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido de biomasa arbustiva, herbácea, de la hojarasca y necromasa sobre el suelo en tres tipos de vegetación, como indicadores de riesgo de incendio en los bosques de San Antonio, municipio San Miguel Chimalapa, Oaxaca.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en la localidad de San Antonio, perteneciente a la zona oriente del municipio San Miguel Chimalapa, Juchitán, Oaxaca, entre las coordenadas 16°39'27.56" N y 94°11'34.74" O, a una altitud media de 1 075 m. El clima es AC(w₂)(w) (semicálido subhúmedo), con humedad relativa alta, lluvias de verano con precipitación media anual de 576 a 3 300 mm y temperatura media anual de 20 °C (Rodríguez, 2014).

La vegetación asociada al encinar se caracteriza por incluir ejemplares de *Liquidambar styraciflua* L., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Quercus corrugata* Hook. y *Q. peduncularis*, Née, con diámetro normal (DN) de 20.0 ± 15.0 cm y altura (AT) de 14.6 ± 6.2 m. El estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña posee mayor variabilidad en DN (19.0 ± 13.0 cm) y menor en AT (12.1 ± 3.4 m), debido a la gran diversidad de especies que reúne, entre las que destacan: *L. styraciflua*, *Cornus disciflora* Moc. & Sessé ex DC., *Cinnamomum effusum* (Meisn.) Kosterm., *Capparis* sp., *Ficus pertusa* L. f., *Podocarpus* sp., *Pinus pseudostrobus*, *Q. corrugata*, *Rheedia macrophylla* (Mart.) Planch. & Triana, *Sweetia panamensis* Benth. y *Ternstroemia pringlei* (Rose) Standl. Por último, el bosque de pino, se identifica por la presencia de *L. styraciflua*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *Q. corrugata* y *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl., registra las dimensiones más altas de DN (24.1 ± 18.5 cm) y de AT (14.80 ± 6.5 m).

On the other hand, the amount and quality of the surface fuels in the forests are indicative of the conditions of vulnerability and the risks of fires in specific localities (Castañeda *et al.*, 2015). The information thus generated will also contribute to make decisions regarding the management of the fire, as well as to implement preventive actions such as prescribed burnings, and for the assessment of the effects of fires on the ecosystems in the region (Rodríguez *et al.*, 2011; Villers *et al.*, 2013).

Based on all the former, the objective of this study was to evaluate the content of the biomass of bushes, weeds and dead leaves and the necromass on the forest floor for three vegetation types as indicators of fire risk in the forests of San Antonio, Municipality of San Miguel Chimalapa, Oaxaca.

Materials and Methods

Description of the study area

The research was developed in the locality of San Antonio, in the Eastern area of the Municipality of San Miguel Chimalapa, Juchitán, Oaxaca, between the coordinates 16°39'27.56" N and 94°11'34.74" W, at a mean altitude of 1 075 m. The climate is AC(w₂)(w) semiwarm subhumid, with a relatively high humidity, summer rains with a mean annual precipitation of 576 to 3 300 mm, and a mean annual temperature of 20 °C (Rodríguez, 2014).

The vegetation associated with the oak forest is characterized by including specimens of *Liquidambar styraciflua* L., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Quercus corrugata* Hook. and *Q. peduncularis*, Née with a normal diameter (ND) of 20.0 ± 15.0 cm and a total height (TH) of 14.6 ± 6.2 m. The arboreal stratum of the montane cloud forest has a higher variability in ND (19.0 ± 13.0 cm) and a lower variability in TH (12.1 ± 3.4 m), due to the great diversity of the species it includes, among which the most prominent are: *L. styraciflua*, *Cornus disciflora* Moc. & Sessé ex DC., *Cinnamomum effusum* (Meisn.) Kosterm., *Capparis* sp., *Ficus pertusa* L. f., *Podocarpus* sp., *Pinus pseudostrobus*, *Q. corrugata*, *Rheedia macrophylla* (Mart.) Planch. & Triana, *Sweetia panamensis* Benth. and *Ternstroemia pringlei* (Rose) Standl. Finally, the pine forest, characterized by the presence of *L. styraciflua*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *Q. corrugata* and *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl., has the highest dimensions for ND (24.1 ± 18.5 cm) and TH (14.80 ± 6.5 m).



Elección de sitios y muestreo de biomasa

En 2014 se realizaron recorridos en la zona con mayor frecuencia de incendios que tiene una extensión de 1 200 ha, en donde se ubicaron 15 sitios de muestreo de manera dirigida, con base en la variación de los factores topográficos, la distribución y tipo de vegetación; se buscaron contrastes en la densidad arbórea (denso, semidenso y fragmentado), áreas en las que existen 387, 347 y 261 árboles ha⁻¹, respectivamente, de acuerdo a la clasificación de Castañeda *et al.* (2015).

Las unidades de muestreo de 0.1 ha se distribuyeron equitativamente en tres tipos de bosque: mesófilo de montaña, de pino y de encino, a partir de la pendiente, la exposición, la altitud y la posición topográfica (Figura 1).

Site selection and biomass sampling

In 2014, several visits were made to the area with the highest frequency of fires, with a surface area of 1 200 ha, where 15 sampling sites were established under supervision based on the variation of the topographic factors and the distribution and vegetation type; contrasts in the tree density (dense, semi-dense and fragmented) were sought in areas with 387, 347 and 261 trees ha⁻¹, respectively, according to the classification by Castañeda *et al.* (2015).

The sampling units of 0.1 ha were evenly distributed in three types of forests: montane cloud, pine and oak forests, based on the slope, exposure, altitude and topographic position (Figure 1).

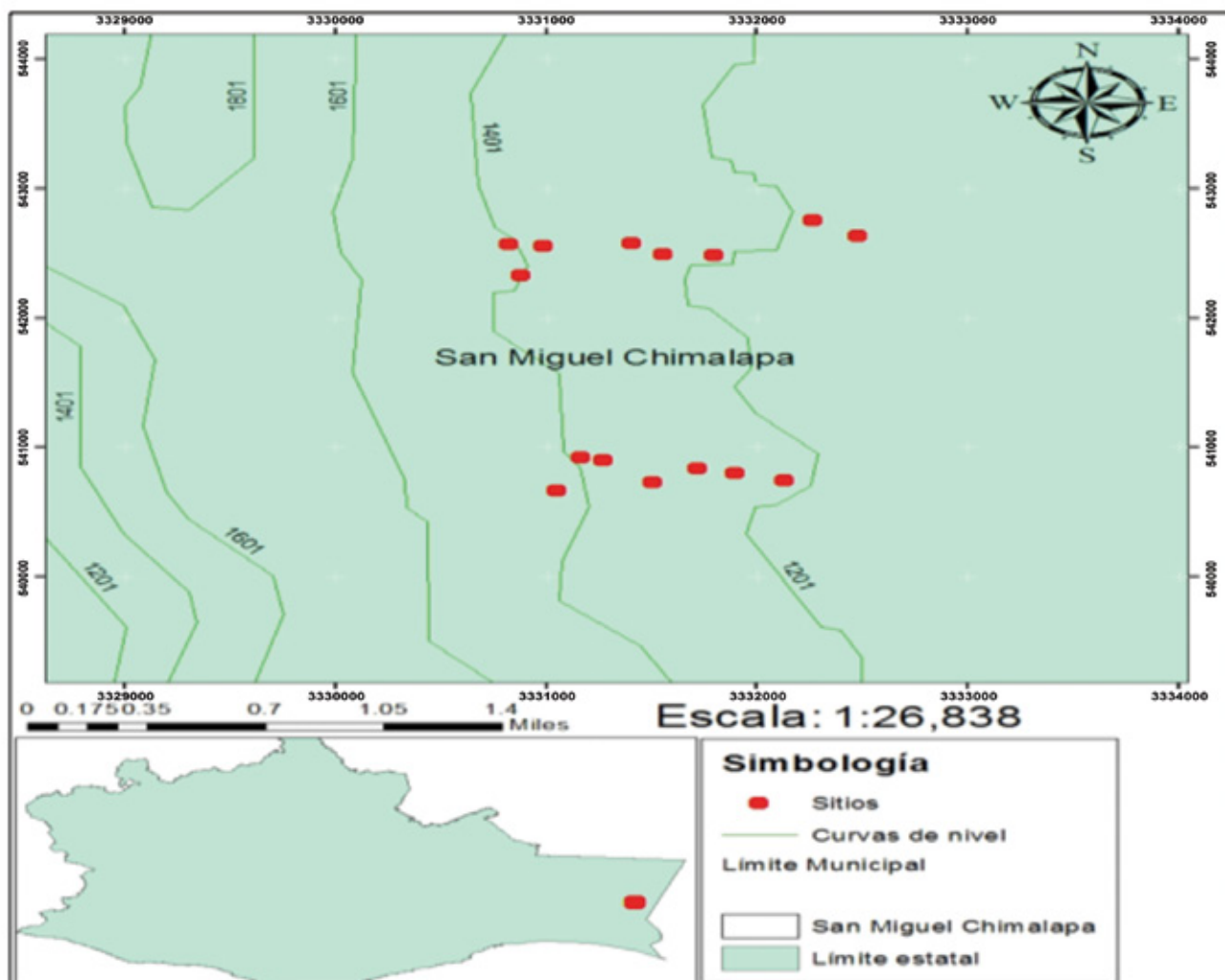


Figura 1. Delimitación del área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo.

Figure 1. Delimitation of the study area and location of the sampling sites.

Con el propósito de estimar la biomasa en el piso forestal se establecieron subsitios de 9 y 1 m² dentro de los sitios de 0.1 ha. En cada parcela de 0.1 ha se registró el número de sitio, la exposición, la pendiente (%), coordenadas geográficas y altitud (los dos últimos datos se obtuvieron con GPS marca *Garmin*, modelo *eTrex 20*). Se realizó el inventario de los árboles registrando los siguientes datos: especie, diámetro normal (cm) medido con forcípula y altura total (m) con clinómetro marca *Suunto PM5* modelo *66PC*. El diámetro de los arbustos (<2.5 cm) se consideró a la altura del suelo, con un vernier marca *Foy*, modelo *128 in*. También se corroboraron los datos topográficos de los sitios.

En el bosque mesófilo y en el de encino se escogió un árbol de cada especie presente en los 15 sitios de manera aleatoria para el análisis destructivo de biomasa, a partir de la categoría diamétrica media (20 cm); en el caso del pinar se derribaron árboles procedentes de la categoría diamétrica de 25 cm. A 1.30 m de altura se obtuvo una rodaja de aproximadamente 5 cm de espesor y una muestra de viruta con el taladro de *Pressler*; ambas se pesaron en campo para efectos del peso fresco (g) con una báscula marca *Ohaus*, modelo *CS500* con capacidad de 5 kg. Las muestras se identificaron y se llevaron al laboratorio del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO) para calcular su volumen fresco o verde (VV, cm³) por el método de desplazamiento en agua; ahí fueron secadas en estufa de convección modelo *Memmert Beschickung/Loading-Modell 100-800* a ± 102 °C, hasta lograr un peso constante y llegar al peso seco (PS, g) de las piezas de interés. El cociente PS/VV dio como resultado la gravedad específica (GE, g cm⁻³) por especie, que se utilizó para transformar a biomasa el volumen de los árboles, que se derivó de las tablas de volumen del inventario forestal del estado de Oaxaca (Conafor-Semarnat, 2013).

En las unidades de muestreo de 9 m² se cortó la parte aérea de los arbustos para cuantificar su peso verde total (g), posteriormente se seleccionó una muestra que se pesó en campo (PV, g). Las herbáceas, hojarasca y necromasa se muestrearon en el sitio de 1 m²; se determinó el peso total de cada componente en campo y el peso verde (g) de las muestras guardadas en bolsas de papel. Se anotaron los datos de las mismas para su identificación y se transportaron al laboratorio para su secado. Las muestras de arbustos, necromasa, hojarasca y herbácea se secaron en una estufa de convección (*Memmert Beschickung/Loading-Modell 100-800*) a ± 70 °C hasta llegar al peso constante, y se pesaron de nuevo para calcular el peso seco (g) de cada componente con la misma báscula utilizada en campo.

Para cuantificar la biomasa en los compartimentos arbusto, hojarasca, herbácea y necromasa fue necesario calcular el factor de conversión (FC) que resulta de la división del peso seco y el peso verde de las muestras. Con el producto del

In order to estimate the biomass on the forest floor, subsites of 9 and 1 m² were established within the 1.0 ha sites. The site number, exposure, slope (%), geographic coordinates and altitude were registered for each parcel of 0.1 ha (the last two data –coordinates and altitude– were obtained using a *Garmin eTrex 20* GPS). The trees were inventoried based on the following data: species, normal diameter (cm) measured using a caliper, and total height (m) measured with a *Suunto PM5/66PC* clinometer. The diameter of the bushes (<2.5 cm) was measured at soil level using a 1/128" *Foy* vernier. The topographic data of the sites were also verified.

In both the montane cloud and oak forests a tree of each of the species found in the 15 sites was chosen at random for destructive biomass analysis, based on the mean diameter (20 cm); in the case of the pine forest, trees with a diameter of 25 cm were felled. A slice with a thickness of approximately 5 cm and a sample of a shaving made with a *Pressler* drill were taken from a height of 1.30 m; both were weighed in field in order to obtain the fresh weight (g) using a *CS5000* *Ohaus* scale with capacity for 5 kg. The samples were identified and taken to the laboratory of *Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca* (Technological Institute of the Valley of *Oaxaca*, ITVO) in order to estimate their fresh or green volume (GV, cm³) by the displacement-in-water method; they were then dried in a *Memmert Beschickung* loading model 100-800 convection oven at a temperature of ± 102 °C, until the pieces of interest attained a constant weight and reached their dry weight (DW, g). The dry-weight/green volume ratio gave as a result the specific gravity (SG, g cm⁻³) per species, which was used to convert the tree volume, estimated based on the volume tables of the Forest Inventory of the State of *Oaxaca*, to biomass (Conafor-Semarnat, 2013).

In the 9 m² sampling units, the aerial part of the bushes was cut in order to quantify their total green weight (g); a sample was subsequently selected and weighed in field (GV, g). The weeds, dead leaves and necromass were sampled in the 1 m² site. The total weight of each component and the green weight (g) of the samples stored in paper bags were estimated in field. The data of these samples were recorded for identification purposes, and they were taken to the laboratory, where they were dried. The samples of bushes, necromass, dead leaves and herbs were dried in the same oven at ± 70 °C until they reached a constant weight, and then they were weighed again to calculate the dry weight (g) of each component using the scale that was utilized in field.

The conversion factor (CF) had to be estimated, in order to quantify the biomass in the compartments of bushes, dead leaves, weeds and necromass, by dividing the dry weight by the green weight of the samples. The biomass of each of these compartments was estimated by multiplying the fresh weight of the vegetal material in the site by the CF.

peso fresco del material vegetal en el sitio y el FC se estimó la biomasa de cada uno de los compartimentos.

Carga de combustible

Las cargas de combustibles calculadas están consolidadas en dos estratos: 1) combustibles vivos (herbáceas y arbustos) y 2) combustibles superficiales muertos (hojarasca y necromasa). Esta variable se calculó en los sitios por compartimento, mediante las ecuaciones propuestas por Morfín *et al.* (2012) (Cuadro 1).

Análisis estadístico

Se integró la base de datos de biomasa de la madera y de los compartimentos (hojarasca, necromasa, arbustos y herbáceas). Los datos de los compartimentos por tipo de vegetación se sometieron a un análisis de varianza y prueba de Duncan (P < 0.05) para la comparación de medias. Para la rutina de análisis se usó el paquete de cómputo SAS (SAS, 2005). Debido a la alta variabilidad en la biomasa y las cargas de combustible fue necesario usar la transformación Log(x) para cumplir la normalidad y homogeneidad de varianzas y detectar las diferencias estadísticas.

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas para determinar cargas de combustibles por compartimento en el piso forestal (Morfín *et al.*, 2012).

Compartimento	Ecuación
Arbusto	$C = \frac{10 \times PS}{N}$
Herbácea	$C = \frac{10 \times PS}{N}$
Hojarasca	$C = \frac{\sum (h/d)}{8}$
Necromasa	$C = \frac{(k)GE \sum DC(d)}{L}$

C = Carga o biomasa (t ha⁻¹); PS = Peso seco (kg); N = Tamaño de la parcela (m²); h = Profundidad de hojarasca (mm); d = Densidad aparente (t ha⁻¹); k = Constante (1.234); GE = Gravedad específica (kg m⁻³); DC = Diámetro cuadrático (cm); L = Longitud de transecto (m).

Resultados

Biomasa superficial y aérea

Los tipos de vegetación evaluados mostraron diferencias significativas (p < 0.009) en la biomasa del compartimento herbáceo, el cual fue significativamente (Duncan, 0.05)

Fuel load

The estimated fuel loads are consolidated in two strata: 1) living fuels (weeds and bushes) and 2) dead surface fuels (dead leaves and necromass). This variable was estimated in the sites by compartment, using the equations proposed by Morfín *et al.* (2012) (Table 1).

Statistical analysis

The database of the biomass of the wood and of the compartments (dead leaves, necromass, bushes and weeds) was formed. These data of the compartments by vegetation types were subjected to a variance analysis and to Duncan's mean comparison test (P < 0.05). The SAS software package (SAS, 2005) was used for the analysis routine. Due to the high variability found in the biomass and in the fuel loads, the Log(x) had to be used in order to fulfill the variance normality and homogeneity assumptions and to detect the statistical differences.

Table 1. Equations utilized to determine fuel loads by forest floor compartment (Morfín *et al.*, 2012).

Compartment	Equation
Bushes	$L = \frac{10 \times DW}{N}$
Weeds	$L = \frac{10 \times DW}{N}$
Dead leaves	$L = \frac{\sum (h/dl)}{8}$
Necromass	$C = \frac{(k)SG \sum QD(d)}{L}$

L = Load or biomass (t ha⁻¹); DW = Dry weight (kg); N = Plot size (m²); dl = Depth of dead leaves (mm); d = Apparent density (t ha⁻¹); k = Constant (1.234); SG = Specific gravity (kg m⁻³); QD = Quadratic diameter (cm); L = Transect length (m).

Results

Surface and aerial biomass

The assessed vegetation types showed significant differences (p < 0.009) in the biomass of the weeds, which was considerably higher (Duncan, 0.05) in the pine forest (2.11 ± 0.67 t ha⁻¹) than in the montane cloud forest (0.79 ± 0.41 t ha⁻¹). The highest wood biomass contents were found in the oak forest (135.5 t ha⁻¹), and the lowest (43.31 t ha⁻¹), in the pine forest. Due to the high variability of the wood, it was not possible to detect significant differences using Duncan's mean comparison test (Table 2).

superior en el bosque de pino ($2.11 \pm 0.67 \text{ t ha}^{-1}$), que en el bosque mesófilo de montaña ($0.79 \pm 0.41 \text{ t ha}^{-1}$). Los mayores contenidos de biomasa en madera se concentraron en el bosque de encino (135.5 t ha^{-1}), mientras que lo contrario ocurrió (43.31 t ha^{-1}) en el bosque de pino. En virtud de la alta variabilidad en la madera, no fue posible detectar diferencias significativas mediante la comparación de medias de Duncan (Cuadro 2).

En los tres tipos de vegetación evaluados no se verificaron diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p > 0.05$) en la biomasa acumulada en los compartimentos arbusto, hojarasca y necromasa. De ellos, la hojarasca del bosque de encino registró la cifra más alta (7.33 t ha^{-1}) (Cuadro 2).

On the other hand, no significant statistical differences (Duncan, $p > 0.05$) were found between the three vegetation types in the biomass accumulated in the bushes, dead leaves or necromass. Of these, the dead leaves of the oak forest had the highest proportion (7.33 t ha^{-1}) (Table 2).



Cuadro 2. Biomasa por compartimento superficial y aéreo en cada tipo de vegetación.

Biomasa (t ha^{-1})	Significancia	Tipo de vegetación		
		Mesófilo	Encino	Pino
Arbusto	0.29	$2.95 \pm 1.21 \text{ a}$	$4.36 \pm 1.23 \text{ a}$	$3.54 \pm 1.61 \text{ a}$
Hojarasca	0.14	$3.18 \pm 1.17 \text{ a}$	$7.33 \pm 6.20 \text{ a}$	$2.81 \pm 1.06 \text{ a}$
Herbácea	0.009	$0.79 \pm 0.41 \text{ b}$	$1.22 \pm 0.58 \text{ ab}$	$2.11 \pm 0.67 \text{ a}$
Necromasa	0.62	$1.85 \pm 0.88 \text{ a}$	$2.32 \pm 1.56 \text{ a}$	$2.71 \pm 1.56 \text{ a}$
Madera	0.07	$56.5 \pm 31.79 \text{ a}$	$135.5 \pm 101.5 \text{ a}$	$43.31 \pm 12.0 \text{ a}$

Letras distintas en la misma hilera indican diferencias estadísticas (Duncan, 0.05). La media es acompañada de \pm desviación estándar.

Table 2. Biomass by surface and aerial compartment in each vegetation type.

Biomass (t ha^{-1})	Significance	Vegetation type		
		Montane cloud	Oak	Pine
Bushes	0.29	$2.95 \pm 1.21 \text{ a}$	$4.36 \pm 1.23 \text{ a}$	$3.54 \pm 1.61 \text{ a}$
Dead leaves	0.14	$3.18 \pm 1.17 \text{ a}$	$7.33 \pm 6.20 \text{ a}$	$2.81 \pm 1.06 \text{ a}$
Weeds	0.009	$0.79 \pm 0.41 \text{ b}$	$1.22 \pm 0.58 \text{ ab}$	$2.11 \pm 0.67 \text{ a}$
Necromass	0.62	$1.85 \pm 0.88 \text{ a}$	$2.32 \pm 1.56 \text{ a}$	$2.71 \pm 1.56 \text{ a}$
Wood	0.07	$56.5 \pm 31.79 \text{ a}$	$135.5 \pm 101.5 \text{ a}$	$43.31 \pm 12.0 \text{ a}$

Different letters in the same row indicate statistical differences (Duncan, 0.05). The mean is accompanied by \pm standard deviation.

La acumulación total superficial de biomasa, sin contar la madera de árboles, en cada tipo de vegetación presentó diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.08$). En el bosque de encino y en el de pino los valores fueron de 15.248 y 11.192 t ha^{-1} , respectivamente, mientras que en el bosque de mesófilo de montaña el promedio total fue de 8.778 t ha^{-1} (Cuadro 2 y Figura 2).

Carga de combustible forestal por compartimento y total

Los tipos de vegetación evaluados tuvieron diferencias en la carga acumulada de combustible forestal en herbáceas

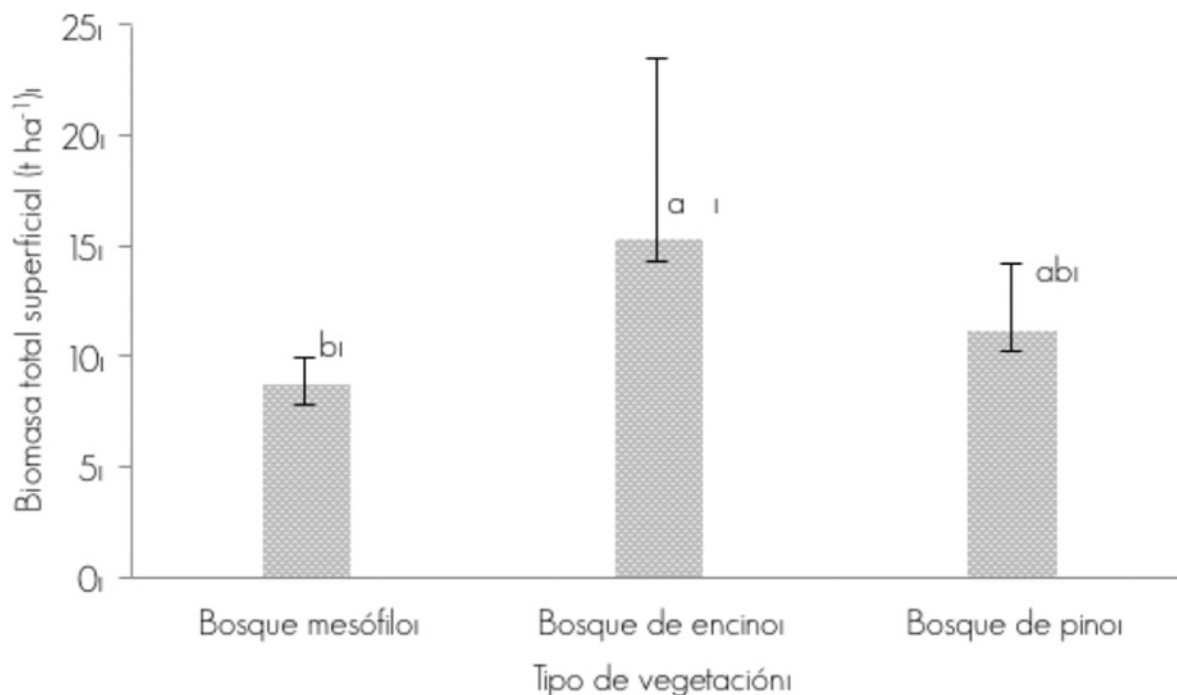
The total surface biomass accumulation, excluding the wood of the trees, presented a statistically significant difference ($p = 0.08$) in each vegetation type. In the oak and pine forests, the figures were 15.248 and 11.192 t ha^{-1} , respectively, while in the montane cloud forest the total mean value was 8.778 t ha^{-1} (Table 2 and Figure 2).

Forest fuel load, total and by compartment

The assessed vegetation types showed differences in the forest fuel load accumulated in the weeds (Duncan, $p = 0.009$), with higher values in the montane cloud forest. This compartment accumulated a larger amount of fuel in this vegetal association

(Duncan, $p = 0.009$), con valores superiores en el bosque mesófilo de montaña. Este compartimento acumuló más cantidad de combustible en dicha asociación vegetal, con respecto a los bosques de encino y de pino; para las herbáceas fue de 0.56 t ha^{-1} y para la necromasa, 0.66 t ha^{-1} . En contraparte, la hojarasca y el arbustivo ($p \geq 0.08$) no confirmaron diferencias significativas, con un promedio de combustible de 1.26 y 0.13 t ha^{-1} , respectivamente; la necromasa tuvo la mayor variabilidad (Cuadro 3).

than oak and pine forests; the value for the weeds was 0.56 t ha^{-1} , and 0.66 t ha^{-1} for the necromass. In contrast, the dead leaves and bushes compartments ($p \geq 0.08$) did not confirm significant differences, with a fuel average of 1.26 and 0.13 t ha^{-1} , respectively; the necromass registered the highest variability (Table 3).



Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).
The vertical lines on the bars represent de standard deviation. Different letters indicate significant statistical differences Duncan, 0.05).

Figura 2. Acumulación promedio de biomasa total superficial por tipo de vegetación.
Figure 2. Total average surface biomass accumulation by vegetation type.

Cuadro 3. Cargas de combustible superficial por compartimento y tipo de vegetación.

Biomasa (t ha ⁻¹)	Tipo de vegetación			C.V. (%)	Pr>F
	Bosque mesófilo de montaña	Bosque de encino	Bosque de pino		
Herbácea	0.56 ± 0.10 a	0.43 ± 0.17 ab	0.26 ± 0.06 b	29.4	0.009
Hojarasca	1.25 ± 0.34 a	1.08 ± 0.18 a	1.44 ± 0.37 a	24.9	0.22
Necromasa	0.66 ± 0.19 a	0.36 ± 0.30 ab	0.30 ± 0.22 b	55.8	0.08
Arbusto	0.14 ± 0.04 a	0.14 ± 0.03 a	0.10 ± 0.02 a	24.2	0.10

Letras distintas en la misma hilera indican diferencias estadísticas (Duncan, 0.05). La media es acompañada de \pm desviación estándar. Pr>F= Significancia.

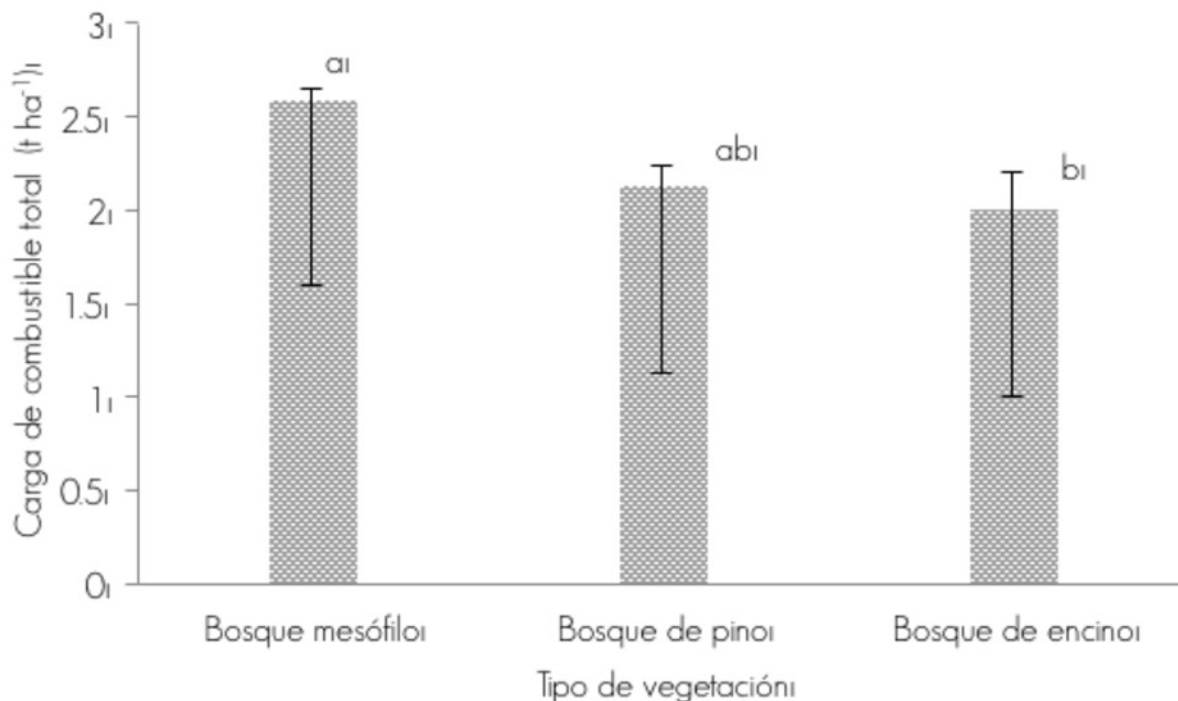
Table 3. Surface fuel loads by compartment and vegetation type.

Biomass (t ha ⁻¹)	Vegetation type			C.V. (%)	Pr>F
	Montane cloud forest	Oak forest	Pine forest		
Weeds	0.56 ± 0.10 a	0.43 ± 0.17 ab	0.26 ± 0.06 b	29.4	0.009
Dead leaves	1.25 ± 0.34 a	1.08 ± 0.18 a	1.44 ± 0.37 a	24.9	0.22
Necromass	0.66 ± 0.19 a	0.36 ± 0.30 ab	0.30 ± 0.22 b	55.8	0.08
Bushes	0.14 ± 0.04 a	0.14 ± 0.03 a	0.10 ± 0.02 a	24.2	0.10

Different letters in the same row indicate statistical differences (Duncan, 0.05). The mean is accompanied by ± standard deviation. Pr>F= Significance.

Al sumar la biomasa presente en los diversos compartimentos (herbácea, hojarasca, necromasa y arbustos) de cada tipo de vegetación, resultó una biomasa total de 2.61 t ha⁻¹, en el bosque mesófilo y de 2.01 t ha⁻¹, para el bosque de encino, cantidades significativamente diferentes (Duncan, 0.05) (Figura 3). Las características topográficas de los sitios y, principalmente, sus pendientes pronunciadas que varían de 28 a 60 %, influyen en la acumulación escasa de combustible que, probablemente, durante las temporadas de lluvias arrastran cuesta abajo la hojarasca y la necromasa, lo que evita que se acumulen cantidades excesivas de combustible en los sitios. La ladera del área de estudio está orientada hacia el noreste, este, norte, noroeste y suroeste, mientras que la altitud varía en un intervalo de 1 323 a 1 504 m.

When the biomass present in the various compartments (weeds, dead leaves, necromass and bushes) was added, the total biomass turned out to be 2.61 t ha⁻¹ in the montane cloud forest, and 2.01 t ha⁻¹ in the oak forest; these values are significantly different (Duncan, 0.05) (Figure 3). The topographic characteristics of the sites and, primarily, their steep slopes, ranging between 28 and 60 %, influence the scarce accumulation of fuel, which, probably during the rainy seasons, cause the dead leaves and the necromass to be dragged downhill, preventing excessive amounts of fuel to accumulate in the sites. The mountainside where the study area is located is oriented mainly toward the northeast, east, north, northwest and southwest, while the latitude ranges from 1 323 to 1 504 masl.



Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar.

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

The vertical lines on the bars represent the standard deviation.

Different letters indicate significant statistical differences (Duncan, 0.05).

Figura 3. Carga de combustible total por tipo de vegetación.

Figure 3. Total fuel load by vegetation type.

Discusión

En un bosque de pino y de encino de Pueblo Nuevo, Durango, Rentería *et al.* (2005) determinaron que las mayores concentraciones de combustibles se presentan en áreas con baja pendiente (>20 %); este factor varió de 28 a 60 % en el área del presente estudio, aunado a lo cual hay que considerar que en la zona ocurren precipitaciones de 1 900 mm anuales en promedio, para explicar que existen condiciones que promueven el arrastre de la hojarasca y la necromasa a sitios pendiente abajo y se evita con ello, la concentración excesiva de biomasa en el piso forestal de los sitios evaluados.

Aguilar *et al.* (2011) indican, en bosques, una biomasa seca acumulada en hojarasca de 1.70 a 20.10 t ha⁻¹. Los resultados obtenidos para dicho compartimento en la investigación que se documenta muestran una variación de 2.81 a 7.33 t ha⁻¹; el último valor corresponde al bosque de encino. Rodríguez *et al.* (2011) calcularon las cargas de combustibles en selva, con valores de 0.023 a 6.811 t ha⁻¹ en hojarasca; cifras similares a las referidos por Rocha y Ramírez (2009), con una carga de 6.58 ± 0.27 t ha⁻¹ para encinares en Chiapas, y en el caso de la región de los Chimalapas se obtuvieron valores dentro del intervalo citado por dichos autores.

De acuerdo con Arnaldos *et al.* (2004), las existencias de hojarasca dependen de las tasas de producción de cada tipo de comunidad vegetal; mientras que Villers *et al.* (2012) señalan que la acumulación de hojarasca está más relacionada con el porcentaje de árboles adultos en el sitio y menos con la orientación de la ladera o la composición de la vegetación. Por otra parte, Aguilar *et al.* (2011) determinaron la acumulación de necromasa en un intervalo de 0.15 a 22.64 t ha⁻¹. En el presente trabajo, los valores evidenciaron una variación de 1.85 a 2.71 t ha⁻¹, valores que están dentro del límite inferior de los obtenidos por Aguilar *et al.* (2011) para dicho compartimento.

La biomasa total superficial varió de 8.778 a 15.248 t ha⁻¹, este último correspondiente al bosque de encino. Con base en las normas internacionales de cargas de biomasa que menciona Porrero (2001), esos números son bajos y no suponen altos riesgos de incendios forestales. La carga de combustible superficial consignada por Bonilla *et al.* (2013) en un bosque de encino-pino para los compartimentos hojarasca, herbácea y arbusto, fue de 1.73±6.17, 0.36±0.57 y 0.26±0.60 t ha⁻¹, respectivamente; valores similares para los compartimentos evaluados en el presente estudio (Cuadro 2).

Castillo *et al.* (2003) indican que la mayor pérdida de biomasa se debe a los incendios forestales, a lo que habría de agregarse los efectos de su combustión, como la emisión de gases (dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido nítrico). Según Llovet (2006), el suelo también se impacta severamente por ese fenómeno, en respuesta al incremento

Discussion

In a pine-oak forest in Pueblo Nuevo, Durango, Rentería *et al.* (2005) determined that the highest concentrations of fuels are located in areas with a low slope (>20 %); this factor ranged between 28 and 60 % in the area of the present study; furthermore, the mean annual precipitations in this area, of 1 900 mm, must be taken into account in order to explain the presence of conditions that sweep away the dead leaves and necromass toward sites located downhill, whereby the excessive concentration of biomass on the forest floor of the studied sites is prevented.

Aguilar *et al.* (2011) determined the dry biomass accumulated as dead leaves in forests with a variation range of 1.70 to 20.10 t ha⁻¹. The results obtained for this compartment in the present study show a variation range of 2.81 to 7.33 ha⁻¹; the highest value corresponds to the oak forest. Rodríguez *et al.* (2011) estimated the fuel loads in the rain forest, in which the variation range for dead leaves was of 0.023 to 6.811 t ha⁻¹. These values are similar to those reported by Rocha and Ramírez (2009), with a load of 6.58 ± 0.27 t ha⁻¹ for oak forests in Chiapas; the present study yielded values within the expected interval based on the studies carried out by these authors.

According to Arnaldos *et al.* (2004), the supply of dead leaves depends on the production rate of each type of vegetal community, while Villers *et al.* (2012) mention that the accumulation of dead leaves is related rather to the percentage of adult trees in the site than to the orientation of the mountainside or the makeup of the vegetation. On the other hand, Aguilar *et al.* (2011) determined the accumulation of necromass at an interval of 0.15 a 22.64 t ha⁻¹. In the present study, the obtained values showed a variation range of 1.85 to 2.71 t ha⁻¹; these values are within the lower boundaries of the values obtained by the author for this compartment.

The total surface biomass ranged between 8.778 and 15.248 t ha⁻¹; the latter value corresponds to the oak forest. According to the international norms of biomass loads mentioned by Porrero (2001), these figures are low and do not entail high risks of forest fires. The surface fuel load estimated by Bonilla *et al.* (2013) in a pine-oak forest for the compartments of dead leaves, weeds and shrubs was 1.73±6.17, 0.36±0.57 and 0.26±0.60 t ha⁻¹, respectively. The values mentioned above by the author are similar for the compartments assessed in the present study (Table 2).

On the other hand, Castillo *et al.* (2003) point out that the largest loss of biomass is due to forest fires, and, we should add, to the effects of their combustion, such as the emission of gases (carbon dioxide, carbon monoxide, nitric oxide). According to Llovet (2006), the soil is also severely impacted by the phenomenon due to the increase in temperature and the

de la temperatura y la deposición de cenizas; asimismo, la vegetación y los horizontes orgánicos desaparecen parcial o totalmente, lo que modifica la incidencia de la lluvia sobre la superficie del suelo.

Rodríguez (2014) determinó las cargas de combustibles en San Miguel Chimalapa; sus resultados tienen similitud a los obtenidos en el presente estudio para el compartimento herbácea y arbusto, a excepción de la hojarasca que es superior en el bosque mesófilo y en el bosque de pino (cuadros 3 y 4).

Cuadro 4. Carga de combustible total ($t\ ha^{-1}$) determinada por Rodríguez (2014).

Tipo de vegetación	Hojarasca	Herbácea	Arbusto
Bosque mesófilo de montaña	4.67	0.234	0.693
Bosque de pino	11.24	0.64	0.936
Bosque de pino-encino	2.9	1.28	1.102

Rojas y Villers (2008) establecieron $2.09\ t\ ha^{-1}$ de biomasa total para el bosque de encino, valores que son similares a los calculados en el trabajo que se documenta (Figura 3). Las normas internacionales consideran de $20\ a\ 30\ t\ ha^{-1}$ de alto riesgo, de $15\ a\ 20\ t\ ha^{-1}$ de riesgo medio y menos de $15\ t\ ha^{-1}$ de riesgo bajo (Porrero, 2001). Por ello, el intervalo de $2.008\ a\ 2.59\ t\ ha^{-1}$ determinado en este estudio, el más alto de cuyas cifras se verifica en el bosque mesófilo de montaña, sugiere que el riesgo de incendios es bajo.

En el área de San Antonio Chimalapa, el clima es semicálido, subhúmedo (A)C(w₂)(w), con humedad relativa alta, temperatura media anual de $20\ ^\circ C$ y precipitación media anual varía de $576\text{-}3\ 300\ mm$, lo cual ayuda a que los riesgos de incendios sean bajos, pues según Muñoz *et al.* (2005) las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa y precipitación) son los factores más importantes que determinan el peligro y presencia de incendios forestales. Sin embargo, Torres *et al.* (2007) establecen que el estado de Oaxaca tiene un alto índice de riesgo de ocurrencia de incendios, lo que podría explicarse por las condiciones del medio físico y por la fuerte incidencia del factor humano.

Conclusiones

La biomasa total de los compartimentos herbáceo, arbustivo, hojarasca y necromasa en el bosque mesófilo de montaña, bosque de encino y bosque de pino son de 8.77 , 15.23 y $11.07\ t\ ha^{-1}$, respectivamente. En el primero se registran los indicadores de riesgo de incendios más altos ($2.61\ t\ ha^{-1}$), con respecto a la

deposición de cenizas; furthermore, the vegetation and the organic horizons disappear partially or totally, modifying the incidence of rain on the soil surface.

Rodríguez (2014) determined the fuel loads in San Miguel Chimalapa; his results are similar to those obtained in the present study for the weeds and bushes compartment, except for the dead leaves, which have a higher load in the montane cloud and pine forests (tables 3 and 4).

Table 4. Total fuel load ($t\ ha^{-1}$) determined by Rodríguez (2014).

Vegetation type	Dead leaves	Weeds	Bushes
Montane cloud forest	4.67	0.234	0.693
Pine forest	11.24	0.64	0.936
Pine-oak forest	2.9	1.28	1.102


Rojas and Villers (2008) estimated $2.09\ t\ ha^{-1}$ of total biomass for the oak forest; this value is similar to the one calculated in the present study (Figure 3). The international norms regard 20 to $30\ t\ ha^{-1}$ as high risk, 15 a $20\ t\ ha^{-1}$ as medium risk, and less than $15\ t\ ha^{-1}$ as low risk (Porrero, 2001). Thus, the interval of 2.008 a $2.59\ t\ ha^{-1}$ determined in this study -the highest found in the montane cloud forest- suggests that the risk of fire is low.

The climate in the study area is semiwarm, subhumid (A) C (w₂) (w), with relatively high humidity; the mean annual temperature is $20\ ^\circ C$, and the mean annual precipitation ranges between 576 and $3\ 300\ mm$, which helps reduce the risk of fire, as, according to Muñoz *et al.* (2005), the weather conditions (temperature, relative humidity and precipitation) are the main factors that determine the hazard and the occurrence of forest fires. However, Torres *et al.* (2007) establish that the state of Oaxaca has a high risk of fires, which may be explained by both the conditions of the physical environment and the strong incidence of the human factor.

Conclusions

The total biomass of the weeds, bushes, dead leaves and necromass compartments among the vegetation types of the montane cloud, oak and pine forests was 8.77 , 15.23 and $11.07\ t\ ha^{-1}$, respectively. The first had the highest risk indicators ($2.61\ t\ ha^{-1}$) in relation to the total fuel load on the forest floor. The risk of forest fires in the study area is low for all three vegetation types.



carga total de combustible sobre el piso forestal. El riesgo de incendios forestales en el área de estudio en los tres tipos de vegetación es bajo. 

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento en especial a las autoridades comunales de San Antonio, Chimalapa, Oaxaca y a la brigada de incendios forestales asignada a dicha comunidad, por las facilidades otorgadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Jorge Hernández García: muestreo en campo; Gerardo Rodríguez Ortiz: análisis estadístico de datos, revisión del manuscrito y aplicación de correcciones; José Raymundo Enríquez del Valle: análisis de laboratorio; Gisela Virginia Campos Ángeles: análisis de laboratorio; Adán Hernández López: identificación de especies vegetales.

Referencias

- Aguilar A., H., E. Ortiz M., B. Vélchez A. y R. L. Chazdon. 2011. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosque en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Mesoamericana Kurú* 9: 22-31. <http://dx.doi.org/10.18845/rfmk.v9i22.360> (2 de marzo de 2015).
- Anta F., S. y A. Plancarte B. 2001. Los incendios forestales en Chimalapas: La última oportunidad. *World Wildlife Fund. Programa México. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Oaxaca, Oax., México.* pp. 121-138.
- Asbjornsen, H. y C. Gallardo. 2004. Impactos de los incendios de 1998 en el bosque mesófilo de montaña de Los Chimalapas, Oaxaca. *In: Villers, L. y J. López (eds). Incendios forestales. Métodos de evaluación.* UNAM, México, D.F., México. pp. 125-145. https://books.google.com.mx/books?id=CiPQd6FSecC&pg=PA141&lpg=PA141&dq=Los+incendios+forestales+en+Chimalapas.+La+%C3%BAltim+a+oportunidad&source=bl&ots=CfkGyYlYDi&sig=79fS2znFOJESSIOI050pKpklVhw&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwJSxOya_bHMAhXB5KYKHdNuAjsQ6AEIGjAA#v=onepage&q=Los%20incendios%20forestales%20en%20Chimalapas%3A%20La%20%C3%BAltima%20oportunidad&f=false (1 de marzo de 2014).
- Arnaldos V., J., X. Navalón N., E. Pastor F., E. Planas C. y L. Zárate L. 2004. *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales.* Mundi Prensa, Madrid, España. 414 p. <http://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484761204/manual-de-ingenieria-basica-para-la-prevencion-y-extincion-de-incendios-forestales> (23 de agosto de 2015).
- Bonilla P., E., D. A. Rodríguez T., A. Borja de la R., C. Cíntora G. y J. Santillán P. 2013. Dinámica de combustibles en rodales de pino-encino de Chignahuapan, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (19): 20-33.
- 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712015000200003 (10 de febrero de 2016).
- Castillo, M., P. Pedernera y E. Peña. 2003. Incendios forestales y medios ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA* 19(3): 44-53. http://linfor.forestalchile.cl/wp-content/uploads/2014/03/ID-05-2003-Incendios-forestes-y-M.amb_.pdf (25 de agosto de 2015).

Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude especially to the communal authorities of San Antonio, Chimalapa, Oaxaca, and to the forest fire brigade assigned to this community, for the facilities granted.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

Contribution by author

Jorge Hernández García: field sampling; Gerardo Rodríguez Ortiz: statistical data analysis, revision and editing of the manuscript; José Raymundo Enríquez del Valle: laboratory analyses; Gisela Virginia Campos Ángeles: laboratory analyses; Adán Hernández López: identification of vegetal species.

End of the English version



- Chávez D., Á. A., J. Xelhuantzi C., E. A. Rubio C., J. Villanueva D., H. E. Flores L. y C. Mora O. 2016. Caracterización de cargas de combustibles para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13: 2589-2600. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472012> (6 de marzo de 2016).
- Comisión Nacional Forestal-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Conafor-Semarnat) 2013. *Inventario estatal forestal y de suelos-Oaxaca 2013-2014.* Conafor-Semarnat, México, D.F., México. 166 p.
- Contreras A., R. 2009. Estudio de inventario de combustible y generación de información base para el programa de manejo integrado de fuego en Los Chimalapas. *Región Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Oaxaca, Oax., México.* 47 p. http://www.conanp.gob.mx/rendicion_cuentas/pdf/ESTUDIOS%202009/RAFAEL%20CONTRERAS%20AGUADO%20Inventario%20de%20Combustibles%20y%20base%20programa%20MIF%20Chimalapas.pdf (28 de agosto de 2015).
- Grupo Mesófilo A. C. 2006. Diagnóstico para la elaboración de planes comunitarios de prevención de incendios forestales y manejo del fuego en Santa María y San Miguel Chimalapas, Oaxaca. *Oaxaca, Oax., México.* 49 p. <http://www.camafu.org.mx/index.php/prevencion-y-combate-de-incendios-forestales-/articulos/diagnostico-para-la-elaboracion-de-planes-comunitarios-de- preven.html> (26 de abril de 2015).
- Estrada C., I. y D. R. Ángeles C. 2007. Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. *Ecología y biodiversidad, claves de la prevención.* Pachuca, Hgo., México. 17 p. http://www.fire.unifreiburg.de/sevilla2007/contributions/doc/SESIONES_TEMATICAS/ST3/Estrada_Angeles_SPAIN_Zaragoza.pdf (4 de marzo de 2014).
- Llovet L., J. 2006. Degradación del suelo posterior al fuego en condiciones mediterráneas. Identificación de factores de riesgo. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 15(3): 199-202. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/503> (8 de marzo de 2014).
- Morfín 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.* 94 p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=459> (8 de marzo de 2014).

- Muñoz R., C. A., E. J. Treviño G., J. Verástegui C., J. Jiménez P. y O. A. 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. <http://dx.doi.org/10.14350/ig.30099> (8 de marzo de 2014).
- Porrero R., M. A. 2001. Incendios forestales. Investigación de causas. Tomo I. Mundi Prensa. Madrid, España. 158 p. <http://www.casadellibro.com/libro-incendios-forestales-+investigacion-de-las-causas/9788471149541/763679> (23 de agosto de 2015).
- Rentería A., J. B., E. J. Treviño G., J. de J. Nívar Ch., O. A. Aguirre C. e I. Cantú S. 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el Ejido Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1): 51-56. <http://biblat.unam.mx/pt/revista/revista-chapingo-serie-ciencias-forestales-y-del-ambiente/articulo/caracterizacion-de-combustibles-lenosos-en-el-ejido-pueblo-nuevo-durango> (15 de marzo de 2015).
- Rocha L., A. G. y N. Ramírez M. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* (84): 1-12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57712091001> (26 de septiembre de 2015).
- Rojas C., M. C. y A. Ríos V. 2012. Proyecto: Sistemas productivos sostenibles y biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 260 p. http://www.conabio.gob.mx/web/pdf/SPSB_InformeEvaluacionAmbiental.pdf (24 de febrero de 2016).
- Rojas G., F. y L. Villers R. 2008. Estimación de la biomasa forestal del parque nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. *Revista Ciencia Forestal en México* 33(104): 59-85.
- Rodríguez T., D. A., H. Tchikoué, C. Cintora G., R. Contreras A. y A. de la Rosa V. 2011. Modelaje del peligro de incendio forestal en las zonas afectadas por el huracán Dean. *Agrociencia* 45: 593-608.
- 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 (4 de marzo de 2014).
- Rodríguez C., E. A. 2014. Programa del manejo integrado del fuego de San Miguel Chimalapa. Comunidad de Aprendizaje y Manejo del Fuego (CAMAFU). Oaxaca, Oax., México. 80 p.
- Rubio C., E. A., M. A. González T., J. D. Benavides S., Á. 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.
- Statistical Analysis System (SAS). 2005. The SAS for Windows. V. 9.01. SAS Institute. Cary, NC, USA. 480 p.
- Torres R., J. M., O. S. Magaña T. y G. A. Ramírez F. 2007. Índice de peligro de incendios forestales a largo plazo. *Agrociencia* 41(6): 663-674. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30241608> (28 de febrero de 2014).
- 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S14050471201500020003 (8 de marzo de 2014).
- Villers, L., M. Castañeda y A. Endara. 2013. Alerta temprana a incendios forestales en México. In: 4^o Congreso Forestal Argentino Latinoamericano Iguazú. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=3234389&pid=S1405-047120150002000300070&lng=es (14 de marzo de 2014).
- Xelhuantzi C., J., J. G. Flores G. y A. 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.
- Zinck, D., R., M. Pascual and V. Grimm. 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).



