

CARTOGRAFIA MULTITEMPORAL DE AREAS QUEMADAS EN MEXICO UTILIZANDO PRODUCTOS MODIS

Lilia MANZO DELGADO^{*a}, José LÓPEZ GARCÍA^a, Graciela JIMÉNEZ GUZMÁN^b

^{*a}Instituto de Geografía, UNAM. Av. Universidad 3000, Coyoacán, México, D.F., *lmanzo@igg.unam.mx

^bFacultad de Ciencias, UNAM. Av. Universidad 3000, Coyoacán, México, D.F.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue generar la cartografía multitemporal de áreas quemadas de muy alta relevancia en México durante 2000-2014, utilizando el producto mensual MCD45A1, derivado de las imágenes MODIS. Los productos de enero-junio se agruparon por año; los registros de áreas quemadas se caracterizaron y clasificaron por tamaño, tipo de vegetación, entidad federativa y área natural protegida. La confiabilidad se evaluó con imágenes Landsat TM/ETM+. El procedimiento estimó 7,398,886 ha afectadas por 48,297 registros de áreas quemadas; 71% se presentó en bosques, 18% en selvas y 11% en matorrales. Los años de mayor afectación fueron 2011 (1,295,696 ha), 2005 (796,679 ha) y 2000 (711,958). Los resultados MCD45A1 presentaron un coeficiente Kappa promedio de 0.62, sugiriendo una confiabilidad razonable. Las áreas quemadas que rebasaron 3000 ha fueron consideradas de muy alta relevancia, a partir de las cuales se construyó la cartografía multitemporal. Los resultados constituyen una alternativa interesante para analizar el patrón de distribución espacial y temporal, así como identificar zonas de atención prioritaria en materia de incendios.

Palabras clave: Áreas quemadas, MODIS, MCD45A1, Landsat

ABSTRACT

The aim of the study was to obtain a multitemporal map of the most important burned areas in Mexico during 2000-2014, using the monthly product MCD45A1 derived from MODIS images. Products from January to June were grouped by year; records of burned areas were characterized and classified by size, vegetation type, federal State and protected area. Validation was based on visual analysis of Landsat TM/ETM+ images. The procedure identified 7,398,886 ha affected in 48,297 records of burned land: 74% in temperate forest, 18% in tropical forest and 11% in shrub. The most affected years were 2011 (1,295,696 ha), 2005 (796,679 ha) and 2000 (711,958). The MCD45A1 results showed a Kappa coefficient of 0.62, an acceptable accuracy. Burned areas exceeding 3000 ha were considered to be of sufficient importance for inclusion in the multitemporal map. These results illustrate an alternative for analysing the pattern of spatial and temporal distribution of burned areas and for identifying zones that merit priority attention with regard to wildfires.

Keywords: burned area, MODIS, MCD45A1, Landsat

1 INTRODUCCIÓN

En México, cada año se presentan numerosos incendios forestales propiciando la deforestación de bosques, selvas y matorrales, además de contribuir al calentamiento global y disminución de la calidad de los servicios ambientales. En las últimas décadas han seguido una tendencia creciente en su frecuencia e intensidad, siendo 1998 y 2011 los años más críticos, recordando

varios incendios de muy alta relevancia, no sólo por la gran superficie de afectación, sino también por el tiempo prolongado de duración.

Los sistemas de alerta temprana, basados en la identificación de puntos de calor, han sido muy valiosos en los últimos años; sin embargo, es necesario contar con un monitoreo sistemático de las áreas quemadas, constituyendo una base importante para analizar la distribución espacial y temporal, dar seguimiento a los procesos de

recuperación, además de tener la oportunidad de evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos (Pérez Verdín *et al.*, 2013).

En este contexto, el territorio nacional cuenta con escasa representación cartográfica de las áreas quemadas. Un estudio de tal magnitud, requiere del apoyo de diversas técnicas de percepción remota, imágenes de satélite y sistemas de información geográfica, que faciliten la organización e información registrada de manera ágil y confiable. Una alternativa interesante es el producto mensual de área quemadas MCD45A1, derivado del sensor MODIS, constituyen una oportunidad excelente para realizar un monitoreo multitemporal (Manzo Delgado, 2015).

El producto de área quemada MODIS utiliza el método de detección de cambio, basado en el modelo de reflectancia bidireccional BRDF, por sus siglas en inglés, considerando la energía reflejada en la región espectral del infrarrojo cercano (NIR: banda 2) y el infrarrojo de onda corta (SWIR: banda 5). El método aplica un análisis estadístico para determinar si un pixel presenta un cambio significativo entre la reflectancia observada y la prevista en caso de incendio. El procedimiento incluye series de tiempo mensuales, identificando las áreas quemadas recientes (> 25 ha), descartando las que ocurrieron en temporadas anteriores (Roy *et al.*, 2008).

La Universidad de Maryland genera un producto mensual MODIS de área quemada a escala global, con resolución espacial de 500m, nivel 3, en formato GeoTIFF, organizado en 24 ventanas subcontinentales; México se ubica en la ventana 4 (<http://modis-fire.umd.edu>).

El objetivo del presente trabajo fue generar la cartografía multitemporal de las áreas quemadas de muy alta relevancia para el periodo 2000 – 2014, explorando el potencial del producto MODIS, con la finalidad de contribuir al estudio, seguimiento y monitoreo de los incendios forestales.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA EN ESTUDIO

En México la temporada de incendios comienza en enero y finaliza en junio, siendo los meses de marzo a mayo los que concentran la mayor frecuencia e intensidad. Esto se debe a las condiciones de máxima sequía que se manifiestan antes del inicio de las lluvias, facilitando la propagación del fuego. Durante la sequía también se presentan numerosas quemadas en terrenos de cultivo y pastizales, muchas de las cuales se salen de control y favorecen el inicio y dispersión del fuego en bosques, selvas y matorrales. Durante el periodo 2000 - 2014, las estadísticas oficiales registraron 120,625 incendios y 4,058,622 ha afectadas; siendo 2011 el año que presentó mayor superficie quemada (956,405 ha), seguido por 2013 (413,216 ha) y 2012 (347,226 ha). De manera complementaria, durante el periodo 2006 - 2014, las estadísticas oficiales mostraron que 66% del total de incendios afectaron superficies < 5 ha, seguidos por 26% de 6 a 50 ha y 8% con afectaciones > 51 ha. Para el mismo periodo, 83% de los incendios fueron de corta duración (< 24 horas); 16% de 2 a 7 días y 1% permanecieron activos más de 7 días (CONAFOR, 2014).

2.2 REGISTRO MULTITEMPORAL

Como primer paso, se descargaron los productos mensuales MODIS de área quemada para México, ubicados en ventana 4, enero - junio, del periodo 2000 – 2014. Estos fueron agrupados para generar una sumatoria anual, obteniendo 15 nuevos compuestos, en proyección Cónica Conforme de Lambert con Datum WGS84. Posteriormente se calcularon las superficies de cada registro, seguido de la caracterización por tipo de vegetación, utilizando la cartografía digital de uso del suelo y vegetación, serie V, desarrollada por el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI, 2011).

Con la finalidad de seleccionar solamente las áreas quemadas asociadas a incendios forestales (bosques, selvas y matorrales), se eliminaron los registros asociados a quemadas agropecuarias (cultivos, pastizal, sin vegetación aparente,

vegetación inducida y especial). Los registros seleccionados se clasificaron por tamaño, tipos de vegetación, entidades federativas y áreas naturales protegidas (Manzo Delgado, 2015).

2.3 EVALUANDO LA CONFIABILIDAD

Para evaluar el grado de confianza del producto mensual MODIS se eligió el año 2011, el cual se consideró representativo del periodo en estudio. Las áreas quemadas delimitadas en las imágenes Landsat TM/ETM+, han sido utilizadas para este tipo de evaluaciones (Roy *et al.*, 2008, Manzo Delgado y López García, 2013). La búsqueda y adquisición de estas imágenes se realizó por medio del Visualizador Global del Servicio Geológico de Estados Unidos (<http://glovis.usgs.gov>). Se descargaron 16 imágenes, con nubosidad < 20%, en formato Geotiff, corregidas geométrica y radiométricamente (Level-1G), en proyección UTM (Universal Transverse Mercator). Las imágenes, seleccionadas al azar, cubren ocho escenas cuyos path/row son: 29/43; 22/48; 30/44; 30/45; 34/39; 39/38; 27/45 y 27/48, con fecha preliminar y posterior a los incendios. Dichas imágenes representan 14.6% del área en estudio y once estados, constituyendo una muestra importante para validar el producto mensual. Como un apoyo adicional se utilizaron los incendios activos identificados como puntos de calor por el programa FIRMS - Web Fire Mapper Fire Information for Resources Management System (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>), mismos que fueron comparados con los registros MODIS y las áreas quemadas identificadas en las imágenes Landsat (Manzo Delgado, 2015).

3 RESULTADOS

El procedimiento estimó 48,297 registros y 7,398,886 ha quemadas, de las cuales 71% se presentaron en bosques, 18% en selvas y 11% en matorrales. Los años de mayor afectación fueron 2011 (1,295,696 ha), 2005 (796,679 ha) y 2000 (711,958 ha). En la Tabla 1 se presentan los diez estados con mayor superficie afectada.

Tabla 1. Superficie acumulada y porcentual estatal de área quemada en México, periodo 2000 - 2004.

Estado	Hectáreas	%
Guerrero	1,200,921	18.89
Durango	981,652	8.04
Jalisco	967,166	12.40
Sonora	609,303	3.37
Chihuahua	605,795	2.45
Nayarit	560,520	20.14
Coahuila	510,807	3.39
Michoacán	389,454	6.67
Sinaloa	281,541	5.11
Chiapas	251,633	3.41
Oaxaca	196,882	2.13
Campeche	127,263	2.28
Zacatecas	125,367	1.68
Nuevo León	105,836	1.66
Tamaulipas	89,624	1.16
Baja California	80,167	1.09
Puebla	72,395	2.12
Baja California S.	68,757	0.96
México	47,518	2.14
Guanajuato	34,383	1.13
Yucatán	18,060	0.46
San Luis Potosí	17,903	0.30
Morelos	9,729	2.00
Tabasco	8,348	0.34
Veracruz	8,154	0.12
Hidalgo	5,940	0.29
Colima	5,787	1.01
Distrito Federal	5,117	3.47
Aguascalientes	4,732	0.85
Querétaro	3,272	0.28
Quintana Roo	2,687	0.06
Tlaxcala	2,173	0.55

El resto de las entidades presentaron afectaciones menores de 100,000 ha, ubicándose en los últimos lugares: Aguascalientes (4,732 ha), Querétaro (3,272 ha), Quintana Roo (2,687 ha) y Tlaxcala (2,173 ha). Estos resultados sugieren que en el norte y sur del país los incendios forestales son de mayor extensión; en tanto que en el centro y sureste son menores.

En complemento, las áreas naturales protegidas concentraron 11% (811,473 ha) de la superficie total afectada en el periodo en estudio. En este contexto, las Áreas de Protección de Recursos Naturales (APRN) agruparon la mayor superficie de afectación con 624,731.564 ha, seguidas por las Áreas de Protección de Flora y Fauna (APFF) con 112,927.067 ha, continuando con las Reservas de la Biósfera (RB) con 61,758.1686 ha, ocupando el último lugar los Parques Nacionales con 12,056.1824 ha. Estas cifras sugieren que las primeras categorías muy probablemente carecen de planes de manejo del fuego; en tanto que las últimas posiblemente cuentan con mayores recursos y programas para prevenir y controlar el fuego. Tales suposiciones podrán ser analizadas con mayor detalle con apoyo de los registros y programas que operan en las áreas protegidas.

Considerando la superficie de los registros MODIS, se identificaron 5 niveles de relevancia (Tabla 2). El Nivel I (< 50 ha), de muy baja relevancia, concentró el mayor porcentaje de registros (60.7%) y baja superficie afectada (6.5%). El Niveles V (> 3000 ha), de muy alta relevancia, presentó el menor porcentaje de registros (0.6 %) con alto porcentaje de afectación (26.4%).

Las áreas quemadas de muy alta relevancia (Nivel V) constituyeron casos interesantes para representarse cartográficamente (Figura 1). Las entidades que concentraron mayor superficie de área quemada fueron: Coahuila, Sonora y Durango con 408,217 ha, 288,942 ha y 269,740 ha respectivamente.

Tabla 2. Clasificación de los registros de áreas quemadas MODIS por niveles de relevancia (2000-2004).

Niveles de relevancia (hectáreas afectadas)	Número de Registros (%)	Superficie Afectada (%)
I - Muy baja (< 50)	60.7	6.5
II - Baja (51-100)	7.7	3.7
III - Moderada (101-1000)	10.7	39.4
IV - Alta (1001-3000)	2.3	24.1
V - Muy alta (> 3000)	0.6	26.4

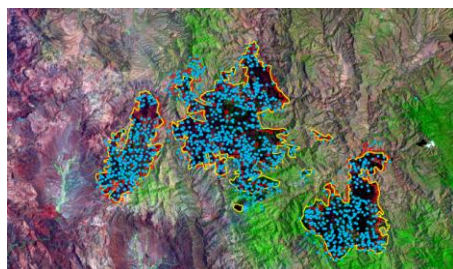


Figura 1. Áreas quemadas de muy alta relevancia en México, 2000 - 2014.

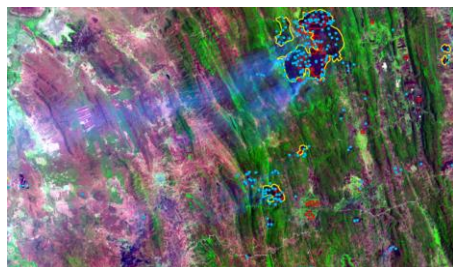
Tomando como base los resultados de 8 matrices de confusión, se estimó que el producto MODIS tiene un coeficiente Kappa promedio de 0.62, consiguiendo una confiabilidad razonable, semejante a la reportada por otros usuarios (Anaya y Chuvieco, 2012; Rodríguez Montellano, 2012).

El promedio de los errores de omisión se ubicó en 40.81%, en tanto que el promedio de los errores de comisión fue 32.17%, considerándose relativamente altos. Los errores de omisión y

comisión se atribuyeron a la combinación de varios factores entre los que destacan, la fecha de la imagen Landsat, el humo liberado por la combustión vegetal y la duración del efecto quemado. Los puntos de calor de FIRMS confirman la identificación de las áreas quemadas (Figura 2).



TM5 (path 34/row 39) 24/06/2011



ETM+ (path27/row 45) 28/04/2011

Figura 2. Comparación entre los perímetros registrados por MODIS (línea roja) con los obtenidos por las imágenes Landsat (línea amarilla). Los círculos en azul son los puntos de calor (incendios activos) identificados por FIRMS.

4 CONCLUSIÓN

El producto MODIS de área quemada constituyó una base sólida para obtener la cartografía multitemporal de áreas quemadas, periodo 2000 – 2014, clasificadas en cinco niveles de relevancia, logrando representar cartográficamente el Nivel V, de muy alta relevancia (> 3000 ha). Los resultados ilustran una alternativa para analizar el patrón de distribución espacial y temporal de estos eventos en los últimos 15 años, identificando zonas que merecen atención prioritaria en materia de incendios forestales y dar seguimiento a los procesos de recuperación.

REFERENCIAS

- Pérez Verdín, G., Márquez Linares M. A., Cortés Ortiz A., Salmerón Macías M. 2013. Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*. 19: 37-58.
- Manzo Delgado L. 2015. Áreas quemadas por incendios forestales de gran relevancia en México: algoritmos y sensor MODIS para su detección y monitoreo. *Geografía de México: Una reflexión espacial contemporánea*. Instituto de Geografía, UNAM. (en prensa).
- Roy D. P., Boschetti L., Justice Ch. O., Ju J. 2008. The collection 5 MODIS burned area product - Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. *Remote Sensing Environment*. 112: 3690-3707.
- MODIS. "Modis Burned Area". University of Maryland, Maryland, USA. <http://modis-fire.umd.edu> (acceso 15 Dic. 2014).
- CONAFOR. 2014. "Reportes de incendios históricos". http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/incendios/index.html (acceso 8 Dic. 2014).
- INEGI. 2011. Cartas de uso del suelo y vegetación, serie V, escala 1:250000.
- Manzo Delgado L. y López García J. 2013. Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. 13: 66-83.
- GLOVIS. "The USGS Global Visualization Viewer" <http://glovis.usgs.gov/> (acceso 10 Feb. 2015).
- FIRMS - "Web Fire Mapper" (Fire Information for Resource Management System). <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/firemap/> (acceso 15 Dic. 2014).
- Anaya, J. A. y Chuvieco, E. 2012. Accuracy assessment of burned area products in the Orinoco basin. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 78:53-70.
- Rodríguez Montellano, A. 2012. Cartografía multitemporal de quemas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación post-incendio. *Ecología en Bolivia*. 47:53-71.