



Bosque

ISSN: 0304-8799

revistabosque@uach.cl

Universidad Austral de Chile

Chile

Pompa García, Marín; Hernández González, Paulino

Determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para monitorear los incendios forestales en Durango, México

Bosque, vol. 33, núm. 1, 2012, pp. 63-68

Universidad Austral de Chile

Valdivia, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173124027007>

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

redalyc.org

Sistema de Información Científica

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

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

Determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para monitorear los incendios forestales en Durango, México

Determination of spatial trends of hotspots as a strategy for forest fires monitoring in Durango, México

Marín Pompa García ^{a*}, Paulino Hernández González ^b

*Autor de correspondencia: ^a Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales, Durango, México, tel.: 618-130-1096, mpgarcia@ujed.mx

^b Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales, Durango, México.

SUMMARY

In Mexico hotspots detection is a useful tool to provide opportune information on forest fire fighting. The aim of this study was to assess hotspots for the period of 2001–2010 in various ecozones in the north of México. The study area was divided into 1,343 physiographical units, and quantitative indices of clustering were calculated using the Getis-Ord statistics. As a statistical test on the validity of the clustering, a p-value test was carried out. Results revealed that the locations of hotspots showed a clustered distribution that was remarkable on conifer-oak ecosystems. A remaining challenge is to conduct more detailed analyses that investigate the underlying mechanisms responsible for the spatial clustered fire. Historical data were attractive in terms of simplicity, low costs, and transparency. They also provide useful information to researchers to conceptualize where ignitions could occur. The approach could be applied at a finer time and space scale where ignition data are available.

Key words: fire, spatial analysis, G statistics, geostatistics.

RESUMEN

En México la detección de puntos de calor es una herramienta que provee información oportuna para el combate de incendios forestales. El objetivo de este estudio fue evaluar el grado de agrupamiento de puntos de calor para el periodo 2001 al 2010 en diferentes ecozonas del norte de México. El área de estudio fue dividida en 1.343 unidades fisiográficas sobre las cuales se aplicó el estadístico G de Getis-Ord para calcular el grado de agrupamiento, incluyendo una prueba estadística de su validez. Los resultados revelan que el patrón espacial de los puntos de calor muestra una distribución agrupada acentuada en los ecosistemas de coníferas y encinas. Se discute la necesidad de contar con análisis más detallados para investigar los mecanismos responsables del agrupamiento. Los datos históricos resultaron atractivos en términos de simplicidad, bajos costos y son útiles para apoyar a los investigadores a conceptualizar donde pueden ocurrir los incendios forestales. Además este procedimiento puede aplicarse a escalas más finas de tiempo y espacio en donde los datos estén disponibles.

Palabras clave: fuego, análisis espacial, estadístico G, geoestadística.

INTRODUCCIÓN

En México, los incendios forestales son una de las principales causas de grandes pérdidas económicas y ecológicas. Por ejemplo, en el año 2008 para el estado de Durango, se registraron 138 incendios, afectando 27.961 hectáreas que lo ubicaron como el estado con mayor superficie siniestrada (Ávila *et al.* 2010). A pesar de que existe una gran cantidad de estudios sobre incendios forestales realizado en los últimos años en México, la comparación cuantitativa de las características espaciales en la agrupación de puntos de calor es novedosa. La mayoría de los estudios reportados se relacionan con accidentes de tráfico (Mohan 2009, Prasannakumar *et al.* 2011), con aplicaciones en mercado inmobiliario (Islam y Asami 2011) y con áreas forestales incendiadas (Chuvieco y Congalton 1989,

Bohórquez *et al.* 2011), entre otras temáticas. Por ello, el análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales resulta un factor clave para comprender su comportamiento y para propósitos de planeación, diseño de estrategias y acciones apropiadas para el manejo del fuego en ecosistemas forestales (Gollberg *et al.* 2001).

En México y particularmente en Durango, la mayoría de los sistemas de detección de incendios forestales utilizan técnicas de sensores remotos que evalúan variables climáticas (CONABIO 2000). La detección de los puntos de calor, tiene como antecedente la temporada de incendios forestales del año 1998, que ha sido crítica en la historia de incendios en México, ya que se reportaron un total 14.445 siniestros, afectando un total de 849.632 hectáreas (CONAFOR 2007). De esta forma en 1999 la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad

(CONABIO) implementó el programa para la detección de puntos de calor, con el propósito de proveer información oportuna para el combate de incendios. Actualmente su objetivo es evolucionar para convertirse en una herramienta de apoyo en labores de prevención en la lucha contra estos siniestros. Ante este panorama, es evidente la importancia que adquiere el análisis de los puntos de calor bajo una perspectiva cuantitativa que explique su distribución bajo un contexto espacial y temporal.

Chuvieco y Congalton (1989) afirman que los incendios forestales tienen una clara manifestación territorial, ya que tanto los factores como los efectos se distribuyen en el espacio y son afectados por él. Partiendo de este hecho, es posible caracterizar cuantitativamente los patrones de distribución espacial de los puntos de calor, mediante la aplicación de métodos estadísticos que conceden la oportunidad de detectar y describir dichas tendencias, permitiendo así evaluar hipótesis sobre si el fenómeno observado sigue una distribución territorial aleatoria o correlacionada, ya sea aglomerada o dispersa (Ávila 2010). El análisis espacial es una de las aplicaciones más usuales de los sistemas de información geográfica (SIG), 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). Recientemente ha crecido el interés en varias técnicas estadísticas que se enfocan en mediciones de dependencia espacial. Estos procedimientos hacen posible discutir sobre pruebas de detección del nivel de agrupamiento (*clusters*) sin tener en cuenta su localización o tendencia espacial.

En este contexto, el estadístico G de Getis-Ord es usado para la detección de *clusters* y especialmente eficaz en casos donde las estadísticas globales tradicionales, tales como estimaciones kernel, análisis de la función K y los semivariogramas, no despliegan ningún patrón espacial global. Sin embargo, en estos casos pueden existir puntos locales de agrupamiento (*clustering*) (Ord y Getis 1995). Por lo tanto, la estimación del grado de asociación de los puntos de calor resulta de gran utilidad para generar conocimiento que ayude a construir modelos más sofisticados, incluyendo riesgo y peligro de incendios forestales y optimización planes de prevención.

El objetivo de este estudio fue evaluar el grado de agrupamiento de puntos de calor para el periodo 2001 al 2010 en diferentes ecozonas del norte de México para apoyar a los manejadores en la configuración de planes de acción en la lucha contra los incendios forestales. Como hipótesis se asume que la localización de puntos de calor tienen una distribución aleatoria.

MÉTODOS

Área de estudio. El estado de Durango se encuentra ubicado en el noroeste de México, con coordenadas

22° 16' - 26° 53' N, 102° 29' - 107° 16' O y cubre una superficie de 123.181 km² con alta diversidad de ecosistemas. Está dividido en cuatro zonas ecológicas, que son grandes unidades que contienen paisajes de clima, topografía y vegetación similares (figura 1). Asimismo en dicho mapa se presenta la distribución de la incidencia de los puntos de calor durante el periodo de estudio (2001-2010) sobre los diferentes ecosistemas, de acuerdo a la información proporcionada por CONABIO (2000). Existen diferentes especies de coníferas (*Pinus spp.*) y encinos (*Quercus spp.*) de importancia comercial en los ecosistemas de la Sierra Madre Occidental. La selva baja caducifolia se encuentra en uno de los grandes cañones que atraviesan el terreno irregular y se compone principalmente de especies tropicales y subtropicales de los géneros *Tabebuia* y *Crescentia*, entre otros (González *et al.* 2007). Los matorrales xerófilos tienen una capacidad de adaptación en áreas secas y salinas. Además, los pastizales son áreas grandes con diferentes especies de gramíneas y a veces mezclado con matorrales en terrenos pedregosos, que se utilizan principalmente para pastoreo de ganado. La mayoría de los recursos forestales son de propiedad comunal (80 %), aunque existen algunos de propiedad privada (20 %).

Datos. Los datos que se utilizaron para la realización de este trabajo fueron tomados de la base de datos del “Programa de detección de puntos de calor mediante técnicas de detección remota” implementado desde 1999 por CONABIO. Este programa se mantiene actualizado diariamente (CONABIO 2000).

La información se descargó en formato *Shapefile*; que integra estadísticas mensuales y diarias organizadas por año, así como por compuestos diurno y nocturno; el perio-

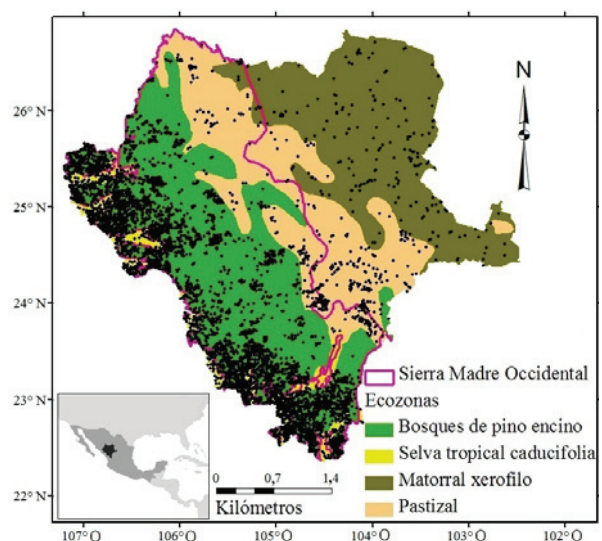


Figura 1. Localización del área de estudio y dispersión de puntos de calor.

Location of the study area and dispersion of hot spots.

do de años seleccionado para este estudio fue el comprendido del año 2001 al 2010 de los cuales sólo se consideró la información diurna.

Análisis espacial. Con el propósito de medir el grado de agrupamiento de los puntos de calor, el área de estudio fue adicionalmente subdivida en 1.343 unidades fisiográficas (también conocidas como sistemas terrestres), digitalizada a una escala de 1:250.000 (SEMARNAT 2001). Estas unidades espaciales se configuran por pendiente, uso de suelo y vegetación predominante; sobre estas se sobrepuso la base de datos de puntos de calor obtenida de CONABIO (2000), contabilizando la frecuencia de puntos de calor por sistema terrestre.

Considerando que para cada uno de las unidades fisiográficas se conocen sus coordenadas cartesianas, a través la prueba del estadístico G que fue desarrollado por Ord y Getis (1992) fue posible detectar si dichos incendios están agrupados entre sí en unidades con valores altos o bajos. El estadístico G está definido por la fórmula 1:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j} \quad i \neq j \quad [1]$$

Donde,

x_{ij} = medición del atributo para la unidad i y j respectivamente.

$w_{ij}(d)$ = medida de uno/cero en una matriz espacial simétrica para detectar la proximidad entre i y j y la distancia dada por d .

Con el objeto de indicar como lo observado por el estadístico G es significativamente diferente del valor esperado (y sorpresivamente diferente de la distribución al azar), la fórmula 2 fue aplicada:

$$Z = \frac{G(d) - G_E(d)}{\text{DesvStd}[G(d)]} \quad [2]$$

Donde,

Z = valor de la significancia estadística de la agrupación G.

$G(d)$ = valor aleatorio de la prueba del estadístico G.

$G(d)$ = valor esperado de la prueba del estadístico G.

DesvStd = desviación estándar de $G(d)$.

El supuesto de la prueba asume que no existe autocorrelación global, pero cuando ésta existe tiene un impacto significativo en el valor esperado de G.

El estadístico G fue estimado por unidades fisiográficas, usando el análisis espacial estadístico de “puntos calientes” disponible en el programa ArcMap™ versión 9.3

(ESRI 2008), el cual es calculado buscando el contexto espacial de cada unidad en relación con las unidades vecinas. Si una unidad tiene un valor alto y las unidades vecinas también presentan valores altos, entonces es parte de un punto “caliente”. La suma local de cada unidad y la de sus vecinos son proporcionales y comparadas con la suma de todas las unidades. Cuando la suma local tiene un valor muy diferente del esperado y la diferencia es demasiado grande en una selección aleatoria, el valor estadísticamente significativo Z se constituye como el resultado (ESRI 2008). Como una prueba estadística de la validez de la agrupación, se llevó a cabo una prueba de los valores de P a través de la cual se muestra la precisión del estadístico G.

RESULTADOS

De acuerdo con la dependencia espacial de las observaciones en términos de valores de agrupación (figura 2), las unidades con valores de 4,79 a 10,12 (tono rojo) indicaron *clusters* de puntos de calor considerablemente agrupados, mientras que datos desde -1,7 hasta -0,48 presentaron puntos de calor dispersos (tonos verdes). Aquellas unidades fisiográficas con resultados alrededor de cero no pudieron asignarse de forma confiable a ninguna de las dos categorías, situación debida a dos posibles causas: 1) unidades espaciales localizadas en una área heterogénea en cuanto al grado de concentración de puntos de calor y 2) la presencia de unidades de transición entre dos *clusters* de puntos de calor diferenciado, en este caso, entre puntos de calor concentrados y dispersos.

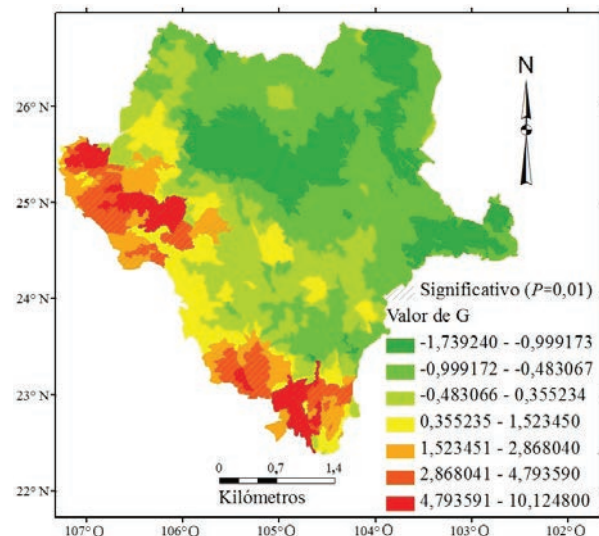


Figura 2. Intensidad espacial estimada de la ocurrencia de puntos de calor en Durango, México para el periodo 2001 al 2010, con aquellas unidades cartográficas estadísticamente significativas ($P = 0,01$).

Estimated spatial intensity of hotspot occurrence in Durango, Mexico for the period 2001 – 2010 containing those cartographical units statistically significant for $P = 0.01$.

Con la finalidad de otorgar consistencia a los resultados, en la figura 2 se muestra la prueba estadística de la validez de los valores de P , a través de la cual se modela la precisión del estadístico G . Los mejores resultados se representan en achurado. Un nivel de significación más conservador se utilizó ($P = 0,0001$) con el fin de compensar el efecto del tamaño de la muestra ($N = 1.343$), que puede detectar manchones locales, mientras que en el grado de agrupación de ocurrencia de puntos de calor es evidente que varió entre zonas ecológicas.

En cuanto al número de puntos de calor, estos muestran su mayor frecuencia en las zonas ecológicas de bosques de coníferas y de encino (cuadro 1). Sin embargo, en términos de su patrón espacial exhiben una superficie agrupada menor correspondiente a áreas vecinas del bosque tropical caducifolio concentradas en el noroeste y en el sur del estado, derivado de la agregación progresiva de puntos de calor en esta zona durante el período de tiempo considerado. Esto sugiere que la mayor incidencia está siguiendo un patrón bastante estable en el tiempo. La superficie donde se presenta el agrupamiento de puntos de calor corresponde a áreas vecinas del bosque tropical caducifolio, que tienen una topografía accidentada y de difícil acceso. La ecozona que ha tenido menos actividad de los puntos de calor fue el de arbustos xerófilos, que se caracteriza por zonas arenosas y de clima árido.

DISCUSIÓN

El estadístico G identificó diferencias relativas de agrupación entre las unidades terrestres para los diversos ecosistemas del área de estudio y resultó útil para detección de zonas recurrentes de puntos de calor, debido a su habilidad para diferenciar entre el componente eventual y el causal de un punto de calor, es decir, presenta un modelo que permite predecir cuándo un patrón deja de ser regular y aparecen los *clusters* que pueden indicar la aparición de una nueva zona potencial de incendios forestales (figura 2). Este enfoque es coherente con los resultados de Parisien *et al.* (2006) quienes demostraron que los incendios en Canadá se han formado en grandes agrupaciones desde 1980 a 1999. Ellos sostienen que el agrupamiento de los incendios es una función de los intervalos de años acumulados, lo cual es congruente con el análisis realizado

unos años después por Vásquez y Moreno (2001), quienes demuestran que los incendios se agregan en el espacio y en el tiempo, produciendo más interacciones entre áreas quemadas, lo cual es fundamentado por Wang y Anderson (2010) quienes sostienen que la interacción es dinámica y cambia año con año. Sin embargo, la agrupación depende de un conjunto de datos que han ocurrido durante un largo período de tiempo, y por lo tanto, lo más probable es que han mostrado diferentes patrones en la agrupación.

A partir de la diferenciación de las tasas de agrupación de los puntos de calor encontradas en este estudio (figura 2), es posible deducir que algunas de las características (factores físicos, antropogénicos, etc.) varían considerablemente entre las zonas ecológicas, e incluso individualmente dentro de cada ecozona. Esto concuerda con diversos estudios que, a partir de simulaciones, han reportado que la agrupación varía con la cubierta vegetal (Keane *et al.* 2002 y Miller *et al.* 2008). Según Cumming (2001), la configuración y proporción de la vegetación inflamable y no inflamable, así como las características del paisaje influyen claramente en los patrones de incendios. Además, ellos sugieren que estos patrones son propensos a responder de manera diferente a los cambios en la escala espacial. De hecho, Parisien *et al.* (2006) muestran que la división de los grupos, y por lo tanto la reducción de las unidades de estudio, evitaría un sesgo en las estimaciones y seguramente diluye el efecto de la agrupación. Bajo este enfoque, la elección de los sistemas terrestres como unidades de estudio en este trabajo, no es totalmente arbitraria, ya que se basa en las unidades para las cuales se conoce la actividad del fuego y su variación a lo largo de la zona de estudio. Sin embargo, el análisis de diferentes conjuntos de datos espaciales para determinar las escalas que son más relevantes para el estudio de la agrupación de los puntos de calor constituye hasta ahora un desafío pendiente.

Flannigan *et al.* (2005) muestran que las unidades de estudio agrupadas en ecozonas, tienen un peor comportamiento que las unidades terrestres que se utilizaron en esta investigación. Con este fin, dichas unidades proporcionan un medio útil y objetivo para estratificar espacialmente las zonas ecológicas a fin de estudiar el fuego, aunque este tipo de análisis requiere información más detallada relativa a los factores responsables de la ignición y propagación de incendios.

Cuadro 1. Estadísticos generales de asociación espacial de los puntos de calor en Durango, México.

General statistics of spatial association of hotspots in Durango, Mexico.

| Ecosistema | Número de puntos de calor | Superficie (ha) | | | Total |
|----------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|----------|------------|
| | | Desagrupado | Aleatorio | Agrupado | |
| Bosque de pino-encino | 4.222 | 2.208.285 | 1.939.897 | 425.015 | 4.573.197 |
| Selva tropical caducifolia | 1.019 | 207.205 | 977.290 | 295.308 | 1.479.804 |
| Matorral xerófilo | 199 | 3.056.683 | 0 | 0 | 3.056.683 |
| Pastizal | 393 | 3.072.183 | 136.233 | 0 | 3.208.416 |
| Total | 5.833 | 8.544.356 | 3.053.420 | 720.323 | 12.318.100 |

El estadístico G se comportó satisfactoriamente como una herramienta cuantitativa simple y de bajo costo para determinar el grado de agrupamiento de los puntos de calor, lo cual fue confirmado por nuestros resultados. Este análisis espacial respondió a la hipótesis que se había planteado inicialmente. Varios grupos de puntos de calor se han formado en cada ecosistema forestal en Durango entre 2001 y 2010, lo que puede ayudar a determinar zonas de riesgo de incendios forestales con base en su grado de ocurrencia y patrón espacial. Además, se reafirma la importancia de analizar datos históricos, lo cual es consistente con Van Wagner (1988) y Podur *et al.* (2003), quienes señalan que los registros históricos de incendios han sido útiles en la comprensión de la distribución espacial de los incendios y ayudan a los manejadores a conceptualizar dónde podría ocurrir una ignición. Sin embargo, su disposición temporal de diez años ha limitado la posibilidad de realizar un análisis más detallado durante un periodo de tiempo más considerable (décadas, por ejemplo). También les permitiría entender el nivel de amenaza del fuego. Sin embargo, la distribución espacial de puntos de calor sólo indica lugares donde los incendios podrían comenzar, mas no dónde, ni bajo qué condiciones el fuego podría propagarse o el impacto que se produciría. Estudios posteriores sobre el riesgo de incendios forestales deberán complementarse con información adicional, como por ejemplo mapeo de combustibles o incluso información socioeconómica para determinar un índice integral de riesgo.

Como se señaló anteriormente, Ávila *et al.* (2010) han explicado la agrupación de los incendios forestales, sin embargo, utilizaron el índice de Moran I. El estadístico G se centra en la agrupación alrededor de cada sistema terrestre y no tiene en cuenta algún índice de incendios forestales en el área de estudio por sí mismo. Este enfoque ayuda a controlar el comportamiento local debido a que G es más sensible a los grupos de altos valores que a los de bajos. Por otro lado, el índice de Moran es afectado principalmente por la escala de los *clusters* (Zhang y Zhang 2007). La cuestión de la interacción entre los coeficientes locales y globales es muy importante y aún queda mucho por hacer en este contexto (Ord y Getis 1995).

CONCLUSIONES

Los puntos de calor ocurridos durante el periodo del 2001 a 2010 en Durango, México mostraron una distribución espacial agrupada notable en los ecosistemas de coníferas. Esta evaluación proporciona información novedosa y útil para los investigadores sobre los peligros de incendios y su comportamiento espacial. Los ecosistemas del área de estudio que tuvieron mayor incidencia de puntos de calor fueron el bosque de pino encino y el pastizal. Mientras que en el bosque de pino encino se pudo determinar un patrón espacial tendiente a agrupado, en el pastizal la tendencia espacial fue de aleatoria a desagrupada. Complementariamente, será importante investigar la im-

portancia relativa de otras variables como las condiciones meteorológicas, los combustibles, las características del paisaje, y otros factores para la determinación de un punto de calor.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONAFOR y CONABIO por la disposición de datos y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango en México (COCYTED) por el financiamiento al proyecto DGO-2010-C02-144340. También se agradece al Ing. Luis Villegas de la CONAFOR por los comentarios que mejoraron el manuscrito.

REFERENCIAS

- Ávila DY, M Pompa, PE Vargas. 2010. Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. *Revista Chapingo* 16(2): 253-260. DOI: 10.5154/r.chs-cfa.2009.08.028.
- Bohórquez L, IGómez, F Santa. 2011. Methodology for the discrimination of areas affected by forest fires using satellite images and spatial statistics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 7: 389-39. DOI:10.1016/j.proenv.2011.07.067.
- Buzai GD, CA Baxendale. 2006. Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Buenos Aires, Argentina. Lugar Editorial. 397 p.
- Chuvieco E, R Congalton. 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing Environment* 29:147-159. DOI: 10.1016/0034-4257(89)90023-0
- CONABIO (Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, MX). 2000. Consultado 12 jul 2011. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/incendios/>.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2007. Consultado 12 jul 2011. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx>.
- Cumming SG. 2001. Forest type and fire in the Alberta boreal Mixedwood: what do fires burn? *Ecological Application* 11(1): 97-110. DOI: 10.1890/1051-0761(2001)011.
- ESRI. 2008. ArcMap 9.3. Environmental Systems Research Institute: Redlands, CA.
- Flannigan MD, KA Logan, BD Amiro, WR Skinner, BJ Stocks. 2005. Future area burned in Canada. *Climatic Change* 72(1-2): 1-16.
- Gollberg GE, LF Neuenschwander, KC Ryan. 2001. Introduction: integrating spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management. *International Journal of Wildland Fire* 10(3-4): 263-265.
- González SM, González E, y MA. Márquez. 2007. Vegetación y ecorregiones de Durango. México D.F.; México. Plaza y Valdés/Instituto Politécnico Nacional. 219 p
- Islam KS and Y Asami. 2011. Addressing Structural Instability in Housing Market Segmentation of the Used Houses of Tokyo, Japan. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 21: 33-42
- Keane RE, RA Parsons, PF Hessburg. 2002. Estimating historical range and variation of landscape patch dynamics: limitations of the simulation approach. *Ecological Modelling*

- 151(1): 29-49. DOI: 10.1016/S0304-3800(01)00470-7.
- Miller C, MA Parisien, AA Ager, MA Finney. 2008. Evaluating spatially explicit burn probabilities for strategic fire management planning. *Transactions on Ecology and the Environment* 119: 245-252.
- Mohan D. 2009. Road accidents in India. *Journal of International Association of Traffic and Safety Science* 33(1): 75 – 79.
- Ord JK, A Getis. 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24(3): 189-206.
- Ord JK, A Getis. 1995. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis* 27(4): 286-306.
- Parisien MA, VS Peters, Y Wang, JM Little, EM Bosch, BJ Stocks. 2006. Spatial patterns of forest fires in Canada, 1980–1999. *International Journal of Wildland Fire* 15(3): 361-374.
- Podur J, DL Martell, F Csillag. 2003. Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976-1998. *Ecological Modelling* 164(1): 1-20. DOI: 10.1016/S0304-3800(02)00386-1.
- Prasannakumar V, H Vijith, R Charutha, N Geetha. 2011. Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents: GIS Based Analysis and Assessment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 7: 389–394. DOI: 10.1016/j.sbspro.2011.07.020.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MX), CP (Colegio de Postgraduados, MX). 2001. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en México (escala 1:250.000). Memoria Nacional.
- Van Wagner CE. 1988. The historical pattern of annual burned area in Canada. *Forestry Chronicle* 64(3): 182-185.
- Vásquez A, JM Moreno. 2001. Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain). *Forest Ecology and Management* 147(1): 55-65. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00436-9.
- Wang Y, KR Anderson. 2010. An evaluation of spatial and temporal patterns of lightning- and human-caused forest fires in Alberta, Canada, 1980–2007. *International Journal of Wildland Fire* 19(8): 1059-1072.
- Zhang SL, Zhang K. 2007. Comparison between general Moran's Index and Getis-Ord general G of spatial autocorrelation. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 2007-04. DOI: CNKI:SUN:ZSDZ.0.2007-04-022.

Recibido: 05.08.11

Aceptado: 22.11.11