

DetECCIÓN DE INCENDIOS EN MÉXICO UTILIZANDO IMÁGENES AVHRR (TEMPORADA 1998)

José Luis Palacio-Prieto*
Laura Luna-González** y
Lyssania Macías-Morales**

Recibido: noviembre 24, 1998
Aceptado en versión final: marzo 11, 1999

Resumen. La temporada de incendios de 1998 en México fue excepcional. En ello contribuyeron los fenómenos meteorológicos del año anterior (huracanes y bajas temperaturas, principalmente) que ocasionaron la deposición de grandes cantidades de material combustible. Por medio de 120 imágenes AVHRR se hace una evaluación de áreas incendiadas entre enero y junio de 1998. Se registran 8 147 píxeles que refieren la presencia de puntos calientes, presumiblemente fuegos, durante el periodo referido. Se utilizó una base de datos de referencia para revisar la exactitud del mapa de áreas incendiadas que se presenta. De 3 312 sitios de referencia, cerca de 94% de los mismos fueron detectados por los niveles de saturación del canal 3 del sensor AVHRR.

Palabras clave: Fuegos, AVHRR, percepción remota.

Abstract. The 1998 "burning" season in Mexico was outstanding. Hurricanes, low temperatures and unexpected snowfall contributed to the disposal of large quantities of fuelgrass, shrub and wood. Based on the processing of channel 3, 120 AVHRR images from January to June 1998, an evaluation of burned areas is presented. Up to 8 147 pixels assuming the presence of fire were recorded. In order to check accuracy of band 3 derived data, 3 312 sites corresponding to fires were crossed to fires estimated from imagery. About 94% of accuracy was assessed for the map presented here.

Key words: Fires, AVHRR, Remote Sensing.

INTRODUCCIÓN

Como sucede en varios países del mundo, en México se presenta una temporada de incendios coincidente con el período anual de sequía. Dicho período seco normalmente abarca desde el mes de diciembre y llega a prolongarse hasta junio en la mayor parte del país. La razón principal de los incendios es la preparación de los terrenos agrícolas antes de las lluvias, aunque también influye la práctica de la "roza, tumba y quema" en el borde de áreas boscosas, con fines de expansión agrícola, y otras razones naturales (p.e. tormentas eléctricas) y, aunque no suficientemente estudiadas a nivel nacional, las de orden político y socioeconómico (ver, p.e. García, 1998, y Consejo, 1998).

La temporada de incendios en México en 1998 ha sido, por diversos motivos, excepcional, al igual que en otros lugares del planeta (ver, p.e. Wooster *et al.*, 1998). Durante el verano de 1997, los huraca-

nes que azotaron las costas mexicanas fueron relevantes, no sólo por la pérdida de vidas y los daños causados a la infraestructura urbana, especialmente en la costa del Pacífico, sino por los estragos causados a zonas agrícolas y de vegetación boscosa y arbustiva. El paso del huracán *Pauline*, por ejemplo, afectó un amplio sector agrícola y forestal en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Por otro lado, en algunos lugares del norte y centro del país, las bajas temperaturas y las nevadas registradas durante el invierno contribuyeron a la disposición de grandes cantidades de material vegetal combustible. Por último, las lluvias del verano de 1998 empiezan a generalizarse tardíamente en el país, hasta finales del mes de junio y principios de julio, lo cual ha sido atribuido a la ocurrencia del fenómeno meteorológico de "El Niño".

La prolongada sequía y los antecedentes meteorológicos mencionados, contribuyeron a la ocurrencia de más de 14 mil incendios que afectaron unas

* Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F. e-mail palacio@servidor.unam.mx

** Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F.

530 mil ha, 21% de las cuales correspondieron a zonas forestales y el restante 79% a zonas cubiertas de matorrales y pastos (Toledo, 1998). Las cifras finales aportadas por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap, 1998), refieren la ocurrencia de más de 15 000 incendios y 849 000 ha incendiadas. Las cifras no tienen precedente en nuestro país por su frecuencia y área afectada.

Los incendios en general, y en particular los forestales, tienen importantes implicaciones ambientales. Entre ellas destacan la liberación a la atmósfera de gases que contribuyen al efecto invernadero, los cambios en el comportamiento hidrológico del terreno, la erosión del suelo superficial como consecuencia de un escurrimiento mayor y la pérdida de productividad del mismo, alteraciones en el hábitat y sus consecuentes efectos sobre la biodiversidad, y potenciales cambios en el uso del suelo lo que, en general, se incluye en el fenómeno planetario del cambio global.

Todo lo anterior reclama la identificación de áreas afectadas por incendios en distintos niveles de escala espacial, desde el nacional hasta el local. Una alternativa para ello es el uso de imágenes de satélite y, en particular, las generadas por el sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Las imágenes AVHRR han sido utilizadas para estimar las emisiones de gases de invernadero a la atmósfera (Setzer y Pereira, 1991; Kasischke y French, 1995), para definir índices de riesgo a incendios (Vidal *et al.*, 1994, Chuvieco y Martín, 1994a) y para la detección y monitoreo de los mismos (Kasischke *et al.*, 1993; Chuvieco y Martín, 1994b; Pozo *et al.*, 1997; Rauste *et al.*, 1997; Fang y Huang, 1998; Wooster *et al.*, 1998), entre otras aplicaciones.

Varios trabajos realizados sobre detección y monitoreo de incendios se basan en la resolución espectral de las imágenes AVHRR y, específicamente, en el uso de los datos AVHRR-HRPT (*High Resolution Picture Transmission*). El sensor AVHRR posee 5 canales o bandas (Kidwell, 1984); los dos primeros corresponden a la porción visible del es-

pectro electromagnético, el canal 3 al infrarrojo medio y las bandas 4 y 5 al térmico.

Son los canales 3 (3.55-3.93 mm) y 4 (10.5-11.5 mm) del sensor AVHRR los que comúnmente se utilizan en la identificación automática de incendios, aunque los dos primeros canales (1 y 2) son útiles para la identificación visual de la ocurrencia del fuego, lo que se define en algunos casos por la presencia de plumas de humo. El canal 3 resulta particularmente útil debido a que el fuego presenta un pico máximo de radiación alrededor de los 3.7 mm, además de encontrarse en una región espectral de baja radiación solar y terrestre (Robinson, 1991).

Los métodos para detección de incendios basados en el uso de imágenes AVHRR aplican criterios empíricos que definen umbrales de temperatura y valores digitales para discriminar entre píxeles que contienen fuego y los circundantes. El procedimiento más simple consiste en definir como incendios todos aquellos píxeles saturados en el canal 3 del sensor; ya que la saturación del píxel en este canal ocurre alrededor de los 321 °K (48 °C), es razonable considerar que un píxel saturado representa un área incendiada (Kennedy *et al.*, 1994).

El relativamente bajo nivel de saturación por temperatura de este canal, sin embargo, llega a confundir incendios con terrenos desnudos capaces de presentar temperaturas de esa magnitud, especialmente en áreas desérticas durante el verano, o bien nubes muy brillantes. A este respecto, el uso de datos nocturnos ofrece importantes posibilidades para disminuir e incluso eliminar la confusión (Rauste *et al.*, *op. cit.*). El uso de imágenes nocturnas elimina dos inconvenientes principales (Kennedy *et al.*, *op. cit.*): a) la saturación del canal 3 por emisión de calor de superficies no incendiadas, y b) el problema derivado de la reflexión solar durante el día.

Se han utilizado diferentes umbrales de temperatura derivados de los valores digitales de la banda 3 (Tabla 1). El uso de estos umbrales no garantiza la detección de la totalidad de los fuegos, debido, entre otras causas, a las dimensiones del área incendiada y a las características del entorno inmediato, que puede o no favorecer el contraste suficiente para su detección.

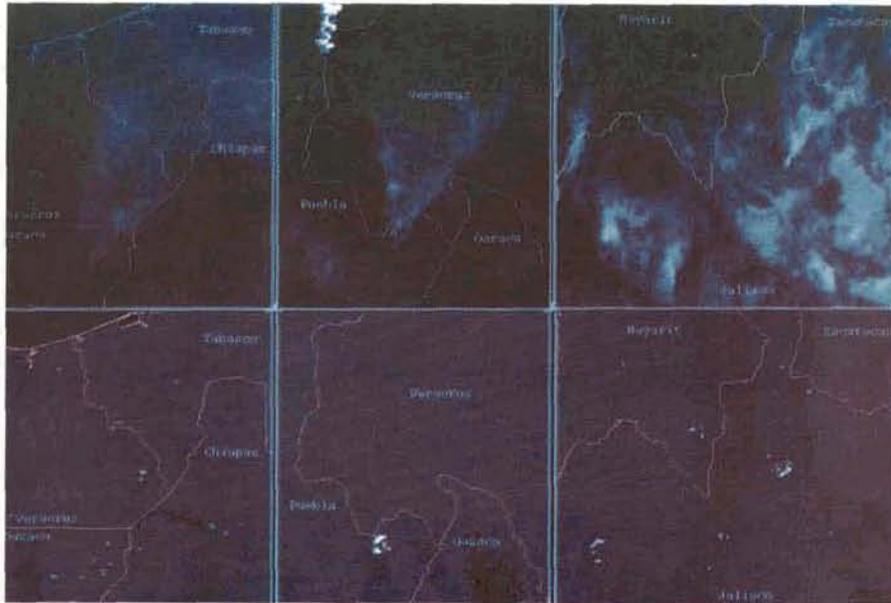


Figura 1. Las tres figuras superiores corresponden a bandas visibles del sensor AVHRR y muestran plumas de humo derivadas de incendios. Los vértices de dichas plumas identifican, en las correspondientes figuras inferiores, la ubicación de incendios. Fechas de las imágenes: 7/04/98, 17/04/98 y 13/05/98, respectivamente.

Del procesamiento de imágenes se obtuvo, para cada una de ellas, una imagen *bit*, indicando la presencia (con valor uno) o la ausencia (con valor cero) de fuego. Las imágenes *bit* fueron transferidas a un SIG y se realizó una suma directa de las mismas, con el fin de definir las áreas incendiadas durante toda la temporada. Con objeto de registrar posibles incendios falsos y evaluar los límites establecidos empíricamente para definir la presencia de fuego, se realizó una comparación entre los píxeles considerados como incendios y los incendios registrados a partir de la presencia de plumas de humo en las bandas visibles, antes referidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un aspecto crucial en este tipo de trabajo, es la corrección geométrica de las imágenes y su correregistro, con el fin de garantizar la sobreposición de la serie de imágenes consideradas. Debido a que las imágenes procesadas no necesariamente son adquiridas desde el mismo lugar en el espacio, sino que varía el ángulo de visión del satélite, la corrección geométrica puede tener diferencias que, aunque mínimas (error aproximadamente igual o menor a un píxel), pueden

introducir errores en la interpretación final de los resultados. Este problema se reflejó en los resultados que a continuación se describen.

Al comparar los sitios correspondientes a incendios obtenidos en las bandas visibles, solamente alrededor del 17.1% de los sitios coincidía con algún "incendio" asumido en el mapa final, derivado de la suma de lecturas de la banda 3 en las 120 imágenes. Una revisión detallada permitió detectar un desplazamiento constante de los sitios correspondientes a fuegos detectados en la banda visible, equivalente a menos de 2 píxeles (1040 m en x y -1365 m en y). Este error pudo introducirse en el momento de la rasterización de las coordenadas al formato de celdas de 1.1 km². Una vez corregido este desplazamiento, 93.8% de los sitios definidos en la banda visible, a partir de plumas de humo como incendio, coincidieron con áreas asumidas como incendio en la banda 3. La diferencia, 6.2% puede explicarse por incendios que fueron extinguidos de manera natural o con ayuda humana y que, si bien fueron registrados durante el paso diurno del satélite, durante la noche el calor emitido había cesado; no se descarta que dentro de este 6.2% exista

Tabla 1. Umbrales de temperatura utilizados con imágenes AVHRR

| Autor(es) | Umbral de temperatura utilizado (°K) |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Kaufman <i>et al.</i> (1990) | 316, 318, 320* |
| Robinson (1991) | 317* |
| Belward <i>et al.</i> (1993) | 320* |
| Chuvienco y Martin (1994) | 317, 295 ** |
| Setzer y Verstrate (1994) | 320* |
| Kennedy <i>et al.</i> (1994) | 321* |
| Fang y Huang (1998) | 323* |

* Imágenes del paso diurno.

** Imágenes del paso diurno y nocturno, respectivamente.

Otra herramienta de gran utilidad en el estudio de los incendios, y en general en fenómenos en donde lo espacial es relevante, son los sistemas de información geográfica (SIG). Específicamente en el caso de incendios, el uso de esta herramienta ha probado su utilidad al combinarse con imágenes derivadas de percepción remota satelital y aérea. Chuvieco y Martin (1994b), y Pozo *et al.* (*op. cit.*), por ejemplo, construyeron mapas para dar seguimiento a la evolución de incendios, utilizando imágenes AVHRR de días casi consecutivos; la cartografía resultante define la permanencia y expansión de los incendios forestales en la costa mediterránea y sur de España, respectivamente.

El objetivo central de este trabajo fue generar el mapa de las zonas incendiadas durante la temporada invierno-primavera 1998 (enero-junio) de México, a partir de imágenes AVHRR, en el contexto de un SIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvo un total de 120 imágenes NOAA-HRPT correspondientes al paso nocturno del satélite NOAA-14 (aproximadamente 2:00 AM, 8:00 GMT) obtenidas en la estación receptora del *Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota* (LSIGPR) del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las imágenes recibidas se distribuyen en el período comprendido entre el 1 de enero y el 15 de junio de 1998. Si bien se capturó un número superior de imágenes, algunas fueron

descartadas por presentar cubrimiento de nubes y otras deficiencias en la captación de la señal; en promedio, para el período de observación, se cuenta con una imagen cada 1.3 días.

Las imágenes fueron corregidas geométricamente y corregistradas para garantizar su sobreposición y proveer de la precisión necesaria a la base de datos multitemporal. Se aplicó una proyección cónica de Lambert utilizando los programas disponibles en la propia estación receptora (*Terascan*). Por medio de una máscara se eliminaron las zonas marinas.

La banda 3 de las imágenes AVHRR multitemporales fue procesada para obtener valores de temperatura. El umbral utilizado en este caso fue de 48 °C. Para evaluar la exactitud acerca de la ocurrencia de fuego se obtuvo una serie de puntos de referencia con base en las bandas visibles de la imagen diurna más próxima al paso nocturno utilizado. De acuerdo con Cracknell (1997) mientras que una pluma de humo es identificable en el canal 1 de la porción visible del espectro, resulta prácticamente invisible en el 3. De esta manera, se obtuvieron coordenadas de 3 531 sitios en los que la presencia de una pluma de humo no deja duda acerca de la existencia de un fuego de dimensiones lo suficientemente grandes para permitir su detección. Así, se obtuvo una aproximación a la fidelidad de los datos referentes a la presencia de fuego en la banda 3. Los puntos de referencia corresponden a un solo pixel, en el vértice de las plumas de humo (**Figura 1**).

cendiados definidos en las bandas visibles, permiten concluir sobre la confiabilidad del método utilizado.

RECONOCIMIENTOS

El Ing. Sergio Varela, del Inventario Nacional Forestal (SEMARNAP) proporcionó información de

interés para la definición de algunos pasos metodológicos de este trabajo. Agradecemos su desinteresada colaboración. Se reconoce a la M. en C. Gabriela Gómez el haber proporcionado la imagen original de vegetación y uso del suelo generada a partir de imágenes AVHRR para la preparación del mapa que se incluye en la **figura 2**.

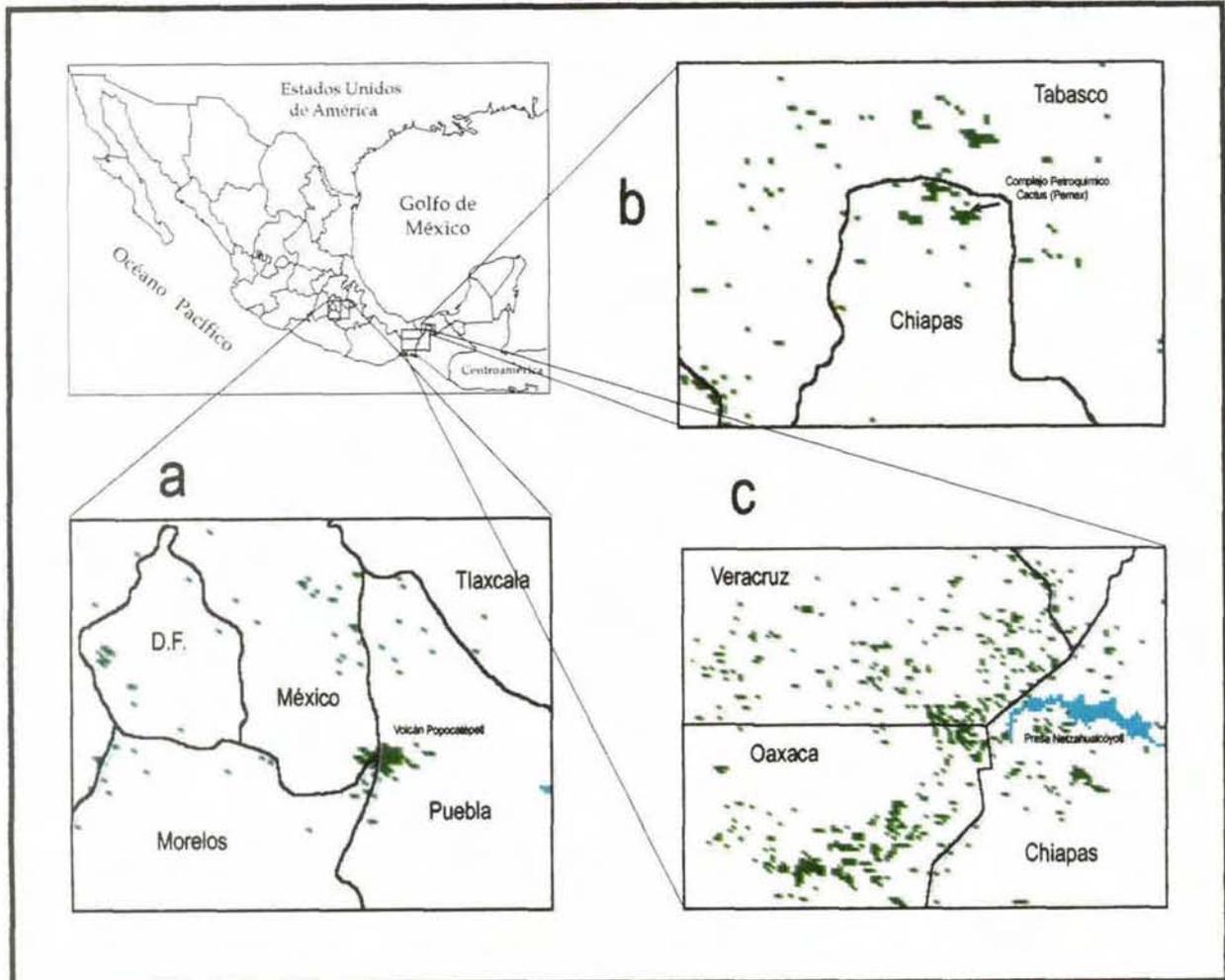


Figura 3. a) En el límite estatal compartido entre Puebla, Morelos y México, puede apreciarse la presencia de puntos calientes correspondientes al cráter del volcán Popocatepetl; la no coincidencia de todos los puntos en uno solo (es decir, el cráter) puede explicarse por un mal corregistro de las imágenes multitemporales o a la probable presencia de fuegos de pastizales y bosques; b) en la porción norte de Chiapas se infiere la presencia de quemadores de gas en el complejo petroquímico de Cactus, cuya energía emitida es suficiente para saturar los pixeles de las bandas 3 utilizadas; c) áreas afectadas por incendios en la zona de Los Chimalapas (Oaxaca), Uxpanapa (Veracruz) y la selva El Ocote (Chiapas).

REFERENCIAS

- Belward, A. S., J. M. Grégorie, G. D'Souza, S. Trigg, M. Hawkes, J. M. Burstet, D. Serca, J. L. Tireford, J. M. Charlot, and R. Vuattoux (1993), "In situ, real time fire detection using NOAA-AVHRR data", *Proc. 6th AVHRR Data User's Meeting*, Belgrate, Italy, July.
- Chuvieco, E. y M. P. Martin (1994a), "Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images", *Photogram. Engineering and Remote Sensing*, vol. 60, pp. 563-570.
- Chuvieco, E. y M. P. Martin (1994b), "A simple method for fire growth mapping using AVHRR channel 3 data", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 15, pp. 3141-3146.
- Consejo, J. J. (1998), "Las revelaciones del fuego", *La Jornada Ecológica*, julio 27.
- Cracknell, A. P. (1997), *The Advanced Very High Resolution Radiometer*, Taylor and Francis, 535 p.
- Fang, M. and Q. Huang (1998), "Tracking the Indonesian forest fire using NOAA/AVHRR images", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 19, núm. 3, pp. 387-390.
- García, M. A. (1998), "Incendio en Los Chimalapas", *La Jornada Ecológica*, julio 27.
- Kasischke, E. y N. French (1995), "Locating and estimating the area extent of wildfires in Alaskan boreal forests using multiple season AVHRR NDVI composite data", *Remote Sensing of Environment*, núm. 51, pp. 263-275.
- Kasischke, E., N. French, P. Harrel, N. Christensen, S. Ustin y D. Barry (1993), "Monitoring wildfires in boreal forests using large area AVHRR NDVI composite image data", *Remote Sensing of Environment*, vol. 47, pp. 61-71.
- Kennedy, P. J., A. S. Belward, and J. M. Grégorie (1994), "An improved approach to fire monitoring in west Africa using AVHRR data", *Int. J. Remote Sensing* 15: 2235-2255.
- Kidwell, K. (1984), "NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7 and NOAA-8) users guide", *National Oceanic and Atmospheric Administration*, 145 p.
- Pozo, D., F. J. Olmo and L. Alados-Arboledas (1997), "Fire detection and growth monitoring using a multitemporal technique on AVHRR mid-infrared and thermal channels", *Remote Sensing of Environment*, 60:111-120.
- Rauste, Y., E. Herland, H. Frelander, K. Soini, K. Kuoremäki y A. Ruokari (1997), "Satellite based forest fire detection for fire control in boreal forests", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 18, núm. 12, pp. 2641-2656.
- Robinson, J. (1991), "Fire from space: global fire evaluation using infrared remote sensing", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 12, pp. 3-24.
- Semarnap (1998), *Base de datos sobre incendios forestales, temporada 1997-1998*.
- Setzer, A. W. and M. C. Pereira (1991), "Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions", *Ambio*, vol. 20, pp. 19-23.
- Toledo, C. (1998), "La tragedia de los incendios forestales", *La Jornada Ecológica*, julio 27.
- Vidal, A., F. Plingo, H. Durand, C. Devaux-Ros y A. Millet (1994), "Evaluation of a temporal fire risk index in Mediterranean forests from NOAA thermal IR", *Remote Sensing of Environment*, núm. 49, pp. 296-303.
- Wooster, M. J., P. Ceccato y S. P. Flasse (1998), "Indonesian fires observed using AVHRR", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 19, núm. 3, pp. 383-386.