



Artículo / Article

Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011)

Forest fire regime and distribution in the State of Mexico (2000 to 2011)

Gabriela Gutiérrez Martínez¹, María Estela Orozco Hernández²,
José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz³ y José Manuel Camacho Sanabria⁴

Resumen

Los incendios forestales propician cambios globales que afectan a la biósfera y se les considera la tercera causa en la pérdida y degradación de grandes extensiones de terrenos forestales; son una fuente significativa de las emisiones de gases que provocan el calentamiento global y la pérdida de millones de toneladas de carbono almacenado en los ecosistemas y otras repercusiones ambientales importantes. En los últimos años, el Estado de México ha ocupado los primeros lugares a nivel nacional en cuanto al número de ocurrencia de incendios. Este trabajo analiza el régimen de incendios forestales, los cuales están determinados por cambios en las variables del clima y el tipo de cobertura vegetal. Para ello, se revisó la base de datos diaria sobre climatología e incendios forestales generada por la Red Ambiental de Monitoreo Atmosférico y la Protectora de Bosques durante los años 2000 a 2011. Los resultados indican que la frecuencia anual fue de 1 418 incendios, que afectan en promedio una superficie de 5 141 hectáreas; con un Índice de afectación promedio de 3.3 hectáreas por incendio; que se presentan recurrentemente con una marcada estacionalidad en la temporada primavera - verano, así como con un periodo de recurrencia de 1 o 2 años, en función de la precipitación, humedad y temperatura alcanzada el año anterior. En los ecosistemas de bosques templados y selvas ocurren los siniestros de alta severidad.

Palabras clave: Cambio climático, cobertura vegetal, estratos vegetales, índice de afectación, incendios forestales, régimen de incendios.

Abstract

Forest fires promote global changes that affect the biosphere and are regarded as the third cause of loss and degradation of large stretches of forest lands. They are a significant source of gas emissions that cause global warming and the loss of millions of tons of carbon stored in the ecosystems and other major environmental repercussions. In recent years, the State of Mexico has held the first places in number of forest fires at national level. This paper analyzes the forest fire regime, which is determined by changes in the climate variables and the type of vegetal cover. For this purpose, the daily climatological and forest fire database generated by the Air Quality Monitoring Network and the Forest Protection Agency was reviewed between the years 2000 and 2011. The results show an annual frequency rate of 1 418 forest fires affecting an average surface area of 5 141 hectares, with an average destruction rate of 3.3 hectares per fire. These occur reiteratively with a marked seasonality in the spring and summer, as well as a recurrence period of 1 or 2 years, based on the precipitation, humidity and temperature attained in the previous year. Highly severe fires occur in the ecosystems of temperate and rain forests.

Key words: Climate change, vegetal cover, vegetal strata, destruction rate, forest fires, forest fire regime.

Fecha de recepción/date of receipt: 11 de noviembre de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 30 de enero de 2014.

¹ Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, y Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Química por la Universidad Autónoma del Estado de México.

² Facultad de Planeación Urbana y Regional y Centro de Investigación en Estudios Avanzados en Planeación Territorial, Universidad Autónoma del Estado de México.

³ Servicios Ambientales y Cambio Climático A.C. Correo-e: jordonez@gmail.com

⁴ Programa de Posgrado, Maestría y Doctorado en Ciencias Ambientales, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México.

Introducción

La trascendencia de los incendios forestales como agente en los cambios globales que afectan a la biosfera ha despertado el interés de algunos autores, quienes consideran que constituye la tercera causa en la pérdida y degradación de grandes extensiones de terrenos forestales (Cedeño, 2001; Orozco *et al.*, 2011); además se ha comprobado que son una fuente significativa de las emisiones de gases que provocan el calentamiento global (Shneider, 1989; Ciesla, 1995; Andreae y Merlet, 2001; Oliver y Berdowski, 2002; Simmonds *et al.*, 2005; Manso, 2010); y la pérdida de millones de toneladas de carbono almacenado en los ecosistemas (Sonne, 2006; IPCC, 2007). También favorecen el cambio de uso del suelo (Eva *et al.*, 2000; Semarnat/INE, 2006); la pérdida de biodiversidad y las afectaciones al paisaje (Del Campo y Bernal, 2010; FAO, 2011); impactan el hábitat de la fauna silvestre (Greenpeace, 2012); e inciden en la disminución en la captación de agua pluvial (Rosenfeld, 1999).

Desde el punto de vista del manejo forestal, se conoce como incendio forestal a la propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación silvestre (Conafor, 2006); mientras que en ecología, los incendios son un disturbio (Rowe, 1981); es decir, una pérdida de individuos o biomasa, que se produce de forma repentina y eventual. Es importante señalar que en este trabajo se parte de la definición ecológica, pero cabe mencionar que los incendios forestales pueden ocurrir de forma natural, accidental o intencional; no obstante, la ocurrencia de incendios de origen humano supera a los naturales, aunque los últimos están subestimados en los registros oficiales (Rodríguez y Fulé, 2003).

La dinámica de los incendios responde, fundamentalmente, a la concurrencia simultánea de tres factores: oxígeno, combustible y la fuente de ignición (Haltenhoff, 1998), así como al cambio en las condiciones meteorológicas, la topografía y las actividades humanas en el sitio (Porreo, 2001; Agrawal *et al.*, 2009). Sin embargo, el impacto de los incendios no siempre es negativo, el problema surge cuando su recurrencia supera la capacidad de resistencia de los ecosistemas, y se alteran de manera irreversible procesos naturales que sirven de base para la producción de bienes y servicios ambientales (Del Campo y Bernal, 2010).

Los estudios sobre los efectos del fuego son relativamente recientes (Gay, 2004; McKenzie, 2004; Villers y Blanco, 2004), surgen a partir de los cambios que causan sobre los ecosistemas naturales (McKenzie, 2004); sus consecuencias destructoras sobre los bosques promueven la necesidad de generar ordenamientos en los tres niveles de gobierno para protegerlos; asimismo, los recursos invertidos en la prevención y extinción no han sido suficientes para disminuir su ocurrencia y propagación. Tchikoué (2003) indica que existen dos tipos de

Introduction

The relevance of forest fires as an agent of the global changes that affect the biosphere has aroused the interest of some authors, who consider it to be the third cause of the loss and degradation of large stretches of forest land (Cedeño, 2001; Orozco *et al.*, 2011). Furthermore, they have been proven to be a significant source of gas emissions that cause global warming (Shneider, 1989; Ciesla, 1995; Andreae and Merlet, 2001; Oliver and Berdowski, 2002; Simmonds *et al.*, 2005; Manso, 2010), as well as the loss of millions of tons of carbon stored in the ecosystems (Sonne, 2006; IPCC, 2007). They also favor the change of use of the soil (Eva *et al.*, 2000; Semarnat/INE, 2006); the loss of biodiversity and damage to the landscape (Del Campo and Bernal, 2010; FAO, 2011); likewise, they have an impact on the wildlife (Greenpeace, 2012) and on rainwater uptake (Rosenfeld, 1999).

From the point of view of forest management, a fire forest is defined as the uncontrolled and unscheduled propagation of fire over the forest vegetation (Conafor, 2006), while ecology views fires as a disturbance (Rowe, 1981), *i.e.* a sudden and occasional loss of individuals or of biomass. It is important to point out that this work is based on the ecological definition, although forest fires may occur naturally, accidentally or intentionally; however, man-made fires surpass in number the natural fires, although the latter are underestimated in the official records (Rodríguez and Fulé, 2003).

The dynamics of fires respond essentially to the simultaneous concurrence of three factors: oxygen, fuel and an ignition source (Haltenhoff, 1998), as well as change in the meteorological conditions, the topography and human activities in the site (Porreo, 2001; Agrawal *et al.*, 2009). However, the impact of fires is not always negative; the problem arises when their recurrence surpasses the ecosystems' capacity for resistance and the natural processes that serve as a basis for the production of environmental goods and services are irreversibly altered (Del Campo and Bernal, 2010).

Studies on the effects of fires are relatively recent (Gay, 2004; McKenzie, 2004; Villers and Blanco, 2004) and they result from the changes that they cause on natural ecosystems (McKenzie, 2004); their destructive consequences on the forests promote the need to generate laws to protect these in all three levels of the government; furthermore, the resources invested in prevention and extinction have been insufficient so far to diminish the occurrence and propagation of fires. Tchikoué (2003) points out that there are two types of ecosystems: the fire-dependent and the sensitive. The former include pine forests, grasslands and oak forests; the latter, Sacred fir and rainforests.

According to the report by Martínez and Rodríguez (2008), fire has traditionally been used as a tool to enhance agricultural

ecosistemas: los dependientes del fuego y los sensibles; entre los primeros están los pinares, pastizales y encinares; en los segundos, los bosques de oyamel y las selvas.

En el recuento que realizan Martínez y Rodríguez (2008) citan que históricamente el fuego ha sido utilizado, de forma tradicional, como una herramienta para favorecer las prácticas agrícolas y ganaderas. Los Olmecas y los Mayas idearon, hace unos 3 000 años, un sistema agroforestal eficiente para las áreas tropicales, particularmente aquellas con suelos pedregosos y poco profundos: la tumba, roza y quema; eventos que fueron relativamente bajos hasta 1750 cuando se observó un incremento exponencial, debido a los cambios del suelo forestal a uso agrícola. A partir de 1970 se evidencia el aumento en la tendencia de los incendios (Bowman *et al.*, 2009), favorecidos en gran medida por factores sociales y las transformaciones del territorio en el último siglo.

Se estima que a nivel nacional existe un promedio de 8 448 incendios forestales por año que afectan una superficie de 259 211 hectáreas (Conafor, 2011). A pesar de estas cifras, el país tiene menos incendios, en promedio por año, que Estados Unidos de América, Canadá, España e Italia (Ortiz *et al.*, 2003). Ante tal situación, en 1999 la Conabio implementó un sistema para la detección de puntos de calor (como indicador de posibles incendios forestales) con imágenes satelitales, el cual conforma el sistema de Alerta Temprana de Incendios para México y Centroamérica (Ressl y Cruz, 2012). El Estado de México ha ocupado los primeros lugares en cuanto a número de incendios registrados y el octavo lugar respecto a la superficie afectada, por lo que es de los estados con mayor impacto por ese tipo de siniestro (Conafor 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011).

El análisis de la naturaleza de los incendios, de sus causas y consecuencias sobre los ecosistemas proporciona elementos de juicio para una gestión responsable, en un contexto de cambio global. En este marco se desarrolla el presente trabajo, el cual se enfoca en el régimen de los incendios forestales del Estado de México durante el periodo 2000-2011; a partir de la caracterización de los disturbios que afectan un espacio determinado a lo largo del tiempo, para su estudio se incorporan parámetros como la frecuencia o número de disturbios que se producen en un área concreta a lo largo de un lapso determinado; la extensión, parámetro que hace referencia a la superficie afectada; la recurrencia, tiempo necesario para que un área se afecte nuevamente por el mismo siniestro; la estacionalidad o época del año en la que se producen los disturbios; la intensidad, que representa la magnitud física del disturbio (las temperaturas alcanzadas); la severidad, grado de afectación de los disturbios en los organismos o en las propiedades del sistema (porcentaje de árboles muertos por el incendio) (Valladares, 2004).

and stockbreeding practices. The Olmecs and Mayans devised, 3 000 years ago, the slash-and-burn technique, an effective agroforest system for tropical areas, particularly those with shallow, rocky soils. These events were relatively scarce until 1750, when an exponential increase was observed due to the change of soil from forests to agricultural use. Forest fires have shown a tendency to increase since 1970 (Bowman, 2009), which has been greatly favored by social factors and by the transformations of the territory in the last century.

8 448 forest fires per year are estimated to occur nationally, affecting a surface area of 259 211 hectares (Conafor, 2011). Despite these figures, the country has a lower average number of forest fires per year than the United States, Canada, Spain or Italy (Ortiz *et al.*, 2003). In the face of this, Conabio implemented in 1999 a system to detect heat points (as an indicator of potential forest fires) with satellite images, known as the Early Fire Alert system for Mexico and Central America (Ressl and Cruz, 2012). The State of Mexico in particular has held the first places in number of recorded fires and the eighth place in affected surface area; it is therefore one of the states on which this type of disaster has the highest impact (Conafor 2007, 2008, 2009, 2010 and 2011).

The analysis of the nature of the fires and their causes and impact on the ecosystems provides elements of judgment for a responsible management in a context of global change. The present research was carried out within this framework, focusing essentially on the forest fire regime of the State of Mexico during the years 2000-2011. Based on the characteristics of the disturbances which affect a given area in the course of time, the study of these areas includes such parameters as the frequency or the number of disturbances produced in a specific area during a given period; range, i.e. the affected surface area; recurrence, i.e. the amount of time required for an area to be affected again by the same disturbance; seasonality or the time of the year when the disturbances occur; intensity, i.e. the physical magnitude of the disturbance (the temperatures reached); severity or degree of destruction of organisms or of the properties within the system as a consequence of the disturbances (percentage of trees that died due to the fire) (Valladares, 2004).

Materials and Methods

Study area

The State of Mexico is located in central Mexico, between 18°25' and 20°17' north and 98°33' and 100°28' west. It borders Querétaro and Hidalgo states on the north, Morelos and Guerrero on the south, Guerrero and Michoacán on the west, and Hidalgo, Tlaxcala, Puebla and the Distrito Federal on the east. It has a surface area of 2 235 680 hectares.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El Estado de México se localiza en el centro de México, entre los 18°25' y 20°17' de latitud norte y los 98°33' y 100°28' longitud oeste. Limita al norte con Querétaro e Hidalgo, al sur con Morelos y Guerrero, al oeste con Guerrero y Michoacán y al este con Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Distrito Federal. Cuenta con una superficie de 2 235 680 hectáreas.

En la distribución de las cubiertas forestales (Ceballos *et al.*, 2008) destaca el bosque templado (62.4 %), producto de la interacción del clima templado-frío y los macizos montañosos de origen volcánico de la porción norte; la selva baja caducifolia (9.8 %) desarrollada en las tierras bajas de composición calcárea del sur del estado con ambientes semicálido y cálido subhúmedo; y el matorral xerófito de ambiente semiseco en la frontera con la Cuenca de México (Figura 1).

The main forest covers (Ceballos *et al.*, 2008) are a temperate forest (62.4 %), which is a product of the interaction of temperate-cold weather and the volcanic mountain ranges of the northern portion; a low deciduous forest (9.8 %), which grows in the low limestone lands of the south of the state, in semi-warm and sub-humid warm climates, and xerophytic shrubs bordering with the Mexican Basin, in a semi-dry climate (Figure 1).

Data management and analysis

The data were recorded on an Excel spreadsheet in order to create a database and a matrix on the frequency of forest fires and for purposes of statistical processing to estimate the total means for the indicated period and the average affected surface area -expressed in hectares- by locality, municipality, and region (GEM, 2010). Likewise, the average municipal and regional Destruction Rates were estimated for the period, as suggested in GEM (2010). The Severity was determined based

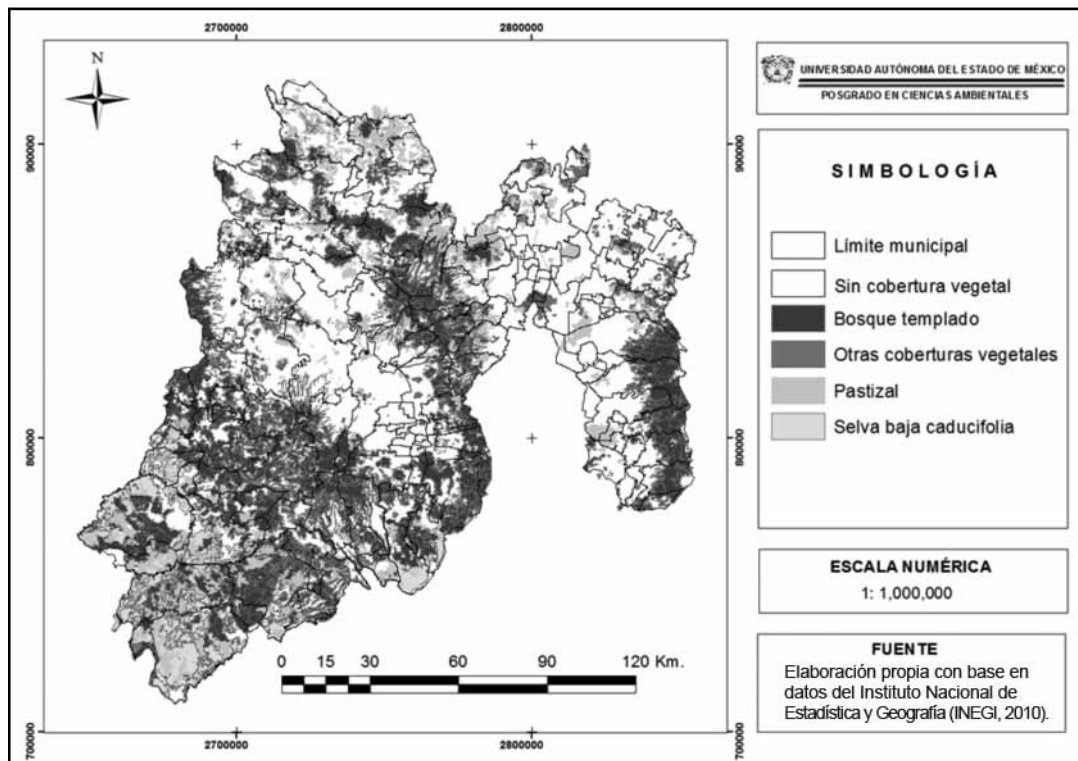


Figura 1. Distribución de las coberturas vegetales del Estado de México.
Figure 1. Distribution of the vegetal covers of the State of Mexico.

Manejo y análisis de datos

Los datos se capturaron en una hoja de cálculo del programa Excel a fin de generar una base de los mismos y la matriz sobre frecuencia de incendios, aunado al procesamiento estadístico para conocer las medias totales del periodo

on the analysis of the frequency of forest fires, the affected surface area and the dominant vegetation type in each municipality, according to the 2010 State Forest Inventory (GEM, 2010).

Based on the "number of forest fires" and "affected surface area" markers generated by Semarnat (2000), it is possible to

señalado; así como el promedio de la superficie afectada por localidad, municipio y a nivel regional expresado en hectáreas (GEM, 2010). Además se obtuvo el Índice de Afectación a nivel municipal y regional, calculado a partir del número de incendios (media del período) sobre la superficie afectada (promedio del período como se sugiere en GEM (2010)). La severidad se determinó del análisis sobre la frecuencia de incendios, la superficie afectada y el tipo de vegetación dominante en cada municipio, según datos del Inventario Forestal Estatal 2010 (GEM, 2010).

Con base en los indicadores "número de incendios forestales" y "superficie afectada" generados por Semarnat (2000), se puede detectar la presión que la ocurrencia de estos eventos tiene sobre los recursos forestales, en particular se estableció el régimen de los incendios de vegetación en el estado, para lo cual se revisaron 17 929 registros de incendios provenientes de la bitácora diaria de la Dirección de Incendios de la Protectora de Bosques (Probosque) en un período de 11 años. Los registros contienen datos sobre número de incendios por localidad, municipio y región; superficie afectada por estrato vegetativo, dividido en renuevo, arbusto, arbolado adulto y pastos.

Finalmente, se categorizaron los valores de cada variable para caracterizar los disturbios a nivel municipal y regional, los resultados se ordenaron en cuatro clases (Cuadro 1) diferenciadas por el nivel de significancia del conjunto de datos sugerido por GEM (2010). Dicho análisis y las gráficas correspondientes se realizaron con el programa Excel. Para la representación cartográfica se utilizó el programa ArcGis versión 9.0 (ESRI, 2004).

detect the pressure which the occurrence of these events exerts on the forest resources; particularly, the forest fire regime was established in the state; for this purpose, 17 929 forest fire records from the daily log of the Forest Fire Department of the Forest Protection Agency (Probosque) for a period of 11 years were revised. The records contain data on the number of fires by locality, municipality and region; affected surface by vegetal stratum, divided into shoots, shrubs, adult trees and grasses.

Finally, the values for each variable were categorized to characterize the disturbances at municipal and regional levels, the results were divided into four classes (Table 1) differentiated by the level of significance of the set of data suggested by GEM (2010). This analysis and the corresponding charts were made using the Excel software. ArcGis version 9.0 was utilized for the cartographic representation (ESRI, 2004).

Simultaneously, the database on temperature, humidity, precipitation, speed and trajectory of the winds during the same period was explored, generated and provided by the Automatic Air Quality Monitoring Network of the Valley of Toluca (RAMA) for 2000-2011. Based on this information, the origin of the forest fires was associated, their occurrence regime and their tendency were described, and conclusions were reached on their implications at a global level.



Cuadro 1. Valores asignados a las variables de estudio para determinar los intervalos de localización.

Categoría	Frecuencia de incendios	Índice de Afectación Regional	Índice de Afectación Municipal	Severidad
Alto	67 - 127	4.0 - 5.0	11.6 - 16	Frecuencia + estrato vegetal: arbusto y arbolado adulto
Medio / Mezclada	30 - 66	3.0 - 3.9	5.1 - 11.5	Frecuencia + estrato vegetal: arbusto, pastos y renuevo
Bajo	1 - 30	2.1 - 2.9	1.0 - 5.0	Frecuencia + estrato vegetal: renuevo y pastos
Nulo / No representativa	Sin incidencia			Frecuencia + otras coberturas o sin cobertura vegetal



Table 1. Values assigned to the study variables in order to determine the localization intervals.

Category	Fire frequency	Regional Destruction Rate	Municipal Destruction Rate	Severity
High	67 - 127	4.0 - 5.0	11.6 - 16	Frequency + vegetal stratum: shrubs and adult trees
Medium / Mixed	30 - 66	3.0 - 3.9	5.1 - 11.5	Frequency + vegetal stratum: shrubs, grasses and shoots
Low	1 - 30	2.1 - 2.9	1.0 - 5.0	Frequency + vegetal stratum: shoots and grasses
Null / Not representative	Without incidence			Frequency + other covers or no vegetal cover

EN forma simultánea, se exploró la base de datos sobre temperatura, humedad, precipitación, velocidad y trayectoria de los vientos durante el mismo periodo, generada y proporcionada por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de Toluca (RAMA) para el lapso del 2000 al 2011. A partir de dicha información se asoció el origen de los incendios, se describió su régimen de ocurrencia, la tendencia de los siniestros y se concluyó sobre sus implicaciones a nivel global.

Resultados y Discusión

Régimen de Incendios en el Estado de México

El análisis de la base de datos sobre incendios, durante el periodo de estudio (2000 - 2011), indica que anualmente se presentaron 1 418 incendios forestales, según la media calculada, que dejan en promedio una superficie afectada de 5 141 hectáreas.

La importancia del clima (McKenzie, 2004) y de los combustibles (Agee y Skinner, 2005) para explicar el comportamiento del fuego varía a lo largo del territorio estatal. En general, se determinó que el periodo de recurrencia es diferente de un año a otro (Figura 2) y depende de la cantidad de lluvia del año anterior, ya que en años lluviosos se genera mayor cantidad de biomasa, la cual durante la temporada de sequía se convierte en combustible que junto con las temperaturas altas, la velocidad y dirección de los vientos son factores esenciales para la aparición y propagación de incendios forestales. Asimismo humedades relativamente bajas, así como el abandono de enormes extensiones de tierras agrícolas que dan paso a la propagación de comunidades vegetales vulnerables, como los pastos y los arbustos, también son importantes en la generación de incendios.



Results and Discussion

Forest fire regime in the State of Mexico

The analysis of the database on forest fires during the study period (2000 - 2011) shows an occurrence of 1 418 forest fires per year, according to the estimated mean, leaving an average affected surface area of 5 141 hectares.

The importance of the climate (McKenzie, 2004) and of the fuels (Agee and Skinner, 2005) to explain the behavior of fire varies across the territory of the state. In general, the recurrence period was determined to be different from one year to the next (Figure 2) and depends upon the amount of fallen rain in the previous year, as in rainy years a larger amount of biomass is generated; this becomes fuel during the dry season and, along with high temperatures and the speed and direction of the winds, it is an essential factor for forest fire ignition and propagation. Relatively low humidity levels and the abandonment of huge stretches of agricultural lands that give way to the propagation of vulnerable vegetal communities, such as grasses and shrubs, also play an important role in the generation of fires.

The recurrence pattern seems to be constant; however, when analyzing the charts on temperature, humidity and precipitation, it is evident that in the years 2005, 2009 and 2010 a smaller amount of precipitation and an increase in the temperature were recorded; also, in the year 2011, atypical data were observed, which shows that there was an increase of 17 % in the number of fires and 7.6% in the affected surface in regard to the mean for the period. Based on historical data (GEM, 2009), there had not been such a high incidence since 1998. The population growth (1.44 %) from the year 2000 and 2012 (GEM, 2010) is equally a factor that influenced the increase of forest fires.

El patrón de recurrencia parece constante; sin embargo, al analizar las gráficas sobre temperatura, humedad y precipitación es evidente que en los años 2005, 2009 y 2010 se registró menor cantidad de precipitación y un aumento en la temperatura, asimismo en el año 2011 se observaron datos atípicos, lo que indica que hubo un incremento de 17 %, en cuanto al número de incendios, y 7.6 % en superficie afectada respecto a la media del período. Con base en datos históricos (GEM, 2009), desde el año de 1998 no se alcanzaba tan alta incidencia. El aumento de la población (1.44 %) del 2000 al 2012 (GEM, 2012), también es un factor que influyó en el incremento de los incendios forestales.

The frequency of forest fires is favored by the biogeographical conditions: social factors, the speed of the winds, which during the forest fire season increases from 15 to 18 km h⁻¹, and their direction, from the south to the north of the state, where large stretches of temperate forests are located (GEM, 2011a, 2011b), as well as the chemical characteristics of the fuels, for, despite the predominant temperate cold climate, there are vegetal species such as pines which contain resins and therefore burn better than others that lack this compound.

In this sense, those areas located in the north of the State of Mexico are particularly appropriate for ignition; many forest

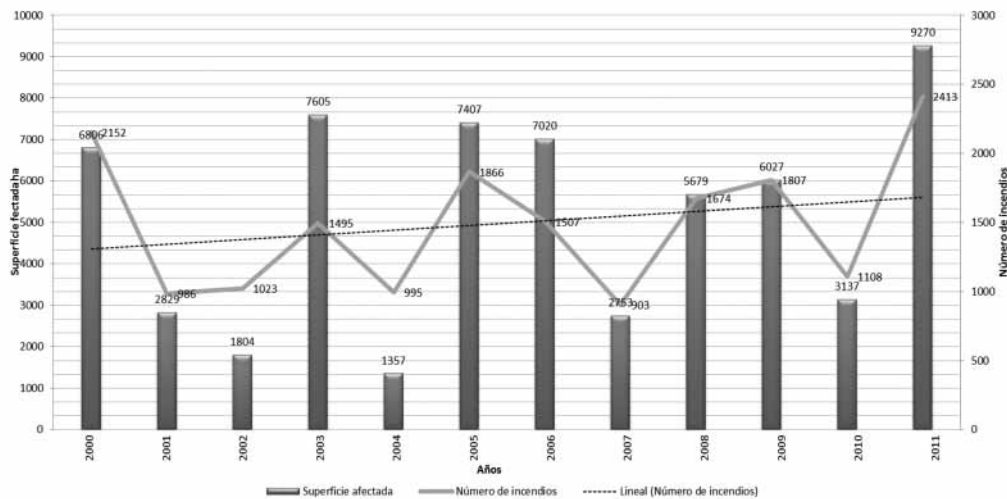


Figura 2. Número de Incendios / Superficie Afectada / Recurrencia de los incendios 2000-2011/ Tendencia.
 Figure 2. Number of fires / Affected Surface / Recurrence of fires during 2000-2011/ Tendency.

La frecuencia de los siniestros es favorecida por las condiciones biogeográficas: los factores sociales; la velocidad de los vientos, que en época de incendios se intensifica de entre 15 a 18 km h⁻¹; y su dirección, del sur hacia al norte del estado donde se encuentran grandes extensiones de bosque templado (GEM, 2011a, 2011b); además de las características químicas de los combustibles, pues a pesar de predominar un clima templado frío existen especies vegetales, como los pinos, que al contener resinas arden mejor que otras que carecen de ese compuesto.

fires occur in them during a short recurrence period, and they leave a low Destruction Rate, since they cover only a small surface area and affect the lower strata, while in the south of the state, a very small number of forest fires cover most of the burnt surface area, and therefore they have a high Destruction Rate. The incidence is low in the northwest of the state. However, in the National *Izta-Popo* Park area, forest fires are highly frequent and affect large surfaces; most of these fires are associated to those areas where the grasslands have gained ground and where urbanization has sprawled.

Al respecto, las zonas ubicadas al norte del Estado de México son particularmente apropiadas para la ignición; en ellas tienen lugar muchos incendios en un periodo de recurrencia corto, y dejan, a su paso un Índice de Afectación bajo, ya que son de pequeña superficie e inciden en los estratos inferiores; mientras que en el sur, un número muy pequeño de incendios acapara la mayor parte de la superficie quemada, por lo que se mantiene un alto Índice de Afectación. En el noroeste de la entidad, la incidencia es baja; aunque en la zona del Parque Nacional *Izta-Popo* existe una alta frecuencia de incendios con extensas

Fires in the state leave an annual Destruction Rate of 3.3 hectares with a highly variable regime both in forests and in rainforests and grasslands. The frequency is high at the center of the state; the Destruction Rate is considered to be medium because there is a high frequency of fires within short recurrence period, i.e. repeated fires at the same point during very short periods of time, with fires covering a small surface area (Figure 3).



superficies afectadas, la mayor se asocia con las zonas donde los pastizales han ganado terreno y la urbanización se ha extendido.

Los incendios en el estado dejan a su paso un Índice de Afectación anual de 3.3 hectáreas con una variabilidad grande en su régimen, tanto en bosques, como en selvas y pastizales. En el centro del estado la frecuencia es alta; el Índice de Afectación es medio, debido a que se produce una alta frecuencia de incendios en un periodo de recurrencia corto; es decir, una repetición de fuegos en el mismo punto en periodos muy cortos de tiempo, con incendios de pequeña superficie. (Figura 3)

The seasonality of fires (Figure 4) is determined by such factors as the meteorological and socioeconomic conditions. For instance, during seasons with constant precipitations and high humidity, the occurrence of fires is null, since the combustible matter is wet. Conversely, during the dry season the matter is dehydrated due to changes in the climate seasons (fall-winter-spring), coinciding with the period in which the land is prepared for planting, and therefore some farmers use fire to remove the grass of the previous year by burning; this increases the potential occurrence of a fire, causing not only the abandonment of forest lands due to their low profitability but also an increase in forest fuels.

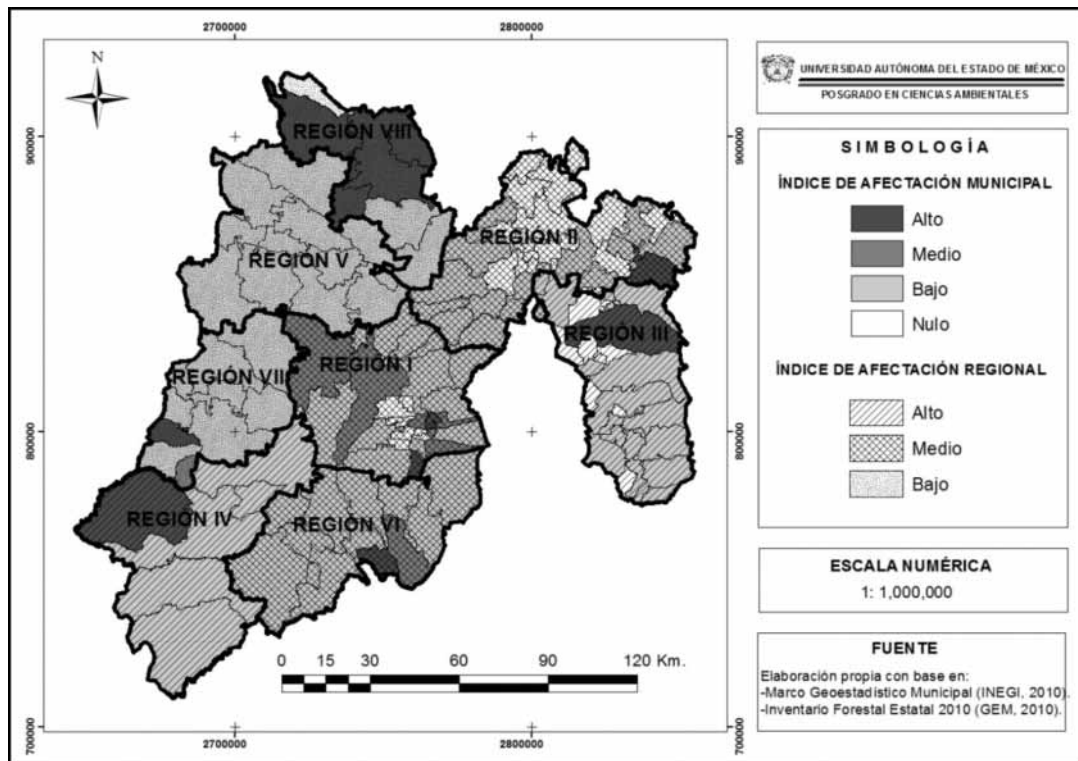


Figura 3. Índice de Afectación a nivel municipal y regional.
Figure 3. Destruction Rate at the municipal and regional levels.

La estacionalidad de los incendios (Figura 4) está dada en función de factores como: las condiciones meteorológicas y las socioeconómicas. Por ejemplo, en temporadas con constantes precipitaciones y humedad alta, la ocurrencia de incendios es nula, ya que la materia que sirve como combustible está mojada. En cambio en época de estiaje, la materia está deshidratada debido a los cambios en las estaciones climatológicas (otoño-invierno-primavera), lo cual coincide con el período de preparación de la tierra para la siembra, por lo que algunos agricultores utilizan el fuego para la remoción del zacate del año anterior mediante la quema, lo que aumenta las probabilidades de ocurrencia de

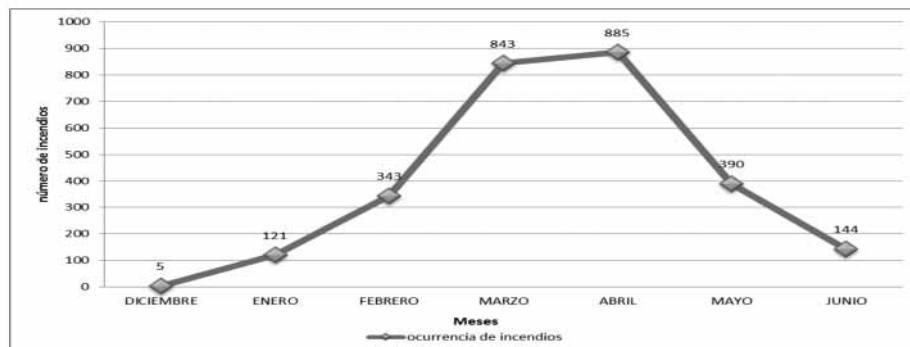
According to Carmona *et al.* (2001) and Wong and Villers (2007), the maximum number of fires was registered during April, when the humidity rate of the fuels ranges between 25 and 40 %; also, the Holy Week vacation period, during which campfires are often lit, takes place in this month.

The climatic tendency observed during the last decade in the State of Mexico, with an increase in the number of hot days, when the temperature is high and air humidity is low (Figure 5), has modified the forest fire regime increasing the number of fires. Furthermore, extended dry periods lead to an accumulation of dry branches and leaves which increases the fuel load, as has been the case in recent years (Montoya, 1995; Vélez, 1995).

un incendio; además, el abandono de tierras forestales por la baja rentabilidad ocasiona el aumento de combustibles forestales.

Los incendios registraron un máximo en el mes de abril tal como lo señalan Carmona *et al.*, (2001) y Wong y Villers (2007), cuando la humedad de los combustibles oscila entre 25 y 40 %, además corresponde al período vacacional de Semana Santa, fecha estrechamente relacionada con el manejo de fogatas.

On the other hand, during the years 2009 and 2010 there was a significant reduction of precipitations, of approximately 42 % with respect to the annual mean for the period, which caused an atypical increase of fires in the year 2011 (Figure 2). The increase in temperature is expected to continue during the coming years, and the expected annual mean temperature by the year 2020 will be 16 °C, while the maximum temperature will reach 25 °C, and the humidity level will decrease to 36 % of the present value. These conditions may increase the propagation and intensity of fires.



Fuente: GEM, 2011b.
Source: GEM, 2011b.

Figura 4. Estacionalidad de los incendios. Promedio mensual del 2000 al 2011.
Figure 4. Seasonality of fires. Monthly average from 2000 to 2011.

La tendencia climática observada en la última década en el Estado de México, con incremento del número de días calurosos con alta temperatura y baja humedad del aire (Figura 5) ha modificado el régimen de incendios. Además, períodos de sequía prolongados producen una acumulación de ramas y hojas secas que aumentan la carga de combustible, como ha ocurrido en los últimos años (Montoya, 1995; Vélez, 1995). Por otro lado, se observó una disminución considerable de las precipitaciones durante los años 2009 y 2010, de aproximadamente 42 % respecto a la media anual del periodo, lo que propició el incremento atípico de los incendios en el año 2011 (Figura 2). Se prevé que el aumento de la temperatura continúe dentro de los próximos años y que para el año 2020 la temperatura media anual sea de 16 °C, mientras que la máxima llegará a los 25 °C, y la humedad disminuirá hasta 36 % de la actual. Estas condiciones promueven una mayor propagación e intensidad del fuego.

Se establece una estrecha relación entre un año seco y otro lluvioso, con respecto a la recurrencia de incendios, al comparar las figuras 5 y 6, en las que se observa que durante el año lluvioso hubo generación y acumulación de material combustible, y que las temperaturas máximas correspondieron a los años en que hubo mayor número de incendios.

Comparing figures 5 and 6 for the years 2009 and 2010 -which show generation and accumulation of combustible matter and a correlation between maximum temperatures and the highest number of fires-, we may infer a close relationship between the alternation of a dry year and a rainy year and forest fire recurrence.

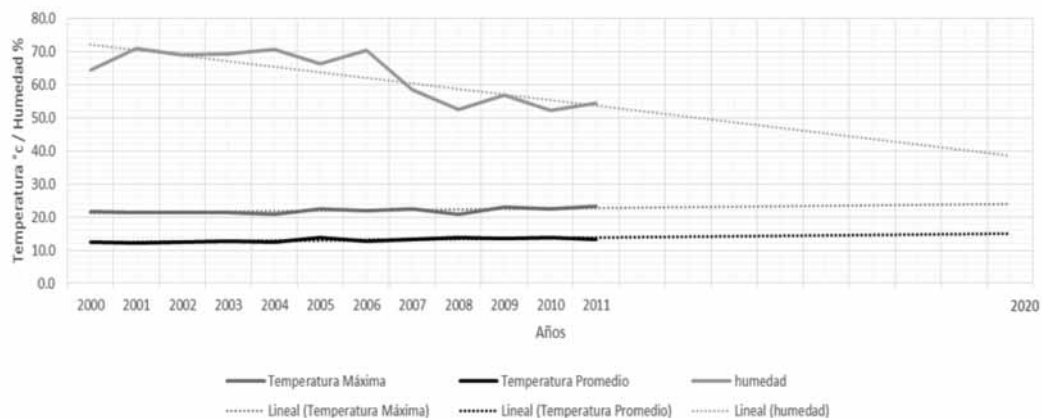
The heterogeneous elements of the physical medium generate differential responses when such variables as relief, orientation, relative humidity, temperature and precipitation interact. They also increase the frequency of fires in certain regions where fuels tend to be more abundant and have a lower humidity content. Furthermore, the frequency of fires determines the resistance of the ecosystems to this phenomenon. In this sense, the warm climates of the south of the state are more vulnerable, having a marked seasonality with a warm period in which high temperatures concur with low air humidity; during these periods, the fuel reaches minimal humidity levels, ranging between 25 and 35 % (Estrada and Ángeles, 2007). At the same time, high temperatures increase the likelihood of ignition and propagation. If we add the episodes of hot, dry winds that are characteristic of these climate regions, we have an appropriate scenario for catastrophic fires that have high destruction rates, since they cover hundreds of hectares.

Los elementos heterogéneos del medio físico generan respuestas diferenciales, cuando interactúan variables como: relieve, orientación, humedad relativa, temperatura y precipitación. También inciden en la mayor frecuencia de siniestros en determinadas regiones donde la cantidad de los combustibles tiende a ser superior y su contenido de humedad menor; asimismo, la frecuencia de incendios determina cuáles ecosistemas son más o menos resistentes a este fenómeno. Al respecto, resultan ser más vulnerables los de climas cálidos del sur de la entidad, que se relacionan con una marcada estacionalidad, con un período caluroso en el que coinciden altas temperaturas y la humedad del aire es relativamente baja, en esos lapsos el combustible alcanza valores mínimos de contenido de humedad, entre 25 y 35 % (Estrada y Ángeles, 2007). A su vez, las altas temperaturas incrementan las probabilidades de ignición y propagación. Si a esta combinación de factores climáticos se añaden los episodios de vientos secos y cálidos, propios de esas regiones climáticas, se tiene un escenario apropiado para los incendios catastróficos que destruyen cientos de hectáreas, indicativo de su elevada afectación.

The climate tendencies interact with the changes in the use of the soil, since the abandonment of the agricultural and stockbreeding practices which have allowed fuel accumulation is very pronounced.

Although forest fires are the main agent of destruction of vegetation in order to make way for agriculture, urbanization, grazing or other uses, according to the data on the replanting density in affected areas, fire alone has affected approximately 32 % of the forest cover at state level during the last 11 years. Forests and rainforests are estimated to recover by 30 % (GEM, 2010) after a fire; *i.e.* in average, 256 out of every 643 burnt hectares regenerate successfully. Shrubs, bushes and herbs recover their structure and composition relatively soon after the fire, unlike forests, which tend to be replaced by other species due to the inability of their seeds to survive high temperatures and to the time-lag between the fire and the availability of seeds (Rodríguez *et al.*, 2007).

According to Mielnicki *et al.* (2011), fires have clearly defined spatial patterns and they affect large areas within the territory;



Fuente: GEM, 2011a.

Source: GEM, 2011a.

Figura 5. Temperatura y humedad promedio del 2000-2011 y tendencia al 2020.

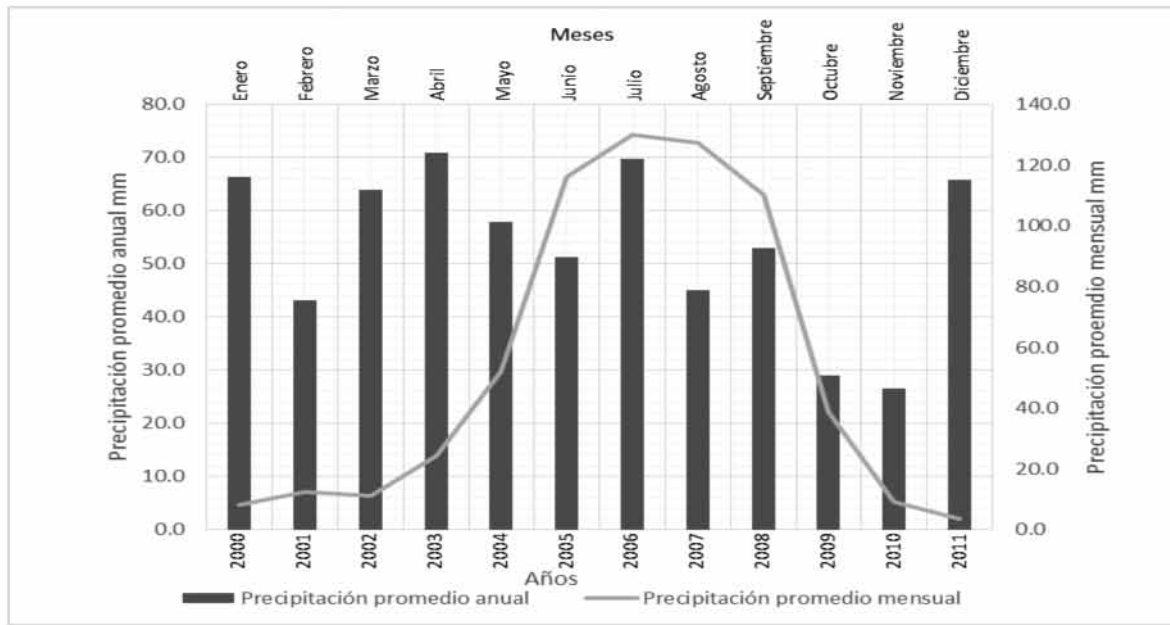
Figure 5. Average temperature and humidity between the years 2000 and 2011 and projected tendency for the year 2020.

Las tendencias climáticas interactúan con los cambios en el uso del suelo, pues es muy marcado el abandono de las prácticas agrícolas y ganaderas que han permitido la acumulación del combustible.

Si bien, los incendios forestales representan el principal agente destructor de la vegetación para dar paso a zonas agrícolas, urbanas, de pastoreo u otro uso; el manejo de los datos sobre densidad de revegetación en áreas afectadas evidencian que tan solo el fenómeno del fuego ha afectado aproximadamente 32 % del total de la cobertura forestal a nivel estatal, durante los últimos 11 años. Se estima que los

therefore, their study must be conducted at this geographical scale. This requires adequate tools, such as geographic information systems, aerial photography and remote sensors. Navarro *et al.* (2001) emphasize the use of maps of the vegetation previous to the fire; this is a basic information tool for understanding the response of the vegetal cover to fire and hence for proposing any alternative to restore the areas affected by forest fires.





Fuente: GEM, 2011a.
Source: GEM, 2011a.

Figura 6. Precipitación promedio mensual y anual del 2000 al 2011.
Figure 6. Average monthly and annual precipitation from 2000 to 2011.

bosques y selvas se recuperan en 30 % (GEM, 2010) después de un incendio; es decir, en promedio de 643 hectáreas que se queman, 256 son regenerados con éxito. Los matorrales, arbustos y hierbas son los que recuperan su estructura y composición con relativa rapidez después del fuego, a diferencia de los bosques, los cuales tienden a ser reemplazados por otras especies, debido a la incapacidad de sus semillas para sobrevivir a las altas temperaturas y al desajuste entre el momento del incendio y la disponibilidad de semillas (Rodríguez *et al.*, 2007).

De acuerdo con Mielnicki *et al.* (2011), los incendios tienen patrones espaciales bien definidos y afectan áreas extensas del territorio, por eso su estudio tiene que dirigirse a esa escala geográfica, para ello son necesarias herramientas apropiadas, como los sistemas de información geográfica, la fotografía aérea y los sensores remotos. Navarro *et al.* (2001) hacen énfasis en el uso de la cartografía de la vegetación previa al incendio, la cual es una herramienta de información básica para comprender la respuesta de la cubierta vegetal al fuego y, por tanto, para proponer cualquier alternativa de restauración de las áreas afectadas por incendios forestales.

Piñol *et al.* (1998) señalan que la ampliación de la escala considerada no termina en un nivel regional o de paisaje, sino que alcanza la biósfera, puesto que los registros climáticos demuestran que las temperaturas medias anuales han aumentado, pero es más significativo el hecho de que el número de días con condiciones climáticas extremas de alto riesgo de incendios, altas temperaturas y baja humedad del aire, se han incrementado.

Piñol *et al.* (1998) point out that the contemplated scaling up does not end at a regional or landscape level but extends to the biosphere, since the climate records show that the mean annual temperatures have risen; however, the increase in the number of days with extreme climate conditions implying high risk of fires due to high temperatures and low air humidity is even more significant.

Another important aspect that must be taken into account are the disturbances produced by fire in the ecosystems, since they facilitate the establishment of short-lived species; *i.e.*, burnt down areas may be an appropriate habitat, at a landscape scale, for species whose seeds come from areas outside the burnt zone and thus change the makeup of the ecosystem (Begon *et al.*, 1990; Del Campo and Bernal, 2010; Valladares *et al.*, 2005). This has caused grasslands to replace large stretches of forests across the state since the last century, as a result of the low regeneration capacity of certain species that do not easily survive high temperatures and the adaptability of others to fire.



Otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta, son los disturbios del fuego en los ecosistemas, porque facilitan el establecimiento de especies de vida corta; es decir, las zonas incendiadas pueden representar un hábitat apropiado, a escala de paisaje, para organismos cuyas semillas proceden de poblaciones externas a la zona quemada, lo que cambia la composición del ecosistema (Begon *et al.*; 1990; Del Campo y Bernal, 2010; Valladares *et al.*, 2005). Lo anterior ha generado en todo el estado, desde el siglo pasado, que superficies donde predominaban grandes extensiones de bosque, ahora están cubiertas por pastizales. Esto responde a la escasa capacidad regenerativa de algunos taxa para sobrevivir a las altas temperaturas y a la adaptación al fuego de otros.

Dado que no existe literatura sobre los efectos de la intensidad de los incendios sobre la vegetación en el Estado de México, se consideró como referencia el estudio de Chuvieco *et al.* (2004) realizado en el sur de Canadá, los autores registran que el fuego facilita la apertura de los conos del género *Pinus* a partir de 100 °C, y que la capacidad de rebrote de algunos arbustos después de incendios (a 200 °C) es exitosa; asimismo Asbjornsen y Gallardo (2004) citan que para bosques mesófilos de montaña, el porcentaje de especies que sobrevivieron en parcelas quemadas fue relativamente bajo, por lo que asumen que dichos parámetros se pueden asociar a las comunidades vegetales del Estado de México; por lo tanto, la capacidad de regeneración de un ecosistema dependerá de la germinación de las semillas resistentes al fuego.

La acumulación del combustible también tiene un papel importante, aunque puede jugar un rol secundario ante determinadas prácticas de uso del suelo. El abandono de las prácticas agrícolas tradicionales ha causado una homogeneización del paisaje que promueve la propagación de los incendios. Se ha observado para el caso de México que sería de utilidad aplicar el método de reducción de combustibles, ya que los incendios no alcanzan dimensiones gigantescas debido a que cuando ocurren generan un mosaico de parches con diferente carga de combustible. La reducción del combustible puede ser mediante quemas controladas y con ello se dedicaría menos esfuerzo a extinguir los incendios (Minnich, 1983).

Estratos vegetales afectados

En la actualidad, el incremento de incendios forma parte de una secuencia lógica: la vegetación se recupera tras el uso intensivo del territorio que ha realizado el hombre a través de las actividades agrícolas y ganaderas; esto implica la colonización y desarrollo de la vegetación y, en consecuencia, una acumulación de combustible que ocurre, principalmente, en los estratos bajos, por lo que los primeros vegetales que arden con gran rapidez son los arbustos y pastos, constituidos por combustibles ligeros como: hojas, acículas, hierbas, matorrales, arbustos, ramas caídas, pastos secos y tocones.

Given the inexistence of literature on the effects of the intensity of fires on the vegetation in the state, the study carried out by Chuvieco *et al.* (2004) in southern Canada was taken as a reference. The authors note that fire facilitates the opening of cones in the genus *Pinus* starting from a temperature of 100 °C, and that certain shrubs successfully produce new shoots after fires (at 200 °C). Likewise, Asbjornsen and Gallardo (2004) quote relatively low percentages for the surviving species in burnt-out plots in mid-mountain mesophytic forests. Thus, the ability of an ecosystem to regenerate will depend on the sprouting of fire-resistant seeds.

Fuel accumulation also plays an important role, although this role can be secondary in the face of certain soil-use practices. The abandonment of traditional agricultural practices has caused a homogenization of the landscape that promotes the propagation of fires. It has been observed that the application of the fuel reduction method would be helpful in Mexico due to the fact that fires do not attain gigantic dimensions because, when they occur, they generate a mosaic of patches with different fuel loads. Fuel reduction can be attained thorough controlled burnings, reducing the investment of effort required to extinguish forest fires (Minnich, 1983).

Affected vegetal strata

Today, the increased occurrence of fires is part of a logical sequence: vegetation recovers after intensive use of the territory by man through agricultural and stockbreeding activities. This implies the colonization and development of vegetation and, consequently, a fuel accumulation occurring mainly in the lower strata; thus, the first plants to burn are bushes and grasses; these burn rapidly and consist of light fuels such as leaves, needles, herbs, bushes, shrubs, fallen branches, dry grasses and stumps. The data analysis shows that when a forest fire is produced, 57.1% (1 748 hectares) of the affected surface correspond to shrubs, and 37.5% (640 hectares) are grasses; these make up the initial propagation focus through the transmission of the heat emitted by combustion to the nearest fuels, which may burn as they heat up (Terán and Ochoa, 2007).



El análisis de los datos muestra que cuando se produce un incendio forestal 57.1 % (1 748 hectáreas) de la superficie afectada corresponde a los arbustos y 37.5 % (640 hectáreas) son pastos, que constituyen el foco inicial de propagación, por medio de la transmisión del calor que se emite en la combustión a los combustibles más o menos próximos, que al calentarse pueden arder (Terán y Ochoa, 2007).

Los ecosistemas vegetales próximos a la madurez ecológica arden con más dificultad que otras formaciones vegetales, debido a que son combustibles pesados y, generalmente, la densidad de vegetación disminuye, por lo que el fuego tiene dificultades para su propagación. Otros factores que impiden la propagación del fuego son la topografía del terreno y el contenido de humedad, que en estos estratos es mayor, sin dejar a un lado, las sustancias químicas volátiles presentes en ciertas especies. Con base en lo anterior se determinó que en un incendio forestal, el fenómeno del fuego afecta en promedio 0.8 % del arbolado adulto, aproximadamente 564 hectáreas por año; y a 12.6 % del renuevo, equivalente a 7 683 hectáreas.

En la Figura 7 se observa que la severidad de los incendios sobre la vegetación es alta, en el centro y noreste del Estado de México, donde predominan ecosistemas de bosque

Those vegetal ecosystems that are closest to ecological maturity burn less easily than other vegetal formations because they are heavy fuels and also because the vegetation density decreases, hindering the propagation of fire. Other factors that prevent the propagation of fire are the topography of the land and the humidity content, which is higher in these strata, as well as the volatile chemicals present in certain species. Based on this, it was determined that a forest fire affects an average of 0.8 % of the adult trees, i.e. approximately 564 hectares per year, and 12.6 % of the new shoots, which are equivalent to 7 683 hectares.

Figure 7 shows a highly severe impact of fires on the vegetation at the center and in the northeast of the State of Mexico, where temperate forest ecosystems with a large amount of biomass are prevalent. Conversely, in the north and south of the state there is a medium severity; although fires are very frequent, only the trees of the lower levels die, and the vegetation is mainly shrubs and grasses, which tend to regenerate quickly. The degree of damage due to the disturbance determines its effects on the vegetation, but it also gives cause for the conservation and management of the ecosystems, given their spatial and temporal variability.

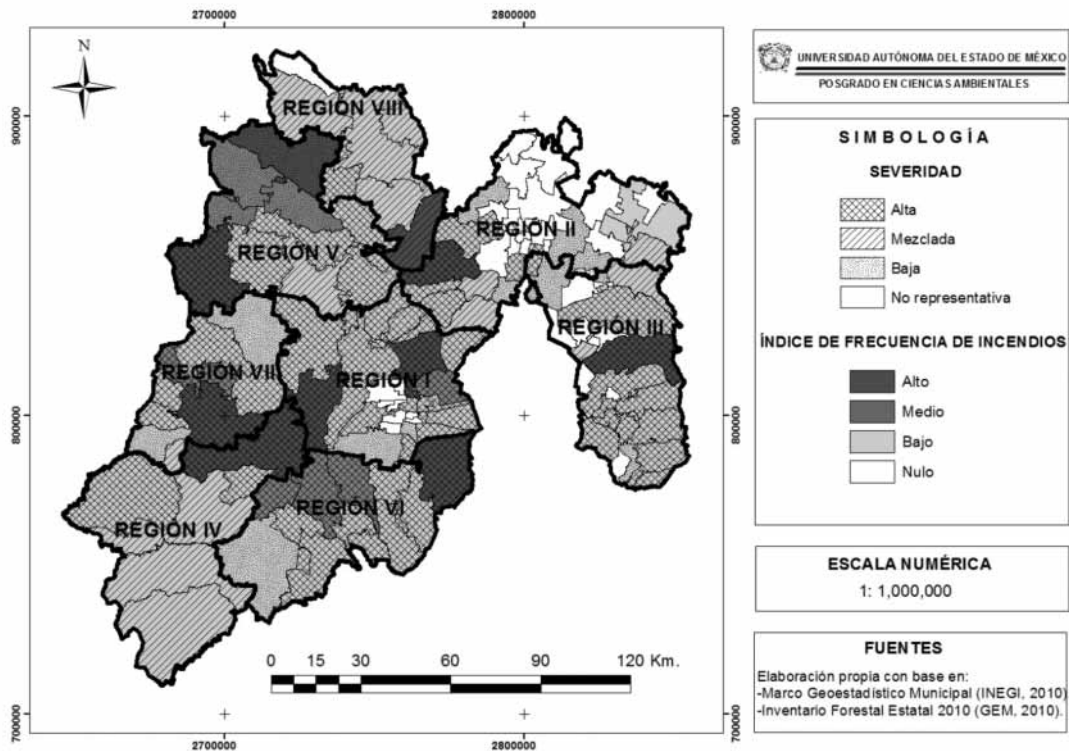


Figura 7. Frecuencia de incendios y severidad.
Figure 7. Forest fire frequency and severity.

templado que contienen gran cantidad de biomasa. La frecuencia de incendios es alta, y los estratos más afectados son los arbustos y el arbolado adulto. En cambio, en el norte y sur de la entidad, la severidad es media, aunque los incendios son bastante frecuentes solo mueren árboles de niveles bajos, y la vegetación en su mayoría son arbustos y pastos, los cuales tienden a regenerarse rápidamente. El grado de afectación de la perturbación determina los efectos a la vegetación, pero también, da lugar a la conservación y manejo de los ecosistemas por su variabilidad espacial y temporal.

Conclusiones

Se observa una fuerte asimetría en la distribución de frecuencia de incendios, pocos siniestros contabilizan la mayor parte de la superficie quemada. Esta asimetría se refleja en la combinación de múltiples factores: acumulación de combustible, condiciones climáticas extremas, factores antrópicos y saturación de los servicios de extinción.

Las condiciones climáticas juegan un papel muy importante en el origen, frecuencia y extensión de incendios, ya que su mayoría se producen con más frecuencia cuando las temperaturas alcanzan un máximo y la humedad es relativamente baja, afectando grandes extensiones de vegetación, y que las principales zonas impactadas son aquellas donde la cubierta vegetal resulta más vulnerable como las selvas, pastizales y los ecosistemas de bosques templados en los que se combinan los estratos arbustivos con el arbolado adulto.

La frecuencia de incendios no es un parámetro que muestra por sí solo el grado de disturbio que dejan los incendios, puesto que muchos incendios son de poca superficie, mientras que un solo incidente puede acaparar grandes extensiones del territorio; por ello es que el Índice de Afectación Regional difiere en gran número del municipal, pues también se tiene que considerar el estrato afectado según el tipo de vegetación; para obtener una visión más detallada y con ello determinar el grado de severidad que dejan a su paso los incendios en el Estado de México.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Gabriela Gutiérrez Martínez: selección de unidades de estudio y sitios de muestreo en campo, estructuración del manuscrito y base de datos, revisión y análisis de datos; María Estela Orozco Hernández: selección de unidades de estudio y sitios de muestreo en campo, estructuración del manuscrito y base de datos, revisión del manuscrito; José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz: definición del tema de estudio y unidades de muestreo en campo, análisis y revisión de datos y, del manuscrito; José Manuel Camacho Sanabria: análisis y procesamiento de datos, revisión del manuscrito.

Conclusions

A strong asymmetry is evident in the distribution of the frequency of forest fires; few fires account for the larger part of the burnt surface. This asymmetry is reflected in the combination of many factors: fuel accumulation, extreme climate conditions, anthropic factors and saturation of the extension services.

The climate conditions play a very important role in the origin, frequency and propagation of fires, as most of them are more frequently produced when the temperatures reach a maximum and the humidity levels are relatively low, affecting large areas of vegetation, and because the main affected areas are those where the vegetation is most vulnerable, e.g. rainforests, grasslands and the ecosystems of temperate forests, where the four shrub strata are combined with adult trees.

The frequency of fires is not a parameter that can show by itself the degree of disturbance left by fires, as many of these do not spread over a large surface area, whereas a single incident may cover large stretches of land. For this reason, the regional Destruction Rate differs greatly from the municipal one, and therefore the affected stratum must also be accounted for according to the vegetation type in order to obtain a more detailed picture by which to determine the severity of the damage that fires leave in their wake in the State of Mexico.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Gabriela Gutiérrez Martínez: selection of study units and field simple sites; structuring of the manuscript and data base, review and data analysis; María Estela Orozco Hernández: selection of study units and field simple sites; structuring of the manuscript and data base, review of the manuscript; José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz: definition of the study topic and field sampling units, data analysis and review of the manuscript; José Manuel Camacho Sanabria: data analysis and processing, review of the manuscript.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the Conacyt-Semarnat Fund for having sponsored the Project number, "Changes of soil use induced by agricultural and stockbreeding activities in warm and temperate terrestrial ecosystems of the State of Mexico: local impacts and global greenhouse gas emissions".

End of the English version



Agradecimientos

Al Fondo sectorial Conacyt-Semarnat por el financiamiento al proyecto Cambios de uso del suelo, inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México: impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero.

Referencias

- Agee, J. K. and C. N. Skinner. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management* 211: 83-96.
- Agrawal, A., M. Kononen and N. Perrin. 2009. The Role of Local Institutions in Adaptation to Climate Change. *Social Development papers. Social Dimensions of Climate Change*. Washington, DC, USA. Paper Num. 118. 22 p.
- Andreae, M. O. and P. Merlet. 2001. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles* 15(4): 955-966.
- Asbjornsen, H. y C. Gallardo H. 2004. Impactos de los incendios de 1998 en el bosque mesófilo de montaña de Los Chimalapas, Oaxaca. *In: Villers R., L. y J. López B. (eds.). Incendios forestales en México. Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México, 164 p.
- Begon, M., J. Harper and C. R. Townsend. 1990. *Ecology. Individuals, populations and communities*. Blackwell. Oxford, Oxfordshire, England, pp. 436-512.
- Bowman, D. M. J. S., J. K. Balch, P. Artaxo, W. J. Bond, J. M. Carlson, M. A. Cochrane, C. M. D'Antonio, R. S. De Fries, J. C. Doyle, S. P. Harrison, F. H. Johnston, J. E. Keeley, M. A. Krawchuk, C. A. Kull, J. B. Marston, M. A. Moritz, I. C. Prentice, C. I. Roos, A. C. Scott, T. W. Swetnam, G. R. van der Werf and S. J. Pyne. 2009. Fire in the earth system. *Science*. 324:481-484.
- Carmona, J. X., 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* 2 (3): 37-52.
- Ceballos, G., R. List, G. Garduño, R. López C., M. J. Muñozcano Q., E. Collado y J. E. San R. (comps.). 2008. *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de estado*. Biblioteca Mexiquense del Bicentenario. Colección Mayor. Gobierno del Estado de México-Secretaría de Medio Ambiente. Toluca, Edo. de Méx., México. 501 p.
- Cedeño S., O. 2001. Situación actual sobre los incendios forestales y sus principales causas. *In: Memorias del II Foro Internacional sobre los Aprovechamientos Forestales en selvas y su relación con el ambiente*. Semarnat-FAO-Gobierno del Estado de Veracruz. 2 de diciembre de 1997. Veracruz, Ver., México, pp. 235-252.
- Ciesla, W. M. 1995. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Dirección de Recursos Forestales. FAO. Roma, Italia. 143 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2006. *Incendios forestales: guía práctica para comunicadores*. Semarnat. México, D.F., México. 17 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2007. Reporte semanal de resultados de incendios forestales 2007. Datos acumulados del 01 de enero al 31 de diciembre de 2007. Coordinación General de Conservación y Restauración. Gerencia de Protección contra Incendios. México, D.F., México. 17 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2008. Reporte semanal de resultados de incendios forestales 2008. Datos acumulados del 01 de enero al 31 de diciembre de 2008. Coordinación General de Conservación y Restauración. Gerencia de Protección contra Incendios. México, D.F., México. 17 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009. Reporte semanal de resultados de incendios forestales 2009. Datos acumulados del 01 de enero al 31 de diciembre de 2009. Coordinación General de Conservación y Restauración. Gerencia de Protección contra Incendios. México, D.F., México. 17 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2010. Reporte semanal de resultados de Incendios forestales 2010. Datos acumulados del 01 de enero al 31 de diciembre de 2010. Coordinación General de Conservación y Restauración. Gerencia de Protección contra Incendios. México, D.F., México. 17 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2011. Reporte semanal de resultados de incendios forestales 2011. Datos acumulados del 01 de enero al 31 de diciembre de 2011. Coordinación General de Conservación y Restauración. Gerencia de Protección contra Incendios. México, D.F., México. 17 p.
- Chuvieco, E., I. Aguado and A. Dimitrakopoulos, 2004. Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 2284-2293.
- Del Campo P-L., Á. y F. H. Bernal del T. 2010. Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El hombre y la máquina* 35:67-81.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2004. *In: Rhonda Pfaff (ed.). ArcGIS Ver. 9: Editing in ArcMap*. ESRI. Redlands, CA, USA. 494 p.
- Estrada C., I. y E. R. Ángeles C. 2007. Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional "el Chico", Hidalgo. *Ecología y biodiversidad, claves de la prevención*. Evaluación de combustibles forestales. Wildfire. Sevilla, España. 19 p.
- Eva, H. and E. Lambin. 2000. Fires and land-cover change in the tropics: a remote sensing analysis at the landscape scale. *Journal of Biogeography* 27:765-776.
- Gay, C. 2004. Presentación. *In: Villers R., L. y J. López B. (eds.). Incendios forestales en México. Métodos de evaluación*. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F., México. pp. 9-12.
- Gobierno del Estado de México (GEM). 2009. *Incendios Forestales en el Estado de México y sus Emisiones a la Atmósfera*. Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. Tlalnepanitla de Baz, Edo. de Méx., México. 30 p.
- Gobierno del Estado de México (GEM). 2010. *Inventario Forestal Estatal 2010*. SEDAGRO/Probosque. Metepec, Edo. de Méx., México. 222 p.
- Gobierno del Estado de México (GEM). 2011a. Reporte diario sobre valores medios climáticos 2000 - 2011. Datos reportados por la estación meteorológica. Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Secretaría del Medio Ambiente. Metepec, Edo., de Méx., México. 18 p.
- Gobierno del Estado de México (GEM). 2011b. Reporte diario de incendios forestales del 1 de enero de 2000 al 20 de junio del 2011. Dirección de Incendios Forestales. Probosque. Metepec, Edo. de Méx., México. 21 p.
- Gobierno del Estado de México (GEM). 2012. *Una mirada hacia el estado de México 2012*. COESPO. Toluca, Edo. de Méx., México. 82 p.
- Greenpeace. 2012. *Incendios Forestales ¿Qué perdemos?* <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/incendios-forestales-que-per.pdf> (15 de noviembre de 2012).



- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2007. "Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis". Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio. OMM, PNUMA. Ginebra, Suiza. 104 p.
- Haltenhoff, H. 1998. Impacto del Fuego sobre el Medio Ambiente. Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile, Chile. 16 p.
- Manso J., R. W. 2010. Emisiones de Gases y Partículas Producto de los Incendios Forestales en Cuba entre 1989 y 1999. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. I. Meteorología. CITMA. Sitio Argentino de Producción animal. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 10 p.
- Martínez D., R. y D. A. Rodríguez T. 2008. Los Incendios Forestales en México y América Central. *In: Memorias del Segundo Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales: Una Visión Global.* Conafor-Universidad Autónoma Chapingo. Abril 2008. Córdoba, España. pp. 767-769.
- Mckenzie, D. 2004. La historia del fuego y su relación con el clima. *In: Villers R. L y J. López B. (eds).* Incendios forestales en México. Métodos de evaluación. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F., México. pp. 13-24.
- Mielnicki, D. M., P. Canziani, J. Drummond and J. P. Skalary. 2011. La Quema de Biomasa en Sudamérica Vista desde el Espacio. Programa de Estudio de los Procesos Atmosféricos en el Cambio Global. Universidad Católica Argentina. Buenos Aires, Argentina. 10 p.
- Minnich, R. A. 1983. Fire mosaics in southern California and northern Baja California. *Science* 219(4590): 1287-1294.
- Montoya, J. M. 1995. Red de seguimiento de daños en los montes. Daños originados por la sequía en 1994. Cuadernos Sociedad Española Ciencias Forestales 2:65-76.
- Navarro C., R. M., P. Fernández R. y S. Escuin R. 2001. Evaluación de los daños producidos por incendios forestales mediante imágenes de satélite. Propuesta de restauración. *In: II Congreso forestal Nacional.* Granada, España. pp. 48-487.
- Oliver, J. G. J. and J. J. M. Berdowski. 2002. Part III: Greenhouse gas emissions: 1. Shares and trends in greenhouse gas emissions; 2. Sources and Methods; Greenhouse gas emissions for 1990 and 1995. *In: CO₂ emissions from fuel combustion 1971-2000.* International Energy Agency (IEA). Paris Cedex, France. pp. 1-31.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2011. Quema de biomasa: Indicadores De Presión Estado Respuesta. http://www.uca.edu.ar/Quema_biomasa_desde_el_spacio.pdf. (17 de mayo de 2011).
- Ortiz Á., M. I., R. Vida Z., G. Gómez R. y R. Álvarez B. 2003. Evaluación de las plumas de humo de los incendios forestales de 1998 en México y la utilidad de las imágenes NOAA-AVHRR. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 23: 103-114.
- Orozco H., M. E., P. Lezama M., M. E. Valdez P. y V. Peña M. 2011. Incendios forestales y degradación de los ecosistemas terrestres: impactos locales y emisiones globales. Exploración de la situación en el Estado de México. *Revista Geográfica de América Central* Número especial. 21 p.
- Piñol, J., J. Terradas y F. Lloret. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climate Change* 38:345-357.
- Porrero R., M. A. 2001. Incendios forestales. Investigación de causas. Mundi Prensa. Madrid, España. 158 p.
- Ressl, R. e Isabel Cruz. 2012. Detección y monitoreo de incendios forestales mediante imágenes de satélite. *Comisión Nacional Forestal. Biodiversitas* 100:12-13.
- Rodríguez, T. D. y P. Fulé. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire* 12:23-37.
- Rodríguez, T. D. A., H. Tchikoué M. y J. Santillán P. 2007. Emisiones contaminantes durante la temporada 2003 de incendios en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1): 33-39.
- Rosenfeld, D. 1999. Environmental News Network Related Sites TRMM NASA Goddard Space Flight Center, Geophysical Research Letters. Hebrew University of Jerusalem. Jerusalem, Israel. pp. 3105-3108.
- Rowe, J. S. 1981. Concepts of fire effects on plant individuals and species. *In: Wein, R. W. and D. A. Maclean (eds).* The role of fire in northern circumpolar ecosystems. Wiley and Sons. New York, NY, USA. pp. 135-154.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental- Reporte 2000. México, D.F., México. pp. 2-52.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Instituto Nacional de Ecología (Semarnat/INE). 2006. México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, INE. México, D.F., México. pp. 27-209.
- Shneider, S. H. 1989. The greenhouse affect: science end policy. *Science* 243: 271-281.
- Simmonds, P. G., A. J. Manning A., R. G. Derwent, P. Ciais, M. Ramonet, V. Kazan and D. Ryall. 2005. A burning question. Can recent growth rate anomalies in the greenhouse gases be attributed to large-scale biomass burning events? *Journal of Atmospheric Environment* 39: 2513-2517.
- Sonne, E. 2006. Greenhouse gas emissions from forestry operations: a life cycle assessment. *Journal of Environmental Quality* 35: 1439-1450.
- Tchikoué, H. 2003. Evaluación del Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales, ejercicio fiscal 2003, Informe final. Universidad Autónoma de Chapingo, Semarnat-Conafor. México, D.F., México. 291 p.
- Terán, C., A. e I. Ochoa M. 2007. Detección de incendios forestales. *In: Primera reunión conjunta de las comisiones del IPGH.* Instituto Panamericano de Geografía e Historia. 27-29 de junio. Itu, Sao Paulo, Brasil. 25 p.
- Valladares, F. 2004. Régimen de Incendios y regeneración. *In: Valladares, F. (eds).* Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A. Madrid, España. pp. 101-126.
- Valladares, F., J. Peñuelas y E. de Luis Calabuig. 2005. Impactos sobre los ecosistemas terrestres. Evaluación preliminar de los impactos en España por los efectos del Cambio Climático. Castilla, España. 42 p.
- Vélez, R. 1995. El peligro de los incendios forestales derivado de la sequía. *Cuadernos Sociedad Española Ciencias Forestales* 2: 99-109.
- Villers, L. y J. Blanco. 2004. Incendios forestales en México: métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México - Centro de Ciencias de la Atmósfera. México, D.F., México. 164 p.
- Wong G., J. C. y L. Villers Ruiz, 2007. Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales. Un estudio en el parque nacional La Malinche. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 62: 87-103.

