

Estimación de la superficie quemada en los incendios forestales de Canarias en 2007 utilizando sinérgicamente imágenes MODIS y anomalías térmicas

M. Huesca^{1*}, F. González-Alonso¹, J.M. Cuevas¹ y S. Merino-de-Miguel²

¹ Laboratorio de Teledetección. Centro de Investigación Forestal. INIA – Ministerio de Ciencia e Innovación. Ctra. A Coruña, Km 7.5. Madrid 28040. Spain.

² EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, s/n. Madrid 28040. Spain.

Resumen

El presente trabajo plantea una metodología rápida, precisa y económica para la estimación del área quemada en los incendios forestales utilizando técnicas de teledetección. El algoritmo utilizado se basa en la determinación o establecimiento de umbrales a partir de la banda del infrarrojo cercano. Se han utilizados los productos de reflectancia MODIS y las series temporales de anomalías térmicas proporcionadas por la NASA. Dicho umbral que separa área quemada de no quemada se ha basado en la búsqueda de la máxima coincidencia entre área quemada definida por la banda del infrarrojo cercano y zona de influencia de las anomalías térmicas. Los resultados muestran la utilidad de la metodología propuesta para la estimación de áreas quemadas y su importancia a la hora de localizar de una forma rápida las zonas de intervención prioritaria, así como para la planificación de futuros trabajos de restauración de la zona afectada.

Palabras clave: teledetección, incendios forestales, estimación áreas quemadas.

Abstract

Canary Islands burned land mapping using MODIS and HOTSPOT data

This study presents a rapid, accurate and economic methodology for forest fire burned areas estimation using remote sensing techniques. The algorithm used is based on thresholds identifications from infrared spectral band, using MODIS images and hotspots time series delivered from NASA. The threshold is defined by the maximum correlation between the infrared band and hotspot influence area. The results show the usefulness of the presented methodology in forest fire burned area estimation and its relevance for prioritizing forest management activities and for planning future reforestations work in the affected area.

Key words: remote sensing, forest fire, burned land mapping.

1. Introducción

Los incendios forestales son una de las principales causas de destrucción de los recursos naturales en España. En el último decenio (1996-2005) se registraron en España una media de 20.887 incendios anuales afectando a una superficie forestal media de 123.459 hectáreas al año. Los efectos de un incendio a escala local tienen gran importancia en el funcionamiento de los ecosistemas, puesto que el fuego juega un papel esencial en la

composición del tipo de vegetación, la biodiversidad, la erosión del suelo y el ciclo hidrológico además de suponer un alto impacto paisajístico (Morgan et al., 2001). Los grandes y frecuentes incendios forestales acaecidos en España en los últimos años unidos a la irregularidad de las precipitaciones, pueden agravar el riesgo de desertificación. Además, la biomasa quemada en un incendio forestal emite una gran cantidad de gases y partículas a la atmósfera, siendo responsables de una importante proporción de las emisiones anuales de CO₂

* Corresponding author: huesca.margarita@inia.es

Received: 14-07-08. Accepted: 18-11-08.

(Levine, 1991). Este fenómeno supone un riesgo no solo para la sostenibilidad de las áreas forestales sino también para el ser humano (Vélez, 2000).

Hacer una estimación rápida, precisa y económica de las áreas quemadas es de gran importancia a la hora de localizar de una forma rápida las zonas de intervención prioritaria así como para la planificación de futuros trabajos de restauración de la zona quemada (González-Alonso et al., 2007a). Existen numerosos métodos para cartografiar superficies quemadas utilizando técnicas de Teledetección. Uno de los métodos más utilizados para realizar este tipo de cartografía es el basado en la comparación entre dos imágenes, una antes y otra después del incendio, mediante el método de diferencia entre bandas espectrales o índices de vegetación (Merino-de-Miguel et al., 2005; Viedma y Chuvieco, 1994). También cabe destacar, entre otros, el establecimiento de umbrales a partir de bandas originales o índices (González-Alonso et al., 2005), clasificaciones supervisada o no-supervisada de las bandas originales (Millar et al., 2002), análisis de mezclas espectrales (Quintano et al., 2002), análisis de series temporales (Martín et al., 2002; Recondo et al., 2002) o generación de nuevos índices que permitan una mejor discriminación entre quemado y no-quemado (González-Alonso et al., 2007b).

En España, la cuantificación de áreas quemadas se realiza habitualmente delimitando el contorno exterior de la superficie afectada mediante la utilización de un GPS. El uso de la teledetección proporciona una cobertura espacial y temporal adecuada para este tipo de trabajos reduciendo el costoso trabajo de campo y el empleo de medios aéreos.

El sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo del satélite NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ha sido ampliamente utilizado en el estudio de los incendios forestales (Barbosa et al., 1999; Pereira et al., 1999; Fernández et al., 1997, González-Alonso et al. 1996, González-Alonso et al., 1997), debido a su cobertura espacial, espectral y temporal, sobre todo cuando se trabaja con grandes extensiones (Illera et al., 1995). Actualmente nuevos sensores como el MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) están abriendo una nueva era en la estimación de superficies quemadas debido a las mejoras espaciales, espectrales y temporales que presentan dichos sensores (Martín et al., 2002, Merino-de-Miguel et al., 2005).

El presente estudio se centra en los incendios ocurridos en las islas de Tenerife y Gran Canaria a finales del

mes de julio de 2007 (iniciados el 27 y el 30 de julio respectivamente), planteando una metodología rápida, precisa y económica para la determinación de áreas quemadas basada en el establecimiento de umbrales a partir de la banda del infrarrojo cercano. Para ello se han utilizado imágenes MODIS disponibles de forma gratuita a través del servidor de la NASA y los datos de anomalías térmicas o hotspots adquiridos de la misma fuente. Como metodología básica de partida, se ha seleccionado el método de establecimiento de umbrales, con objeto de desarrollar una metodología lo más económica, rápida y precisa posible. En dicha metodología solo es necesario trabajar con una única imagen, en nuestro caso con una única banda de la imagen, la cual es obtenida a través de Internet de una forma gratuita pocas horas después de su adquisición. De igual forma con la metodología planteada no es necesaria ningún tipo de información adicional de trabajo de campo o cartografía complementaria lo que agiliza en gran medida los cálculos y reduce el coste total del proceso.

Material

El área de estudio se localiza en las islas de Gran Canaria y Tenerife, analizándose los incendios ocurridos a finales de julio de 2007, siendo éstos unos de los peores incendios ocurridos en dichas islas, ya que duraron varios días y afectaron a diversos espacios protegidos. También es importante destacar los graves daños materiales registrados y que más de doce mil personas tuvieron que ser evacuadas de las zonas afectadas. Las estadísticas proporcionadas por el Ministerio de Medio Ambiente, para el último decenio (1996-2005), registran una media anual de 1.045 siniestros en Canarias afectando a una superficie forestal media de 1.210 hectáreas anuales. Solo en los incendios ocurridos en Canarias el verano del 2007 más de 30.000 hectáreas de masa forestal fueron afectadas, lo que supone un incremento considerable respecto a las medias anuales registradas hasta ahora en dicha Comunidad.

Para llevar a cabo este trabajo se han empleado dos imágenes MODIS, una antes y otra después del incendio, una serie temporal de anomalías térmicas o hotspots procedentes de NASA, la cartografía del perímetro estimado por el DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Centro aeroespacial alemán) a partir de una imagen SPOT-5 del Internacio-

nal Charter “Space and Major Disasters” activado el 2 agosto de 2007 y las estadísticas oficiales de superficie afectada proporcionadas por el Gobierno de Canarias.

Las imágenes utilizadas fueron captadas por los satélites Terra el 12 de julio y por el Aqua el 1 de agosto y descargadas de forma gratuita de la Web oficial de MODIS (MODIS, 2007). MODIS es un sensor de alta resolución temporal que se encuentra a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA captando información en más de 30 bandas. Los productos MODIS (MOD09GQ y MYD09GQ) seleccionados corresponden a imágenes diarias de reflectancia. Dichas imágenes cuentan con dos bandas centradas en la región roja e infrarroja del espectro respectivamente y con una resolución espacial de 250 metros. Para realizar el estudio se han seleccionado las imágenes que presentaran la menor cobertura nubosa sobre el área de estudio

Los hotspots de MODIS proporcionan la localización de las anomalías térmicas detectadas usando el rango infrarrojo medio y térmico del espectro electromagnético y corresponden a los píxeles donde la energía emitida en la región térmica es mucho mayor que la media de la energía emitida en los píxeles vecinos (FIRMS, 2007). Los hotspots son adquiridos como archivos de texto proporcionando de cada uno información acerca de la localización (longitud, latitud), fecha, hora, nivel de confianza de la estimación y satélite que ha realizado la detección (Terra o Aqua). Los hotspots seleccionados corresponden al periodo comprendido entre el 27 de julio y el 1 de agosto del año 2007, siendo detectados un total de 189 hotspots desde el 27 al 31 de julio para el incendio de Tenerife y 184 hotspots entre el 30 de julio y el 1 de agosto para el incendio de Gran Canaria.

La validación se ha llevado a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos con los perímetros estimados por el DLR en colaboración con el Centro Común de Investigación de la Unión Europea (JRC de Ispra), a partir de una imagen SPOT-5 del 4 de agosto de 2007. La Carta Internacional sobre el Espacio y las Grandes Catástrofes (International Charter “Space and Major Disasters”) fue activada el 2 de agosto de 2007 a las 13:38 horas (INTERNATIONAL CHARTER, 2007) a través de la solicitud del Ministerio de Medio Ambiente, Protección Civil y la Comisión Europea. Finalmente se realizará una comparación con las estadísticas oficiales proporcionadas por el Ministerio de Medio Ambiente.

Métodos

La imagen MODIS original fue re proyectada al sistema de coordenadas UTM – huso 30 – WGS-84, para posteriormente extraer una subescena correspondiente a la zona de estudio. Dicho pre-procesado se ha llevado a cabo utilizando el software ENVI 4.4. Una composición en falso color utilizando las bandas del infrarrojo cercano y el rojo de las imágenes antes y después del incendio, nos permite observar de una forma clara el área afectada en los incendios de Tenerife y Gran Canaria como se muestra en las figuras siguientes (ver figura 1 y 2).

Los tonos rojo intenso, de las figuras 1 y 2, muestran zonas con una elevada actividad fotosintética mientras que los oscuros son reflejo de especies con menor vigor vegetativo, vegetación afectada por el incendio, suelos desnudos, o núcleos poblados. Observando las imágenes de antes y después del incendio se puede ver claramente la zona que ha sido afectada por este fenómeno.

El siguiente paso fue el procesado de las series temporales de anomalías térmicas o hotspots, para ello se generó una capa vectorial de los puntos hotspots utilizando las coordenadas longitud, latitud incluidas en los archivos de texto suministrados por la NASA. Para este estudio se asume que los hotspots o anomalías térmicas de MODIS se sitúan en el interior de una superficie de un kilómetro cuadrado (Salmon et al., 2003), por este motivo se ha asignado a cada punto hotspot de esa capa vectorial un área de influencia equivalente a un kilómetro cuadrado de superficie, utilizando buffers de 4 píxeles ($250\text{m} \times 4 = 1000\text{m}$).

La presente metodología será desarrollada en dos fases, una primera fase de identificación del umbral que

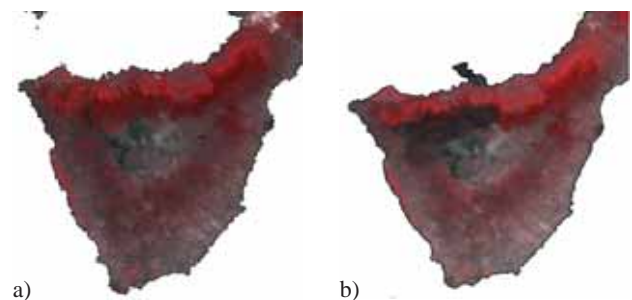


Figura 1. Imagen MODIS antes del incendio procedente del satélite Terra con fecha del 12 julio de 2007 (a) e imagen MODIS después del incendio procedente del satélite Aqua con fecha del 1 de agosto de 2007 (b) del incendio ocurrido en Tenerife.

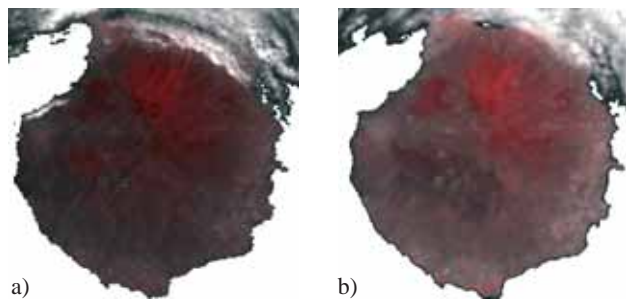


Figura 2. Imagen MODIS antes del incendio procedente del satélite Terra con fecha del 12 julio de 2007 (a) e imagen MODIS después del incendio procedente del satélite Aqua con fecha del 1 de agosto de 2007 (b) del incendio ocurrido en Gran Canaria.

permita una mejor discriminación entre quemado y no quemado y una segunda fase donde se delimitarán las áreas afectadas por el incendio evaluando los posibles errores de omisión o comisión (píxeles no identificados como quemados que lo son o viceversa).

Una vez concluida la corrección de las imágenes y los hotspots, se realizó un análisis estadístico para evaluar la coincidencia existente entre las áreas de influencia definidas por los hotspots y los distintos umbrales definidos en el canal infrarrojo cercano. El valor de reflectancia del infrarrojo cercano para el cual se obtenga la máxima coincidencia con las áreas de influencia de las anomalías térmicas será el umbral seleccionado para realizar la discriminación quemado no quemado. Para evaluar el resultado de la cartografía obtenida se ha analizado la matriz de confusión entre la imagen clasificada y la imagen de área quemada definida por los hotspots, así como el coeficiente de Kappa.

Existen numerosas técnicas para validar este tipo de cartografía en función de la información disponible que se considera como verdad terreno (imágenes de alta resolución, perímetros obtenidos por GPS en campo o desde avión, cartografías de campo sobre foto aérea, etc). En el presente estudio la validación se ha realizado mediante la comparación y análisis de coincidencias de los perímetros obtenidos por la metodología propuesta y los proporcionados por el DLR a partir de una imagen SPOT, en el contexto de la activación del Charter Internacional que se produjo con motivo de estos incendios. Adicionalmente también se ha realizado una comparación con las estadísticas del Ministerio de Medio Ambiente a partir de los datos proporcionados por el Gobierno de Canarias.

Resultados

La banda del infrarrojo cercano ha sido seleccionada, para el presente análisis, basándonos en que dicha banda es especialmente sensible a la hora de discriminar entre quemado y no quemado dentro de una masa forestal, donde los efectos del fuego sobre la vegetación son claramente visibles (Chuvieco y Martín, 2002).

Las siguientes figuras (figura 3.a y 3.b) muestran la superposición de las series temporales de anomalías térmicas o hotspots sobre la banda del infrarrojo cercano de la imagen post-incendio para los incendios de Gran Canaria y Tenerife.

En las figuras anteriores se puede observar como las series temporales de hotspot para el incendio de Gran Canaria cubren la práctica totalidad del área afectada por el mismo, mientras que en el incendio de Tenerife aparecen zonas claramente quemadas sin hotspots situadas principalmente en la zona central del incendio. El avance del fuego en dicha zona tuvo que ocurrir en el lapso de tiempo entre dos pasadas consecutivas de los satélites TERRA y AQUA lo que originó la falta de registros de anomalías térmicas en dichos puntos.

En la fase exploratoria de las coincidencias obtenidas entre infrarrojo y hotspots se pudo apreciar como dicha coincidencia aumenta según se amplía el umbral definido por los valores de reflectancia de infrarrojo cercano, partiendo desde el valor de reflectancia mínima, hasta alcanzar una coincidencia máxima para un determinado valor de reflectancia, a partir del cual la coincidencia entre ambas variables empieza a descender. Por lo tanto, el valor de reflectancia del infrarrojo cercano, para el

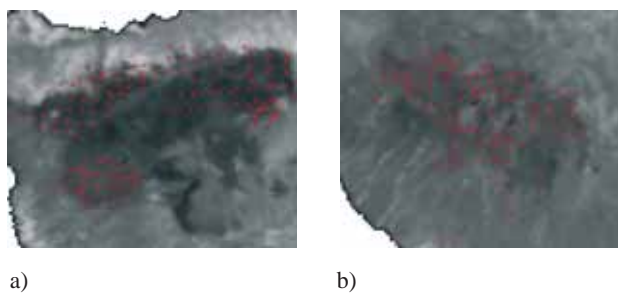


Figura 3. Series temporales de anomalías térmicas o hotspot superpuesta sobre la banda del infrarrojo cercano en los incendios de Tenerife con un total de 189 hotspot detectados desde el 27 al 31 de julio de 2007 (a) y Gran Canaria con un total de 184 hotspot detectados desde el 30 de julio al 1 de agosto de 2007 (b).

cual se alcanza la coincidencia máxima con las áreas de influencia de los hotspot, se toma como umbral para realizar la discriminación entre quemado y no-quemado. La siguiente tabla y figura (tabla 1 y figura 4) muestra los valores de coincidencia entre los hotspot y distintos umbrales de reflectancia, indicando el valor de reflectancia correspondiente a la coincidencia máxima para cada uno de los incendios (15.56 % y 18.29 % para los incendios de Tenerife y Gran Canaria respectivamente)

La evaluación de la clasificación obtenida se ha realizado mediante el análisis de la matriz de confusión y el coeficiente de Kappa, cuyos valores se muestran en las siguientes tablas.

Finalmente se realizó una conversión de la clasificación obtenida a una capa vectorial. Las siguientes figuras (figura 5.a y 5.b) muestran el vector asociado a la parte clasificada como quemada en ambos casos.

A continuación, se realizó una fase de exploración de los resultados obtenidos mediante un análisis visual para evaluar los posibles errores de comisión/omisión.

En ambos incendios se puede apreciar píxeles clasificados como quemados que no lo son debido a su leja-

nía al incendio y/o por la no presencia de hotspot. Dichos errores de comisión (píxeles no quemados identificados como tal en la imagen) son eliminados en una primera fase mediante el cálculo de la diferencia de infrarrojos antes y después del incendio. En el caso de Tenerife toda la zona que comprende el Teide pudo ser eliminada utilizando esta técnica pero el resto de los píxeles mal clasificados no fueron eliminados. En una segunda fase, los errores de comisión restantes fueron eliminados de una forma manual usando la localización de los hotspots, de esta forma se han eliminando todos aquellos vectores que por su lejanía al incendio o la no presencia de hotspot no corresponden a áreas quemadas. El perímetro obtenido en esta fase de refinamiento de los resultados se puede observar en las siguientes figuras (figuras 6.a y 6.b).

Los perímetros de superficie afectada estimados para los incendios de Tenerife y Gran Canaria han sido validados con los perímetros obtenidos por el DLR a partir de una imagen SPOT5 de fecha 4 de agosto de 2007. La comparación entre ambos perímetros se muestra en las siguientes figuras (figuras 7 y 8), el color verde representa el perímetro calculado por el DLR y el rojo el esti-

Tabla 1. Grado de coincidencia entre la zona de influencia de las anomalías térmicas y distintos valores umbrales de infrarrojo cercano para los incendios de Tenerife (a) y Gran Canaria (b)

| REFLECTANCIA (%) | COINCIDENCIA (%) | REFLECTANCIA (%) | COINCIDENCIA (%) |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 10.00 | 86.041 | 10.00 | 83.376 |
| 11.00 | 86.106 | 11.00 | 83.381 |
| 12.00 | 86.240 | 12.00 | 83.381 |
| 13.00 | 86.264 | 13.00 | 83.386 |
| 14.00 | 86.688 | 14.00 | 83.517 |
| 15.00 | 86.859 | 15.00 | 84.278 |
| 15.56 | 86.895 | 16.00 | 85.494 |
| 16.00 | 86.818 | 17.00 | 87.314 |
| 17.00 | 86.684 | 18.00 | 87.665 |
| 18.00 | 86.191 | 18.29 | 87.891 |
| 19.00 | 85.304 | 19.00 | 87.372 |
| 20.00 | 82.883 | 20.00 | 84.970 |
| 25.00 | 43.195 | 25.00 | 44.165 |
| 30.00 | 21.561 | 30.00 | 20.535 |
| 35.00 | 15.639 | 35.00 | 17.043 |
| 40.00 | 13.755 | 40.00 | 16.723 |

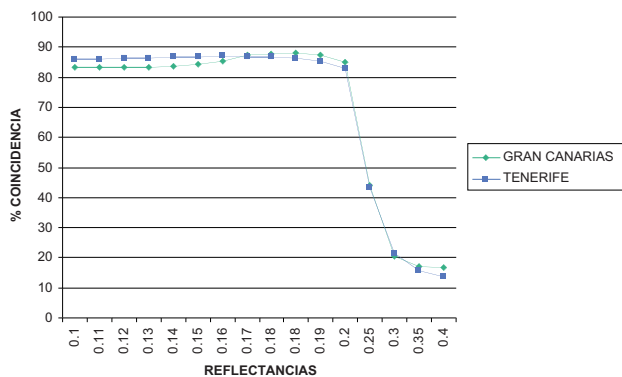


Figura 4. Grado de coincidencia entre el área de influencia de las anomalías térmicas y distintos valores umbrales de infrarrojo cercano para los incendios de Tenerife y Gran Canaria.

mado a partir de la metodología propuesta en el presente estudio.

Un análisis visual de los vectores obtenido por ambas metodologías muestra que el resultado alcanzado en el

Tabla 2. Resultados de la matriz de confusión entre el valor de infrarrojo cercano y hotspots para el umbral que define la máxima coincidencia entre ambos y el coeficiente de Kappa, para un nivel de confianza del 95%, para los incendios de Tenerife (a), Gran Canaria (b)

a)

| TENERIFE | HOTSPOT | | |
|------------|---------|------------|--------|
| | Quemado | No Quemado | Total |
| Quemado | 20044 | 1313 | 213572 |
| No Quemado | 1217 | 1998 | 3215 |
| Total | 21261 | 3311 | 24572 |

b)

| GRAN CANARIA | HOTSPOT | | |
|--------------|---------|------------|-------|
| | Quemado | No Quemado | Total |
| | | | 1642 |
| Quemado | 15233 | 1190 | 3 |
| No Quemado | 666 | 1980 | 2646 |
| Total | 15899 | 3170 | 1906 |
| | | | 9 |

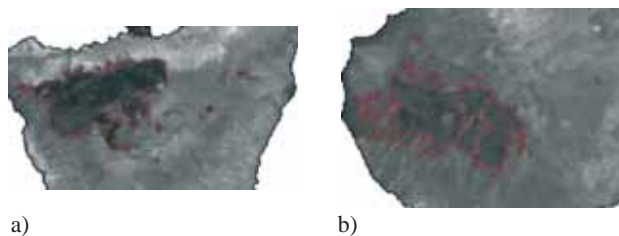


Figura 5. Vector asociado a la parte clasificada como quemada (línea roja) correspondiente a la máxima coincidencia entre hotspot e infrarrojo cercano para los incendios de Tenerife (a) y Gran Canaria (b).

presente estudio es bastante satisfactorio, pudiéndose observar en las figuras anteriores la gran similitud entre el perímetro estimado a partir de la metodología propuesta y el calculado por el DLR.

Para realizar una validación más rigurosa se rasterizaron ambos vectores y se realizó un análisis de coincidencia. Para Tenerife se obtuvo un 88 % de coincidencia entre el perímetro estimado por la presente metodología y el obtenido por el DRL a partir de una imagen SPOT, con unos errores de comisión y omisión del 10 y 14 por ciento respectivamente. En el incendio de Gran Canaria el grado de coincidencia es algo menor, representado por el 81% del total de la superficie estimada por el DRL, de igual forma los errores de comisión y omisión son un poco más elevados que para el caso de Tenerife siendo estos del 13% de comisión y 23% de omisión (tabla 3). El alto nivel de coincidencia entre ambos vectores muestra la validez de la metodología planteada.

Por último se ha realizado una comparación de la superficie quemada, medida en hectáreas, con las cifras obtenidas por el DLR y las proporcionadas por el Gobierno de Canarias, estas últimas fueron facilitadas al Ministerio de Medio Ambiente el 10 de agosto de

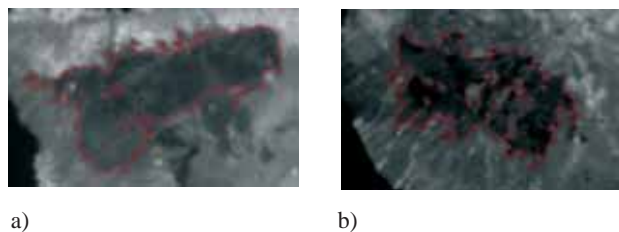


Figura 6. Vector refinado asociado a la parte clasificada como quemada que representa el perímetro estimado para las zonas afectadas por los incendios de Tenerife (a) y Gran Canaria (b).

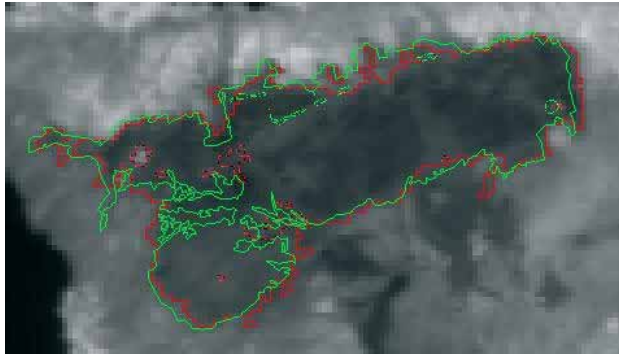


Figura 7. Comparación entre el perímetro estimado en el presente estudio (línea roja) con el obtenido por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 (línea verde) del incendio ocurrido en Tenerife, sobre la banda del infrarrojo cercano de la imagen MODIS después del incendio.

2007 y fueron obtenidas mediante un sobrevuelo con helicóptero dotado de un GPS, cifras que el Ministerio de Medio Ambiente considera oficiales. Los datos anteriormente expuestos son recogidos en la tabla 4.

Para el incendio de Tenerife, las superficies afectadas estimadas por el Gobierno de Canarias difieren en 3.964 y 2.018 hectáreas con respecto a las obtenidas por el DLR y la metodología presentada. Para el incendio de Gran Canaria estas diferencias son de 3.443 hectáreas con respecto a la estimación del DLR y de 3.049 hectáreas para la metodología propuesta. Estas diferencias suponen un error del 21% y 18% en las estimaciones del DLR para los incendios de Tenerife y Gran Canaria. La metodología propuesta en el presente estudio representa un error menor para ambos incendios

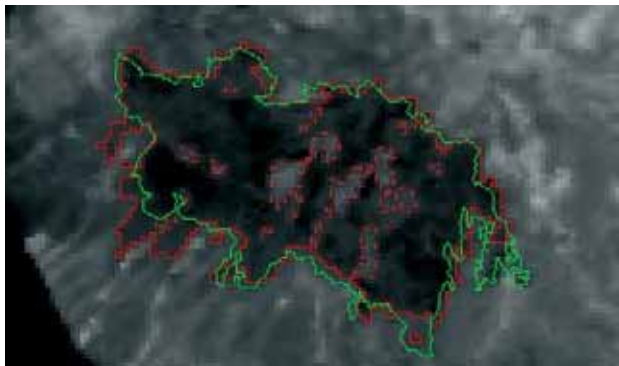


Figura 8. Comparación entre el perímetro estimado en este estudio (línea roja) con el obtenido por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 (línea verde) del incendio ocurrido en Gran Canaria, sobre la banda del infrarrojo cercano de la imagen MODIS después del incendio.

(11% en el caso de Tenerife y 16% en el caso de Gran Canaria) (ver tabla 4).

Comparando solamente las estimaciones del presente trabajo y el realizado por el DLR, se puede apreciar una disminución considerable de la diferencia entre ambas superficies (ver tabla 5), dicha diferencia es de 1.945 y 394 hectáreas para Tenerife y Gran Canaria respectivamente. Considerando como verdad-terreno la estimación realizada por el DLR, el error entre el DLR y la metodología propuesta representa un 13% y un 3% para los incendios de Tenerife y Gran Canaria respectivamente (ver tabla 5). Aunque se observa una mayor similitud entre ambas estimaciones para el caso de Gran Canaria, la precisión cartográfica en este caso es inferior a la de Tenerife, al presentar un nivel de coincidencia menor como se mostró con anterioridad (81% de coincidencia para Gran Canaria vs 88% para Tenerife).

Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas en el presente estudio pueden ser resumidas en los siguientes puntos:

1.- El método presentado en este trabajo permite la delimitación y estimación de la superficie afectada en un gran incendio forestal, con un alto nivel de precisión, de una forma rápida y económica.

2.- Los datos de anomalías térmicas suministrados por MODIS proporcionan una gran ayuda para la estimación de áreas afectadas.

3.- El presente estudio ha utilizado la banda del infrarrojo cercano por ser especialmente sensible a la hora de discriminar entre quemado y no-quemado, dentro de una masa forestal, donde los efectos del fuego sobre la vegetación son claramente visibles, pero dependiendo de las características del área de estudio otras bandas o índices pueden ser también de utilidad.

4.- Los materiales utilizados en este trabajo son fácilmente accesibles y gratuitos, permitiendo obtener resultados de una forma rápida y económica, algo esencial para localizar zonas de intervención prioritaria a la mayor brevedad posible, así como para planificar futuros trabajos de restauración.

5.- La metodología desarrollada presenta su mayor interés en la cartografía de grandes incendios, debido a la resolución espacial de las imágenes utilizadas (250 metros). Para la cartografía de pequeños incendios a una escala local, sería preciso recurrir a otro

Tabla 3. Resultados del análisis de coincidencia entre el perímetro definido por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 y el obtenido a partir de la metodología desarrollada en el presente estudio

| | Grado de coincidencia | Error de comisión | Error de omisión |
|---------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Tenerife | 88 % | 0.10 | 0.14 |
| Gran Canaria | 81% | 0.13 | 0.23 |

tipo de sensores de mayor resolución espacial. De igual forma, en aquellas zonas donde la cobertura nubosa es muy intensa durante un periodo de tiempo largo, la aplicación de la metodología propuesta no sería la opción más adecuada. En muchos casos, el

problema de la nubosidad excesiva, puede ser solventado trabajando con compuestos temporales de 8 ó 16 días, disponibles también a través del servidor MODIS de la NASA. En nuestras latitudes al coincidir la época de incendios con el periodo estival no es frecuente que se den esas condiciones de nubosidad tan críticas.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo quieren agradecer al equipo de MODIS/NASA por proporcionarnos la serie temporal de anomalías térmicas o hotspot así como a la “Carta Internacional – Espacio y las Grandes Catástrofes” por los perímetros utilizados como verdad-terreno en el presente estudio.

Tabla 4. Comparación de la estimación de la superficie afectada en los incendios forestales de Canarias estimada a partir de la metodología presentada con las cifras obtenidas por el Gobierno de Canarias y el DLR

| | SUPERFICIE AFECTADA (ha) | | Error de la estimación (%) | |
|----------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | Tenerife | Gran Canaria | Tenerife | Gran Canaria |
| MIMAM | 18800 | 18786 | X | X |
| DLR/JRC | 14836 | 15343 | 21 | 18 |
| INIA | 16781 | 15737 | 11 | 16 |

Tabla 5. Comparación de la estimación de la superficie afectada por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 con la metodología propuesta para los incendios de Tenerife y Gran Canaria

| | SUPERFICIE AFECTADA (ha) | | Error (%) de la estimación | |
|----------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | Tenerife | Gran Canaria | Tenerife | Gran Canaria |
| DLR/JRC | 14836 | 15343 | X | X |
| INIA | 16781 | 15737 | 13 | 3 |

Referencias bibliográficas

- BARBOSA, P.M., GREGOIRE, J.L., PEREIRA, J.M., 1999. An algorithm for extracting burned areas from time series of AVHRR GAC data applied at a continental scale. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 69, 253-263.
- CHUVIECO, E., MARTÍN, M.P., 2002. Evaluación de imágenes NOAA-AVHRR y TERRA-MODIS para cartografía regional de áreas quemadas. *X Simposio Internacional de la Sociedad de Expertos Latinoamericanos en Percepción Remota (SELPER)*. 10p.
- FERNÁNDEZ, A., ILLERA, P., CASANOVA, J. L., 1997. Automatic Mapping of Surfaces Affected by Forest Fires in Spain Using AVHRR NDVI Composite Image Data. *Remote sensing of environment*. Vol.60, 153 – 162.
- FIRMS. Fire Information for Resource Management System. Agosto 2007 <http://maps.geog.umd.edu/firms/shapes.htm>
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., MERINO-DE-MIGUEL, S., ROLDÁN-ZAMARRÓN, A., GARCÍA-GIGORRO, S., CUEVAS, J. M., 2007a. MERIS Full Resolution data for mapping level-of-damage by forest fires: the Valencia de Alcántara event in August 2003. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, Vol.28, 797-809.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., MERINO-DE-MIGUEL, S., CUEVAS, J. M., 2007b. Un nuevo algoritmo para la cartografía de áreas quemadas a partir de información NIR, SWIR y TIR. *Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 19-21 septiembre 2007. Mar de Plata. Argentina.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., MERINO-DE-MIGUEL, S., ROLDÁN-ZAMARRÓN, A., GARCÍA-GIGORRO, S., CUEVAS, J.M., 2005. Algoritmos de estimación de superficies quemadas a partir de compuestos MODIS. *XI Congreso Nacional de Teledetección*, 21-23 septiembre 2005, Puerto de la Cruz, Tenerife.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., CUEVAS, J. M., CASANOVA, J. L., CALLE, A., ILLERA, P., 1997. A forest fire risk assessment using NOAA-AVHRR images in Valencia area, eastern Spain. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 18, 2201-2207.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., CASANOVA, J. L., CALLE, A., CUEVAS, J. M., 1996. Cover application of the NOAA-AVHRR images to the study of the large forest fire in Spain in the summer of 1994. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 17, 1089-1091.
- ILLERA, P., FERNÁNDEZ, A., CALLE, A., CASANOVA, J.L., 1995. Evaluation of forest fire danger in Spain by means of NOAA-AVHR images Proceedings of International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management, Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá de Henares, pp. 101 – 103.
- INTERNATIONAL CHARTER: International Charter “Space and Major Disasters” Agosto 2007. http://www.disasters-charter.org/disasters/CALLID_167_e.html
- LEVINE, J. S., 1991. Introduction In Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications edited by J. S. Levine (Cambridge, USA: MIT Press), pp. xxv – xxx.
- MARTÍN, M.P., DÍAZ DELGADO, R., CHUVIECO, E., VENTURA, G., 2002. Burned land mapping using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety* (Viegas. Ed), Millpress, Rotterdam.
- MERINO-DE-MIGUEL, S., GONZÁLEZ-ALONSO, F., GARCÍA-GIGORRO, A., ROLDÁN-ZAMARRÓN, A., CUEVAS, J.M., 2005. Is it possible to timely and accurately estimate wildfire burnt areas using remote sensing techniques? En: *New Strategies for European Remote Sensing* (Oluic, Ed). Millpress, Rotterdam.
- MILLER, J. D., YOOL, S. R., 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data. *Remote Sensing of Environment*. Vol 82, 481-496.
- MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Agosto 2007. <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>
- MORGAN, P., HARDY, C. C., SWETNAM, T. W., ROLLINS, M. G., LONG, D. G., 2001. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire*. Vol 10, 329–342.
- PEREIRA, J.M.C., SA, A. C. L., SOUSA, A. M. O., MARTÍN, M.P., CHUVIECO, E., 1999. Regional-scale burnt area mapping in Southern Europe using NOAA-AVHRR 1 Km data. *Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin* (Chuvieco Ed.)
- QUINTANO PASTOR, C., FERNÁNDEZ MANSO, A., DELGADO DE LA MATA, J.A., SHIMABUKO, Y.E., 2002. Determination of spectral mixture analysis validity for estimating burned area using AVHRR data and multi-temporal analysis. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety* (Viegas. Ed). Millpress, Rotterdam.
- RECONDO, C., WOZNIK, E., PÉREZ-MORANDEIRA, C.S., 2002. Cartografía de zonas quemadas en Asturias durante el período 1991-2001 a partir de imágenes Landsat-TM. *Revista de Teledetección*. Vol. 18, 47-55.
- SALMON, J., HAO, W., MILLER, M., NORDGREN, B., KAUFMAN, Y., LI, R., 2003. Validation of two MODIS single-scene fire products for mapping burned area: hot spots and NIR spectral test burn scars. *4th International Workshop on Remote Sensing and GIS – Applications to Forest Fire Management: Innovative concepts and methods in fire danger estimation*. Ghent, Bélgica, 197-202.
- VELEZ, R. y otros. 2000. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGrawHill. Pp. 1.3 – 9.43.
- VIEDMA, O., CHUVIECO, E., 1994. Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la hoya de Buñol (Valencia). *Revista de la Asociación de Investigación Técnica de la Madera y el Corcho*. Vol.167, 60-66.