

# Comparación de dos algoritmos para la estimación de áreas quemadas a partir de imágenes MODIS. Aplicación a los incendios de Canarias de Julio 2007

## *Comparison of two burned area algorithms using MODIS data. Application to Canary islands forest fire occurred in July 2007*

M. Huesca<sup>1</sup>, F. González-Alonso<sup>1</sup>, J.M. Cuevas<sup>1</sup>, S. Merino-de-Miguel<sup>2</sup>  
margarita\_huesca@yahoo.es

<sup>1</sup>Laboratorio de Teledetección – Centro de Investigación Forestal – INIA – Ministerio de Educación y Ciencia, Ctra. A Coruña, Km 7.5 Madrid 28040 Spain.

<sup>2</sup>EUIT Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, s/n Madrid 28040 Spain

Recibido el 30 de octubre de 2008, aceptado el 18 de febrero de 2009

### RESUMEN

El presente trabajo realiza una comparación de dos algoritmos para la estimación de áreas quemadas. Un algoritmo es desarrollado por Huesca *et al.* (2008) basado en la determinación o establecimiento de umbrales a partir de la banda del infrarrojo cercano, utilizando sinérgicamente imágenes MODIS y series de anomalías térmicas o hotspot de NASA. El umbral se determinó mediante la máxima coincidencia entre área quemada definida por la banda del infrarrojo cercano de los productos de reflectancia MODIS de 250 m y la zona de influencia de las anomalías térmicas. El segundo algoritmo es el utilizado en el producto de áreas quemadas de MODIS (MOD45). Los resultados muestran la precisión de la metodología propuesta en Huesca *et al.* (2008) en relación al algoritmo utilizado por MOD45, en el cual se puede apreciar una clara infra-estimación de la superficie quemada.

**PALABRAS CLAVE:** Teledetección, incendios forestales, estimación áreas quemadas, MOD45, anomalías térmicas.

### ABSTRACT

This study presents a comparison between two burned area algorithms. The first one that was developed by Huesca *et al.* (2008) is based on thresholds determination base on MODIS infrared spectral band and hotspots time series as delivered by NASA. Thresholds were defined based on maximum correlation between the infrared band and hotspot influence area. The second one is the algorithm used in MODIS burned area products (MOD45). The results show the usefulness of the methodology developed by Huesca *et al.* (2008) related to MOD45 products. In addition, the results show a clear under-estimation of the affected area using MODIS burned area product.

**KEYWORDS:** Remote sensing, forest fire, burned land mapping, MOD45, hotspot.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen una de las principales causas de destrucción de los recursos naturales en España. Muchos ecosistemas mediterráneos presentan adaptaciones al fuego, pero la presión humana en la actualidad es de tal magnitud que ocasiona un desequilibrio que impide mantener la dinámica de dichos ecosistemas, esta situación perturba el funcionamiento de los mismos alterando la composición de las especies y afectando a la biodiversidad además de ocasionar un importante impacto paisajístico y una alteración del ciclo hidrológico, aumentando el efecto de la erosión del suelo (Morgan *et al.*, 2001).

El último informe de IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático) 2007 prevé un aumento tanto en el número de incendios como en la superficie afectada por dicho fenómeno en los ecosistemas mediterráneos (Moreno, 2007), esto unido a la irregularidad de las precipitaciones puede agravar el riesgo de desertificación. Además los incendios provocan la liberación de gases de efecto invernadero, siendo responsables de una importante proporción de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> (Levine, 1991).

En la lucha contra los incendios forestales es de gran importancia obtener una cartografía de las áreas quemadas a la mayor brevedad posible, de una forma precisa y económica. Esto ayudaría tanto a la localización de áreas de intervención inmediata como a los futuros trabajos de restauración (González-Alonso *et al.*, 2007a). En España, la evaluación de las áreas quemadas, en el caso de los grandes incendios, se realiza delimitando el contorno exterior de la superficie afectada mediante la utilización de un GPS. Sin embargo, el uso de la teledetección proporciona una herramienta de gran utilidad para el seguimiento de áreas afectadas por los incendios forestales, sobre todo cuando se trabaja con grandes extensiones (Illera *et al.*, 1995) debido a su adecuada cobertura espacial y temporal como lo muestran numerosos estudios.

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). Actualmente el sen-

sor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo de la plataforma TERRA (MODIS, 2007a) de NASA (National Aeronautics and Space Administration) adquiere imágenes de todo el globo terráqueo diariamente, dicho sensor presenta mejoras espaciales, espectrales y temporales con respecto al anterior (Martín *et al.*, 2002, Merino-de-Miguel *et al.*, 2005) Además, el equipo de MODIS-NASA ha desarrollado una serie de productos relacionados con los incendios forestales, como el producto MOD14 de focos activos con una resolución de 1 km (Glioglio *et al.*, 2003) y más recientemente el MOD45 de áreas quemadas con una resolución temporal mensual y espacial de 500m (Roy *et al.*, 2005; Roy *et al.*, 2008). Este último producto ha sido utilizado, por ejemplo, para cartografiar los incendios forestales ocurridos en Grecia durante el verano de 2007 (Boschetti *et al.*, 2008).

Entre los numerosos métodos existentes para realizar la cartografía de áreas quemadas, utilizando técnicas de teledetección, se pueden citar los siguientes: comparación entre dos imágenes, una antes y otra después del incendio, utilizando el método de diferencia entre bandas espectrales o índices de vegetación (Merino-de-Miguel *et al.*, 2005; Viedma y Chuvieco, 1994); establecimiento de umbrales a partir de bandas originales o índices (González-Alonso *et al.*, 2005, Huesca *et al.*, 2008), clasificaciones supervisada o no-supervisada de las bandas originales (Miller *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).

La mayor parte de los estudios realizados hasta ahora se basan en el desarrollo de nuevas metodologías para la estimación de áreas afectadas por incendios forestales, pero no son tantos los trabajos que realizan comparaciones entre las distintas estimaciones.

El presente estudio realiza una comparación de los resultados obtenidos con el algoritmo definido por Huesca *et al.* (2008) y los productos de áreas quemadas desarrollados por MODIS (MOD45), aplicados a 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), también se define un índice de calidad para cuantificar la precisión de ambas estimaciones.

## MATERIAL

El área de estudio se localiza en las islas de Gran Canaria y Tenerife. Los incendios estudiados tuvieron lugar a finales de julio de 2007, ocasionando graves daños materiales y afectando a diversos espacios protegidos. Dichos incendios son considerados como uno de los peores ocurridos en estas islas.

Huesca *et al.* (2008) definieron un nuevo algoritmo rápido, preciso y económico para la estimación de áreas afectadas por incendios forestales, utilizando sinérgicamente imágenes de reflectancia MODIS y anomalías térmicas. Los perímetros estimados en Huesca *et al.* (2008) son obtenidos a partir de dos imágenes MODIS, una antes del incendio, captada por el satélite Terra el 12 de julio de 2007 y otra después del incendio captada por el satélite Aqua el 1 de agosto de 2007. Ambas imágenes son productos de reflectancia (MOD09GQ y MYD09GQ) con una resolución espacial de 250 metros descargadas de forma gratuita desde la Web oficial de MODIS (MODIS, 2007b). También se utilizó una serie temporal de anomalías térmicas disponibles a través del servidor de la NASA. 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). Una descripción más detallada del algoritmo utilizado en los productos de focos activos de MODIS se puede encontrar en Justice *et al.* (2002).

Desde el mismo servidor de MODIS (NASA) se ha adquirido el producto de áreas quemadas de MOD45 correspondiente al mes de agosto de 2007. El algoritmo utilizado se basa en los cambios espectrales, estructurales y temporales registrados a nivel píxel. La fecha del incendio se estima en el momento en el que se produce un cambio brusco en la reflectancia superficial diaria en base a una serie temporal. La resolución temporal del producto de áreas quemadas es mensual y la resolución espacial de 500 metros (Roy *et al.*, 2005; Roy *et al.*, 2008).

La validación de ambos algoritmos se ha llevado a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos con los perímetros estimados por el DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Centro aeroespacial alemán) 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

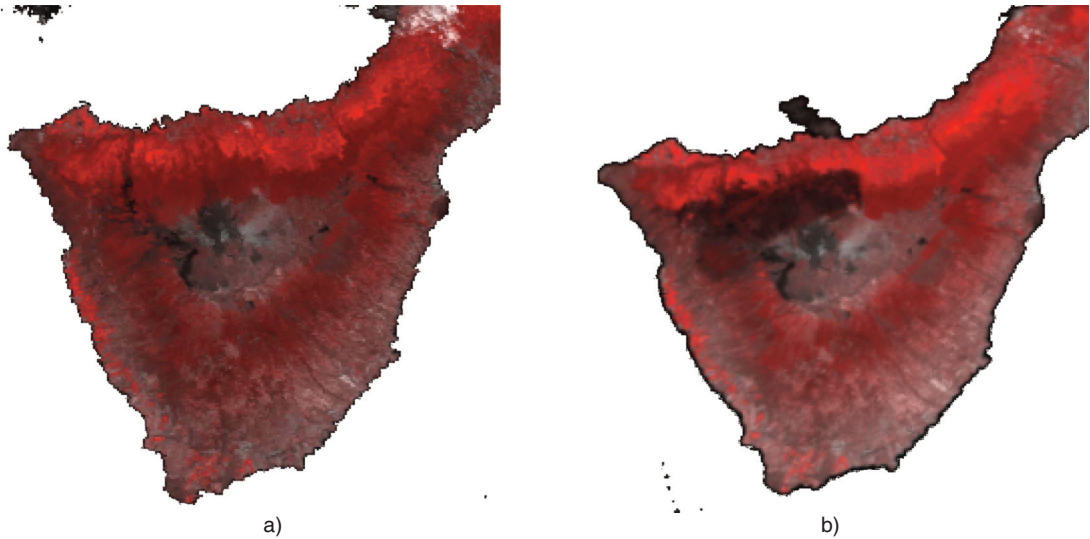
Espacio y las Grandes Catástrofes (International Charter "Space and Major Disasters") fue activada el 2 de agosto de 2007 a las 13:38 horas (INTERNACIONAL CHARTER, 2007) a través de la solicitud del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Protección Civil y la Comisión Europea, siendo el DLR la agencia encargada de realizar las estimaciones del área quemada. También se dispone de las estadísticas oficiales proporcionadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, como información de referencia y contraste.

## MÉTODOS

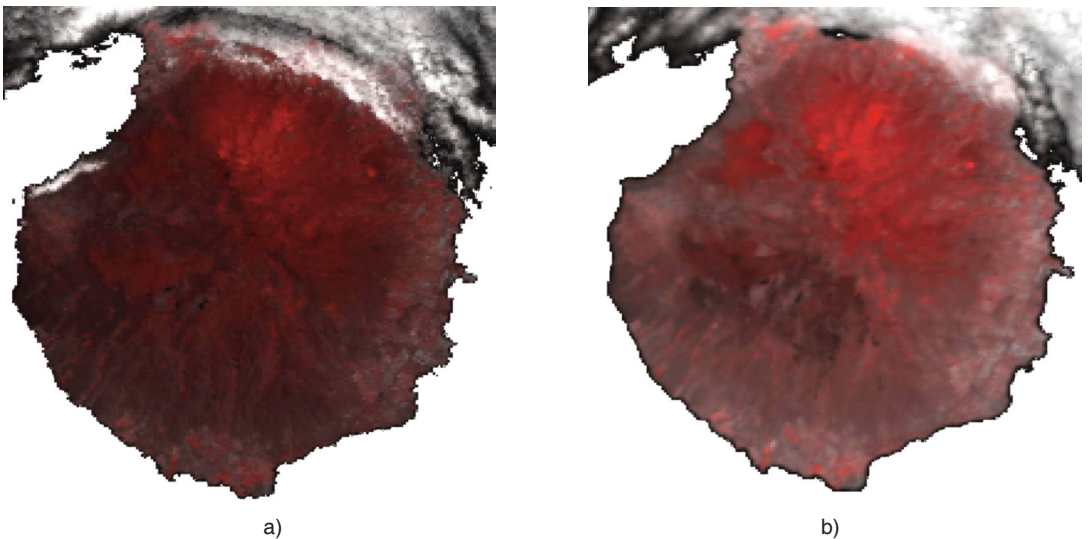
Los productos MODIS de reflectancia a 250 m y de áreas quemadas MOD45 fueron reproyectados al sistema de coordenadas UTM – huso 28 – WGS-84, utilizando el software Modis Reprojection Tool (MRT) desarrollado por el equipo de MODIS, ya que originalmente los productos se encuentran en un sistema de coordenadas bastante inusual (Integerized Sinusoidal). A continuación se extrajo una subescena para centrar el área afectada por los incendios. Dicho pre-procesado se ha llevado a cabo utilizando el software ENVI 4.5. Las figuras 1 y 2 muestran una composición en falso color, utilizando las bandas del infrarrojo cercano y el rojo, de las imágenes de reflectancia antes y después del incendio, permitiéndonos observar de una forma clara el área afectada en los incendios de Tenerife y Gran Canaria.

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 la zona que ha sido afectada por este fenómeno.

Mediante un análisis de coincidencia entre distintos valores umbrales de la banda del infrarrojo cercano de la imagen de reflectancia MODIS posterior al incendio, y el área de influencia de los hotspot se selecciona como umbral definitivo, para la discriminación entre quemado y no quemado, aquel que maximice la coincidencia entre las dos áreas antes mencionadas. En este estudio se asumió que los hotspot 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 un área de influencia equivalente a un kilómetro cuadrado de superficie,



**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.

utilizando buffers de radio igual a 564.19 metros. Los errores de comisión (píxeles no quemados identificados como tal en la imagen) fueron eliminados mediante el cálculo de la diferencia de infrarrojos antes y después del incendio en una primera fase, y utilizando la localización de los hotspots para de esta forma eliminar todos aquellos vectores que por su lejanía al incendio o la no presencia de hotspot no corresponden a áreas quemadas.

La validación del algoritmo anteriormente explicado y el utilizado en el producto MOD45, se reali-

zará mediante la comparación con los perímetros obtenidos por el DLR a partir de la imagen SPOT antes mencionada (INTERNACIONAL CHARTER, 2007), mediante un análisis de coincidencia. En dicho análisis se cuantificará no solo el grado de coincidencia sino también los errores de comisión y omisión de ambos algoritmos, desarrollándose un índice de calidad que permita la evaluación de ambas estimaciones de una forma cuantitativa. Finalmente se comparan los resultados con las estadísticas publicadas por el Ministerio de Medio Ambiente y



Medio Rural y Marino a partir de los datos proporcionados por el Gobierno de Canarias.

## RESULTADOS

La banda del infrarrojo cercano fue seleccionada, para la estimación de la superficie quemada en la metodología propuesta en Huesca *et al.* (2008), por ser esta banda 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).

La siguiente figura (Figura 3) muestra los vectores asociados a la parte clasificada como quemada para los incendios de Tenerife (Figura 3a) y Gran Canaria (Figura 3b) utilizando la metodología que llamaremos metodología INIA, el umbral de infrarrojo cercano utilizado para la discriminación entre quemado y no-quemado se ha basado en la máxima coincidencia entre dicho umbral y las áreas de influencia de los hotspot. Los umbrales de reflectancia seleccionados son del 15.56 % y 18.29 % para los incendios de Tenerife y Gran Canaria respectivamente.

Los perímetros INIA y los obtenidos a partir del producto de áreas quemadas MOD45 han sido validados utilizando como verdad terreno los perímetros obtenidos por el DLR a partir de una imagen SPOT5 de fecha 4 de agosto de 2007 (INTERNACIONAL CHARTER, 2007).

Un análisis visual de los vectores obtenidos por la metodología INIA muestra que el resultado alcanzado para ambos incendios es bastante satisfactorio, observándose una gran similitud entre el perímetro INIA y el calculado por el DLR, sobre todo para el incendio ocurrido en Tenerife (Figura 4).

Evaluando ahora el producto MOD45, para el incendio de Tenerife dicho producto perimetra más o menos bien la zona norte del incendio sin embargo se puede observar como en la zona suroeste hay una clara infra-estimación del área quemada. Para el incendio de Gran Canaria el producto MOD45 no refleja bien la superficie afectada realizando una infra-estimación muy por debajo de la situación real (Figura 5).

Para realizar una validación más rigurosa se rasterizaron los vectores de las estimaciones del DLR, los obtenidos en la metodología INIA y los del producto MOD45 y se realizó un análisis de coincidencia (Tablas 1, 2 y 3 y figuras 4, 5 y 6) analizándose no solo el grado de coincidencia sino también los errores de omisión (píxeles quemados no identificados como tal en la imagen) y comisión (píxeles no quemados identificados como tal en la imagen). En ambas validaciones se utilizó el perímetro del DLR como verdad terreno. Finalmente se realizó una comparación entre los perímetros INIA y MOD45 utilizando como referencia la metodología INIA.

Comenzando con la comparación INIA-DLR para Tenerife se obtuvo un 88,89 % de coincidencia entre el perímetro INIA y el obtenido por el DLR, con unos errores de comisión y omisión muy similares del 11,58% y 11,11% respectivamente. En el incendio de Gran Canaria el grado de coincidencia es algo menor, representado por el 81,98% del total de la superficie estimada por el DLR, de igual forma los errores de comisión y omisión son del 11,64% y 18,02% respectivamente.

Los resultados obtenidos en el análisis de coincidencia entre los perímetros de MOD45 y el DLR así como la comparación entre la metodología INIA y la del MOD45 se presentan en las siguientes tablas. (Tablas 2 y 3 y figuras 5 y 6).



**Figura 3.** Vector 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) a partir de la metodología INIA.

	OMISION (%)	COMISION (%)	COINDICENCIA (%)
TENERIFE	11.11	11.58	88.89
GRAN CANARIA	18.02	11.64	81.98

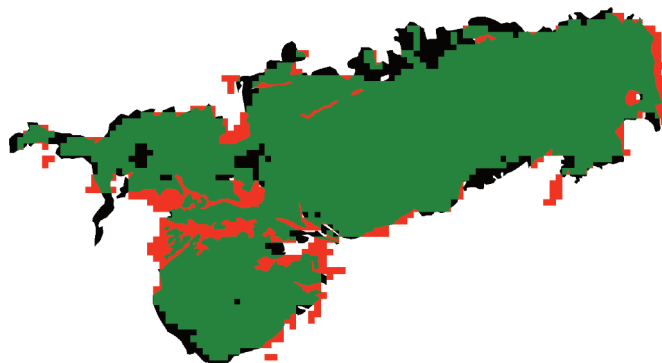
**Tabla 1.** Resultados del análisis de coincidencia entre el perímetro definido por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 y el obtenido a partir de la metodología INIA.

	OMISION (%)	COMISION (%)	COINDICENCIA (%)
TENERIFE	31.45	7.38	68.55
GRAN CANARIA	77.07	0.09	22.93

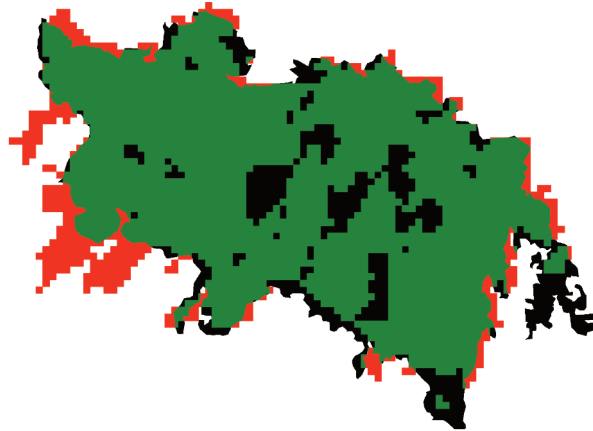
**Tabla 2.** Resultados del análisis de coincidencia entre el perímetro definido por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 y el obtenido del producto MOD45.

	OMISION (%)	COMISION (%)	COINDICENCIA (%)
TENERIFE	32.38	7.96	67.62
GRAN CANARIA	78.16	2.76	21.84

**Tabla 3.** Resultados del análisis de coincidencia entre el perímetro obtenido a partir de la metodología INIA y el definido por el producto MOD45

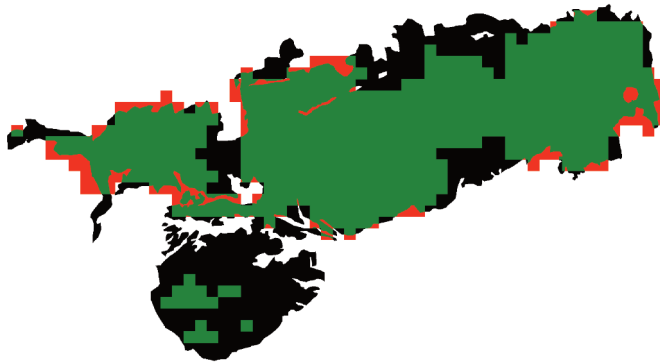


a)



b)

**Figura 4.** Análisis de coincidencia entre el perímetro estimado por la metodología INIA con el obtenido por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 de los incendios ocurrido en Tenerife (a) y Gran Canaria (b). El área verde representa la coincidencia entre ambos perímetros y las zonas rojas y negras los errores de comisión y omisión respectivamente.



a)



b)

**Figura 5.** Análisis de coincidencia entre el perímetro obtenido a partir del producto MODIS de áreas quemadas (MOD45) y el estimado por el DLR a partir de una imagen SPOT-5 de los incendios ocurrido en Tenerife (a) y Gran Canaria (b). El área verde representa la coincidencia entre ambos perímetros y las zonas rojas y negras los errores de comisión y omisión respectivamente



**Figura 6.** Análisis de coincidencia entre el perímetro obtenido a partir del producto MODIS de áreas quemadas (MOD45) y el estimado en la metodología INIA, de los incendios ocurrido en Tenerife (a) y Gran Canaria (b). El área verde representa la coincidencia entre ambos perímetros y las zonas rojas y negras los errores de comisión y omisión respectivamente

Se puede observar en términos generales la infra-estimación de la superficie afectada utilizando el producto de áreas quemadas de MOD45, sobre todo para el incendio ocurrido en la isla de Gran Canaria. Para el incendio de Tenerife la coincidencia entre el perímetro de MOD45 y el del DLR es del 68,55%, coincidencia muy parecida al comprar los perímetros del MOD45 y los obtenidos en la metodología INIA (67,62%). Los errores tanto de comisión como de omisión en ambos casos son igualmente muy parecidos debido a la gran similitud de ambos perímetros. Los errores de comisión y omisión al comparar el producto MOD45 con los perímetros del DLR son del 7,38% y el 31,45% respectivamente. Y respecto a los perímetros INIA son del 7,96% de comisión y del 32,38% de omisión. Los errores de omisión son bastante más altos debido a la infra-estimación de la superficie afectada anteriormente comentada

Analizando los resultados del análisis de coincidencia del producto MOD45 para el incendio de Gran Canaria se puede observar un tanto por ciento de coincidencia muy bajo en las dos comparaciones (22,93% respecto al DLR y 21,84% en la comparación con los perímetros INIA). Los errores de comisión son prácticamente inexistentes (0,09% con el DLR y 2,76% en nuestra estimación) mientras que los errores de omisión son excesivamente elevados (77,07% con el DLR y 78,16% en nuestra estimación) esto es debido a la gran infra-estimación del área quemada determinada en el producto MOD45.

Por ultimo se ha realizado una comparación de la superficie quemada, medida en hectáreas, de las estimaciones del DLR, del INIA y del MOD45 con respecto a las cifras proporcionadas por el Gobierno de Canarias, éstas últimas fueron facilitadas al Ministerio de Medio Ambiente el 10 de agosto de 2007



y fueron obtenidas mediante un sobrevuelo con helicóptero dotado de un GPS. El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino considera estas cifras como las oficiales. Los datos anteriormente mencionados se recogen en la siguiente tabla (Tabla 4).

Para el incendio de Tenerife, las superficies afectadas estimadas por el Gobierno de Canarias difieren en 3.789,64, 7.401,62 y 3.718,75 hectáreas con respecto a las obtenidas por el DLR, el producto MOD45 y la metodología INIA. Para el incendio de Gran Canaria estas diferencias son de 2.511,19 hectáreas con respecto a al estimación del DLR de 15.039,20 con el producto MOD45 y de 3.549,28 hectáreas para la metodología INIA. Estas diferencias suponen un error del 20,16% y 13,37% en las estimaciones del DLR para los incendios de Tenerife y Gran Canaria. La metodología INIA presenta unos errores muy próximos algo menor en Tenerife y mayor en Gran Canaria (19,78% en el caso de Tenerife y 18,89% en el caso de Gran Canaria) (Tabla 4). Analizando los errores del producto MOD45

(39,37% en el caso de Tenerife y 80,05% en el caso de Gran Canaria) se puede observar que son bastante superiores para los dos incendios con respecto a los resultados obtenidos por el DLR y el INIA.

Comparando las estimaciones INIA y las realizadas por el DLR para ambos incendios, considerando como verdad terreno las estimaciones del DLR, la diferencia entre ambas es de 70,89 y 1.038,09 hectáreas para Tenerife y Gran Canaria respectivamente (Tabla 5). El error de la metodología INIA representa un 0,47% y un 6,38 % para los incendios de Tenerife y Gran Canaria respectivamente. Se observa una gran similitud entre ambas estimaciones, con una precisión algo menor para el caso de Gran Canaria. Analizando ahora los errores en la estimación del producto MOD45, considerando como verdad terreno el perímetro obtenido por el DLR, se puede apreciar como dichos errores son bastante superiores a los encontrados con la metodología INIA, sobre todo para el incendio de Gran Canaria (24,06 % y 76,98 % para los incendios de Tenerife y Gran Canaria respectivamente).

	SUPERFICIE AFECTADA (Ha)		Error de la estimación (%)	
	Tenerife	Gran Canaria	Tenerife	Gran Canaria
<b>MIMAM</b>	18.800,00	18.786,37	X	X
<b>DLR/JRC</b>	15.010,36	16.275,18	20.16	13.37
<b>INIA</b>	15.081,25	15.237,09	19.78	18.89
<b>MOD45</b>	11.398,38	3.747,17	39.37	80.05

**Tabla 4.** Comparación de la estimación de la superficie afectada en los incendios forestales de Canarias, estimada a partir de la metodología INIA, el DLR y el producto MOD45 con las cifras obtenidas por el Gobierno de Canarias

	SUPERFICIE AFECTADA (Ha)		Error (%) de la estimación	
	Tenerife	Gran Canaria	Tenerife	Gran Canaria
<b>DLR/JRC</b>	15.010,36	16.275,18	X	X
<b>INIA</b>	15.081,25	15.237,09	0.47	6.38
<b>MOD45</b>	11.398,38	3.747,17	24.06	76.98

**Tabla 5.** Comparación de la estimación de la superficie afectada por el DLR, a partir de una imagen SPOT-5, con la metodología INIA y con el producto MOD 45 para los incendios de Tenerife y Gran Canaria

### Definición de un Índice de Calidad

Para cuantificar la calidad de las estimaciones INIA y MOD45 se ha desarrollado un índice que es función de la superficie estimada y los errores de comisión y omisión obtenidos, que se enuncia a continuación. Una estimación será tanto mejor, cuanto menores sean los errores de omisión y comisión y cuanto más se parezca la superficie estimada a la superficie real quemada.

La expresión de dicho índice de calidad (IC) es la siguiente:

$$IC = EE + EO + EC$$

$$EE = abs \left[ \left( \frac{SE}{SR} \right) - 1 \right] \cdot 100$$

Donde "IC" representa el índice de calidad. "EE" (Error en la estimación) representa el tanto por ciento de exceso o defecto de superficie estimada respecto a la verdad terreno en valor absoluto. "EO y EC" representan los errores de omisión y comisión respectivamente en tanto por ciento. "SE" representa la superficie estimada y "SR" hace referencia a la superficie considerada como verdad terreno que en este caso es la estimada por el DLR.

La particularidad de este índice es que tiene en cuenta tanto la coincidencia de la superficie afectada con respecto a la verdad-terreno, como su correcta ubicación espacial. El valor cero significaría una estimación perfecta. Este índice de calidad no presenta un valor máximo por lo que trabaja con valores relativos y su utilidad se centra en la comparación entre estimaciones. La estimación más precisa será aquella que minimice el valor de dicho índice.

En la siguiente tabla se muestra el valor del índice de calidad previamente definido, considerando como verdad terreno los perímetros obtenidos por el DLR a partir de una imagen SPOT.

	ÍNDICE DE CALIDAD	
	TENERIFE	GRAN CANARIA
MOD45	62.89	154.14
INIA	23.16	36.04

**Tabla 6.** Índice de calidad de las estimaciones de superficie quemada, para los incendios de Tenerife y Gran Canaria, a partir de la metodología INIA y del producto MOD45 considerando como verdad terreno el perímetro estimado por el DLR.

En la tabla anteriormente expuesta se puede observar de nuevo la gran precisión de la estimación realizada por el algoritmo INIA, respecto a la obtenida con el algoritmo de MOD45, presentando una calidad superior sobre todo para el incendio de Gran Canaria (23,16 vs 62,89 y 36,04 vs 154,14 para los incendios de Tenerife y Gran Canaria respectivamente).

### CONCLUSIONES

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

- 1.- El método INIA representa una metodología que 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.- El producto MOD45 realiza una infra-estimación de las superficies quemadas en los incendios de Canarias. El análisis de estos productos en otras zonas de la geografía española es necesaria para estudiar la utilidad de dichos productos en España.
- 3.- El índice de calidad desarrollado es un buen indicador para comparar de forma integrada la precisión estadística y cartográfica de los resultados obtenidos utilizando distintos algoritmos.
- 4.- Los materiales utilizados son fácilmente accesibles, gratuitos y disponibles poco tiempo después de ser captados, facilitando en gran medida los trabajos prioritarios posteriores a un incendio forestal.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren agradecer al equipo de MODIS/NASA por proporcionarnos la serie temporal de anomalías térmicas o hotspot y los productos MOD45, así como a la "Carta Internacional – Espacio y las Grandes Catástrofes" por los perímetros utilizados como verdad-terreno en el presente estudio.

### REFERENCIAS

BARBOSA, P.M., GREGOIRE, J.L. y 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*. 69: 253-263.
- BOSCHETTI, L., ROY, D.P., BARBOSA, P., BOCA, R. y JUESTICE, C. 2008. A MODIS assessment of the summer 2007 extent burned in Greece. *International Journal of Remote Sensing*. 29: 2433-2436.
- CHUVIECO, E. y 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)*. 10 pags.
- FERNÁNDEZ, A., ILLERA, P. y CASANOVA, J. L. 1997. Automatic Mapping of Surfaces Affected by Forest Fires in Spain Using AVHRR NDVI Composite Image Data. *Remote sensing of environment*. 60: 153 – 162.
- FIRMS. Fire Information for Resource Management System. Agosto 2007 <http://maps.geog.umd.edu/firms/shapes.htm>
- GIGLIO, L., DESCLOITRES, J., JUSTICE, C.O. y KAUFMAN, Y.J. 2003. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 87: 273-282.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., MERINO-DE-MIGUEL, S., ROLDÁN-ZAMARRÓN, A., GARCÍA-GIGORRO, S. y 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*. 28: 797-809.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., MERINO-DE-MIGUEL, S. y CUEVAS, J. M. 2007b. Un nuevo algoritmo para la cartografía de áreas quemadas a partir de información NIR, SWIR y TIR. *Revista de Teledetección*. 28: 97-105.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., MERINO-DE-MIGUEL, S., ROLDÁN-ZAMARRÓN, A., GARCÍA-GIGORRO y S., CUEVAS, J.M. 2005. Algoritmos de estimación de superficies quemadas a partir de compuestos MODIS. *XI Congreso Nacional de Teledetección*, Puerto de la Cruz - Tenerife.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., CUEVAS, J. M., CASANOVA, J. L., CALLE, A. y ILLERA, P. 1997. A forest fire risk assessment using NOAA-AVHRR images in Valencia area, eastern Spain. *International Journal of Remote Sensing*. 18: 2201-2207.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F., CASANOVA, J. L., CALLE, A. y CUEVAS, J. M. 1996. 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*. 17: 1089-1091.
- HUESCA, M., GONZÁLEZ-ALONSO, F., CUEVAS, J.M. y MERINO-DE-MIGUEL, S. 2008. Estimación de la superficie quemada en los incendios forestales de Canarias utilizando sinérgicamente imágenes MODIS y anomalías térmicas. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 17: 308-316.
- ILLERA, P., FERNÁNDEZ, A., CALLE, A. y CASANOVA, J.L. 1995. Evaluation of forest fire danger in Spain by means of NOAA-AVHR images *International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management*, Alcalá de Henares, 101-103 pags.
- INTERNATIONAL CHARTER: International Charter “Space and Major Disasters” Agosto 2007. [http://www.disasterscharter.org/disasters/CALLID\\_167\\_e.html](http://www.disasterscharter.org/disasters/CALLID_167_e.html)
- JUSTICE, C.O., GIGLIO, L., KORONTZI, S., OWENS, J., MORISETTE, J.T., ROY, D.P., DES-CLOITRES, J., ALLEAUME, S., PETITCOLIN, F. y KAUFMAN, Y. 2002. The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*. 83: 244-262.
- LEVINE, J. S. 1991. *Introduction in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implication*, Cambridge, MA: MIT press, xxv – xxx pags.
- MARTÍN, M.P., DÍAZ DELGADO, R., CHUVIECO, E. y VENTURA, G. 2002. Burned land mapping using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Rotterdam, Millpress, 9 pags
- MERINO-DE-MIGUEL, S., GONZÁLEZ-ALONSO, F., GARCÍA-GIGORRO, A., ROLDÁN-ZAMARRÓN, A. y CUEVAS, J.M. 2005. Is it possible to timely and accurately estimate wildfire burnt areas using remote sensing techniques? *New Strategies for European Remote Sensing*, Rotterdam, Millpress, 81-88 pags.
- MILLER, J. D. y YOOL, S.R. 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Land

- sat TM and ETM data. *Remote Sensing of Environment*. 82: 48-496.
- MODIS, 2007a: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Agosto 2007. <http://modis.gsfc.nasa.gov/>
- MODIS, 2007b: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Agosto 2007. <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>
- MORENO, J.M. 2007. Cambio global e incendios forestales: Una vision del de España. 4ª *Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales*, Sevilla, 22 pags.
- MORGAN, P., HARDY, C.C., SWETNAM, T.W., ROLLINS, M.G. y LONG, D.G. 2001. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 329-342.
- PEREIRA, J.M.C., SA, A.C.L., SOUSA, A.M.O., MARTÍN, M.P. y 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*, Berlin, Springer-Verlag, 139-155 pags.
- QUINTANO PASTOR, C., FERNÁNDEZ MANSO, A., DELGADO DE LA MATA, J.A. y SHI-MABUKO, Y.E. 2002. Determination of spectral mixture analysis validity for estimating burned area using AVHRR data and multitemporal analysis. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Rotterdam, Millpress, 10 pags.
- RECONDO, C., WOZNIAK, E. y 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*. 18: 47-55.
- ROY, D.P., BOSCHETTI, L., JUSTICE, C.O. y JU, J. 2008. The collection 5 MODIS burned area product – Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. *Remote Sensing of Environment*. 112: 3690-3707.
- ROY, D.P., JIN, Y., LEWIS, P.E. y JUSTICE, C.O. 2005. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. *Remote Sensing of Environment*. 97: 137-162.
- SALMON, J., HAO, W., MILLER, M., NORDGREN, B., KAUFMAN, Y. 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 - Belgica, 197-202 pags.
- VIEDMA, O. y 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*. 167: 60-66.