

Evaluación de productos MODIS para la cartografía de áreas quemadas

Opazo Saldivia, Sergio^{1,2}; Chuvieco Salinero, Emilio²

(1) Escuela de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Magallanes.

Av. Bulnes 01855, Punta Arenas, Chile.

(2) Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá.

Calle Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares, España.

RESUMEN

El fuego es uno de los principales agentes causantes de cambios ambientales. En este ámbito, el uso de teledetección para la cartografía de áreas quemadas ha tenido un gran desarrollo los últimos años.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficacia de los distintos productos de reflectividad MODIS para ser utilizados en la cartografía de área quemada a escala global. La efectividad de los distintos productos evaluados se midió comparando el área quemada con perímetros extraídos de una imagen CBERS (20m).

A pesar del menor grado de detalle espacial de los productos corregidos del BRDF (1km/500m), ofrecen mejores condiciones para la cartografía de área quemada a escala global.

Palabras Clave: Áreas quemadas, MODIS, teledetección.

ABSTRACT

The fire is one of the main agents that causes environmental changes. With this scope, the use of remote sensing for burned area mapping has experienced an increasing development in the last years.

The main objective of this work is to assess the effectiveness of different MODIS reflectance products for burned area mapping at global scale. The performance of the different reflectance products for burned area mapping was assessed with high-resolution imagery, namely CBERS.

MODIS BRDF products offer better global burned area mapping conditions than those without bidirectional correction despite its lower spatial detail

Key words: Burned area mapping, MODIS, Remote Sensing.

Introducción

Son numerosos los efectos causados por los incendios forestales. Tanto a escala local como global, destaca su impacto sobre la utilización del suelo, capacidad de carga, biodiversidad y la alteración de los procesos hidrológicos, bio-geoquímicos, y atmosféricos (Roy *et al.*, 2002). Los incendios también tienen efectos directos sobre la población humana debido a la contaminación atmosférica producida por el humo, sumado a la pérdida de valiosos recursos naturales (Fraser *et al.*, 2002).

A la fecha se han realizado numerosos estudios que utilizan la teledetección para cuantificar el tamaño y el nivel de daño de un área quemada (Barbosa *et al.*, 2002; Chuvieco y Congalton, 1988; Chuvieco y Martín, 1994; Flannii

gan y Vonder Haar, 1986; Tansey *et al.*, 2004). A escala global uno de los sensores más ampliamente utilizado en cartografía de áreas quemadas ha sido el NOAA-AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), aunque fue diseñado originalmente para estudios meteorológicos (Eva y Lambin, 1998; Flannigan y Vonder Haar, 1986; França y Setzer, 2001; Kaufman *et al.*, 1990; Martín *et al.*, 2002; Matson *et al.*, 1984; Roy *et al.*, 1999).

Más recientemente la aparición de nuevos sensores, diseñados específicamente para estudios ambientales, tales como MODIS (Moderate - Resolution Imaging Spectroradiometer), SAC-C/MMRS (Argentinian Satellite for Scientific Application- C/Multispectral Medium Reso-

lution Scanner) e IRS-WIFS (Indian Remote Sensing Satellite's Wide Field of View Sensor), entre otros, han permitido llevar a cabo diversas investigaciones en cartografía de área quemada cubriendo áreas que carecían de información (Chuvieco *et al.*, 2005; Garcia y Chuvieco, 2004; Li *et al.*, 2004; Vázquez *et al.*, 2001; Roy *et al.*, 2005).

A escala regional, la Red Latinoamericana de Teledetección e Incendios Forestales (RedLaTIF) es una red regional que pretende unir esfuerzos en el campo de la observación y gestión de los incendios forestales en todos los países latinoamericanos. Recientemente, la RedLaTIF desarrolló una cartografía de áreas quemadas de Latinoamérica para el año 2004 (Chuvieco *et al.* 2007). Este proyecto (AQL2004) utilizó como base un compuesto de 32 días proveniente de datos del sensor MODIS. En este marco se sitúa el presente trabajo de investigación, contribuyendo la evaluación de productos MODIS alternativos que permitan la continuidad de este proyecto en el futuro próximo.

METODOLOGIA

Descripción de los Productos MODIS utilizados

El producto utilizado por AQL2004 es elaborado por el Departamento de Geografía de la Universidad de Maryland y está disponible en línea en GLCF (The Global Land Cover Facility), se realiza a partir de 4 compuestos de 8 días MOD09A1, conservando los valores del compuesto de 8 días que tenga el segundo albedo más bajo.

Los productos MOD09A1, MOD43B4 y MCD43B4 son elaborados por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) mediante su programa EOS (Earth Observation System) y son distribuidos por LP DAAC (The Land Processes Distributed Active Archive Center).

El producto MOD09A1 se realiza a partir de 8 imágenes diarias de reflectividad, ofreciendo para cada banda una estimación de la reflectividad espectral de superficie, corregida del efecto atmosférico. Cuenta con una resolución espacial de 500 metros. El producto MOD43B4 brinda cada 16 días datos de reflectividad atmosféricamente corregidos, disminuye la influencia de las nubes respecto al MOD09 y corrige el efecto bi-direccional que provoca la influencia del ángulo de visión del sensor. Los datos son proporcionados con una resolución espacial de 1 Km.

Al igual que en el caso anterior, el producto MCD43B4 también proporciona cada 16 días datos de 1 Km. de resolución corregidos del efecto bi – direccional, de la influencia de las nubes y de las distorsiones atmosféricas. La diferencia fundamental con el anterior radica en que el MCD43B4 es generado a partir de una combinación de los datos adquiridos por Terra y Aqua, con objeto de optimizar la calidad del producto.

Los cuatro productos analizados cuentan con 7 bandas de resolución espectral (tabla 1).

Tabla 1. Bandas del sensor MODIS

Banda	Ancho de Banda ^{nm}
1	620 – 670
2	841 – 876
3	459 – 479
4	545 – 565
5	1230 – 1250
6	1628 – 1652
7	2105 – 2155

Calculo de índices espectrales

Uno de los índices más utilizados en la cartografía de áreas quemadas ha sido el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), especialmente en el análisis multitemporal de áreas afectadas por incendios. A pesar de su abundante uso en estudios de zonas quemadas, se ha demostrado que su capacidad discriminatoria es baja en relación a otros índices especialmente desarrollados para estos efectos ofreciéndose distintas alternativas que facilitan una mejor discriminación del área quemada (Chuvieco *et al.*, 2002; Pereira, 1999; Stroppiana *et al.*, 2002; Trigg y Flasse, 2001). Dentro de las posibilidades existentes se han obtenido buenos resultados en la discriminación de áreas quemadas con el uso de los índices NBR (Normalized Burned Ratio) y BAI (Burned Area Index) (Heredia *et al.*, 2003).

En el presente estudio se han utilizado los siguientes índices para la discriminación de áreas quemadas:

El NBR fue definido en 1999 por Key y Benson como:

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}}$$

El BAI fue definido por Martin (1998) específicamente para discriminar el área afectada por

el fuego sobre imágenes AVHRR. Martin *et al.* 2002 realizaron una modificación para el BAI insertando información proveniente del SWIR en lugar de la correspondiente al canal rojo. El nuevo índice resultó definido como:

$$BAIm = \frac{1}{(\rho_{cSWIR} - \rho_{SWIR})^2 + (\rho_{cNIR} - \rho_{NIR})^2}$$

Siendo ρ_{cSWIR} y ρ_{cNIR} las reflectividades de un punto de convergencia para áreas quemadas en el SWIR e infrarrojo cercano, respectivamente y ρ_{SWIR} y ρ_{NIR} son la reflectividad en las mismas bandas. Los nuevos puntos de convergencia definidos fueron 0.2 para el infrarrojo cercano (ρ_{cNIR}) y 0.08 para el ρ_{cSWIR} .

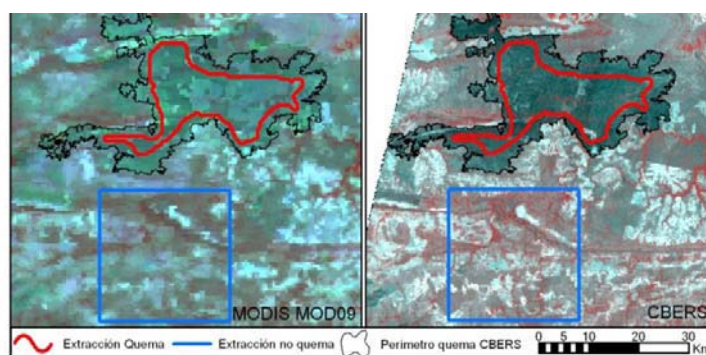


Fig. 1. Extracciones área quemada (rojo) y no quemada (azul). Izquierda imagen MODIS, derecha imagen CBERS.

Análisis de separabilidad entre áreas quemadas y no quemadas

Para examinar la capacidad discriminadora de áreas quemadas de cada producto se ha analizado la separabilidad espectral que ofrecen sus bandas y los índices derivados de ellas. Se han utilizado medidas de distancia espectral normalizada (D) (Kaufman y Remer, 1994) y de distancia de Bhattacharyya (BD). Estas mediciones indican el grado de separabilidad entre un área quemada y una no quemada. Se calculó la distancia espectral espacial y temporalmente. La primera toma como referencia los píxeles quemados y no quemados extraídos de la imagen post incendio. La distancia temporal utiliza la imagen pre – incendio para la extracción de la muestra no quemada y la imagen post – incendio para extraer información de la muestra quemada, ambas extracciones se realizaron en el mismo lugar geográfico.

Las extracciones se realizaron sobre zonas previamente identificadas a partir de imágenes de alta resolución CBERS, esto permitió confirmar si estaban quemadas o no (fig. 1).

Algoritmo de discriminación

La metodología de discriminación utilizada es la propuesta en el proyecto AQL2004 (Chuvieco, et. al, 2007), en ella se propone un algorit-

mo de dos fases. La primera fase pretende detectar los píxeles más evidentemente quemados (semillas) y una segunda etapa del algoritmo considera el mejoramiento del detalle espacial de la cartografía. De este modo se pretende reducir al máximo los errores de comisión y omisión.

A partir de las estadísticas obtenidas del muestreo de la región quemada se fijó el umbral para el NBR y BAI_m como la media menos una desviación típica. Por lo tanto, todo valor superior a este umbral será considerado como semilla de área quemada.

Tabla 2. Umbrales según producto

Producto	BAI _m	NBR
MCD43	157	0,05
MOD43	168	0,057
MOD09-32D	70	-0,037
MOD09-8D	80	-0,022

Validación de los resultados

A partir del análisis visual de las imágenes CBERS se extrajeron los perímetros quemados de una zona perteneciente al área de estudio.

Para analizar el porcentaje que representa el área quemada detectada por los productos

MODIS y lo detectado a través de la interpretación visual se elaboró una grilla de 10 x 10 Km. Luego, para cada una de las celdas de esta grilla se determinó el porcentaje de área quemada obtenido con alta resolución y con los productos MODIS. Esta información permitió determinar la correlación entre el perímetro quemado interpretado visualmente y las áreas quemadas detectadas por los productos MODIS.

RESULTADOS

Análisis de Separabilidad

Para establecer que producto ofrece mayor separabilidad espectral, entre área quemada y

no quemada, se realizaron los siguientes análisis de distancias espectrales.

Distancia espectral normalizada

En el caso de la separabilidad espacial podemos ver que las bandas que presentaron mayor separabilidad fueron las bandas 5 y 2. Desde el punto de vista de los productos, se puede ver que MOD43 y MCD43 (corregidos del efecto bi – direccional) presentan mejores separabilidades en todas las bandas espectrales (1 – 7), aunque en los índices BAIm y NBR el producto de 8 días presenta valores similares. El producto que presenta la menor separabilidad es el MOD09 compuesto de 32 días (MOD09_32D) (Fig. 2).

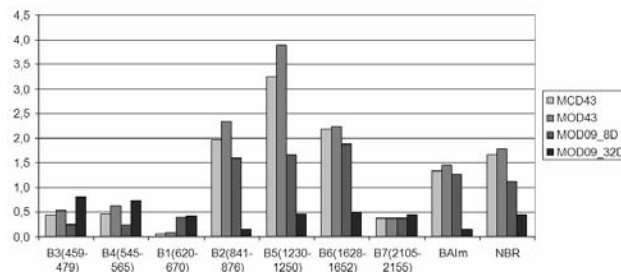


Fig. 2. Distancia Espectral Normalizada para la diferencia temporal.

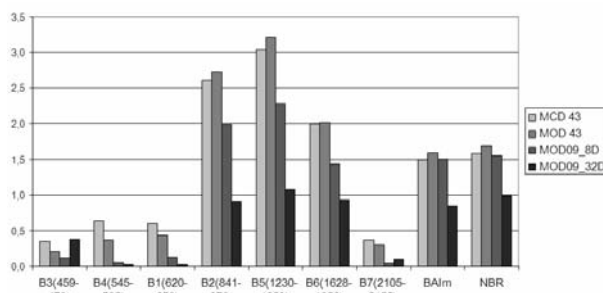


Fig. 3. Distancia Espectral Normalizada para la diferencia espacial.

El análisis temporal se realizó comparando con una imagen pre – incendio. En el gráfico (fig. 3) se aprecia que los productos corregidos del efecto bi-direccional junto al de 8 días muestran los mejores resultados, siendo la separabilidad menor la del compuesto más largo.

Distancia de Bhattacharyya

En el siguiente gráfico podemos observar la distancia de Bhattacharyya para las diferencias espaciales y temporales, en él se observa una separabilidad menor para el producto MOD09 de 32 días en ambos casos. Los productos corregidos del efecto bi – direccional presentan

separabilidades altas temporal y espacialmente (fig. 4).

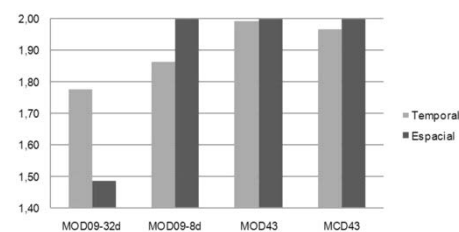


Fig.4. Distancia de Bhattacharyya

Nubosidad

La presencia de nubes en la imagen impide la detección de áreas quemadas, ya que no se pueden obtener valores de reflectividad de la superficie. A continuación, se muestra un gráfico de la nubosidad que presenta cada uno de los productos evaluados (fig. 7). Se puede apreciar la mejora notable que consigue el producto MCD43 (corrige los datos Terra con Aqua) en relación al producto MOD43, siendo mejor inclusive que el producto MOD09 de 8 días.

Validación

A continuación se presenta la validación de los productos MODIS. Esta se realizó comparando el perímetro discriminado a partir de imágenes de alta resolución CBERS con las áreas detectadas (hectáreas) por cada uno de los productos (fig.5).

En los gráficos (fig.6) se observa la correlación entre las áreas detectadas por CBERS y los diferentes productos MODIS evaluados.

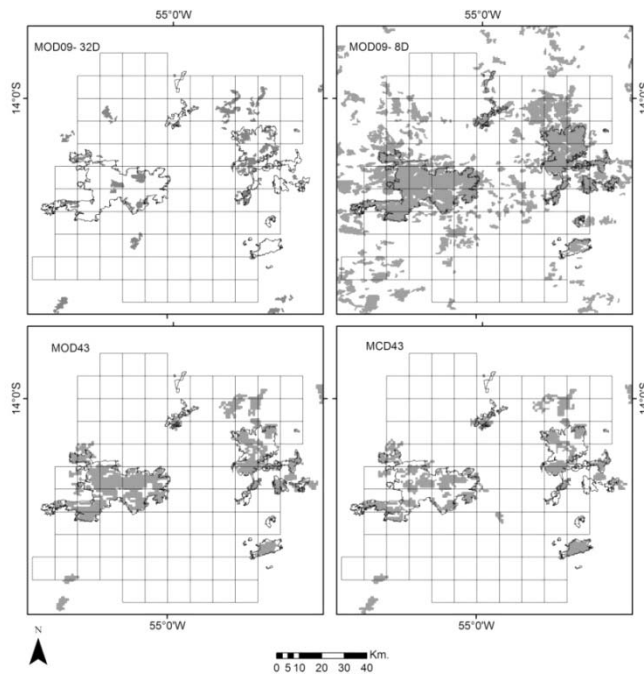


Fig. 5. Mapa de validación con perímetro de alta resolución (CBERS)

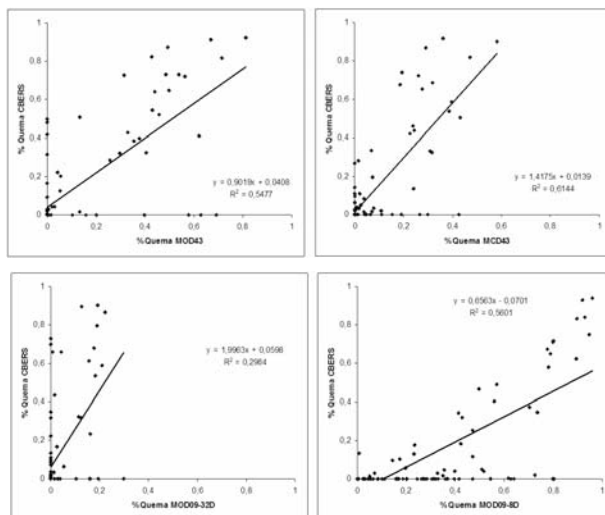


Fig. 6. Gráfico de correlación entre producto MODIS y perímetro de alta resolución (CBERS).

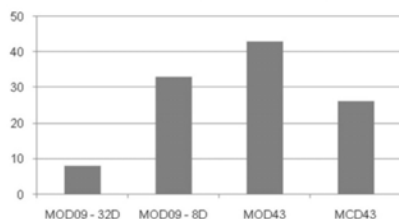


Fig.7. Porcentaje de nubes.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en las pruebas de distancia espectral realizadas, los productos corregidos del efecto bi – direccional muestran los mayores valores de discriminación, tanto espacial como temporalmente. Desde el punto de vista espectral, se puede afirmar que estos productos son más propicios para discriminar áreas quemadas debido a que la corrección del efecto bi – direccional causa mejoras en las imágenes MODIS ampliando la diferenciación de este tipo de coberturas.

El algoritmo de discriminación de área quemada utilizado en este estudio, basado en píxeles semillas resulta muy dependiente de ellos. El criterio de umbrales sobre los índices espectrales BAIm y NBR que fue utilizado para establecer estas semillas es crítico y puede ser mo-

dificado y mejorado, quizá algún procedimiento que automatice su identificación podría ser apropiado. Por lo demás, la diferente resolución temporal de los productos analizados puede tener relación directa con la variación en la superficie quemada detectada en cada uno de ellos. Los productos elaborados con un mayor periodo temporal detectaron una superficie quemada menor, esto puede indicar una pérdida en la señal

del carbón generada por el algoritmo de elaboración de los compuestos. Esta pérdida en la señal quemada de los compuestos que concentran mayor número de imágenes supone que el algoritmo propuesto en este estudio detecte menos semillas y, por consiguiente, menores superficies quemadas.

Las características ecológicas del área de estudio pueden ser otra de las causas importantes en la pérdida de la señal del carbón de los compuestos, ya que los ambientes tropicales tienen un ritmo de regeneración muy intenso. La severidad, características y condiciones en que se desarrolle el incendio deberían incidir directamente en las posibilidades del algoritmo propuesto en este estudio para detectar áreas quemadas, en este sentido un incendio de una severidad baja probablemente no sería detectado.

El producto MOD09 de 8 días y los productos corregidos del efecto bi – direccional mostraron las mayores correlaciones con el perímetro

extraído de la imagen CBERS, específicamente el producto MCD43 mostró la mejor correlación en este estudio, recordemos que este último corrige los valores defectuosos captados por Terra usando datos de Aqua, esto disminuye la cantidad de píxeles etiquetados como nubes y aumenta la probabilidad de que sean detectados como área quemada, esta situación pudo haber derivado en el aumento de su correlación.

Por otra parte, sería apropiado evaluar el algoritmo de elaboración de los compuestos corregidos del efecto bi – direccional, dado que la etiquetación de píxeles como nubes está siendo demasiado severa, al menos para esta zona de estudio, esto empobrece la posibilidad de contar con datos de reflectividad en muchos sectores de las imágenes.

En respuesta al objetivo principal de este estudio y según lo antes señalado se puede afirmar que los productos corregidos del efecto bi – direccional ofrecen una mejor posibilidad de discriminar áreas quemadas. Aun considerando la pérdida en la resolución espacial y temporal sobre el producto MOD09 parecen ser más propicios para estimar áreas quemadas a una escala global.

Agradecimientos

A todos los miembros de la RedLatif por el apoyo y cooperación, y a los que aportaron en el desarrollo del proyecto AQL2004.

A la Universidad de Magallanes (Proyecto Mecsup MAG0205) por la ayuda prestada.

A la Universidad de Alcalá por todo el apoyo prestado.

Al programa START del GOF CGOLD por el constante apoyo económico.

Referencias

Barbosa, P. M., J. San-Miguel Ayanz, B. Martínez y G. Schmuck. 2002: Burnt area mapping in southern Europe using irs-wifs, en *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety* (Editado por Viegas). Rotterdam, Millpress.

Chuvieco, E., Opazo, S., Sione, W., Del Valle, H., Anaya, J., Di Bella, C., et al. 2007: Global Burned Land Estimation in Latin America using MODIS Composite Data. *Ecological Applications*, In press.

Chuvieco, E. y R. G. Congalton. 1988: Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data. *Geocarto International*, 4: 41-53.

Chuvieco, E. y M. P. Martín. 1994: Global fire mapping and fire danger estimation using

AVHRR images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60: 563-570.

Chuvieco, E., G. Ventura, M. P. Martín y I. Gomez. 2005: Assessment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping. *Remote Sensing of Environment*, 94: 450 – 462.

Eva, H. y E. F. Lambin. 1998: Remote Sensing of Biomass Burning in Tropical Regions: Sampling Issues and Multisensor Approach. *Remote Sensing of Environment*, 64: 292-315.

Flannigan, M. D. y T. H. Vonder Haar. 1986: Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR. *Canadian Journal of Forest Research*, 16: 975-982.

França, H. y A. W. Setzer. 2001: AVHRR analysis of a savanna site through a fire season in Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 22: 2449-2461.

Fraser, R. H., R. Fernandes y R. Latifovic. 2002: Multi-temporal burned area mapping using logistic regression analysis and change metrics. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*: 1486-1488.

García, M. y E. Chuvieco. 2004: Assessment of the potential of SAC-C/MMRS imagery for mapping burned areas in Spain. *Remote Sensing of Environment*, 92: 414-423.

Heredia, A., S. Martínez, E. Quintero, W. Piñeros y E. Chuvieco. 2003: Comparación de Distintas Técnicas de Análisis Digital para la Cartografía de Áreas Quemadas con Imágenes Landsat ETM+. *GeoFocus*, 3: 216-234.

Kaufman, Y. J., C. J. Tucker y I. Y. Fung. 1990: Remote Sensing of biomass burning in the tropics. *Journal of Geophysical Research*, 95: 9927-9939.

Li, R. R., Y. J. Kaufman, W. M. Hao, J. M. Salmon y B. C. Gao. 2004: A Technique for Detecting Burn Scars Using MODIS Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42: 1300-1308.

Martín, M. P., R. Díaz Delgado, E. Chuvieco y G. Ventura. 2002: Burned land mapping using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS, IV International Conference on Forest Fire Research. 2002 Wildland Fire Safety Summit, Luso, Coimbra, Portugal, Millpress: 45.

Pereira, J. M. C. 1999: A Comparative Evaluation of NOAA/AVHRR Vegetation Indexes for Burned Surface Detection and Mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37: 217-226.

- Roy, D., P. Frost, C. Justice, T. Landmann, J. Roux, K. Gumbo, S. Makungwa, K. Dunham, R. Du toit, K. Mhwandagara, A. Zacarias, B. Tacheba, O. Dube, J. Pereira, P. Mushove, J. Morisette, S. Santhana y D. Davies. 2005: The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned area product validation protocol. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 4265-4292.
- Roy, D., P. E. Lewis y C. O. Justice. 2002: Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data—a bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote Sensing of Environment*, 83: 263-286.
- Roy, D. P., L. Giglio, J. D. Kendall y C. O. Justice. 1999: Multi-temporal active-fire based burn scar detection algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 1031-1038.
- Stroppiana, D., S. Pinnock, J. M. C. Pereira y J. M. Grégoire. 2002: Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia. *Remote Sensing of Environment*, 82: 21-37.
- Tansey, K., J. Gregorie, E. Binaghi, L. Boschetti, P.A. Brivio, D. Ershov, E. Flasse, R. Frase, D. Graetz, M. Maggi, P. Peduzzi, J. Pereira, J. Silva, A. Suosa y D. Stroppiana. 2004: A Global Inventory of Burned Areas at 1 Km. Resolution for the year 2000 derived from SPOT VEGETATION Data. *Climatic Change*, 67: 345-377.
- Trigg, S. y S. Flasse. 2001: An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22: 2641–2647.