



ANÁLISIS ESPACIAL DE LA OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES EN EL ESTADO DE DURANGO

SPATIAL ANALYSIS OF FOREST FIRE OCCURRENCE IN THE STATE OF DURANGO

D. Y. Ávila-Flores¹; M. Pompa-García²; E. Vargas-Pérez³.

¹Estudiante de doctorado en la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Correo-e: diesel_dyaf@hotmail.com.

²Facultad de Ciencias Forestales de la UJED. Correo-e: mpgarcia@ujed.mx.

³División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo Estado de México. MÉXICO. Correo-e: lalo.vargas@gmail.com.

RESUMEN

Se realizó un análisis exploratorio del patrón de distribución espacial de los incendios forestales para el estado de Durango, teniendo como hipótesis que los incendios presentan un patrón espacial no aleatorio. Se usaron los reportes semanales de incendios de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para un periodo de cinco años, analizados mediante el coeficiente de Moran. Se incluyó un análisis gráfico mediante el diagrama de dispersión y el indicador local de asociación espacial. Los resultados muestran una elevada autocorrelación espacial entre las superficies con registro de incendios, donde el estadístico de Moran reúne en un 98.3 % la estructura global de asociación longitudinal y altitudinal.

Recibido: 12 de agosto, 2009
Aceptado: 29 de julio, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2009.08.028
[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

PALABRAS CLAVE:
Autocorrelación, índice de Moran, fuego.

ABSTRACT

An exploratory analysis was carried out of the spatial distribution pattern of forest fires for the state of Durango, having as a hypothesis that the fires have a nonrandom spatial pattern. Weekly fire reports from CONAFOR (National Forestry Commission) for a five-year period were analyzed using Moran's coefficient. A graphical analysis was developed with the scatterplot diagram and local indicator of spatial association. The results show a high spatial correlation between areas with fire history, where Moran's statistic captures 98.3% of the global structure of longitudinal and altitudinal association.

KEY WORDS: Autocorrelation, Moran's Index, fire.

INTRODUCCIÓN

El fuego al igual que otros disturbios naturales, es un factor que se encuentra presente de manera natural en muchos ecosistemas y paisajes a lo largo del mundo y su presencia es vital para muchos de ellos (Whelan, 1995); sin embargo, también puede generar diversos impactos negativos ecológicos y económicos así como amenazas para combatientes y personas que viven en el bosque (Espinoza-Martínez *et al.*, 2008). El fuego tiene una influencia positiva en la naturaleza, pues ayuda a mantener la biodiversidad, pero cuando se utiliza de manera irresponsable puede tener consecuencias devastadoras para el ambiente, convirtiéndose en factor importante de la degradación de los ecosistemas (CONAFOR, 2007).

Dado que el fenómeno de los incendios forestales tiene una clara manifestación territorial, ya que tanto los factores como los efectos se distribuyen en el espacio y son afectados por él (Chuvieco y Congalton, 1989), es posible conocer patrones de distribución espacial mediante

INTRODUCTION

Fire like other natural disturbances is a naturally-occurring phenomenon in many ecosystems and landscapes throughout the world and its occurrence is vital for many of them (Whelan, 1995). However, it can also generate a variety of negative ecological and economic impacts as well as endanger the lives of firefighters and people living in the forest (Espinoza-Martínez *et al.*, 2008). Fire has a positive influence in nature as it helps to maintain biodiversity, but when used irresponsibly it can have devastating consequences for the environment, becoming a significant factor in the degradation of ecosystems (CONAFOR, 2007).

Given that the phenomenon of forest fires has a clear territorial expression, as both factors and effects are distributed in space and affected by it (Chuvieco and Congalton, 1989), it is possible to determine spatial distribution patterns by applying quantitative methods of spatial analysis that provide the opportunity to detect and

la aplicación de métodos cuantitativos de análisis espacial con los cuales se tiene la oportunidad de detectar y describir dichos patrones de distribución, permitiendo así evaluar hipótesis sobre si el fenómeno observado sigue una distribución territorial aleatoria o correlacionada, ya sea aglomerada o dispersa. Lo anterior es un concepto básico de la estadística espacial vinculada con la geografía, por lo que Tobler (1970) postuló la "primera ley de la geografía" en la que se afirma que en el análisis geográfico todo está relacionado con todo, pero las cosas cercanas están más relacionadas entre sí que las cosas lejanas.

El análisis espacial es una de las aplicaciones más usuales de los sistemas de información geográfica, el cual constituye una serie de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de datos distribuidos sobre el espacio geográfico, posibilitando trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos (Buzai y Baxendale, 2006). Estos métodos se han desarrollado principalmente en el ámbito social para conocer las tendencias demográficas, desarrollo económico regional (Vilalta, 2003), comportamiento electoral (Vilalta, 2006) y recientemente en patrones de la pérdida de vegetación en ecosistemas áridos (Pompa-García, 2008). En el ámbito de los incendios forestales este tipo de análisis permite obtener conclusiones acerca del nivel de importancia de cada una de las variables que intervienen (Lentile *et al.*, 2006; Verdú, 2007). Varios trabajos que describen y resaltan la importancia de conocer el patrón de distribución espacial de ocurrencia de los incendios forestales, han sido desarrollados en este sentido (Kellogg *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2007; Han-Bin *et al.*, 2007; Drury y Veblen, 2008).

En el estado de Durango se registraron para el año 2008, 138 incendios asociados a diferentes causas, afectando una superficie total de 27,691 hectáreas, que lo ubicaron como el estado con mayor superficie afectada (CONAFOR, 2008). Por lo anterior, se considera conveniente efectuar un aporte a la explicación de la ocurrencia de incendios en el estado, realizando en primera instancia, un estudio del patrón de su distribución espacial el cual será el punto de referencia para un análisis posterior de los factores que afectan su incidencia, por lo que el objetivo del presente análisis es conocer el patrón espacial que siguen los incendios forestales en el estado, teniendo como hipótesis que este fenómeno no es aleatorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estado de Durango se encuentra ubicado en la región centro-noroccidental de México; tiene frontera al NO con Chihuahua, al NE con Coahuila, al SE con Zacatecas, al sur con Nayarit y al oeste con Sinaloa. Sus coordenadas extremas son al N 26° 53' N, al S 22° 16' N, al E 102° 29'

describe these distribution patterns, thus enabling one to test hypothesis about whether the phenomenon observed follows a random or correlated spatial distribution, and whether it is clustered or dispersed. This is a basic concept of spatial statistics associated with geography, which is why Tobler (1970) postulated the "first law of geography" which states that in all geographic analysis everything is related to everything else, but nearby things are more related to each other than distant things.

Spatial analysis is one of the most common applications of geographic information systems, which is a series of statistical and mathematical techniques applied to the study of data distributed over geographical space, enabling work with spatial relationships of the entities contained in each thematic layer of the database (Buzai and Baxendale, 2006). These methods have been developed mainly in the social realm to determine demographic trends, regional economic development patterns (Vilalta, 2003), voting behavior (Vilalta, 2006) and, more recently, patterns of vegetation loss in arid ecosystems (Pompa-García, 2008). In the area of forest fires, this type of analysis allows for conclusions about the level of importance of each of the variables involved (Lentile *et al.*, 2006; Verdú, 2007). Several studies that describe and highlight the importance of knowing the spatial distribution pattern of forest fire occurrence have been developed in this regard (Kellogg *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2007; Han-Bin *et al.* 2007; Drury and Veblen, 2008).

In the State of Durango, 138 fires associated with different causes were recorded for the year 2008, affecting a total area of 27,691 hectares, which ranked it as the state with the largest area affected by fire (CONAFOR, 2008). Therefore, it is considered appropriate to make a contribution to the explanation of fire occurrence in the state, first performing a study of their spatial distribution pattern which will be the reference point for further analysis of the factors that affect their incidence. Thus, the purpose of this analysis is to determine the spatial pattern that forest fires follow in the state, having as a hypothesis that this phenomenon is not random.

MATERIALS AND METHODS

Description of the study area

The State of Durango is located in the central-northwestern region of Mexico. It is bordered to the NW by Chihuahua, to the NE by Coahuila, to the SE by Zacatecas, to the south by Nayarit and to the west by Sinaloa. Its extreme coordinates are N 26° 53' N, S 22° 16' N, E 102° 29' W and W 107° 16' W (INEGI, 2000). It is crossed by the Tropic of Cancer (23°16'18" N) in its southern part in the municipalities of El Mezquital and Pueblo Nuevo, so that most of its area is located in the subtropical zone (Figure



Figura 1. Localización del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.

W y al W 107° 16' W (INEGI, 2000); es atravesado por el Trópico de Cáncer (23°16'18" N en su parte sur en los municipios de El Mezquital y Pueblo Nuevo, de tal manera que la mayor parte de su superficie se localiza en la zona subtropical (Figura 1). Cuenta con una superficie forestal de más de nueve millones de hectáreas (PROFEPA, 2009), las cuales presentan una diversidad en cuanto a las comunidades forestales; hay vegetación propia de clima semiárido y árido, de clima templado y subtropical. Son los bosques templados de gran importancia ecológica y de aprovechamiento forestal, formados principalmente por varias especies de pino y encino.

Base de datos

Para generar la base de datos se dispuso de los reportes semanales de incendios forestales de la Comisión Nacional Forestal registrados en el estado para un periodo de cinco años (2004-2008) en formato Excel, de los cuales se tomaron las coordenadas, para indicar la localización espacial de los incendios. Se generó un archivo en formato "shape file" para mostrar gráficamente la tendencia de la distribución espacial de distribución, y los incendios fueron indicados como puntos. Para analizar el patrón de distribución obtenido, se utilizó como base un archivo en formato "shape file", el cual correspondía a la superficie del estado, cubierta por 170 cartas topográficas del INEGI a escala 1:50000, que cubren la superficie total de la entidad; posteriormente se realizó la combinación de las dos capas temáticas; en la capa temática resultante se obtuvo el número de incendios por carta, cada una de las cuales fue considerada como polígono con registro

1). It has a forest area of more than nine million hectares (PROFEPA, 2009), which shows a diversity in terms of forest communities, with vegetation typical of semiarid and arid climates, as well as temperate and subtropical ones. They are temperate forests of great ecological importance and forestry use, formed mainly by various species of pine and oak.

Database

To build the database, the National Forestry Commission's weekly forest fire reports in the state for a five-year period (2004-2008) were made available in Excel format, from which coordinates were taken to indicate the spatial location of the fires. It generated a file in "shape file" format to graphically show the spatial distribution trend, and the fires were indicated as dots. To analyze the distribution pattern obtained, a file in "shape file" format was used as a base, which corresponded to the area of the state, covered by 170 INEGI topographic maps at 1:50000 scale, covering the total area of the entity. The two thematic layers were then combined, and in the resulting thematic layer the number of fires per map was obtained, each of which was considered as a polygon with fire history. The data that were introduced to detect and measure the autocorrelation by Moran's index were the areas (polygons) with fire history. For processing, the GEODA software developed by Anselin (2003) was used. Its process is explained below.

Spatial Analysis

Autocorrelation can be defined as the concentration or dispersion of the values of a variable in a map; that is, it reflects the degree to which objects or activities in a geographical area are similar to other objects or activities in neighboring geographic units (Goodchild, 1987).

To detect and measure the spatial autocorrelation of the areas with fire history, Moran's coefficient was used (1950). In this statistic, values range between +1 and -1, where +1 indicates a perfect positive correlation or perfect concentration, -1 indicates a perfect negative correlation or perfect dispersion and 0 indicates a completely random spatial pattern:

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \tag{1}$$

Where X_i and X_j are the values of the variable X at the points i and j, N is the number of data, and W_{ij} is the weight of the distance class d, which may be worth $W_{ij} = 1$ if point j is within the distance class d measured from the point i, or $W_{ij} = 0$ if this condition is not met (Sokal and Oden, 1978):

de incendio. Los datos que se introdujeron para detectar y medir la autocorrelación a través del índice de Moran fueron las superficies (polígonos) con registro de incendio. Para el procesamiento se utilizó el software GEODA desarrollado por Anselin (2003), cuyo proceso se explica a continuación.

Análisis espacial

La autocorrelación puede definirse como la concentración o dispersión de los valores de una variable en un mapa; es decir, refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Goodchild, 1987).

Para detectar y medir la autocorrelación espacial de las superficies con registro de incendio, se utilizó el coeficiente de Moran (1950). En este estadístico los valores varían entre +1 y -1, donde +1 indica una correlación positiva perfecta o perfecta concentración, -1 indica una correlación negativa perfecta o perfecta dispersión y el 0 indica un patrón espacial totalmente aleatorio:

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

Donde X_i e X_j son los valores que toma la variable X en los puntos i y j , N es el número de datos, y W_{ij} es el peso de la clase de distancia d , que puede valer $W_{ij} = 1$ si el punto j está dentro de la clase de distancia d medida a partir del punto i , o $W_{ij} = 0$ si no se cumple dicha condición (Sokal y Oden, 1978):

$$W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } d_{ij} \leq d \\ 0 & \text{si } d_{ij} > d \end{cases} \quad (2)$$

En el cociente de (1), el numerador es un término que muestra la covarianza mientras que el denominador indica la varianza, lo que hace un diseño similar al coeficiente de correlación de Pearson (1896); sin embargo, en el primero la asociación de valores del conjunto de datos es determinado por una matriz de distancias (2) o contigüidad que predefine los valores vecinos (los valores para el cómputo del coeficiente). En otras palabras, los pesos W_{ij} deciden la proximidad de cada punto analizado.

Debido a que el índice proporciona la medida de la correlación entre los valores vecinos en un patrón, la vecindad entre las unidades espaciales o superficies con registro de incendio se determinó empleando el criterio "Reyna" por su proximidad de contacto en todos los sentidos (un máximo de 8 vecinos).

$$W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } d_{ij} \leq d \\ 0 & \text{si } d_{ij} > d \end{cases} \quad (2)$$

In the ratio of (1), the numerator is a term that shows the covariance while the denominator indicates the variance, which makes a design similar to the Pearson correlation coefficient (1896); however, in the first, the association of dataset values is determined by a matrix of distances (2) or contiguity that predefines the neighboring values (the values for calculating the coefficient). In other words, the weights W_{ij} decide the closeness of each point analyzed.

Because the index provides the correlation measure between neighboring values in a pattern, the neighborhood between the spatial units or areas with fire history was determined using the "Reyna" criteria for its proximity of contact in all directions (a maximum of 8 neighbors).

As a graphical tool for analyzing spatial autocorrelation, the Moran scatterplot was used, which standardizes the variable to be analyzed and obtains the spatial lag of that variable, both values being represented in a Cartesian axis where the slope of the regression straight line is the Moran statistical value of overall spatial autocorrelation, so that the larger the angle it forms with the horizontal axis, the stronger the degree of spatial autocorrelation will be and vice versa (Anselin, 2003). Additionally, the local indicator of spatial association (LISA) was used so that the statistic obtained for each section would provide information about the relevance of similar values around it.

RESULTS AND DISCUSSION

The results show the tendency towards forest fire concentration mostly on the wooded area (Fig. 2). Moreno and Vayá (2001) indicate that dependence or spatial autocorrelation arises whenever the value of a variable in a spatial location is related to its value in one or more other spatial locations.

In Figure 3, the autocorrelation indicators show that for the longitude and longitude variable there is a high positive autocorrelation with values of 0.9834 and 0.9832, respectively; that is, Moran's statistic captures between 98.34 and 98.32 % the global structure of longitudinal and altitudinal association between units with fires (Figure 3 (A) and (D)).

It can also be seen that the significant positive value reports the presence of a positive spatial autocorrelation pattern, indicating the presence of a concentration of similar values of the variable analyzed in neighboring units (Figure 3 (B) and (E)).

The positive autocorrelation shown by these variables is statistically significant, indicating a trend towards

Como instrumento gráfico de análisis de la autocorrelación espacial, se utilizó el diagrama de dispersión de Moran, en el cual se estandariza la variable a analizar y se obtiene el retardo espacial de dicha variable, representándose ambos valores en un eje cartesiano donde la pendiente de la recta de regresión es el valor del estadístico de Moran de autocorrelación espacial global, de forma que cuanto mayor sea el ángulo que forme ésta con el eje de abscisas, más fuerte será el grado de autocorrelación espacial y viceversa (Anselin, 2003). Complementariamente se utilizó el indicador local de asociación espacial LISA (Local Indicator of Spatial Association), cuyo objetivo es que el estadístico obtenido para cada sección suministre información acerca de la relevancia de valores similares alrededor de la misma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran la tendencia a la concentración de los incendios forestales mayormente sobre la zona boscosa (Fig. 2). Moreno y Vayá (2001) indican que la dependencia o autocorrelación espacial surge siempre que el valor de una variable en un lugar del espacio está relacionado con su valor en otro u otros lugares del espacio.

En la Figura 3, se pueden apreciar los indicadores de autocorrelación que muestran que para la variable longitud y latitud existe una elevada autocorrelación positiva con valores de 0.9834 y 0.9832, respectivamente, es decir, el estadístico de Moran reúne entre un 98.34 y 98.32 % la estructura global de asociación longitudinal y altitudinal entre las unidades con incendios (Figura 3 (A) y (D)).

Asimismo, se puede observar que el valor significativo positivo informa de la presencia de un esquema de autocorrelación espacial positiva, lo que indica la presencia de una concentración de valores similares de la variable analizada en unidades vecinas (Figura 3 (B) y (E)).

La autocorrelación positiva que muestran estas variables es estadísticamente significativa, lo que indica una tendencia a la concentración de las áreas con incendios registrados, por lo que puede afirmarse, con un nivel de confianza del 99%, que la concentración no es aleatoria (Figura 3 (C) y (F)).

Al utilizar el mapa de la significación de los indicadores locales asociado al diagrama de dispersión de Moran (figura 3 (B) y (E)), se pueden identificar zonas con numerosas áreas con un alto grado de presencia de incendios, rodeadas de zonas con presencia también alta (situación *High-High* en el gráfico de Moran). Asimismo, se identifican zonas con presencia baja rodeadas de unidades también con presencia baja (situación *Low-Low*), o bien zonas de presencia baja rodeadas de unidades con presencia alta de la variable analizada (situación *Low-High*), o zonas con presencia alta rodeadas por zonas con presencia

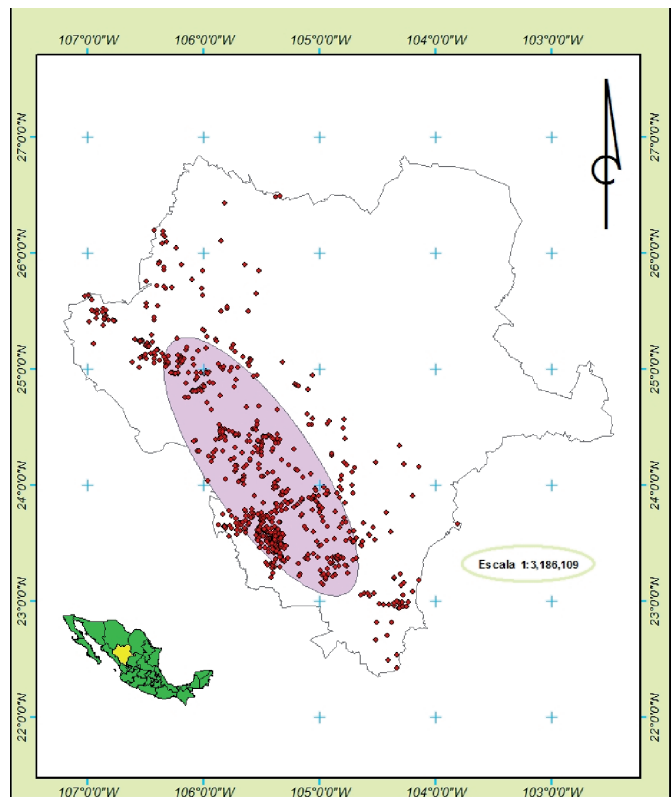


FIGURA 2. Elipse de tendencia de concentración de incendios.

FIGURE 2. Fire concentration tendency ellipse.

concentration of areas with recorded fires, so it can be stated with a confidence level of 99% that the concentration is not random (Figure 3 (C) and (F)).

By using the significance map showing the local indicators associated with the Moran scatterplot (Figure 3 (B) and (E)), one can identify zones containing numerous areas with a high degree of fire occurrence, surrounded by zones with a high occurrence also (High-High situation in the Moran graph). It also identifies zones with low occurrence also surrounded by units with low occurrence (Low-Low situation), or zones of low occurrence surrounded by units with high presence of the variable analyzed (Low-High situation), or zones with high presence surrounded by ones with low presence (High-Low situation). Finally, zones without significant spatial association, which appear in white, can also be detected.

These results allow showing that the fire phenomenon has a clear territorial expression within the study area, derived from the similarity between factors within the area where they are concentrated, coinciding with the first law of geography postulated by Tobler (1970).

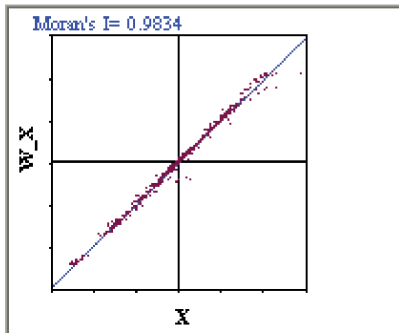
Chuvieco and Congalton (1989) mention that the study of forest fires requires in most cases an integrated analysis of the territory, as a forest fire is not caused by the action of a single factor, but results from the combined action of a group of factors, among which vegetation,

Variable/ Valor de Autocorrelación

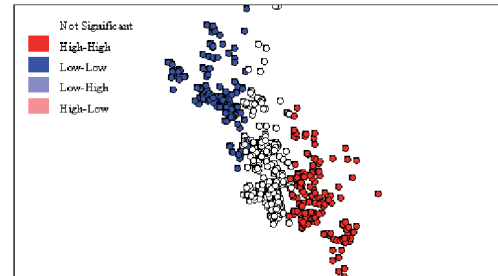
Mapa cluster con significancia de la ocurrencia de incendios

Indicadores locales de asociación espacial

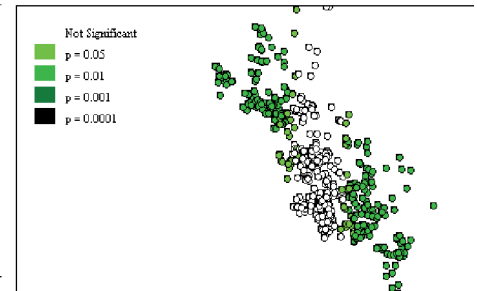
Longitud (A)



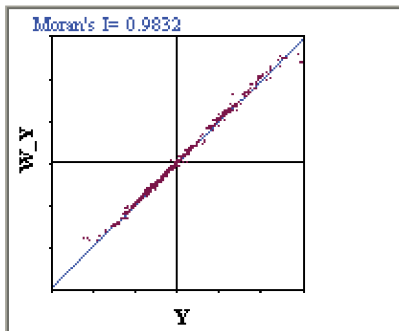
(B)



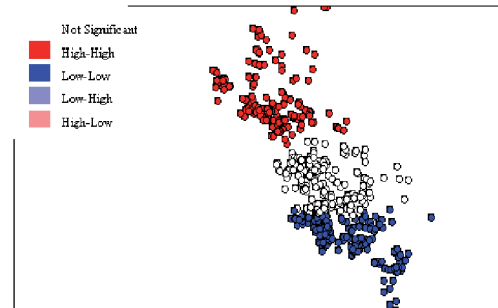
(C)



Latitud (D)



(E)



(F)

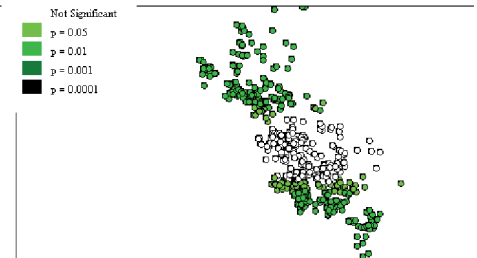


FIGURA 3. Mapa de significancia de los indicadores locales de asociación espacial.

FIGURE 3. Significance map of local indicators of spatial association.

baja (situación *High-Low*). Por último, también se pueden detectar zonas sin asociación espacial significativa, las cuales aparecen en blanco.

Los resultados anteriores permiten mostrar que el fenómeno de los incendios tiene una clara manifestación territorial dentro del área de estudio, derivado ello de la similitud entre factores dentro de la zona donde se concentran, coincidiendo con la primera ley de la geografía postulada por Tobler (1970).

Chuvieco y Congalton (1989) mencionan que el estudio de los incendios forestales requiere en la mayoría de los casos un análisis integrado del territorio, pues un incendio forestal no se genera por la acción de un factor aislado, sino que se deriva de la acción conjunta de un grupo de factores, entre los cuales la vegetación, los tipos climáticos, topografía y actividades humanas resultan especialmente significativas. Este trabajo sólo presenta la relación entre la ubicación espacial de incendios y el grado de concentración en su ocurrencia, cuyos resultados significan un aporte sólido para el conocimiento de los incendios en el estado de Durango, ya que brindan la base

climate types, topography and human activities are particularly significant. This paper only presents the relationship between the spatial location of fires and the degree of concentration in their occurrence. These results represent a solid contribution to the knowledge of fires in the State of Durango, as they provide the basis for further analysis of the causes of this marked spatial distribution.

The results obtained here agree with those of Han-Bin *et al.* (2007), who analyzed the spatial and temporal pattern of fires in Korea using Ripley's K function. Just as in our analysis, their results show the trend towards concentration, which these authors attribute to fire causes. However, Ripley's K function assumes a homogenous space in which all points are considered equivalent, which makes it difficult to apply to real topography. Yang *et al.* (2007) analyzed the spatial pattern of fire occurrence in the forests of Missouri, USA, and their results showed that fire locations were clustered spatially, due to the proximity of populations to the forests. Kellogg *et al.* (2008) mention that variation in fire occurrence is a function of geographical structure and scale of study. Drury and Veblen (2008) studied the historical variation in fire occurrence for the "Las

para el posterior análisis de las causas que originan esa marcada distribución espacial.

Los resultados aquí obtenidos concuerdan con los de Han-Bin *et al.* (2007), quienes analizaron el patrón espacial y temporal de incendios en Corea utilizando la función K de Ripley, donde al igual que en nuestro análisis los resultados muestran la tendencia hacia la concentración; los autores atribuyen esta tendencia a las causas del incendio. Sin embargo, la función K de Ripley supone un espacio homogéneo considerando todos los puntos igualmente equivalentes, lo que hace difícil su aplicación en la topografía real. Yang *et al.* (2007) analizaron el patrón espacial de ocurrencia en los incendios en los bosques de Missouri, USA, y sus resultados mostraron que las ubicaciones de los incendios fueron agrupadas espacialmente, como consecuencia de la cercanía de las poblaciones a los bosques. Kellogg *et al.* (2008) mencionan que la variación de la ocurrencia de incendios está en función de la estructura del territorio y la escala de estudio. Drury y Veblen (2008) estudiaron la variación de ocurrencia histórica de los incendios para la Reserva Forestal "Las Bayas", en Durango, donde encontraron que la variación a través del tiempo ha sido afectada por las actividades antropogénicas. Los resultados aquí obtenidos permiten derivar otros interrogantes, en el sentido de evaluar la intensidad de la concentración de incendios a partir de diversas variables con el propósito de detectar aquellas que se correlacionan con las indicativas de ocurrencia.

CONCLUSIONES

El análisis espacial es una técnica que proporciona herramientas útiles para la investigación del fenómeno de los incendios forestales, por lo que con los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede apreciar que esta técnica permite focalizar la presencia de los incendios, dando pauta para la posterior caracterización de factores que más peso tienen en la ocurrencia de dicho fenómeno, de acuerdo a las características de las áreas donde se presentan, permitiendo así sugerir nuevas investigaciones, ya que se plantea la necesidad de explicar estadísticamente la asociación espacial que presentan dichos factores.

La existencia de asociación espacial puesta de manifiesto por las técnicas utilizadas en la variable bajo estudio, confirma nuestra hipótesis y contribuye al conocimiento de las asociaciones entre los puntos de incendios, indicando dónde se presenta la concentración más significativa y sobre los cuales los investigadores y planificadores deben enfocar su trabajo.

Estas interacciones plantean la necesidad de explicar estadísticamente este fenómeno a través de algún método de regresión específico que permita encontrar aquellas variables explicativas de la asociación encontrada, ya que por ahora sólo se determinó el grado de autocorrelación

Bayas" Forest Reserve in Durango, where they found that the variation over time has been affected by anthropogenic activities. The results obtained here raise other questions, related to assessing the intensity of fire concentration from several variables in order to detect those that are correlated with rates of occurrence.

CONCLUSIONS

Spatial analysis is a technique that provides useful tools for investigating the phenomenon of forest fires. With the results obtained in this work, it can be seen that this technique allows focusing on fire occurrence, providing a basis for further characterization of factors that have greater weight in the occurrence of this phenomenon, according to the characteristics of the areas where they occur. Thus, the carrying out of new research is merited, as there is a need to statistically explain the spatial association presented by these factors.

The existence of spatial association as evidenced by the techniques used on the variable under study confirms our hypothesis and contributes to understanding the associations between fire locations, indicating where the most significant concentration occurs and on which researchers and planners should focus their work.

These interactions suggest the need to statistically explain this phenomenon through a specific regression method that enables finding those variables that explain the association found, since for now only the degree of existing autocorrelation has been determined. Such research will lead to establishing a greater connectivity or interrelationship between patterns and processes of conjugation of the relevant factors in the search for a better explanation of the fire phenomenon.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to express our gratitude to CONAFOR for the provision of data, and to SRNyMA of the Durango state government and CONACyT for their support of projects DGO-2008-C01-87972 and DGO-2010-C02-144340.

End of English Version

existente, lo que conducirá a establecer una mayor interrelación entre patrones y procesos de conjugación de los factores en la búsqueda de una mejor explicación del fenómeno de los incendios.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce a CONAFOR por la disposición de datos, a la SRNyMA del gobierno del estado de Durango y al CONACyT por el apoyo otorgado a través de los proyectos DGO-2008-C01-87972 y DGO-2010-C02-144340.

LITERATURA CITADA

- ANSELIN, L. 2003. GeoDa 0.9 User's Guide. Spatial Analysis Laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL. 18 p.
- BUZAI, G. D.; BAXENDALE, C. A. 2006. Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Ed. Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 400 pp.
- CHUVIECO E.; CONGALTON, R. 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing Environment* 29:147-159.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2008. Reportes semanales de incendios forestales. Página electrónica <http://www.conafor.gob.mx>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2007. Documento didáctico para el curso Introducción a las Quemadas Prescritas. Elaborado por The Nature Conservancy y la Comisión Nacional Forestal. México. 58 pp.
- DRURY, S. A.; VEBLEN, T. T. 2008. Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology* 197: 299-316.
- ESPINOZA-MARTÍNEZ, L. A.; RODRÍGUEZ-TREJO, D. A.; ZAMUDIO-SÁNCHEZ, F. J. 2008. Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* dos y tres años después de quemadas prescritas. *Agrociencia* 42: 717-730.
- GOODCHILD, M. 1987. A spatial analytical perspective on geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science* 1(4): 327-334.
- HAN-BIN, K.; WOO-KYUN, L.; MYOUNG-SOO, W.; KYO-SANG, K.; MYUNG-BO L.; SANG CHU, L. 2007. Spatial and temporal pattern of the human-caused forest fire occurrences in Korea. Korea University, Seoul, Korea, Department of Forest environment, Korea Forest Research Institute. 6 p.
- INEGI .2000. Marco Geoestadístico. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. <http://www.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/dgo.htm>
- KELLOGG, L. K. B.; MACKENZIE, D.; PETERSON, D. L.; HESSL, A. E. 2008. Spatial models for inferring topographic controls on historical low-severity fire in the eastern Cascade Range of Washington, USA. *Landscape Ecol* 23:227-240.
- LENTILE, L.B.; HOLDEN, Z. A. ; SMITH, A. M. S.; FALKOWSKI, M.J. ; HUDAK, A.T.; MORGAN, P.; LEWIS, S.A.; BENSON, P.E. 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire* 15: 319-345.
- MORAN, P. A. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37: 17-23.
- MORENO, R.; VAYÁ-VALCARCE, E. 2001. Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: la econometría espacial. Ediciones de la Universidad de Barcelona. España. 160 pp.
- PEARSON, K. 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution: III. Regression, heredity, and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 187: 253-318.
- POMPA-GARCÍA, M. 2008. Distribución espacial de la pérdida de vegetación en ecosistemas áridos de México. *MES* 3 (3): 13-22.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). 2009. Estado de Durango Recursos Naturales. <http://www.profepa.gob.mx>
- SOKAL, R. R.; ODEN, N. L. 1978. Spatial autocorrelation in biology. *Biological Journal of the Linnean Society* 10: 199-228.
- TOBLER, W. R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46: 234-240.
- VILALTA, C. J. 2006. Sobre la espacialidad de los procesos electorales urbanos y una comparación entre las técnicas de regresión OLS y SAM. *Estudios Demográficos y Urbanos* 21(1): 83-122.
- VILALTA, C. J. 2003. Una aplicación del análisis espacial al estudio de las diferencias regionales del ingreso en México. *Economía, sociedad y territorio* 4(14): 317-340.
- VERDÚ, F. 2007. Análisis espacial de área quemada: patrón y variación de los incendios forestales en España, 1991-2005. Tesina. Departamento de geografía. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, España.
- WHELAN, R. J. 1995. *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press. Cambridge. Nueva York. 346 pp.
- YANG, J.; HONG-S, H.; STEPHEN-R, S.; GUSTAFSON, E. J. 2007. Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark highlands. *Forest Science* 53(1): 1-15.