

# FACTORES QUE INCIDEN EN LA SINIESTRALIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Dante Arturo Rodríguez Trejo<sup>1</sup>, Hugo Ramírez Maldonado<sup>1</sup>,  
Hubert Tchikoué<sup>1</sup> y Javier Santillán Pérez<sup>1</sup>

## RESUMEN

A pesar de que algunos indicadores meteorológicos, tales como la temperatura y la humedad relativa, podrían correlacionar bien con la incidencia de incendios forestales, la influencia de factores sociales y de otro tipo complican esta aparente sencilla relación. Las variables sociales se asocian con la causalidad humana y se refieren, entre otras, a las actividades agropecuarias y al nivel de vida. El presente trabajo se realizó con el propósito de detectar las variables sociales, meteorológicas, productivas, económicas y de uso del suelo, que se correlacionan con las indicativas de siniestralidad de incendios. Se determinó la correlación de Pearson entre seis variables de siniestralidad y 86 variables explicatorias, incluyendo todos los estados del país y considerando un periodo de dos años. Se obtuvieron cientos de correlaciones significativas y se procedió a desarrollar un proceso de regresión de inclusión/eliminación progresiva de variables mediante el procedimiento Stepwise del programa SAS, para obtener los mejores modelos hasta cuatro variables. La superficie de área perturbada, la velocidad más alta de las máximas de viento, el número de productores agrícolas apoyados durante el ciclo productivo primavera verano, el número de combatientes de incendios forestales y el nivel de alfabetización, entre otras, fueron las variables con una mayor correlación con la superficie afectada, el número de incendios y otros indicadores de siniestralidad.

**Palabras clave:** Correlación de Pearson, incendios forestales, factores de riesgo, procedimiento Stepwise, peligro de incendios, riesgo de incendios.

Fecha de recepción: 21 de diciembre de 2007

Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2008

---

<sup>1</sup> División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Correo-e: [dantearturo@yahoo.com](mailto:dantearturo@yahoo.com)

## ABSTRACT

Apparently, some meteorological indicators, such as temperature and relative humidity, may correlate well with the incidence of forest fires. However, the influence of social and other type of factors, difficult to find such relationship. The later human factors are related to agricultural and cattle raising activities and livelihoods, among others. This work was conducted in order of detecting social, meteorological, productive, economic and use of soil variables that potentially correlate with forest fires-related variables. For all the states of Mexico, and considering a two- year period, was determined the Pearson correlation among six forest fires-related variables and 86 independent variables. Were obtained hundreds of positive correlations and was developed a progressive regression process of inclusion/exclusion of variables with the use of the Stepwise procedure of program SAS, in order of obtaining the best models with one to four variables. The area of perturbed lands, the maximum among maximum wind speed, the number of peasants supported with money for the Spring-Summer productive cycle, the number of firefighters, the alphabetization level, among others, were the variables better correlated with the affected area, number of fires and other forest fires-related indicators.

**Key words:** Pearson correlation, forest fires, fire risk, Stepwise procedure, factors of fire risk, fire danger.

## INTRODUCCIÓN

Cada año los incendios forestales afectan a cerca de 300,000 ha en México (CONAFOR, 2005). Se estima que 40% de los ecosistemas forestales del país son mantenidos por el fuego; el porcentaje restante corresponde a ecosistemas sensibles, influenciados o independientes del fuego. En una parte de los ecosistemas adaptados al fuego, los regímenes de incendios están alterados, lo que conduce a su degradación (Schilisky *et al.*, 2007). Tanto para la prevención y el combate tradicional de incendios forestales como en los nuevos esquemas de manejo del fuego, es crucial conocer los factores naturales y antropógenos asociados con la siniestralidad. Lo anterior se aborda en dos formas: mediante índices de peligro y a través de modelos que relacionan frecuencia o superficie afectada con factores de causalidad.

La primera opción se ha abordado más (Magaña, 1983; Benavides y Flores, 1993), pero en ambos procedimientos los aspectos humanos han sido poco estudiados. Entre los escasos trabajos de esta índole puede mencionarse el de Torres y Hernández (1999), quienes hallaron mayores incidencias en las áreas con menor nivel de educación y mayor disponibilidad de territorios para pastoreo en varias regiones del país. Román y Martínez (2006) determinaron que factores

como la presencia de vías de acceso incrementan la siniestralidad en Reservas de la Biósfera del estado de Chiapas. Figueroa (1998) analizó variables sociales y agrícolas que influyeron en la incidencia de incendios forestales durante la histórica temporada de incendios 1998 en México. Martínez (2004) estableció que las quemas negligentes e intencionales, ambas relacionadas con actividad agropecuaria, explican de 20 a 50% de los incendios en España y que el grado de fraccionamiento de la propiedad agrícola y el abandono de parcelas, incrementan el peligro de incendio.

La ocurrencia de incendios y la superficie que afectan son fenómenos influenciados por una conjugación de diversos factores, principalmente climáticos y sociales. Teóricamente, y el sentido común así lo interpretaría, los climáticos podrían explicarlos; sin embargo, los sociales también inciden sobre dichas influencias de manera significativa.

La generación de ecuaciones que describan tal asociación, con variables climáticas y sociales son una herramienta importante para el estudio del incendio en las áreas forestales. Una intención sería la predicción de incendios, que aunque deseable, resulta extremadamente incierta (Andrews *et al.*, 2007). Se puede indicar la incertidumbre con que se predice el clima a mediano y largo plazo para zonas específicas, a pesar de los avances científicos y tecnológicos de los sensores remotos y otro instrumental pertinente al propósito. Así, en la actualidad parte de la investigación se orienta a identificar las variables que explican la ocurrencia de incendios y la superficie que se afecta por ellos.

El objetivo del presente trabajo consistió en determinar qué variables de tipo meteorológico, social, económico, de uso del suelo y productivas, se asocian más para explicar la siniestralidad de incendios forestales a escala de todo el país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló una evaluación exploratoria de 86 variables explicatorias, incluyendo variables sociales, productivas, económicas, meteorológicas y otras relacionadas con el uso del suelo, para aclarar seis variables de la manifestación del número de incendios y la superficie que afectan, que fueron consideradas como variables de respuesta; entre estas últimas figuran, además, superficie afectada/superficie forestal, número de incendios/superficie forestal, superficie afectada/número de incendios y (superficie afectada/número de incendios)/superficie forestal (Cuadro 1).

Para algunas variables, como: a) las condiciones de clima antes del periodo de secas, b) las condiciones del clima durante el periodo de secas, c) las condiciones del clima tanto antes del periodo de secas como durante este último y d) la información sobre la precipitación del año anterior, fue necesario incluir datos

Cuadro 1. Variables empleadas para explicar la incidencia de incendios forestales en México.

| No.                      | Variable | Descripción                                                |
|--------------------------|----------|------------------------------------------------------------|
| Variables meteorológicas |          |                                                            |
| 1.                       | tmaxprom | Temperatura máxima promedio (°C)                           |
| 2.                       | tminprom | Temperatura mínima promedio (°C)                           |
| 3.                       | tmedprom | Temperatura media promedio (°C)                            |
| 4.                       | vmaxprom | Velocidad del viento máxima promedio (km h <sup>-1</sup> ) |
| 5.                       | hrelprom | Humedad relativa promedio (%)                              |
| 6.                       | pacumep  | Precipitación acumulada mensual promedio (mm)              |
| 7.                       | tmaxmax  | Temperatura máxima máxima (°C)                             |
| 8.                       | tminmax  | Temperatura mínima máxima (°C)                             |
| 9.                       | tmedmax  | Temperatura media máxima (°C)                              |
| 10.                      | vmaxmax  | Velocidad del viento máxima máxima (km h <sup>-1</sup> )   |
| 11.                      | hrelmax  | Humedad relativa máxima (%)                                |
| 12.                      | pacmemax | Precipitación acumulada mensual máxima (mm)                |
| 13.                      | tmaxmin  | Temperatura máxima mínima (°C)                             |
| 14.                      | tminmin  | Temperatura mínima mínima (°C)                             |
| 15.                      | tmedmin  | Temperatura media mínima (°C)                              |
| 16.                      | vmaxmin  | Velocidad del viento máxima mínima (km h <sup>-1</sup> )   |
| 17.                      | hrelmin  | Humedad relativa mínima (%)                                |

continúa...

continuación Cuadro 1...

| No.                      | Variable | Descripción                                                                                   |
|--------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variables meteorológicas |          |                                                                                               |
| 18.                      | pacmemi  | Precipitación acumulada mensual mínima (mm)                                                   |
| 19.                      | pactper  | Precipitación acumulada total en el periodo (mm)                                              |
| Variables productivas    |          |                                                                                               |
| 20.                      | nmpappv  | Número de municipios apoyados con financiamiento en el ciclo agrícola primavera verano (no.)  |
| 21.                      | nprappv  | Número de productores apoyados con financiamiento en el ciclo agrícola primavera verano (no.) |
| 22.                      | supappv  | Superficie apoyada en el ciclo primavera verano (ha)                                          |
| 23.                      | monappv  | Monto de los apoyos en el ciclo primavera verano (\$)                                         |
| 24.                      | supelep  | Superficie elegible para el ciclo primavera verano (ha)                                       |
| 25.                      | suptotpv | Superficie total para el ciclo primavera verano (ha)                                          |
| 26.                      | nmpapoi  | Número de municipios apoyados con financiamiento en ciclo agrícola otoño invierno             |
| 27.                      | nrapoi   | Número de productores apoyados con financiamiento en el ciclo agrícola otoño invierno (no.)   |
| 28.                      | supapoi  | Superficie apoyada en el ciclo otoño invierno ha)                                             |
| 29.                      | monapoi  | Monto de los apoyos en el ciclo otoño invierno (\$)                                           |
| 30.                      | supeleoi | Superficie elegible para el ciclo otoño invierno (ha)                                         |
| 31.                      | suptotoi | Superficie total para el ciclo otoño invierno (ha)                                            |
| 32.                      | novinos  | Número de ganado de ovinos (no.)                                                              |

continuación...

continuación Cuadro 1...

| No.                        | Variable  | Descripción                                                                   |
|----------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Variables productivas      |           |                                                                               |
| 33.                        | ncaprino  | Número de ganado de caprinos (no.)                                            |
| 34.                        | nbovino   | Número de ganado de bovinos (no.)                                             |
| 35.                        | ovca      | Ovino y caprino, número de cabezas de ganado                                  |
| 36.                        | ani/sftl  | (Ovinos+caprinos+bovinos) / Superficie forestal total (no. ha <sup>-1</sup> ) |
| 37.                        | ovca/sft  | (Ovinos + Caprinos) / Superficie forestal total (no. ha <sup>-1</sup> )       |
| 38.                        | ovcabo    | Número de ganado de ovinos, caprinos y bovinos (no.)                          |
| 39.                        | supsembr  | Superficie sembrada (ha)                                                      |
| 40.                        | supcosech | Superficie cosechada (ha)                                                     |
| 41.                        | valprod   | Valor de la producción (\$)                                                   |
| Variables de uso del suelo |           |                                                                               |
| 42.                        | suptotodo | Superficie total de la entidad (ha)                                           |
| 43.                        | supbosq   | Superficie de bosque de la entidad (ha)                                       |
| 44.                        | supselv   | Superficie de selvas de la entidad (ha)                                       |
| 45.                        | suparb    | Superficie arbolada de la entidad (ha)                                        |
| 46.                        | zoarida   | Superficie de zonas áridas de la entidad (ha)                                 |
| 47.                        | hidrhalo  | Superficie de vegetación hidrófila y halófila (ha)                            |
| 48.                        | apertur   | Superficie de áreas perturbadas (ha)                                          |

continuación...

## continuación Cuadro 1...

| No.                          | Variable | Descripción                                                                         |
|------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Variables de uso del suelo   |          |                                                                                     |
| 49.                          | zahhaper | Superficie de zonas áridas, hidrófila, halófila y áreas perturbadas (ha)            |
| 50.                          | supftalt | Superficie forestal (ha)                                                            |
| Variables e índices sociales |          |                                                                                     |
| 51.                          | poblac   | Población (número de habitantes) (no.)                                              |
| 52.                          | espvida  | Esperanza de vida (años)                                                            |
| 53.                          | alfa6-14 | Alfabetización de las edades de 6 a 14 años (no. de alfabetizados)                  |
| 54.                          | alfa15   | Alfabetización de 15 años o más (no. de alfabetizados)                              |
| 55.                          | indeduc  | Índice de educación                                                                 |
| 56.                          | aentubo  | Población con agua entubada (número)                                                |
| 57.                          | drenaje  | Población con viviendas con drenaje (número)                                        |
| 58.                          | electri  | Población con vivienda con electricidad (número)                                    |
| 59.                          | alf6/pob | Alfabetización de 6 a 14 años relativa a población (no. de alfabetizados/población) |
| 60.                          | al15/pob | Alfabetización de 15 años relativa a población (no. de alfabetizados/población)     |
| 61.                          | atub/pob | Agua entubada relativa a población (no. con agua entubada/población)                |
| 62.                          | dren/pob | Drenaje relativa a población (no. con drenaje/población)                            |

continúa...

continuación Cuadro 1...

| No.                                               | Variable | Descripción                                                                                                             |
|---------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variables e índices sociales                      |          |                                                                                                                         |
| 63.                                               | elec/pob | Electricidad relativa a población (no. con electricidad / población)                                                    |
| 64.                                               | Indservs | Índice de Servicios                                                                                                     |
| 65.                                               | pib_p_c  | Producto Interno Bruto <i>per capita</i> (\$ persona <sup>-1</sup> )                                                    |
| 66.                                               | idhs     | Índice de Desarrollo Humano en Servicios                                                                                |
| 67.                                               | idhp     | Índice de Desarrollo Humano en Nivel de Vida                                                                            |
| 68.                                               | idg      | Índice de Desarrollo Humano en Género                                                                                   |
| 69.                                               | idh      | Índice de desarrollo Humano                                                                                             |
| 70.                                               | al6/sfta | Alfabetización de 6 a 14 años relativa a superficie forestal total (no. de alfabetizados/superficie forestal total, ha) |
| 71.                                               | al15/sft | Alfabetización de 15 años relativa a superficie forestal total (no. de alfabetizados/superficie forestal total, ha)     |
| 72.                                               | dren/sft | Drenaje relativa a superficie forestal total (no. con drenaje / superficie forestal total, ha)                          |
| 73.                                               | elec/sft | Electricidad relativa a superficie forestal total (no. con electricidad / superficie forestal, ha)                      |
| 74.                                               | atub/sft | Agua entubada relativa a superficie forestal total (no. con agua entubada/superficie forestal total, ha)                |
| Indicadores relacionados con incendios forestales |          |                                                                                                                         |
| 75.                                               | supafect | Superficie afectada por incendios forestales (ha)                                                                       |

continúa...

continuación Cuadro 1...

| No.                                               | Variable        | Descripción                                                                                                           |
|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indicadores relacionados con incendios forestales |                 |                                                                                                                       |
| 76.                                               | nincen          | Número de incendios forestales (no.)                                                                                  |
| 77.                                               | safe/sft        | Superficie afectada relativa a superficie forestal total ( $\text{ha ha}^{-1}$ )                                      |
| 78.                                               | ninc/sft        | Número de incendios relativo a superficie forestal total ( $\text{no. ha}^{-1}$ )                                     |
| 79.                                               | safe/ninc       | Superficie afectada dividida entre número de incendios (tamaño promedio de incendio) ( $\text{ha incendio}^{-1}$ )    |
| 80.                                               | s/n/sft         | (Superficie afectada / Número de incendios) / Superficie forestal total ( $\text{ha incendio}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) |
| 81.                                               | IDH alto ó bajo | Índice de Desarrollo Humano, calificado como alto o bajo                                                              |
| 82.                                               | presglob        | Presupuesto global para incendios (\$)                                                                                |
| 83.                                               | ncombto         | Número de combatientes total (no.)                                                                                    |
| 84.                                               | combcfor        | Número de combatientes de la CONAFOR (no.)                                                                            |
| 85.                                               | ncausagro       | Número de incendios por causas agropecuarias (no.)                                                                    |
| 86.                                               | supafagr        | Superficie afectada por causas agrícolas (ha)                                                                         |

Los datos fueron registrados para los años 2003 y 2004 y para cada entidad federativa.

de los últimos meses del año anterior a 2003 o a 2004. Es decir, además se incorporaron datos de 2002 para 2003 (y toda fue denominada como del 2003) y de 2003 para 2004 (correspondiente a 2004).

Lo anterior obedece a que se tomaron los meses de ocurrencia de incendios, de sequía y de lluvias específicos para cada estado, lo que originó diferentes grupos de acuerdo al comportamiento del clima, mismos que excedían el año calendario. La información climática provino de las bases de datos del Servicio Meteorológico Nacional. Finalmente, las bases de datos analizadas fueron cuatro a partir de los periodos de sequía-incendios-lluvias compilados (periodo de lluvias del año

anterior, tres meses antes del estiaje, cuatro meses de secas y siete meses antes del periodo de incendios). Cada base de datos incluyó 64 registros, compuestos por dos años y 32 entidades federativas.

Los datos de las variables de tipo social, que incluyen algunas sobre producción agrícola y otras eminentemente sociales, fueron obtenidos de las bases de datos de INEGI (2005), SAGARPA (2005) y PNUD (2005). La información de las variables físicas, como superficies incendiadas y número de incendios procede de CONAFOR (2005) e INEGI (2005) y algunas de las variables inicialmente se emplearon para generar otras, también en el Cuadro 1.

En un principio, el proceso consistió en un análisis de correlación lineal mediante el coeficiente de Pearson para seleccionar las variables explicatorias (independientes) que más se asociaron con las de respuesta (dependientes). Los valores del coeficiente, como era de esperarse, fueron muy bajos en general, salvo para la *Superficie afectada por causas agropecuarias* y el *Número de incendios por causas agropecuarias*. En los análisis posteriores ya no se les consideró, ya que por sí mismas explican alrededor de 90% del comportamiento de las variables de respuesta. Esta observación ratifica la conclusión empírica de que la mayoría de los incendios en México son causados, principalmente, por el uso del fuego en actividades agrícolas e intencionalmente para la crianza de ganado en pastoreo libre. Debido a la débil asociación entre las variables en estudio, evidenciada por el coeficiente de Pearson, se aceptaron valores de éste relativamente bajos.

El análisis numérico fue complementado con otro gráfico, del que se derivó una conclusión trascendente para las etapas posteriores que consistió en que, por lo general, las variables de clima presentaban un patrón en teoría aceptable para los estados con menor Índice de Desarrollo Humano (IDH), en tanto que para los estados con mayor valor en ese índice la conducta era errática. Esto sugirió el análisis separado de dos clases de datos, la primera correspondiendo a los registros con IDH menor a 0.7632 (clase denominada IDH -bajo) y la segunda para los registros con IDH igual o mayor que ese umbral (IDH -alto).

Se tomó como otro criterio posible de clasificación de los registros en la base de datos, a los meses de ocurrencia de sequía, incendios y lluvias, lo que generó cuatro grupos, algunos de ellos con un número de observaciones tan reducido que impidió su análisis estadístico.

La segunda etapa se desarrolló empleando un procedimiento de regresión de inclusión / eliminación progresiva de variables (Stepwise) mediante el programa SAS para microcomputadoras, para obtener los mejores modelos de una a cuatro variables explicatorias, incluyendo aquellas que en la primera etapa presentaron los mayores valores en el coeficiente de correlación. Este proceso se realizó haciendo esas regresiones para el conjunto de datos general, que incluye

los 64 registros por clases, la de IDH-bajo incluye 16 registros en tanto que la de IDH -alto a los restantes 48. En este proceso se corrieron varios cientos de regresiones múltiples. A través del procedimiento Stepwise se hizo la eliminación de las variables independientes que estuviesen correlacionadas entre sí en cada modelo. De los modelos obtenidos fue posible seleccionar las siete ecuaciones con mayor correlación y más significativas, poniendo como subtítulo a las variables explicatorias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las siete ecuaciones seleccionadas del proceso de regresión así como su interpretación se presentan en el Cuadro 2.

### Índice de desarrollo por género

$$safe/sft = 0.06837 - 0.09221(idg) \dots\dots(1)$$

La variable dependiente (superficie afectada dividida entre la superficie forestal total, *safe/sft*) refleja en términos proporcionales la superficie que es afectada en cada estado con relación a la superficie forestal total de esa entidad y en la Figura 1 se muestra gráficamente que la variable explicatoria se asocia de manera negativa con la variable dependiente. Es decir, que a menor índice de desarrollo por género (*idg*), se tienen mayores superficies afectadas en relación a la superficie forestal de cada estado. Lo anterior no significa que bajos valores de tal índice ocasionen en forma directa mayores superficies afectadas, sino que bajo las condiciones sociales prevalecientes en el país, que incluyen pobreza e inequidad de género, el índice por género es un buen indicador indirecto de la variable dependiente. El índice referido es también un indicador de desarrollo, y los estados con mayor equidad de género, son los más desarrollados, con menor presión degradante sobre sus recursos forestales, incluyendo incendios forestales, en términos generales. En contraparte, los estados con menores índices de desarrollo, como Oaxaca y Chiapas (INEGI, 2005), tienden a tener una mayor presión sobre sus recursos forestales, con altas tasas de deforestación, según se refieren en SEMARNAT (2000).

De forma análoga, Figueroa (1998) puntualizó que la mitad de los municipios donde ocurrieron incendios en la temporada 1998, tienen alta o muy alta marginación, y más del 50% se dedica a actividades económicas primarias. Mediante un análisis multivariado de 76% de los municipios de interés, el mismo autor determinó, entre otras, las siguientes características distintivas de donde ocurrieron los incendios: rurales indígenas con predominancia indígena, agrícolas con marginación baja, y agrícolas marginados.

Cuadro 2. Modelos obtenidos para explicar estimadores de incendios forestales a partir de variables independientes de tipo social, meteorológico, productivo, de uso del suelo y de estadísticas de incendios forestales.

| Ecuación número | Expresión                                                                                                                                     | n  | R <sup>2</sup> | A       | Condiciones       |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------|---------|-------------------|
| 1               | $\text{safe/sft} = 0.06837 - 0.09221(\text{idg})$                                                                                             | 16 | 0.6296         | 0.0001  | IDH bajo          |
| 2               | $\text{supafect} = 222.63214 + 0.00528(\text{apertur}) + 72.18394(\text{vmaxmax})$                                                            | 32 | 0.6798         | <0.0001 | regllov: NDE      |
| 3               | $\text{ninc/sft} = -0.00011534 - 0.00482(\text{al15/sft}) + 0.00542(\text{atub/sft}) + 0.00000469(\text{nmpappv}) - 0.01183(\text{al6/sfta})$ | 32 | 0.9909         | <0.0001 | regllov: NDE      |
| 4               | $\text{supafect} = -34825 + 0.35372(\text{nprappv})$                                                                                          | 16 | 0.5533         | 0.0006  | IDH bajo          |
| 5               | $\text{supafect} = -164.58929 + 3.17161(\text{ncombto}) - 8.46069(\text{combcor})$                                                            | 23 | 0.7908         | <0.0001 | regllov:EFMA      |
| 6               | $\text{supafect} = 45214 + 0.00547(\text{apertur}) + 81.54865(\text{vmaxmax}) - 615.47825(\text{espvida})$                                    | 32 | 0.7271         | <0.0001 | regllov: NDEFMAM  |
| 7               | $\text{nincen} = -32.57327 + 0.01730(\text{ncombto}) + 9.05648(\text{vmaxmax})$                                                               | 23 | 0.5760         | <0.0001 | regllov: ONDEFMAM |

IDH = índice de desarrollo humano, regllov = precipitación considerada en los meses indicados.

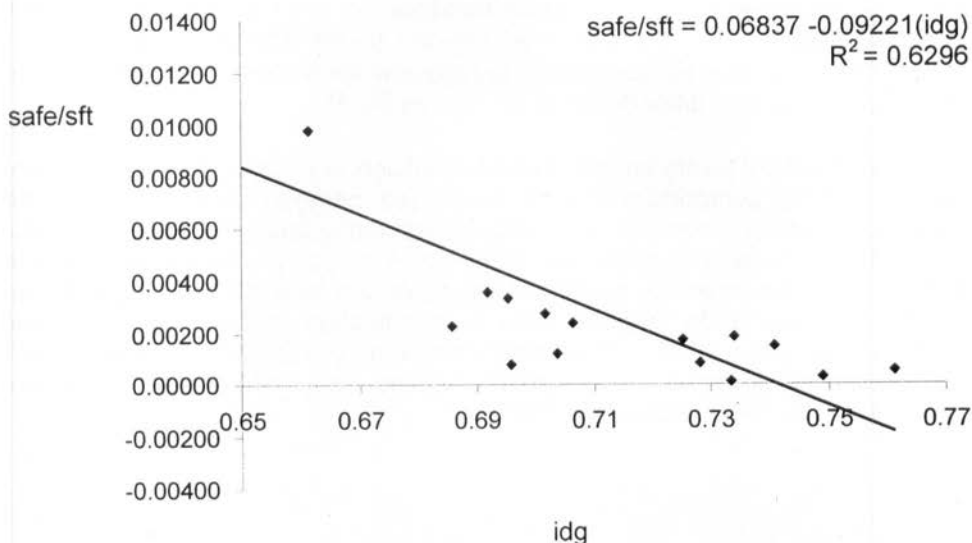


Figura 1. Relación entre el índice de desarrollo humano por género (idg) y la superficie afectada/superficie forestal (safe/sft).

### Áreas perturbadas y velocidad del viento

$$\text{supafect} = 222.63214 + 0.00528 (\text{apertur}) + 72.18394 (\text{vmaxmax}) \quad \dots\dots(2)$$

La variable dependiente, relacionada con las manifestaciones de los incendios forestales, es la superficie afectada medida en términos absolutos (supafect). Las variables explicatorias son la superficie de áreas perturbadas (apertur) y la velocidad máxima dentro de las máximas de los vientos (vmaxmax), en el periodo inicial de la temporada de sequía (noviembre, diciembre y enero).

La influencia de ambas variables independientes es congruente. A mayor existencia de áreas perturbadas, mayor es la superficie afectada, ya que con frecuencia dichas áreas son producto de los propios incendios y es en ellas donde se verifica la mayor afectación, puesto que suelen contener vegetación más inflamable. Lo anterior obedece a que el viento tiene un efecto desecante, particularmente en las horas de peligro de incendio, y una menor densidad de árboles en sitios degradados implica bajos niveles de sombra, lo cual favorece la presencia de gramíneas en bosques templado-fríos y por ende, más combustibles superficiales que estarán más secos (disponibles) debido a una mayor exposición a la radiación solar directa.

En el caso de las selvas del sureste mexicano, la relación es muy semejante, con la variante de la penetración del helecho pirófilo *Pteridium aquilinum* (L.) Khun en muchas de ellas, que dificulta la regeneración arbórea, aumenta el peligro de incendio y es muy difícil de erradicar (figuras 2 y 3).

La velocidad del viento también tiene una influencia positiva, ésta es una parte de la triada del comportamiento del fuego que manejan los combatientes de incendios forestales: complejo de combustibles, topografía y tiempo atmosférico, este último reflejado en parte por el viento. A mayor velocidad del viento la afectación por los incendios puede ser mayor, ya que favorece la propagación del fuego proporcionando oxígeno para la combustión, acercando las llamas (la fuente de calor) a los combustibles inmediatos y empujando el aire caliente generado hacia adelante, favoreciendo el secado y disponibilidad de los mismos (Chandler *et al.*, 1983; Rothermel, 1983).



Figura 2. En una selva incendiada en las inmediaciones de la Reserva de Calakmul, Campeche (2005), la invasión del helecho *Pteridium aquilinum* dificulta su recuperación y la hace más inflamable.



Figura 3. Áreas perturbadas por ganado en un bosque de *Pinus oocarpa* en el estado de Chiapas.

Además, en las áreas perturbadas, la ausencia de cubierta vegetal no obstaculiza el paso del viento; en aquellas con manchones de arbolado extensos intercalados con claros grandes, el comportamiento del fuego es errático, pues en una zona arbolada no perturbada los vientos que cruzan lentamente por entre los árboles, lo hacen con mayor rapidez por encima de ellos. En cambio, en un área perturbada, los vientos que surcan por encima de las copas en los fragmentos de bosque cambian de dirección en los claros, incluso hacia una rumbo contrario (Griffiths, 1985), contribuyendo a hacer más impredecible el comportamiento del fuego, lo que dificulta aún más su control y, finalmente, propicia una afectación más extensa del terreno. Así pues, ambas variables generan una sinergia favorable a la propagación del fuego.

### Alfabetización, servicios y apoyo financiero al productor

$$\begin{aligned} \text{ninc/sft} = & -0.00011534 - 0.00482 (\text{al15/sft}) + 0.00542 (\text{atub/sft}) + 0.00000469 \\ & (\text{nmpappv}) - 0.01183 (\text{al6/sfta}) \quad \dots\dots(3) \end{aligned}$$

La variable dependiente, número de incendios dividido entre la superficie forestal total de la entidad ( $ninc/sft$ ), es una medida de la densidad de incendios. Las variables de alfabetización ( $al15/sft$ ,  $al6/sfta$ ) impactan negativamente la densidad de incendios, lo que puede relacionarse con que a mayor nivel de desarrollo y de alfabetización, se provocan menos incendios forestales. Esto concuerda con los hallazgos de Torres y Hernández (1999) para varias regiones del país, quienes determinaron una relación inversa entre el nivel educativo y el número de estos siniestros. La variable dependiente Número de habitantes con agua entubada ( $atub/sft$ ) se asocia negativamente (aunque de manera indirecta) con la densidad de incendios, de modo que cifras altas en esta variable se asocian con mayor desarrollo.

La otra variable explicatoria, número de municipios con apoyo económico en el ciclo primavera verano ( $nmappv$ ), refleja una influencia positiva sobre el número de incendios, lo que permite suponer que en tanto sea mayor ese número de municipios apoyados, mayor será también el número de incendios. Dado que las causas más importantes de incendios forestales en el país son de origen agropecuario, con casi el 50% de la siniestralidad en el país (CONAFOR, 2005), destaca que la mayor actividad agrícola propicia más incendios.

Es importante esta consideración porque podría incitar políticas públicas aparejadas a los apoyos que fueran más eficaces para prevenir incendios forestales. De modo similar, Torres y Hernández (1999) identificaron una relación positiva entre el número de incendios y la superficie disponible para pastoreo en varias regiones de México.

A su vez, Román y Martínez (2006), encontraron para las Reservas de la Biosfera del estado de Chiapas, que la superficie afectada por incendios estuvo relacionada con la densidad de la red de caminos y con la superficie disponible para actividades agrícolas.

### Apoyo financiero al productor

$$supafect = -34825 + 0.35372 (nprappv) \dots\dots(4)$$

La variable explicatoria Número de productores apoyados en el ciclo primavera verano ( $nprappv$ ), hace evidente su relación directa con la superficie afectada ( $supafect$ ), pues en la medida que se mantenga el fuego como una de las principales herramientas para la limpia de terrenos y no se hagan las previsiones adecuadas para evitar su propagación, la presencia de incendios estará asociada a las actividades productivas agropecuarias.

La Figura 4 ilustra claramente que la influencia de estas actividades sucede en el ciclo primavera verano y no en el de otoño invierno.

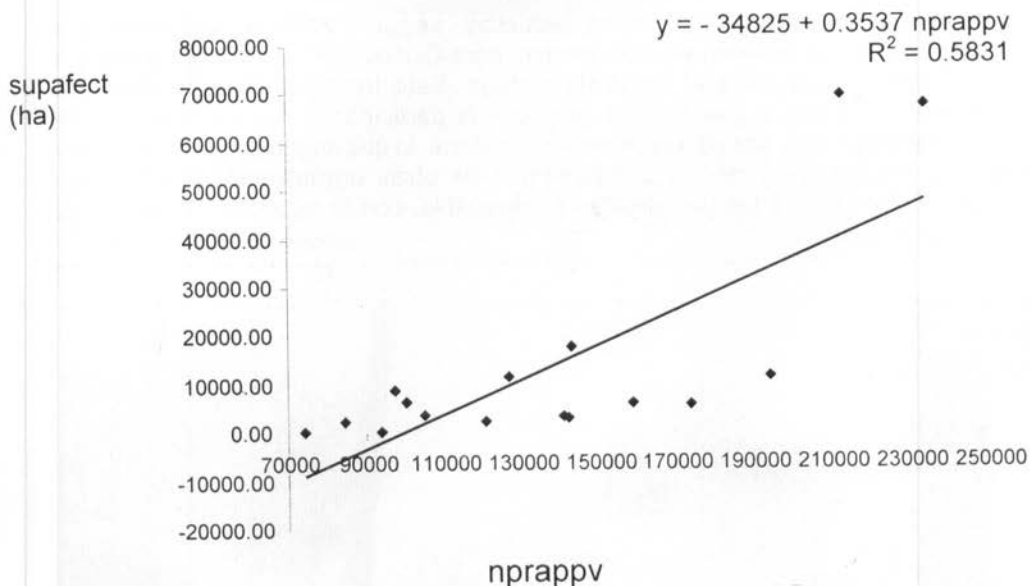


Figura 4. Relación entre número de productores con apoyo económico en el ciclo productivo primavera verano ( $npacpv$ ) y la superficie afectada por incendios forestales ( $safect$ ).

### Número de combatientes y de voluntarios

$$supafect = -164.58929 + 3.17161 (ncombto) - 8.46069 (combcfor) \dots\dots(5)$$

La presencia del número total de combatientes (incluyendo voluntarios), con signo positivo, se interpreta como una respuesta a la presencia de incendios, no tanto como una explicación de su ocurrencia. Así, el fenómeno anterior denota que se pueden concurrir muchos voluntarios en los incendios grandes, con muy buena intención pero carentes de preparación formal y que no siempre ven acción, aunque se registre su presencia o participación. El signo negativo del número de combatientes de CONAFOR, indica que a mayor presencia de los colaboradores de esta procedencia, la superficie afectada fue menor. Esto hace suponer que su eficacia estaría más asociada con sus capacidades que con su número, bajo el entendimiento de que, por lo general, la instrucción de los combatientes de dicha institución es superior a la de los voluntarios.

Existen otras instituciones muy valiosas para el combate de incendios forestales, en particular las de los gobiernos del Distrito Federal y de los estados (Figura 5),

por lo que, de categorizar estos recursos, seguramente se sumarían a la tendencia que se advierte en este modelo para CONAFOR, pero no se contó con dicha información para el presente trabajo. Esto tampoco debería disminuir la importancia social y ambiental que tiene la participación de combatientes de otras dependencias, por su trascendencia colateral, lo que sugerirá que la presencia de los voluntarios y de los combatientes de otras organizaciones diferentes a la CONAFOR y a las ya referidas es deseable, con la adecuada capacitación que éstos reciben.



Figura 5. Combatientes de CONAFOR y del Gobierno del Distrito Federal en una quema prescrita.

### Áreas perturbadas, velocidad del viento y esperanza de vida

$$\text{supafect} = 45214 + 0.00547 (\text{apertura}) + 81.54865 (\text{vmaxmax}) - 615.47825 (\text{espvida}) \dots\dots\dots (6)$$

Las dos primeras variables independientes ya han sido consideradas en las ecuaciones anteriores; sólo aparece como variable nueva la Esperanza de

Vida (esperanza de vida), aunque debe ser tomada en cuenta con una relación indirecta, con influencia negativa. Dificilmente se podría explicar su repercusión directa, pero si se asocia con el desarrollo social se manifiesta un efecto indirecto, es decir, a mayor desarrollo social, la esperanza de vida de la población se incrementa, y con ello, se puede reducir la influencia negativa de la población sobre la conservación de los recursos naturales, en particular con respecto a la ocurrencia de incendios y la superficie que impactan.

## Número de combatientes y voluntarios y velocidad del viento

$$nincen = - 32.57327 + 0.01730 (ncombto) + 9.05648 (vmaxmax) \dots\dots(7)$$

Ambas variables ya han sido interpretadas antes. También debe tenerse presente que la superficie afectada y el número de incendios, la variable dependiente en este caso, están fuertemente asociadas. Ante vientos más veloces, cabe esperar una mayor proporción de escapes de quemas agropecuarias o un mayor porcentaje de éxitos para cualquier causa o agente de ignición.

En algunos casos el número de observaciones es relativamente reducido (32), por lo que los ajustes podrían ser mejorados cuando se cuente con información más amplia. Por otro lado, dada la relación difusa entre algunos de los factores que inciden sobre las variables de las manifestaciones de los incendios, algunas de las interpretaciones son tentativas pues sugieren hacia dónde orientar el estudio de los factores que influyen en la siniestralidad de los incendios forestales. La repercusión de factores ajenos y de otros no registrados, pero que influyen en la siniestralidad, pueden ser en buena medida los causantes de dicha relación difusa. Por ejemplo, los cultivos ilícitos contribuyen a la siniestralidad y no se tiene información de ellos (CONAFOR, 2005). Tampoco hay datos de la incidencia de rayos en seco, principal causa natural de incendios, especialmente en los estados del norte del país. Asimismo, la información meteorológica con que se cuenta en México procede de pocas estaciones meteorológicas, 825 según el SMN-CNA (2008), correspondientes a 283,789 ha estación<sup>-1</sup>.

Por otra parte, los distintos factores naturales (como los meteorológicos) y los sociales funcionan con intensidad diferente en distintas regiones, que no concuerdan con los límites políticos de los estados. No obstante, a pesar de todas las fuentes de variabilidad señaladas, se considera que las tendencias obtenidas son de utilidad, bien para ser consideradas directamente, o bien como base para estudios locales.

Otra variable de relevancia más de entre las no contempladas puede estar representada por el cambio climático global, debido al cual se espera una mayor presencia de sequías, incidencia de rayos y superficie afectada por el fuego en Norteamérica (Collins *et al.*, 2007).

## CONCLUSIONES

Las variables explicativas superficie de áreas perturbadas, velocidad máxima de entre las máximas de viento y número de productores agrícolas apoyados económicamente en el ciclo productivo primavera-verano, tuvieron correlación positiva con variables dependientes relacionadas con siniestralidad, como número de incendios, superficie afectada por el fuego; así como los índices que usan estas dos variables como numerador y la superficie forestal como denominador.

Las variables Nivel de alfabetización y Esperanza de vida exhibieron una correlación negativa con dichas variables dependientes.

El número de combatientes profesionales mostró una correlación negativa con las variables dependientes, denotando que a mayor participación de dichos elementos, que cuentan con experiencia y capacitación, menor superficie afectada o menor número de incendios.

El índice de desarrollo humano por género estuvo indirectamente relacionado con las variables dependientes de siniestralidad, pues la razón superficie afectada entre superficie forestal tendió a ser mayor a menores índices de equidad de género. Se asume que en términos generales los estados con mayor inequidad de género están más atrasados en diversos aspectos, entre ellos el manejo de sus recursos forestales, lo que se puede relacionar con más incendios.

Debe puntualizarse que todos los modelos seleccionados exhibieron un coeficiente de correlación de regular a alto (entre 0.55 a 0.99) y que resultaron altamente significativos ( $p=0.0006$  a  $p<0.0001$ ). En particular para aquellos con coeficientes de correlación regulares, las limitaciones por información no disponible relativa a variables como incidencia de rayos en seco, en particular para los estados del norte del país, además de la falta de más estaciones meteorológicas y el que los límites políticos de los estados pocas veces coinciden con límites ecológicos entre tipos de ecosistemas o grupos étnicos, confieren variación difícil de eliminar.

La información presentada muestra tendencias relevantes que pueden ser utilizadas directamente o que dan pábulo para investigaciones regionales más profundas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean externar su agradecimiento a la Comisión Nacional Forestal por haber autorizado el uso de datos contenidos en el informe final del análisis del Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales, ejercicio fiscal 2004, llevado a cabo por la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Igualmente, a la Ing. Erica Bustamante Rodríguez por

su invaluable apoyo en la búsqueda de información meteorológica y social. Al M. en C. Ambrosio Bojorques Sosa por su gran ayuda en el procesamiento analítico que conformó el presente estudio.

## REFERENCIAS

- Andrews, P., M. E. Finney and M. Fischetti. 2007. Predicting wildfires. *Scientific American* 297(2): 32-39.
- Benavides S., J. de D. y J. G. Flores G. 1993. Áreas con diferente riesgo de incendio forestal. *In: Arteaga M., B. (Ed.). Memoria del Primer Foro Nacional sobre Manejo Integral Forestal. DICIFO, UACH. Chapingo, Edo. de México. 10-11 octubre 1991. pp. 376-286.*
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud and D. Williams. 1983. Fire in forestry. Forest fire behavior and effects. Vol. 1. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY. USA. 450 p.
- Collins, W., R. Colman, J. Haywood, M. R. Manning and P. Mote. 2007. The physical science behind the climate change. *Scientific American* 297(2): 48-57.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2005. Reporte de incendios forestales. CONAFOR. México, D. F. s/p.
- Figueroa S., B. 1998. Causas estructurales de los incendios forestales. *In: González V., C. E. Memoria del Foro Nacional Los Incendios Forestales en el contexto del Desarrollo Nacional. 14-15 de octubre de 1998. México, D. F. Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal, USAID, WWF. pp. 21-34.*
- Griffiths, J. F. 1985. Climatología aplicada. Publicaciones Cultural. México, D. F. 154 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx> (23 de octubre de 2005).
- Magaña T., O. S. 1983. Determinación de un índice de peligro de incendios forestales para el municipio de Tlahuapan, Pue. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 70 p.
- Martínez F., J. 2004. Análisis, estimación y cartografía del riesgo humano de los incendios forestales. Tesis de doctorado en Geografía. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. Madrid, España. 337 p.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2005. URL: <http://www.undp.org/spanish/> (7 de noviembre de 2005).
- Román C., R. M. and J. Martínez V. 2006. Effectiveness of protected areas in mitigating fire within their boundaries: Case study of Chiapas, Mexico. *Conservation Biology* 20(4): 1074-1086.

- Rothermel, R. C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-143. USDA Forest Service. Ogden, UT. USA. 161 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). 2005. <http://www.sagarpa.gob.mx/> (31 de octubre de 2005).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2000. Anuario estadístico de la producción forestal 2000. México, D. F. 154 p.
- Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua (SMN-CNA). 2008. <http://smn.cna.gob.mx/> (3 de agosto de 2008).
- Schiliski, A., J. Waugh, P. González, M. González, M. Manta, H. Santoso, E. Alvarado, A. A. Nuruddin, D. A. Rodríguez T., R. Swaty, R. Schmidt, M. Kauffmann, R. Myers, A. Alentar, F. Kearns, D. Jonson, J. Smith, D. Zollner and W. Fulks. 2007. Fire ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation. GFI Technical Report 2007-02. The Nature Conservancy. Arlington, VA. USA. 20 p.
- Torres R., J. M. y C. Hernández R. 1999. Factores socioeconómicos que afectan la presencia de incendios forestales. Resúmenes del IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. 24-26 de noviembre de 1999. SOMEFOAC, ISIMA. Durango, Dgo., México. pp. 175-176.