



Revista Mexicana de Ciencias Forestales

ISSN: 2007-1132

ciencia.forestal2@inifap.gob.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Xelhuantzi Carmona, Jaqueline; Flores Garnica, José Germán; Chávez Durán, Álvaro  
Agustín

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARGAS DE COMBUSTIBLES EN ECOSISTEMAS  
FORESTALES AFECTADOS POR INCENDIOS

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 2, núm. 3, enero-febrero, 2011, pp. 37-52

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438956004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARGAS DE COMBUSTIBLES EN ECOSISTEMAS FORESTALES AFECTADOS POR INCENDIOS

## COMPARATIVE ANALYSIS OF FIRE LOADS IN FOREST ECOSYSTEMS DISTURBED BY FIRE

Jaqueline Xelhuantzi Carmona <sup>1</sup>, José Germán Flores Garnica <sup>1</sup> y Álvaro Agustín Chávez Durán <sup>1</sup>

### RESUMEN

En la actualidad existe poca información sobre las cargas de combustibles forestales en diferentes condiciones y ecosistemas. De acuerdo con esto, el objetivo del presente trabajo es compararla en bosques templados y selvas. Para lo cual se utilizó la metodología de intersecciones planares. Una vez recabada la información en campo, se estimaron los combustibles en toneladas por hectárea de las diferentes categorías (tiempo de retardo). Se evaluaron 24 conglomerados en seis estados de la República Mexicana, de ellos, la mitad tenía la condición de quemado. Los sitios que se ubicaron en bosque templado (Coahuila, Puebla y Jalisco) cuentan con una vegetación dominante de pino-encino y una disponibilidad promedio de 17.90 ton ha<sup>-1</sup> de biomasa. Mientras que en las áreas con incidencia de fuego se observa una disminución considerable de combustible, de casi 10 ton ha<sup>-1</sup>. Para las áreas que se situaron en selva (Baja California Sur, Quintana Roo y Yucatán) ocurrió lo contrario, ya que los sitios donde no hubo incendio disminuyó la carga de material combustible, en comparación con los sitios quemados que mostraron un incremento superior al doble (9 ton ha<sup>-1</sup> a casi 23 ton ha<sup>-1</sup>). Para el caso de los combustibles de 1 hora, se obtuvo una correlación cercana a 1 al nivel de 0.05, lo cual indica que no hay significancia estadística entre la disponibilidad de combustibles. Se concluye que entre más grande es el intervalo de incendio, también la cantidad de combustible crece, y la afectación a los ecosistemas es mayor.

**Palabras clave:** Bosque templado, carga de combustible, combustibles forestales, incendios, necromasa, protección forestal.

### ABSTRACT

At present there is little information on the loads of forest fuels in different conditions and ecosystems. In accordance with this, the aim of the present work is to compare forest fuel loads in temperate forests and tropical forests. For which we used the methodology of planar intersections. Once the information was collected in the field, loads of the different fuel categories (timelag) were estimated in tons by hectare. Twenty-four clusters in six states of Mexico were assessed, half of which were disturbed (burned). Sites were located in temperate forests (Coahuila, Puebla and Jalisco) where the dominant vegetation is a pine-oak association, and an average availability of 17.90 ton ha<sup>-1</sup> of biomass. On the other hand, the burned areas showed a considerable decrease of fuel load, nearly 10 ton ha<sup>-1</sup>. In tropical forests areas (Baja California Sur, Quintana Roo and Yucatan), the opposite occurred, since in the places where there was not fire fuel, material availability decreased, compared with burned sites where fuel loads increased more than twice (from 9 ton ha<sup>-1</sup> to almost 23 ton ha<sup>-1</sup>). In the case of 1-hour fuels, a correlation close to 1 at the level of 0.05 was obtained, which indicates no statistical significance among the availability of fuels. It was concluded that the higher the range of fire, the greater the accumulation of fuels and the disturbance of these ecosystems.

**Key words:** Temperate or mild-weather forests, fuel loads, forest fuels, forest fires, necromass, forest protection.

Fecha de recepción: 10 de marzo de 2010

Fecha de aceptación: 8 de enero de 2011

---

<sup>1</sup> Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP. Correo-e: xelhuantzi.jaqueline@inifap.gob.mx

## INTRODUCCIÓN

En México, cada año ocurren numerosos incendios forestales en sus diferentes ecosistemas. En algunos casos, estos provocan pérdidas de recursos naturales de gran valor ecológico y económico. Por ejemplo, durante el 2009 se registró un incremento de ellos y de la superficie afectada con más de 54,230 hectáreas dañadas y 4,867 incendios (CONAFOR, 2009). Lo anterior se atribuyó a las altas temperaturas ambientales y a la acumulación de material vegetativo. Aunque la presencia del fuego produce cambios en los ecosistemas, estos se manifiestan tanto en impactos negativos como positivos, lo que depende, básicamente, de su comportamiento, el cual es modificado, entre otros factores, por el tiempo atmosférico, la topografía del lugar y la vegetación, que define la cantidad y la calidad de biomasa viva o muerta (DeBano y Conrad, 1978).

Los combustibles son el único elemento que el hombre puede manipular, por lo que es necesario conocer su carga, así como su calidad y distribución (Mota, 2005). La falta de información sobre la cantidad de biomasa forestal, ocasiona que se tomen malas decisiones para la ejecución de estrategias de manejo de incendios forestales. Al respecto, las actividades preventivas juegan un papel preponderante en la protección de los recursos, por lo que debe registrarse la acumulación de material vegetativo en el piso del bosque, con el propósito de determinar la intensidad potencial del incendio y establecer áreas prioritarias de atención (Sánchez y Zerecero, 1983). Así mismo, los datos sobre disponibilidad y distribución de los combustibles permiten apoyar propuestas referentes a su control y combate, además de ser esenciales para la implementación de modelos que simulen el comportamiento del fuego, con base en los cuales se formulen planes y se haga la asignación adecuada de los recursos financieros para tales propósitos (Nájera y Graciano, 2006).

Los estudios sobre la disponibilidad de material forestal inflamable se hacen para elementos vivos y muertos. Para los primeros existen métodos prácticos como aquellos que estiman la biomasa, con base en la relación del peso y las dimensiones del individuo. En el segundo, para el material muerto, los más precisos son las evaluaciones *in situ*, mediante inventarios específicos, las cuales la técnica de intersecciones planares es la más utilizada para cuantificar los combustibles leñosos (Brown, 1974).

La diversidad de condiciones ambientales que se presentan en México define una gama de ecosistemas forestales, cada uno de los cuales producen diferentes cantidades y calidades de combustibles, lo cual repercute en el comportamiento potencial del fuego.

## INTRODUCTION

A good number of forest fires in Mexico occur every year and they affect many different ecosystems. In some cases, they favor the loss of natural resources of great ecological and economic value. For example, during 2009 they increased as well as the affected surface, by more than 54,230 ha and 4,867 forest fires (CONAFOR, 2009). This situation was attributed to the high environmental temperatures and the accumulation of plant material. Even though the presence of fire induces changes in the ecosystems, they show both, either negative or positive impacts, which depend, basically, on their behavior, which is modified, among other factors, by the atmospheric time, the local topography and vegetation, which define the amount and quality of the live or dead biomass (DeBano and Conrad, 1978).

Fuels are the only element that man can handle, which stresses the need to know the load, as well as its quality and composition (Mota, 2005). The lack of information about the amount of forest biomass provokes bad decisions about strategies of forest fire management. In this context, prevention activities play a major role in resource protection, which explains why plant material on the forest floor must be recorded, in order to determine the potential intensity of fire and the attention priority areas (Sánchez and Zerecero, 1983). Also, data of availability and distribution of fuels make it possible to support proposals referring to their control and fighting and are essential to apply models that simulate the behavior of fire, upon which more accurate plans can be designed and a correct financial resources allocation for those endings as well (Nájera and Graciano, 2006).

Studies about the availability of flammable forest material are made for live and dead elements. For the first ones there are practical methods that estimate biomass, based upon the relation between weight and the dimensions of the organism. In the second, for dead material, the most accurate are the assessments *in situ*, through specific inventories, from which the planar intersections is the most currently used for woody fuel quantification (Brown, 1974).

The diversity of environmental conditions present in Mexico define a great range of forest ecosystems, each of which produce different amounts and qualities of fuels, which affects the potential behavior of fire.

### Fuel classification

There are several criteria for their classification, for example, according to weight, in light and heavy (Brown et al., 1982). The light ones are made-up by dead twigs, litter, herbs (dry

## Clasificación de combustibles

Existen varios criterios para clasificarlos, por ejemplo de acuerdo a su peso, en ligeros y pesados (Brown *et al.*, 1982). Los ligeros están compuestos por ramillas muertas, hojarasca, hierbas (secas o verdes) y humus; también se les denomina combustibles finos, ya que se acumulan por la caída natural de los diferentes estratos vegetales; los pesados se agrupan en función de su tiempo de retardo (Cuadro 1). Es decir, el tiempo que tarda en perder o ganar dos tercios de la diferencia entre su contenido de humedad y la humedad del ambiente (Rodríguez y Sierra *et al.*, 1995; Muñoz, 2001), e incluyen a ramas, tallos y troncos muertos o derivados de los derribos por factores naturales ó residuos provenientes de cortas de árboles (Flores y Benavides, 1994).

or green) and humus; they are also known as fine fuels, since they accumulate by the natural fall of the different vegetal strata; the heavy ones are grouped according to their retardation time (Table 1). That is, the time that it takes to loose or gain two thirds of the difference between its moisture content and the environmental moisture (Rodríguez and Sierra *et al.*, 1995; Muñoz, 2001) and they include branches, stems and dead trunks or coming from felling caused by natural factors or residues from tree cuttings (Flores and Benavides, 1994).

The amounts and proportions of both types vary according to the ecosystem. In Argentina, from an assessment of the properties of vegetal fuels, as indicators of critical areas of forest fires, a total of 24.61 ton ha<sup>-1</sup> were counted, from which, the category with the greatest accumulation belong to very fine fuels (27%), followed by the coarse ones (22%), while the fine material gathers 20% (Barrionuevo and López, 2008).

Cuadro 1. Clasificación de combustibles forestales de acuerdo con su tamaño.

Table 1. Forest fuels classification according to their size.

Clase	Diámetro	Tipo de Combustible
1	Menor a 0.06 cm	Hojas, ramillas finas delgadas
2	De 0.61 a 2.5 cm	Ramillas medianas
3	De 2.51 a 7.5 cm	Ramas
4	Mayor a 7.51 cm	Ramas gruesas, troncos gruesos

Fuente: Modificado de Rodríguez *et al.* (2002).

Source: Modified from Rodríguez *et al.* (2002).

Las cantidades y proporciones de ambos tipos varían según el ecosistema de que se trate. En Argentina, en una evaluación de las propiedades de los combustibles vegetales, como indicadores de áreas críticas de incendios forestales, se cita un total de 24.61 ton ha<sup>-1</sup>; de ellas la categoría con mayor acumulación corresponde a combustibles muy finos (27%), seguida de los gruesos (22%), en tanto que el material fino participa con 20% (Barrionuevo y López, 2008).

En México se han realizado pocas investigaciones sobre el particular. Estrada y Ángeles (2007) realizaron una clasificación a partir del tipo de vegetación (especies de bosque templado) en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo; sus resultados indican que el bosque de *Abies* presenta una disponibilidad de 65.858 ton ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, el mayor espesor de material no leñoso se determinó en el bosque de *Pinus* sp. con 13.80 cm, lo cual significó un total de 74.80 ton ha<sup>-1</sup>. Además, se obtuvo menos cantidad de leñoso fino (0.6 cm) en aquellas áreas con asociación vegetal de *Quercus* - *Pinus*, con tan sólo 0.363 ton ha<sup>-1</sup>. Por

A few research studies have been made in this particular topic. Estrada and Ángeles (2007) made a classification starting from the type of vegetation (mild-weather forest species) in El Chico National Park at Hidalgo State; their results show that *Abies* forest included 65.858 ton ha<sup>-1</sup>. However, the greatest thickness of non-wood material was found in the *Pinus* sp. forest with 13.80 cm, which meant a total amount of 74.80 ton ha<sup>-1</sup>. Also, a few fine woody material (0.6 cm) was identified in those areas with a *Quercus-Pinus* association, only with 0.363 ton ha<sup>-1</sup>. Flores and Benavides (1994) stated for a mild-weather forest where *Pinus* sp. is dominant, 41.3 ton ha<sup>-1</sup> of fine fuels, 1.0 ton ha<sup>-1</sup> of light ones and 13.75 ton ha<sup>-1</sup> for coarse material. Bautista *et al.* (2005) in Pueblo Nuevo ejido in Durango State, determined a 24 Mg ha<sup>-1</sup> load in areas disturbed by cuttings; also, the higher values were estimated in places with slight slope.

Thus, the aim of this work was to compare the availability of biomass in burned and not burned areas present in two types of forest ecosystems. The following null hypotheses were posed: H<sub>0</sub>1: The non-affected forest ecosystems have a

su parte, Flores y Benavides (1994) para un bosque de clima templado con predominancia de *Pinus* consignan  $41.3 \text{ ton ha}^{-1}$  de combustibles finos,  $1.0 \text{ ton ha}^{-1}$  de livianos y  $13.75 \text{ ton ha}^{-1}$  en el caso de los gruesos. Bautista *et al.* (2005), registran en el ejido Pueblo Nuevo, Durango una carga de  $24 \text{ Mg ha}^{-1}$  en áreas con disturbio por cortas; así mismo, los valores superiores se estimaron en sitios con poca pendiente.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue comparar la disponibilidad de biomasa en las áreas quemadas y no quemadas existentes en dos tipos de ecosistemas forestales. Para su consecución se plantearon las siguientes hipótesis nulas:  $H_0$  1 Los ecosistemas forestales no impactados tienen mayor disponibilidad de material inflamable en comparación a los ecosistemas quemados;  $H_0$  2 No se espera una cantidad menor de combustibles en la selva que la presente en el bosque templado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

Se seleccionaron seis estados a lo largo del país, en los que se identificaron los bosques templados, selvas medianas y selvas altas. En cada tipo de vegetación se ubicaron áreas con incendios en los últimos tres años y otras donde, al menos para un periodo similar, hay ausencia de ellos. Además se consideró que fueran

greater availability of flammable material compared to burned ecosystems;  $H_0$  2: A smaller fuel amount is not expected at the rainforest than at a temperate forest.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

Six states of the country were selected, in which mild-weather or temperate forests, medium rainforests and evergreen forests were found. In each vegetation type were located areas with fires in the last three years and others where, at least for a similar period, they were absent. It was also considered that they had easy access paths, that they were found inside a natural protected area or priority region and had the support of the diverse partners involved in their management: the National Natural Protected Areas Commission (CONANP) ejido Sheriffs, community leaders and small-landowners that lived in or near the forest. Figure 1 shows the states in whose limits were established the sampling zones, with 24 clumps of  $1000 \text{ m}^2$  each (12 burned and 12 not burned).

### Establishment of a sampling site

Once the sampling areas were selected, its specific geographic location was recorded; the center of the clump was determined by a GPS. Later, three lots of  $38.5 \text{ m}^2$  were defined within the clump (Figure 2). In each site



Figura 1. Estados donde se ubicaron los sitios de muestreo para la cuantificación de combustibles forestales.  
Figure 1. States where the sampling sites for the quantification of forest fuels were located.

de fácil acceso, se localizaran dentro de un área natural protegida o región prioritaria y contarán con el apoyo de los diferentes actores involucrados en su manejo: la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comisariados ejidales, líderes de las distintas comunidades y pequeños propietarios que viven cerca o dentro del bosque. En la Figura 1 se muestran los estados en cuyos límites se establecieron las zonas de muestreo, en total 24 conglomerados con una superficie de 1,000 m<sup>2</sup> cada uno, (12 quemados y 12 no quemados).

### Instalación del sitio de muestreo

Una vez elegidas las áreas de muestreo se registró su ubicación geográfica específica; para ello se georrefirió el centro del conglomerado con ayuda de un geoposicionador (GPS). Posteriormente, se delimitaron tres sitios de 38.5 m<sup>2</sup> cada uno, ubicados dentro del conglomerado (Figura 2). En cada sitio se trazaron tres transectos, cuya

or lot were marked three transect lines, whose reference was the center of the site. The first one was established 7 m towards the North, in which three ropes of 15 m each were put. The first line was turned to the North, the second at 120°C and the third at 240°C (Figure 2) to give a total sampling of 45 m per site. At the end of the transect lines a 30 x 30 cm square was placed, in which the light fuels were assessed (litter layers and fermentation). Before the clumps were drawn the slope was calculated and it was compensated according to the gradient per cent and length.

### Field data collection

Biomass was measured according to the methodology of planar intersection proposed by Brown (1974) that consists in counting the fuels intercepted by a transect or line, and are classified by their retardation time.

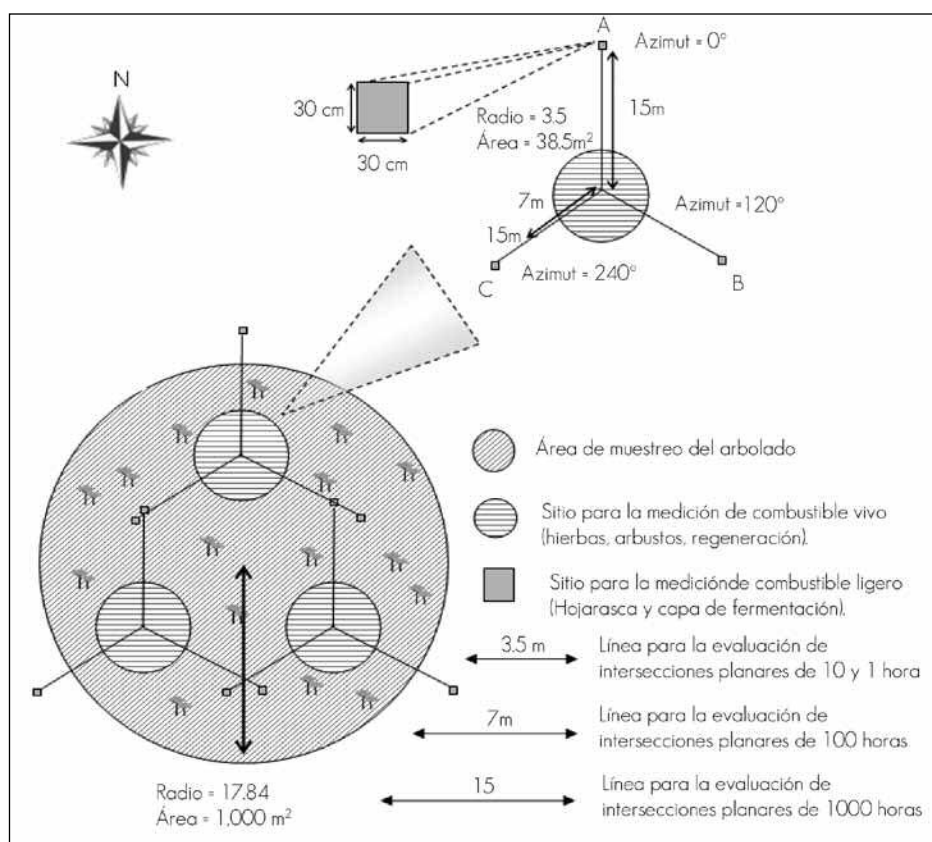


Figura 2. Diseño de muestreo de los conglomerados donde se agrupan tres sitios permanentes de investigación sobre incendios forestales.

Figure 2. Sampling design of the clumps where the three permanent sites for the research of forest fires are grouped.

referencia fue el centro del sitio. El primero se instaló 7 m hacia el norte franco, en el cual se colocaron tres cuerdas de 15 m cada una. La primera línea se orientó al norte franco, la segunda a 120° y la tercera a 240° (Figura 2) para un total de 45 m de muestreo por sitio. Al final de los transectos se colocó un cuadro de 30 x 30 cm, en el que se evaluaron los combustibles ligeros (capa de hojarasca y fermentación). Antes de trazar los conglomerados se estimó la pendiente y se le compensó dependiendo del porcentaje de desnivel y longitud.

### Toma de datos en campo

La biomasa se midió de acuerdo a la metodología de intersecciones planares propuesta por Brown (1974), que consiste en contar los combustibles interceptados por un transecto o línea, y se clasifican por su tiempo de retardo.

Para facilitar la toma de datos se utilizó un calibrador de elaboración propia (Figura 3), el cual permite que la contabilización sea efectiva y rápida, ya que tiene las medidas de cada clase de combustible: 0 - 0.5 cm de diámetro (de 1 hora) y combustibles entre 0.6 y 2.5 cm de diámetro (10 horas), presentes en la línea de 3.5 m. En la línea de 7 m se contaron aquellos con un diámetro superior a 2.51 cm y menor a 7.5 cm (100 horas).

Finalmente, en el transecto de 0 a 15 m se obtuvieron los diámetros de los combustibles que se intersectaron (Figura 4), con un diámetro superior a 7.5 cm (1,000 horas), y se clasificaron en podridos o firmes (Rodríguez, 2002; Flores y Omi, 2003). En todos los sitios se usó la misma técnica. En el cuadro de 30 x 30 cm se cuantificaron los combustibles ligeros, hojarasca y capa de fermentación (Figura 5).

### Procesamiento de combustibles

Las muestras recolectadas en el cuadro de 30 x 30 cm se llevaron al laboratorio de incendios forestales del INIFAP, con el propósito de limpiarlas y separar las capas de hojarasca y fermentación. A continuación se guardaron en bolsas, debidamente etiquetadas, y se pesaron. Cada bolsa se perforó antes de colocarse dentro de una estufa de secado (de elaboración propia), con el objeto de que circulara el calor en su interior y se perdiera humedad. El equipo permaneció encendido de una a dos horas antes, para que al momento de que se introdujeran las muestras, la cámara estuviera a una temperatura aproximada de 60 a 80°C; durante el proceso de secado, el material se pesó a las 12, 24, 48 y 72 horas ó hasta que alcanzara un peso constante.

A caliper of personal making was used to take data on the field (Figure 3), which makes counting an effective and fast process, since it has the measurements for each fuel class: 0 - 0.5 cm of diameter (1 hour long) and fuels between 0.6 and 2.5 cm of diameter (10 hours) at the 3.5 m line. In the 7 m line were counted those with a larger diameter than 2.51 cm and less than 7.5 cm (100 hours).

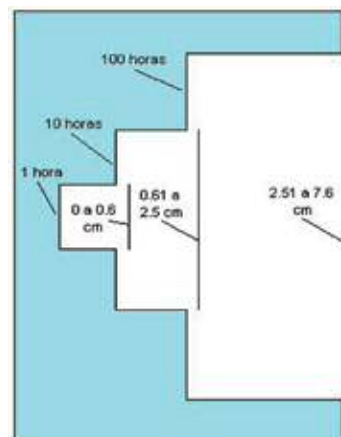


Figura 3. Calibrador para el conteo de combustibles de acuerdo al tiempo de retardo.

Figure 3. Caliper used for fuel counting according to the retardation time.

Finally, in the 0 to 15 m transect line were obtained the diameters of the fuels that intersected (Figure 4) with a diameter above 7.5 cm (1000 hours) and were classified into rotten or sturdy (Rodríguez, 2002; Flores and Omi, 2003). The same method was used in all the sites. In the 30 x 30 cm square were quantified the light fuels, litter and fermentation layer (Figure 5).

### Load processing

The samples collected at the 30 x 30 cm squares were taken to the forest fire laboratory of INIFAP, in order to clean them up and put apart the litter and the fermentation layers. Afterwards, they were kept in bags properly labeled, and they were weighed. Each bag was perforated before it was placed into a drying kernel (originally manufactured), so that the heat would circulate inside and they would lose moisture. The equipment was turned-on one or two hours before, so that, when the samples were put inside, the chamber would be at 60 to 80°C; during the drying process, the materials were weighed after 12, 24, 48 and 72 hours or until they reached a constant weight.

### Statistical analysis

The experiment followed a randomized completely block design, starting from the selection criterion (type of vegetation) and it was intended to be the most homogeneous possibly.



## Análisis estadístico

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar, a partir del criterio de selección (tipo de vegetación), y se buscó que fuera lo más homogéneo posible. De esta forma se cumplió con el propósito de tener comparaciones precisas

In this way the idea of making a precise comparison between the study areas was accomplished (Cochran and Cox, 1980). With the field information was built a data base for the 72 sampling sites (with three transect lines each). Fuel loads were calculated by means of Brown's formulae (1974), which estimate fuel loads in tons per hectare of the



Figura 4. Uso del calibrador para la medición de los combustibles de acuerdo a su tiempo de retardo.  
Figure 4. Caliper use for the measurement of fuels according to their retardation time.



Figura 5. Cuadro de 30 x 30 cm para la toma de muestras de combustibles finos.  
Figure 5. 30 x 30 cm square to take fine fuel samples.

entre las áreas bajo estudio (Cochran y Cox, 1980). Con la información de campo se construyó una base de datos para 72 sitios de muestreo (con tres transectos cada uno). Las cargas de combustible se calcularon mediante las fórmulas propuestas por Brown (1974), que estiman la carga de combustibles en toneladas por hectárea de las diferentes categorías y de acuerdo a su tiempo de retardo. Se obtuvieron los estadísticos para cada clase de combustible: la media,

different categories and according to their retardation time. Statistics for each fuel class were obtained: mean, mode, standard deviation ( $\bar{x}$ ,  $\tilde{O}$ ,  $\mu$ ,  $S_d$ ). An analysis of variance (ANOVA) was made, based on which a variance of mean difference test (Tukey) was made (Sokal and Rohlf, 1995) to find out the statistically similar ecosystems with fuel loads.



moda, desviación estándar ( $x$ ,  $\bar{O}$ ,  $\mu$ ,  $S_d$ ). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con base en el cual se hizo una prueba de diferencia en la varianza de las medias (Tukey) (Sokal y Rohlf, 1995) para identificar los ecosistemas con cargas de combustibles estadísticamente similares.

## RESULTADOS

### Combustibles forestales totales

Los sitios correspondientes al bosque templado (Coahuila, Puebla y Jalisco) tuvieron una vegetación dominante de pino-encino, con una disponibilidad de 17.90 ton ha<sup>-1</sup>, en promedio de biomasa totales (Cuadro 2), mientras que las áreas quemadas mostraron una disminución considerable de la carga de combustible de casi 10 ton ha<sup>-1</sup>.

Los materiales ligeros se redujeron 50%, ya que de una disponibilidad de casi 15 ton ha<sup>-1</sup>, existente antes del siniestro, pasó a 8 ton ha<sup>-1</sup>, y aumentaron los combustibles de 10, 100 y 1,000 horas. Las áreas que se evaluaron en selva (Baja California Sur, Quintana Roo y Yucatán) duplicaron sus valores, de una carga de 9 ton ha<sup>-1</sup> a casi 23 ton ha<sup>-1</sup>, debido a la presencia de combustibles de más 1,000 horas firmes, producto del incendio.

### Combustibles forestales de bosque templado

En las áreas no impactadas y con vegetación de bosque templado, los materiales inflamables con mayor disponibilidad fueron los ligeros desde 1.9 hasta casi 30 ton ha<sup>-1</sup>, entre hojarasca y capa de fermentación, aunque la presencia de los combustibles de 1, 10, 100 y 1,000 h de combustión fue mínima ó escasa, ya que no superó la tonelada por hectárea. En el caso de Sierra de Quila en Jalisco (SQ-C1) se observaron conos y flores de los pinos, lo cual indica que pudo haber sido año semillero, pues se estimó una disponibilidad de 5.79 ton ha<sup>-1</sup>.

Los conglomerados con afectaciones por incendios tuvieron una reducción del material ligero (capa de fermentación y hojarasca); por ejemplo, en Jalisco se calculó una disponibilidad de 2.5 a 7 ton ha<sup>-1</sup> de hojarasca y una carga de 7 a 21.6 ton ha<sup>-1</sup> de capa de fermentación, mientras que en sitios sin conflagraciones hubo más de 9 ton ha<sup>-1</sup> de hojarasca y aproximadamente 30 ton ha<sup>-1</sup>, de capa de fermentación. Es importante señalar que la disponibilidad combustible después de un incendio dependerá directamente de la intensidad, tiempo y tipo del evento (Cuadro 2).

### Combustibles forestales en selva mediana y alta

Las áreas de selva no quemadas registraron una disponibilidad de 2.5 a 6 ton ha<sup>-1</sup> en la capa de fermentación y en la de

## RESULTS

### Total forest fuels

The mild-weather forest sites (Coahuila, Puebla and Jalisco) had a dominant pine-oak forest, with a total biomass availability average of 17.90 ton ha<sup>-1</sup> (Table 2), while the burned areas showed an important fuel load decrease of almost 10 ton ha<sup>-1</sup>.

Light materials had a 50 per cent reduction, since from an availability near to 15 ton ha<sup>-1</sup> present before the fire, it became to 8 ton ha<sup>-1</sup> and increased the fuels to 10, 100 y 1,000 hours. The areas that were assessed in the tropical forest (Baja California Sur, Quintana Roo and Yucatán) doubled their numbers, from almost 9 ton ha<sup>-1</sup> to near 23 ton ha<sup>-1</sup>, due to the existence of fuels of more than 1000 hours, as a result of fire.

### Mild-weather forest fuels

In the non-affected areas with mild-weather forest, the flammable materials with greater availability were the light ones, from 1.9 to 30 ton ha<sup>-1</sup>, between litter and the fermentation layer, even though the presence of fuels of 1, 10, 100 and 1,000 of combustion hours was scarce or minimal as it did not exceed a ton per hectare. In Sierra de Quila, Jalisco State (SQ-C1), cones and flowers on pines were found, which means that it could have been a seed year, since an availability of 5.79 ton ha<sup>-1</sup> was estimated.

The clumps affected by fires had a light material decrease (litter and fermentation layer); for example, in Jalisco State was calculated a litter availability of 2.5 to 7 ton ha<sup>-1</sup> and a load of 7 to 21.6 ton ha<sup>-1</sup> of fermentation layer. It is important to point out that the fuel availability after the fire directly depends of the intensity, time and type of event (Table 2).

### Forest fuels in medium and evergreen tropical forest

The unburned tropical forest areas recorded an availability of 2.5 a 6 ton ha<sup>-1</sup> in the fermentation layer and of 1.5 to near 4 ton ha<sup>-1</sup> of litter (Table 3). For the sites located in Quintana Roo, a fuel availability of 10 h was determined; this was related to the location of clumps, which was near the affected zone by the eye of hurricane Dean, with 300 km hr<sup>-1</sup> winds and that favored the fall of biomass. However, fuels from 1,100 to 1,000 hours showed a low availability, lower than a ton, but, in turn, fuels like acorns, bark, etc, increased it above 1.5 ton ha<sup>-1</sup>.

There was a higher fine fuel load for the areas affected by forest fires, with values between 10.4 and 7 ton ha<sup>-1</sup> of litter. The sampled sites in Quintana Roo were outstanding due to fuel availability; so, for the 1000 firm hours, 16 ton ha<sup>-1</sup> were

Cuadro 2. Cargas de combustibles ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) presentes en bosque templado afectado y no afectado por incendios de acuerdo a las ecuaciones de Brown (1974).Table 2. Fuel loads ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) at mild-weather forests affected and non-affected by fires according to Brown (1974).

Clave conglomerado	Afectación	1 hora	10 horas	100 horas	1,000 h firmes	1,000 h podridos	Hojarasca	Fermentación	Otros
C - C1	No Quemado	0.09	0.68	0.05	0.00	0.00	1.94	5.37	1.64
C - C2	No Quemado	0.04	0.36	0.02	0.00	0.00	4.32	7.35	2.43
IZTA -C1	No Quemado	0.03	0.26	0.05	0.00	0.01	7.51	11.37	3.75
IZTA -C2	No Quemado	0.01	0.33	0.28	0.00	0.01	6.48	6.53	1.06
SQ - C1	No Quemado	0.01	0.2	0.11	0.00	0.02	9.05	26.22	5.79
SQ - C2	No Quemado	0.02	0.16	0.16	0.00	0.00	7.86	29.96	0.51
C - C3	Quemado	0.03	0.16	0.49	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
C - C4	Quemado	0.02	0.16	0.00	0.48	0.00	0.85	0.00	0.00
IZTA C3	Quemado	0.02	1.07	0.16	0.00	0.00	4.57	8.59	0.00
IZTA C4	Quemado	0.11	0.98	0.32	0.00	0.00	5.41	7.83	0.00
SQ C3	Quemado	0.05	0.65	0.00	0.30	0.00	7.14	7.71	0.00
SQ C4	Quemado	0.00	0.32	0.18	4.55	0.00	5.98	21.63	0.00
SQ C5	Quemado	0.17	1.04	0.00	0.00	0.00	2.54	0.00	0.57
SQ C6	Quemado	0.18	1.08	0.33	0.61	0.00	5.38	16.11	0.27

C= Coahuila, IZTA= Iztacihuatl, SQ= Sierra de Quila; C1= Conglomerado 1, C2= Conglomerado 2, C3= Conglomerado 3, C4= Conglomerado 4, C5= Conglomerado 5, C6= Conglomerado 6.

C= Coahuila, IZTA= Iztacihuatl, SQ= Sierra de Quila; C1= Clump 1, C2= Clump 2, C3= Clump 3, C4= Clump 4, C5= Clump 5, C6= Clump 6.

hojarasca de 1.5 a casi 4  $\text{ton ha}^{-1}$ , (Cuadro 3). Para los sitios ubicados en Quintana Roo se determinó una disponibilidad de combustibles de 10 h; esto se relacionó con la localización de los conglomerados, la cual estuvo cerca de la zona afectada por el ojo del huracán Dean, que alcanzó vientos de  $300 \text{ km hr}^{-1}$  y provocó la caída de biomasa. No obstante, los combustibles de 1, 100 y 1,000 horas presentaron una baja disponibilidad, menor a una tonelada, en cambio los combustibles como bellotas, corteza, etc., la incrementaron arriba de  $1.5 \text{ ton ha}^{-1}$ . Para el caso de las áreas con incendios forestales hubo una carga superior de combustibles finos, con valores de entre 10.4 y 7  $\text{ton ha}^{-1}$ , de hojarasca. Los sitios muestreados en Quintana Roo sobresalieron por la disponibilidad de combustibles; así, para los de 1,000 h firmes se contabilizaron 16  $\text{ton ha}^{-1}$ , seguidos por los de 100 y 10 horas con 6 y 3  $\text{ton}$ , respectivamente. En Yucatán, el registro de combustibles de 1,000 h en estado de degradación (podridos)

counted, followed by the 100 and 10 hours with 6 and 3  $\text{ton ha}^{-1}$ , accordingly. In Yucatan, the registration of fuels of 1000 h in a degradation state (rotten) was over 1  $\text{ton ha}^{-1}$ . The category with less availability was of 1 hour.

In regard to the statistical analysis, it was observed that the assessed clumps in mild-weather forests without affection, had a standard deviation of 13.40 and a mean of  $23.63 \text{ ton ha}^{-1}$ , and those burned, a deviation of 11.10 and a mean value of  $13.57 \text{ ton ha}^{-1}$ , which means, in the first case, that data are far from the mean, while in the affected areas, data are homogeneous. Figure 6 shows the distribution of the fuel loads of the burned areas and not burned in the mild-weather forests.

Cuadro 3. Cargas de combustibles (ton ha<sup>-1</sup>) presentes en selvas afectadas y no afectadas por incendios de acuerdo a las ecuaciones de Brown (1974).

Table 3. Fuel loads (ton ha<sup>-1</sup>) at tropical forests affected and non-affected by fires according to Brown (1974).

Clave conglomerado	Afectación	1 hora	10 horas	100 horas	1,000 h firmes	1,000 h podridos	Hojarasca	Fermentación	Otros
BCS - C1	No Quemado	0.01	0.05	0.27	0.00	0.12	3.52	3.35	1.65
BCS - C2	No Quemado	0.01	0.11	0.57	0.00	0.08	2.30	2.47	0.00
QR - C1	No Quemado	0.08	1.09	1.02	0.03	0.00	3.13	3.01	0.00
QR - C2	No Quemado	0.08	0.91	0.72	0.01	0.09	2.29	5.69	0.31
YUC -C1	No Quemado	0.05	0.78	0.3	0.22	0.03	1.56	3.05	0.44
YUC -C2	No Quemado	0.05	0.41	0.12	0.06	0.05	2.14	4.56	0.06
QR C3	Quemado	0.21	2.26	4.72	15.83	0.16	7.11	0.00	0.00
QR C4	Quemado	0.20	2.45	5.82	10.69	0.54	10.43	0.32	0.00
YUC C3	Quemado	0.26	2.97	1.89	3.94	1.10	2.27	2.86	0.00
YUC C4	Quemado	0.20	2.41	4.09	3.81	0.00	5.32	0.00	0.00

BCS= Baja California Sur, YUC= Yucatán, QR= Quintana Roo; C1= Conglomerado 1, C2= Conglomerado 2, C3= Conglomerado 3, C4= Conglomerado 4

BCS= Baja California Sur, YUC= Yucatán, QR= Quintana Roo; C1= Clump 1, C2= Clump 2, C3= Clump 3, C4= Clump 4.

superó 1 ton ha<sup>-1</sup>. La categoría con menor disponibilidad fue la de 1 hora.

Respecto al análisis estadístico, se observó que los conglomerados evaluadas en bosque templado sin afectación, presentaron una desviación estándar de 13.40 y una media de 23.63 ton ha<sup>-1</sup>, y los quemados una desviación de 11.10 y una media de 13.57 ton ha<sup>-1</sup>, lo que indica en el primer caso, que los datos están alejados de la media, mientras que en las áreas impactadas, los datos son homogéneos. En la Figura 6 se consigna la distribución de las cargas de combustibles de áreas quemadas y no quemadas en el bosque templado.

Para los sitios correspondientes a selvas sin fuego, la media se estimó en 7.81 ton ha<sup>-1</sup>, con una desviación de 1.68, lo cual implica que la dispersión de los datos es menor, en comparación con la que se obtuvo para los de bosque templado. En los conglomerados de las áreas quemadas se calculó una media de 22.97 ton ha<sup>-1</sup> y una desviación de 8.55, lo que evidencia una dispersión de los datos más grande, al confrontarla con las zonas no quemadas. En

For the sites of tropical forests without fire, the mean was estimated as 7.81 ton ha<sup>-1</sup>, with a 1.68 deviation, which implies that dispersion of data is miner, compared with what was obtained for mild-weather forests. In the clumps of burned areas was calculated a mean value of 22.97 ton ha<sup>-1</sup> and a deviation of 8.55, which confirms a broader dispersion of data, when confronted with the unburned zones. In the wild-weather forests it is less disperse. Figure 7 shows the mean values of the fuels in the areas with and without forest fires.

In Figure 8 can be observed that the clumps located in burned and unburned tropical forests have a homogeneous distribution; however, for the records of mild-weather forests, there is a data disparity since they are far from the mean of both cases. The former can be due to the timing in which the fire occurred, since there hare sites where sampling was made five years after it happened.

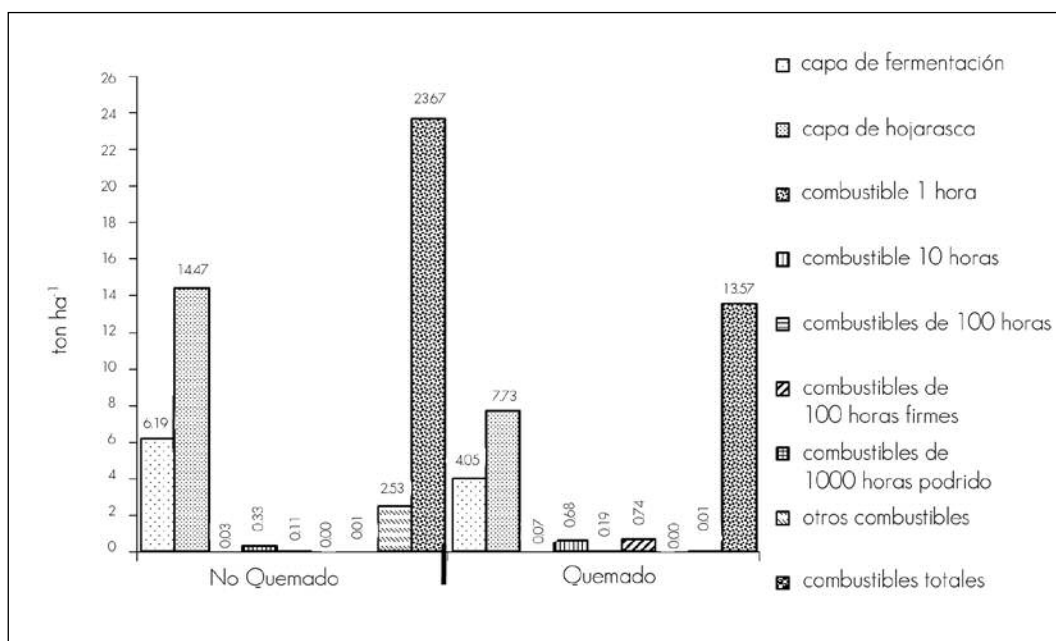


Figura 6. Medias de los combustibles presentes en el bosque templado ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

Figure 6. Mean values of the fuels present in the mild-weather forest ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

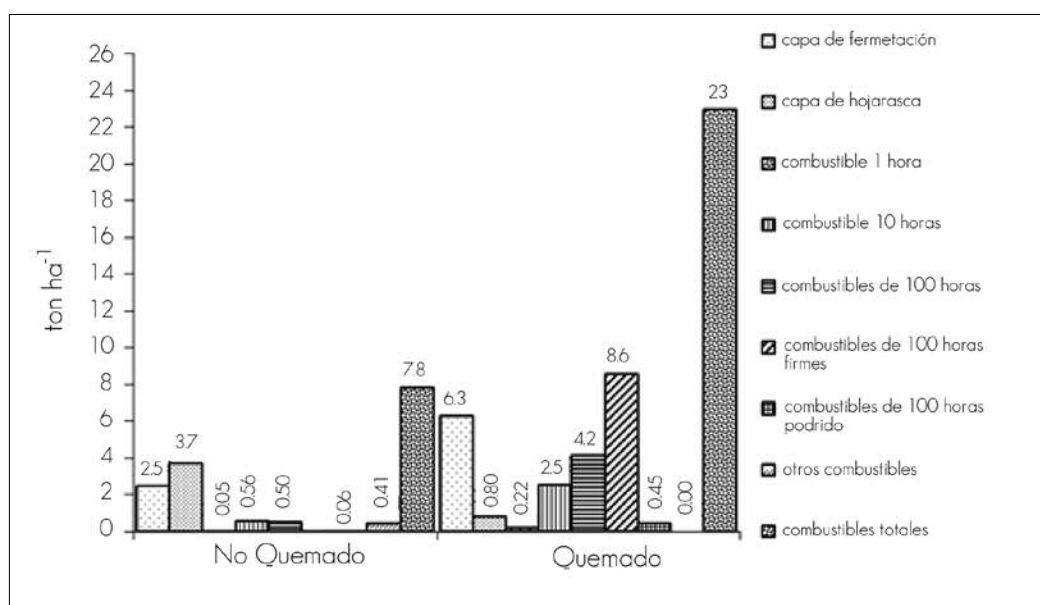


Figura 7. Medias de los combustibles presentes en selva ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

Figure 7. Average values of fuels in tropical forests ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

los bosques templados es menos dispersa. La Figura 7 muestra las medias de los combustibles presentes en las áreas con y sin incidencia de los incendios forestales.

En la Figura 8 se observa que los conglomerados ubicados en selvas quemadas y no quemadas tienen una distribución homogénea; sin embargo para los registros del bosque templado, hay una disparidad de los datos ya que están

Through the Pearson test, it was concluded that there is a low correlation in biomass availability according to retardation time. In table 4 a unilateral significance of 0,01 and 0,05 can be observed, that points out a very low correlation level, almost non-existent. In the case of 1 hour fuels it is almost 1 (0,05). From these results, it is evident that the increment of any category does not depend of the other fuel groups, which makes any correlation impossible.

alejados de la media en ambos casos. Lo anterior puede deberse a la temporalidad en la que ocurrió el incendio, ya que hay sitios donde el muestreo se realizó cinco años después del mismo.

Se determinó que existe una correlación baja en la disponibilidad de biomasa de acuerdo al tiempo de retardo, mediante la prueba de Pearson. En el Cuadro 4 se muestra una significancia unilateral hasta 0,01 y 0,05, que indica un nivel de correlación muy bajo, casi nulo. Para el caso de los combustibles de 1 hora es de casi 1 (0,05), e implica que es significativa y unilateral con los de 10 horas. Los combustibles totales y la capa de fermentación alcanzan una correlación de casi 1. A partir de estos resultados, se pone de manifiesto que el incremento de cualquiera de las categorías no depende directamente de los otros grupos de combustibles, por lo que no existe correlación alguna.

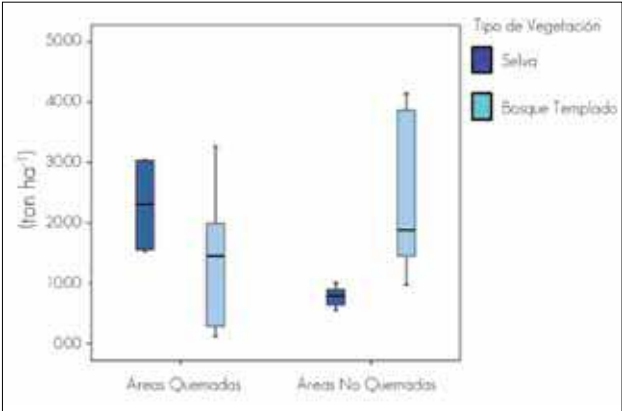


Figura 8. Distribución de combustibles totales de áreas quemadas y no quemadas de selvas y bosque templado.

Figure 8. Total fuel distribution in burned and unburned areas of tropical and mild-weather forests.

Cuadro 4. Correlaciones de Pearson respecto a los combustibles forestales de acuerdo a su tiempo de retardo.  
Table 4. Pearson correlation in regard to forest fuels according to their retardation time.

		Capa de fermentación	Capa de hojarasca	Combustibles 10 h	Combustibles 1 h	Combustibles de 100 h	Combustibles 1,000 h firmes	1,000 h podrido	Combustibles totales	Otros (conos, ramas)
Capa de fermentación	Correlación de Pearson	1	0.509(**)	0.177	0.093	0.392(*)	0.419(*)	0.029	0.866(**)	0.347(*)
	Sig. (unilateral)		0.006	0.205	0.334	0.029	0.021	0.446	0.000	0.048
Capa de hojarasca	Correlación de Pearson	0.509(**)	1	-0.382(*)	-0.376(*)	-0.374(*)	-0.225	-0.228	0.743(**)	0.449(*)
	Sig. (unilateral)	0.006		0.033	0.035	0.036	0.146	0.142	0.000	0.014
Combustible 10h	Correlación de Pearson	0.177	-0.382(*)	1	.916(**)	0.801(**)	0.670(**)	0.679(**)	0.153	-0.361(*)
	Sig. (unilateral)	0.205	0.033		0.000	0.000	0.000	0.000	0.237	0.042
Combustible 1h	Correlación de Pearson	0.093	-0.376(*)	0.916(**)	1	0.690(**)	0.586(**)	0.597(**)	0.091	-0.324
	Sig. (unilateral)	0.334	0.035	0.000		0.000	0.001	0.001	0.336	0.061
Combustibles de 100 h	Correlación de Pearson	0.392(*)	-0.374(*)	0.801(**)	0.690(**)	1	0.865(**)	0.461(*)	0.295	-0.274
	Sig. (unilateral)	0.029	0.036	0.000	0.000		0.000	0.012	0.081	0.098
Combustibles de 1,000h firmes	Correlación de Pearson	0.419(*)	-0.225	0.670(**)	0.586(**)	0.865(**)	1	0.410(*)	0.430(*)	-0.243
	Sig. (unilateral)	0.021	0.146	0.000	0.001	0.000		0.023	0.018	0.127
Combustible de 1,000h podrido	Correlación de Pearson	0.029	-0.228	0.679(**)	0.597(**)	0.461(*)	0.410(*)	1	0.100	-0.165
	Sig. (unilateral)	0.446	0.142	0.000	0.001	0.012	0.023		0.321	0.220
Combustible total	Correlación de Pearson	0.866(**)	0.743(**)	0.153	0.091	0.295	0.430(*)	0.100	1	0.382(*)
	Sig. (unilateral)	0.000	0.000	0.237	0.336	0.081	0.018	0.321		0.033
Otros (conos, ramas)	Correlación de Pearson	0.347(*)	0.449(*)	-0.361(*)	-0.324	-0.274	-0.243	-0.165	0.382(*)	1
	Sig. (unilateral)	0.048	0.014	0.042	0.061	0.098	0.127	0.220	0.033	

. \*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral); \*La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

\* Correlation is significant at 0,01 level (one-side); \*Correlation is significant at 0,05 level (one-side).

## DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados, en el caso de los combustibles existentes en el bosque templado sin presencia de incendios se registraron combustibles de 1,000 horas podridos en tres conglomerados de Puebla y Jalisco (Conglomerado 1 en Iztaccíhuatl [IZTA-C1], Conglomerado 2 en Iztaccíhuatl [IZTA-C2] y Conglomerado 1 en Sierra de Quila [SQ-C1]), aunque sus valores son muy bajos 0.01 y 0.02  $\text{ton ha}^{-1}$ , respectivamente. Lo anterior responde a que en esas áreas no han habido conflagraciones, por lo menos en más de cinco años; además en todos los conglomerados localizados en ese tipo de vegetación hay carga de otros materiales como flores, conos, semillas, etc.; sobre el particular, la Sierra de Quila es donde existe mayor carga (5.79  $\text{ton ha}^{-1}$ ), porque probablemente fue un año semillero. Sin embargo, en las zonas quemadas evaluadas en dicha localidad (conglomerados 3, 4 y 6) se cuantificaron combustibles de 1,000 horas firmes, por lo que se deduce, ocurrió un incendio de alta intensidad en los años previos; también se identificaron combustibles finos (hojarasca y capa de fermentación).

Es importante destacar que en los conglomerados 4 y 6 de la Sierra de Quila, sobresale la disponibilidad de combustibles forestales con 21.63  $\text{ton ha}^{-1}$ , en el primero de ellos. En el conglomerado 5, tan sólo se observaron combustibles de 1 y 10 horas y capa de hojarasca. La carga total de combustibles en los bosques templados sin disturbio por el fuego es de 23.67  $\text{ton ha}^{-1}$ , y con respecto a las áreas quemadas muestra una reducción de casi 50% (13.57  $\text{ton ha}^{-1}$ ) (Cuadro 3). Martínez y Hernanz (1991) y Alvarado (1988) citan una carga semejante a la que se consigna en el presente estudio para los sitios sometidos a incendios forestales.

Los resultados sugieren aceptar la primera hipótesis planteada; para el caso del bosque templado, las áreas no quemadas tienen una disponibilidad de 23.67  $\text{ton ha}^{-1}$ , mientras que las quemadas presentaron una carga de 13.57  $\text{ton ha}^{-1}$ . En selva, la primera hipótesis establece que se espera una mayor disponibilidad de combustibles forestales en los sitios no quemados. Las estimaciones estipulan lo contrario, ya que en estos sitios se obtuvieron los valores más grandes (22.97  $\text{ton ha}^{-1}$  en promedio), a diferencia de los no quemados cuyos registros fueron de 7.81  $\text{ton ha}^{-1}$ . Cabe señalar que los intervalos de los datos son muy amplios, como resultado de que los incendios fueron de diversas intensidades, y en algunos casos, también su frecuencia, a lo que habría de agregarse que la densidad del arbolado no es homogénea.

Para el caso de la segunda hipótesis, se rechaza, pues plantea que no habrá menor disponibilidad de combustible en

## DISCUSSION

According to the former results, in the case of the fuels present at mild-weather forest without fires fuels of rotten fuels were recorded of 1000 hours in three clumps of Puebla and Jalisco States (Clump 1 in Iztaccíhuatl [IZTA-C1], Clump 2 in Iztaccíhuatl [IZTA-C2] and Clump 1 in Sierra de Quila [SQ-C1]), even if their values are very low, 0.01 y 0.02  $\text{ton ha}^{-1}$ , respectively. This might be a reaction to the absence of fires in those areas, at least in more than five years; also, in all the clumps located in this type of vegetation there is a load of other materials such as flowers, cones, seeds, etc.; in this sense, Sierra de Quila is where a larger load exists (5.79  $\text{ton ha}^{-1}$ ) maybe, because it was a seed year. However, in the burned zones that were assessed in that location (clumps 3, 4 and 6) were quantified fuels of 1000 firm hours, from which it is inferred a fire of great intensity in the previous years; fine fuels were identified too (litter and fermentation layer).

It is important to underline that in clumps 4 and 6 of Sierra de Quila, the availability of forest fuels is outstanding with 21.63  $\text{ton ha}^{-1}$  in the first of them. In clump 5 only fuels of 1 and 10 hours and litter layer were observed. The total fuel load in mild-weather forests without disturbance by fire is 23.67  $\text{ton ha}^{-1}$  and, in regard to the burned areas, shows a reduction of almost 50 per cent (13.57  $\text{ton ha}^{-1}$ ) (Table 3). Martínez and Hernanz (1991) and Alvarado (1988) state a load similar to what was found in the actual study for places subject to forest fires.

These results suggest that the first hypothesis be accepted; for the mild-weather forest, the unburned sites have an availability of 23.67  $\text{ton ha}^{-1}$ , while those burned showed a 13.57  $\text{ton ha}^{-1}$  load. In tropical forests, the first hypothesis states that a greater forest fuel availability is expected in unburned places. Estimations point out the opposite, since in those sites were obtained the greater values (22.97  $\text{ton ha}^{-1}$  average), which contrast with the unburned lots whose records were 7.81  $\text{ton ha}^{-1}$ . It is important to point out that the data range are very wide, as a result of the variation in the intensity of fires, and in some cases, it also affects their frequency, in addition to the fact that the tree density is not homogeneous.

The second hypothesis is rejected as it states that there will not be less fuel availability in the sampled areas of tropical forest, compared with that of the mild-weather forest. Results show the opposite, since tropical forests have a load of 13.87  $\text{ton ha}^{-1}$ , while the mild-weather forests areas have an availability of 18  $\text{ton ha}^{-1}$ . Juárez (2005) confirms the obtained results in this study, as he demonstrates that after seven months of the fire in a mild-weather forest, the herb stratum increases the aerial biomass by three compared to the present one in an unburned neighbor site.

las áreas muestreadas de selva, en comparación con la de bosque templado. Los resultados muestran lo contrario, puesto que las selvas tienen una carga de  $13.87 \text{ ton ha}^{-1}$ , mientras que las áreas de bosque templado presentan una disponibilidad  $18 \text{ ton ha}^{-1}$ . Juárez; corrobora los resultados obtenidos en este trabajo, ya que demuestra que después de siete meses de haber ocurrido el incendio en el bosque templado, el estrato herbáceo incrementa su biomasa aérea tres veces más, que la existente en un sitio adyacente no quemado.

Villers (1998) y Muñoz *et al.* (2005) registraron en promedio una disponibilidad de  $0.04$  a  $0.70 \text{ ton ha}^{-1}$ , para combustibles de 1 hora en bosques templados, específicamente con *Abies sp.*, *Pinus montezumae* Lamb. y *P. patula* Schltdl. et Cham. En el estudio que aquí se documenta se obtuvo una disponibilidad promedio de  $0.01$  a  $0.09 \text{ ton ha}^{-1}$ , en bosques con una asociación dominante de pino- encino. En el caso de los combustibles de 10 h, la cantidad estimada fue de  $0.91$  a  $1.09 \text{ ton ha}^{-1}$ , en tanto que Villers (1998) registró  $0.68 \text{ ton ha}^{-1}$ .

En cuanto a la carga de combustibles de 100 h se determinaron  $0.3 \text{ ton ha}^{-1}$ . Villers (1998) calculó valores de  $0.04$  a  $0.37 \text{ ton ha}^{-1}$  y un mantillo de  $0.15$  a  $0.27 \text{ ton ha}^{-1}$ , mientras que en el presente trabajo fue de  $1.94 \text{ ton ha}^{-1}$ , probablemente como resultado de que en las áreas muestreadas no se realiza ningún manejo. Los valores de hojarasca disponibles en bosque templado ( $15 \text{ ton ha}^{-1}$ ) son superiores a los consignados en la literatura (Zapata, 1990; Nájera y Graciano, 2006).

Para el caso de las selvas existen investigaciones realizadas en el extranjero, que determinan una carga de entre  $5$  y  $7 \text{ ton ha}^{-1}$ , aunque es conveniente señalar que en ellas se utilizan métodos diferentes en cuanto: al tamaño y la frecuencia del muestreo, separación del material y tratamiento; por lo que es difícil confrontar los resultados (Connrforth, 1970; Golley, 1979; Jordan, 1971; Hopkins, 1999). Álvarez (1991) trabajó en una selva húmeda tropical de los Tuxtlas en Veracruz y obtuvo una disponibilidad de combustible de  $7.26 \text{ ton ha}^{-1}$ , en el presente trabajo se estimaron  $13.87 \text{ ton ha}^{-1}$ ; no obstante ambos estudios no son comparables debido a que el autor hizo su colecta en trampas con diámetro de  $51 \text{ cm}$ , pero sí permite tener una idea de la disponibilidad de combustibles en este tipo de ecosistemas.

La disponibilidad del material combustible puede alterarse, según la época del año, el estrato forestal en que se encuentra y la vegetación que lo origina (Rego *et al.*, 1987; Brandeis y Woodall, 2008). Cuanto mayor sea la acumulación de combustibles en una zona, más grande la cantidad de calor que podrá desprenderse y el incendio será más intenso. Villers (2006) y Wong y Villers (2007), mencionan que los distintos tipos de vegetación cuentan con distintas cargas y tipos de combustibles; por ejemplo, la cubierta vegetal en zonas

Villers (1998) and Muñoz *et al.* (2005) registered an average availability of  $0.04$  to  $0.70 \text{ ton ha}^{-1}$  for 1 hour fuels in mild-weather forests, specifically with *Abies sp.*, *Pinus montezumae* Lamb. and *P. patula* Schltdl. et Cham. In the present study, an average availability was of  $0.01$  to  $0.09 \text{ ton ha}^{-1}$  in a pine-oak dominant association. In the case of the 10 h fuels, the estimated amount was of  $0.91$  to  $1.09 \text{ ton ha}^{-1}$ , while Villers (1998) recorded  $0.68 \text{ ton ha}^{-1}$ .

In the 100 h fuel loads  $0.3 \text{ ton ha}^{-1}$  were determined. Villers (1998) considered  $0.04$  a  $0.37 \text{ ton ha}^{-1}$  and a litter cover of  $0.15$  to  $0.27 \text{ ton ha}^{-1}$ , while in the present work it was of  $1.94 \text{ ton ha}^{-1}$ , probably as a result of the lack of management in the sampled areas. The available litter values in mild-weather forests ( $15 \text{ ton ha}^{-1}$ ) are over those reported (Zapata, 1990; Nájera and Graciano, 2006).

For tropical areas there are research studies made abroad that determine a load between  $5$  and  $7 \text{ ton ha}^{-1}$ , even if it is convenient to point out that different methods in terms of size and frequency of sampling, separation of material and treatment are used, which makes it difficult to contrast the results (Connrforth, 1970; Golley, 1979; Jordan, 1971; Hopkins, 1999). Álvarez (1991) worked in Los Tuxtlas, Veracruz State, which is a tropical green forest, where he estimated  $7.26 \text{ ton ha}^{-1}$  of fuel availability. In the present study  $13.87 \text{ ton ha}^{-1}$  were determined; however, both studies are not comparable as the former author made his material collection in  $51 \text{ cm}$  diameter traps, but it is interesting as it provides an idea of the availability of fuels in this kind of ecosystems.

The availability of fuel materials can be modified, according to the season, the forest stratum in which it is found and the original vegetation (Rego *et al.*, 1987; Brandeis and Woodall, 2008). The greater the fuel accumulation in a place, the greater the heat that can be produced, and the more intense a fire can be. Villers (2006) and Wong and Villers (2007) declare that the different types of vegetation include different loads and types of fuels; for example, the plant cover in rainy zones has more biomass, and, consequently, a greater flammable material load. The accumulated fuels in forest areas are the main element for the propagation of a fire and the only part of the fire triangle that can be controlled by man (Gould *et al.*, 2008).

## CONCLUSIONS

In so far as the fire frequency range is longer, the fuel load accumulation will increase, which implies a raise of the potential of intensity and harshness of their effects. At the same time, when the tree density is high, the available flammable material grows in such a way that the differences of the biomass loads



lluviosas tiene más biomasa y, por lo tanto, mayor carga de material inflamable. Los combustibles acumulados en las áreas forestales son el elemento fundamental para la propagación de un incendio y el único componente del triángulo del fuego susceptible de ser controlado por el hombre (Gould *et al.*, 2008).

## CONCLUSIONES

En la medida que el intervalo de frecuencia de los incendios sea más largo, la acumulación de la carga de combustibles se incrementará, lo cual implica un aumento potencial en la intensidad y severidad de sus efectos. Al mismo tiempo, cuando la densidad del arbolado es alta, crece la carga disponible de material inflamable, de tal manera que las diferencias entre las cargas de biomasa resultan de las variaciones de densidad, edad del bosque y de la frecuencia e intensidad del incendio.

Los bosques templados tienen disponibilidad de combustibles ligeros superior, como consecuencia del tiempo que tardan en descomponerse. Las acículas tienen menor espacio expuesto a la degradación, mientras que la capa de hojarasca de las selvas constituye una superficie más grande sujeta a dicho proceso. En este tipo de vegetación sobresale la disposición de combustibles de 10 y 100 horas de combustión, lo cual obedece al tipo de plantas que la conforman, mismas se caracterizan por tener un periodo corto de recuperación.

Se necesita realizar un monitoreo permanente de los sitios evaluados, con el propósito de llevar a cabo comparaciones y determinar la variabilidad de los combustibles disponibles en cada sitio. Además de hacer evaluaciones que incluyan condiciones con diversas densidades de arbolado, niveles de disturbio, en diferentes estratos y estructuras, entre otros.

## REFERENCIAS

- Alvarado, C. 1988. Estimación del consumo por el fuego de combustibles forestales en rodales de *Pinus montezumae* Lamb. combustibles muertos. *Agrociencia* 72: 75-85.
- Álvarez, S. 1991. Productividad primaria neta en una selva tropical húmeda. *Soc. Bot. Mex.* 51: 3-12.
- Barriónuevo S., A. y A. López J. 2008. Evaluación de las propiedades de los combustibles vegetales como indicadores de áreas críticas de incendios forestales en Santiago del Estero (Argentina). *Forestal Venezolana* 51 (2): 147-152.
- Bautista R., J., E. Treviño G., C. Nívar, C. Aguirre y S. Cantú. 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. Chapingo, serie ciencias forestales y ambiente. 11 (001): 51-56.
- Brandeis, T. J. and W. C. Woodall 2008. Assessment of forest fuel loadings in Puerto Rico and the US Virgin Islands. *AMBIO. A Journal of the human Environment* 37: 557-562.
- Brown, J. 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA, Forest Service. General Technical Report, INT-16. Ogden, UT. USA. pp.1-24.

come from density variation, age of the forest and frequency and intensity of fire.

Mild-weather forests have a higher light fuel availability, as a consequence of the time that they take to decompose. The needles have less exposition space to degradation, while the litter layer of tropical forests has a larger surface subject to that process. In this type of vegetation is outstanding the availability of fuels of 10 and 100 hours of combustion, which is related to the type of plants that conform it, which have a short recovery period.

It is necessary to have a continuous monitoring of the assessed sites, with the aim of making comparisons and determine the variability of available fuels in each place, as well as to include in such evaluations, diverse tree densities, disturbance degrees, different strata and structures, among other factors.

*End of the English version*

- Brown, J. K., D. R. Oberheu and y M. C. Johnston. 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior West. USDA, Forest Service. General Technical Report INT-129. Ogden, UT. USA. 48 p.
- Cochran, W. G. y M. Cox G. 1980. Diseños experimentales. Trillas. México, D.F. México. 617 p.
- Conrnrforth, I. S. 1970. Leaf-falling a tropical rain forest. *J. Appl. Ecology* 7: 603-608.
- DeBano, L. F. and E. C. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology* 59 (3): 489-497.
- Estrada C. y Ángeles, C. 2007. Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. *Ecología y biodiversidad, claves de la prevención*. Sevilla, España. [http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/doc/cd/SESIONES\\_TEMATICAS/ST3/Estrada\\_Angeles\\_SPAIN\\_Zaragoza.pdf](http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/doc/cd/SESIONES_TEMATICAS/ST3/Estrada_Angeles_SPAIN_Zaragoza.pdf) (26 de Agosto 2009).
- Flores G., J. G. y Benavides S., J.D. 1994. Algunas condiciones que influyen en el riesgo y peligrosidad de los incendios forestales. *Campo Experimental Colomos. CIPAC, INIFAP. SARH. Guadalajara, Jalisco. Folleto Misceláneo No. 1*. 12 p.
- Flores G., J. G. and N. P. Omi. 2003. Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia*. 37: 65-72.
- Gould, W. A., G. González, T. A. Hudak, N. T. Hollingsworth and J. Hollingsworth. 2008. Forest structure and downed woody debris in boreal, temperate and tropical forest fragments. *AMBIO- A Journal of the human Environment*. 37: 577-587.
- Golley, F. B. 1979. Production primaire brute et nette, parametres de croissance, *In: UNESCO. Recherches sur les ressources naturelles: Ecosystemes forestiers tropicaux*. UNESCO, PNE, FAO. Paris, France. 225-228.
- Hopkins, W.G. 1999. Introduction to Plant Physiology. 2ª Ed. John Wiley & Sons. Inc. Nueva York, NY. U S. A. 512p.
- Jordan, C. F. 1971. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. *Journal Ecology* 59: 127-142.
- Juárez O., S. M. 2005. Efectos del fuego y la herbivoría sobre la biomasa aérea del estrato herbáceo de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias de la UNAM. México, D. F. México. 65p.
- Martínez S., J. J. y M. Hernanz S. J. 1991. Impacto Ecológico de los Incendios Forestales. *Revista de Estudios Albacetenses* 29: 105-117.
- Mota, N. M. 2005. Modelagem de combustíveis florestais no Parque Nacional do Iguacu, Paraná, Brasil. *Floresta Curitiba*. 36: 3.

- Muñoz R., C. A. 2001. Elaboración de un modelo espacial de peligro de incendios forestales. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nvo. L., México. 94p.
- Muñoz R., C. A., J. Treviño G. E., C. Verástegui J., P. Jiménez, J., 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 "Boletín del Instituto de Geografía". UNAM. ISSN 0188n-4611, Núm. 56 pp 101-117.
- Nájera L., J. A. y J. J. Graciano L. 2006. Estimación de la carga de combustibles en el Ejido La Campana, Municipio de Pueblo Nuevo, Durango. In: IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional de Ingeniería de Bioquímica Morelia, Michoacán. Mexico. 1592 p.
- Rego F., C., S. Botelho H. and S. Bunting. 1987. Prescribed fire effects on soils and vegetation in *Pinus pinaster* forests in northern Portugal. *Ecologia Mediterranea*. 13 (4): 189-195.
- Rodríguez D., A. y A. Sierra P. 1995. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México*. 20 (77): 193-218.
- Rodríguez D., M. Rodríguez F. Fernández y S. Pyne. 2002. Educación e incendios forestales. Mundi-Prensa México, D. F. México. 202 p.
- Sánchez C., J. y G. Zerecero L. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa No 9.CIFONOR- INIF, SFF. SARH. Chihuahua, Chihuahua. México. 15 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. Reporte de incendios forestales 2009. [http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=377&Itemid=436](http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=377&Itemid=436) (12 de Julio 2009).
- Sokal, R. R. and J. F. Rohlf. 1995. Biometry The principles and practice of statistics in biological research. 3rd edition. W. H. Freeman and Co.: New York, NY USA. 887 pp
- Villers R., M., L. García V., J. y López B. 1998. Evaluación de los Bosques Templados en México: Una aplicación en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Investigaciones Geográficas* 038:7-19.
- Villers R., M. 2006. "Incendios forestales". *Ciencias*. 81: 60-66.
- Wong G., J.C. y Villers R., M. 2007. Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional LaMalinche. <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol62/b62Art05.pdf>. (12 de Julio 2009).
- Zapata P., C. 1990. Determinación de indicadores de peligro potencial de incendios forestales con base en la cuantificación del material combustible. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México. 90p.