

EVALUACIÓN DE VARIABLES CONTINUAS DERIVADAS DE UNA IMAGEN LANDSAT 5 TM PARA LA DETECCIÓN DE ÁREAS QUEMADAS

J. Carlos BELTRÁN G.^a, Carlos E. PACHECO A.^b, Wenseslao PLATA R.^a,
Sergio A. MONJARDÍN A.^a

^aUniversidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, email:

jose.beltran@info.uas.edu.mx; wenseslao_plata@uas.edu.mx; sa.monjardin12@info.uas.edu.mx

^bUniversidad de los Andes Venezuela, Mérida, Venezuela, email: carlosa@ula.ve

RESUMEN

Para la detección de áreas quemadas se evaluaron 30 variables continuas que incluyeron las bandas originales de una imagen Landsat 5 TM y otras derivadas de estas, como los índices de vegetación y de áreas quemadas, divisiones entre bandas, análisis de componentes principales, tasseled cap y análisis de mezclas espectrales. Con el propósito de determinar cuál de las variables continuas fue la que mejor realizó las áreas quemadas se ejecutó un análisis de sensibilidad que permitió conocer la separabilidad espectral mediante la distancia normalizada. Los resultados mostraron una separabilidad significativa para el índice de área quemada IBAIM, seguida del BAIM, así como la variable obtenida por la división entre las bandas espectrales 7 y 4, con valores de separabilidad espectral de 3.566, 2.944 y 1.225 respectivamente.

Palabras clave: Áreas quemadas, análisis de separabilidad, índices de vegetación, índices de área quemada.

ABSTRACT

An assessment of 30 variables has been performed for burnt area detection, including the original bands of a Landsat 5 TM image, and others derived from these, like vegetation and burnt area indices, band ratios, principal component analysis, tasseled cap and linear spectral unmixing. Was performed a sensitivity analysis with purpose of determining what variable would be better in highlighting burned areas, that allowed to know the spectral separability throughout the normalized distance. The outputs has shown a significance separability for burnt area index IBAIM, followed by BAIM, thus the obtained variable with the band ratio between 7 and 4 spectral bands, with separability values of 3.566, 2.944 and 1.225 respectively.

Keywords: Burnt areas, spectral separability, vegetation index, burnt area index.

1 INTRODUCCIÓN

Los incendios son ocasionados por las actividades antropogénicas y los fenómenos naturales (Roy, *et al.*, 2008; Dubinin, *et al.*, 2010), por ende, los estudios de estos fenómeno son fundamentales porque contribuyen a la comprensión de los procesos físicos que sufre la superficie terrestre (Koutsias & Karteris, 2000). Dentro de estos se puede destacar, el inventario de las superficies afectadas por el fuego, el cual es de gran importancia para determinar los sitios más vulnerables, los mismos que servirán a los

organismos responsables para minimizar su intensidad u ocurrencia (Chuvienco, *et al.*, 2012).

En inventarios de áreas afectadas por el fuego, han sido ampliamente utilizadas las técnicas de percepción remota, así como para la evaluación del riesgo y severidad de ocurrencia de incendios (Brewer, *et al.*, 2005; Chuvienco, *et al.*, 2008; De Santis & Chuvienco Salinero, 2008) y la identificación de focos de calor o incendios activos (Giglio, *et al.*, 2006; Lentile, *et al.*, 2006).

Los trabajos desarrollados sobre el inventario de Áreas Quemadas (AQ) en estudios de *post* incendio, demuestran que principalmente se han venido utilizando imágenes de baja resolución

(MODIS), provocando una sobrestimación o una subestimación de las áreas afectadas por el fuego, permitiendo realizar inventarios óptimos solo para áreas mayores a las 500 ha (Chuvienco, *et al.*, 2004; Opazo Saldivia & Chuvienco Salinero, 2007; Chuvienco, *et al.*, 2008; Opazo & Chuvienco, 2009; Hantson, *et al.*, 2012). También existen estudios en los que se han aplicado imágenes de resolución media para estudios regionales o locales (Heredia Laclaustra, *et al.*, 2003; Bastarrika Izaguirre & Chuvienco Salinero, 2006; Bastarrika, *et al.*, 2011), mostrando buenos resultados en la detección de áreas quemadas.

Se han utilizado principalmente las bandas espectrales del infrarrojo cercano e infrarrojo medio para la generación de índices espectrales y el cálculo de divisiones entre bandas, mientras que para el cálculo de transformaciones por las técnicas de procesamiento digital de imágenes se utilizan todas las bandas originales de las imágenes, a excepción de la banda del infrarrojo térmico. Sin embargo, hasta el momento no existe una estandarización sobre el tipo de variables a utilizar dentro de los algoritmos o métodos implementados en la detección de áreas quemadas.

Actualmente, México cuenta con un gran banco de información sobre la incidencia a lo largo del territorio, a pesar de ello, carece de una metodología que permita el desarrollo actualizado de cartografía de incendios. Por ello, se presenta este trabajo como un inicio del desarrollo metodológico para la generación de un inventario de AQ.

Al no existir hasta el momento un estudio detallado del mayor número de variables continuas posible, que permita realizar una selección óptima de aquella que ofrezca mejores resultados en el proceso de identificación de las AQ a través de las técnicas de procesamiento digital de imágenes, se propone realizar la evaluación de un compuesto de 30 variables, integrada por las bandas espectrales de la imagen, y otras derivadas de ellas, incluyendo índices de vegetación y área quemada, divisiones entre bandas espectrales, el análisis de componentes principales, la transformación tasseled cap y el análisis de mezclas espectrales.

2 DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO

Para llevar a cabo este trabajo, se utilizó la escena 031-044 (*Path-Row*) de la plataforma satelital Landsat 5 TM del año 2011, descargada con un nivel de procesamiento L1 y con una resolución espacial de 30 m., obtenida de forma gratuita a través del enlace de descarga de la USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>; U. S. Geological Survey). La escena utilizada para el estudio, se ubica en la región noroeste de México, particularmente, dentro de la región hidrográfica III, definida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014). Asimismo, se utilizó el conjunto vectorial de Uso de Suelo y Vegetación (USyV) Serie V publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015).

Como temporada de estudio se definió al año 2011, después de realizar un análisis histórico sobre la ocurrencia de incendios durante el periodo 1995-2013, tomando como referencia el Anuario Estadístico y Geográfico por Entidad Federativa proporcionado por INEGI (INEGI, 2010; INEGI, 2014), así como la información disponible de los partes de incendio facilitados por CONAFOR (CONAFOR, 2013). Se observó una alta incidencia en los años de 1999 y de 2011, sin embargo, a la temporada de ocurrencia elegida se presentó una mayor correlación entre el número de incendios y la cantidad de superficie afectada por el fuego.

3 MÉTODOS

Se llevó a cabo primeramente un pre-procesamiento de la imagen por corrección radiométrica, haciendo una conversión de los Niveles Digitales (ND) registrados en los píxeles, a valores físicos de reflectividad, esto con el propósito de efectuar correctamente en las etapas posteriores los cálculos sobre las bandas espectrales.

3.1 GENERACIÓN DE VARIABLES CONTINUAS

Con el propósito de evaluar en los ambientes mexicanos el mayor número de variables continuas utilizadas en estudios de detección de áreas quemadas, se generaron 24 capas sintéticas

mediante el uso de distintas técnicas de procesamiento digital de imágenes.

Las primeras 12 variables se obtuvieron a partir de transformaciones, 3 mediante la técnica LSU (*Linear Spectral Unmixing*), las cuales correspondieron a quemado, vegetación y suelo; 3 por la técnica *Tasseled Cap*, con las bandas *Brightness*, *Greenness* y *Third* y 6 del análisis PCA (*Principal Component Analysis*), incluyendo las seis bandas con cada uno de los componentes principales obtenidos.

Las siguientes 9 variables a través del cálculo de índices espectrales, 5 de los índices de vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), RVI (*Ratio Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*) y EVI2 (*Enhanced Vegetation Index of Two Bands*); y 4 de los índices de área quemada NBR (*Normalized Burnt Ratio*), BAI (*Burnt Area Index*), BAIM (*Burnt Area Index for MODIS*) e IBAIM (*Improved Burnt Area Index for MODIS*).

Las últimas tres variables se generaron a través del cálculo de división entre bandas espectrales, la primera fue la 7/5, la segunda 7/4 y la tercera 4/5.

Una vez generadas las variables continuas se realizó un compuesto con 30 bandas, con las 24 sintéticas y las seis espectrales originales (**Tabla 1**).

3.2 ANÁLISIS DE SEPARABILIDAD ESPECTRAL

Para llevar a cabo la elección de las variables continuas que presenten una mayor capacidad de discriminación de las áreas quemadas, existen algunos métodos estadísticos que permiten realizar mediciones espectrales entre píxeles de distintas categorías temáticas, como la medida de distancia normalizada, la distancia de divergencia transformada y la distancia de Jeffries-Matusita. El resultado de dichas medidas estadísticas aporta información de referencia en la determinación de la pureza de las categorías designadas en la clasificación temática.

Para ello, se utilizó el mapa de Uso de Suelo y Vegetación Serie V de INEGI con una reclasificación primaria de 6 categorías temáticas

(agricultura, asentamiento humano, bosque, cuerpo de agua, herbazal y matorral), con la finalidad de extraer las muestras de las superficies de no quemado, esto se realizó generando un muestreo aleatorio estratificado con 200 puntos por clase y una distancia mínima de 100 m para que no exista correlación entre los puntos, con un total de 1200 puntos de muestras. Para la categoría de no quemado se generó un muestreo aleatorio de 200 puntos sobre una clasificación mixta, realizada a través de una clasificación de contexto espacial supervisada visualmente.

Se realizó una exploración de las variables por medio de los parámetros estadísticos de dispersión, y su normalización mediante una modificación al rango de valores radiométricos para asegurar su homologación al momento de realizar los cálculos de distancias entre distintas variables. El algoritmo utilizado para llevar a cabo el análisis de separabilidad, fue el de la distancia normalizada, propuesto por (Kaufman & Remer, 1994), calculado como:

$$M = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{S_a + S_b}$$

$\bar{x}_a, \bar{x}_b \rightarrow$ Medias de las muestras para las categorías de quemado a y no quemado b .

$S_a, S_b \rightarrow$ Desviación estándar de las muestras para las clases a (quemado) y b (no quemado).

4 RESULTADOS

Se obtuvo la imagen corregida, por la conversión de los ND de los píxeles a valores de reflectividad, con una respuesta espectral y rangos de ND de 0-255 a valores radiométricos con un rango de 0-1.

Del análisis de mezclas espectrales se obtuvieron tres bandas resultantes tomando en cuenta las muestras puras elegidas para su cálculo. En la **Figura 1**, se muestran las variables de quemado (A), vegetación (B) y suelo (C), observando un realce pobre de las áreas quemadas, sin embargo se aprecia un contraste entre la superficie afectada por el fuego y aquella que no ha sido modificada por dicho proceso.

En la **Figura 2**, se muestran las variables con los 6 componentes principales obtenidos por el análisis PCA (A-F), observando un mayor realce de las áreas quemadas sobre la variable del componente 5 (E). De la transformación tasseled cap se obtuvieron las variables de *brightness* (A), *greenness* (B) y *third* (C), observando un aporte poco significativo en el realce de las áreas quemadas (**Figura 3**).

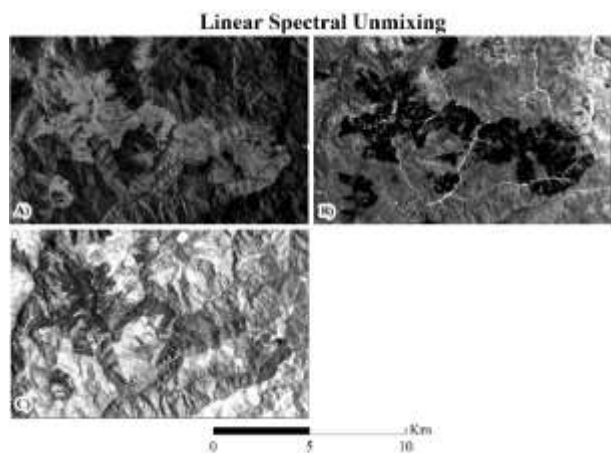


Figura 1. Resultado del análisis LSU de mezclas espectrales, con las bandas de quemado (A), vegetación (B) y suelo (C).

Se observan en la **Figura 4**, las variables resultantes del cálculo de índices de vegetación NDVI (A), RVI (B), SAVI (C), EVI (D) EVI2 (E), apreciando un aporte visual muy poco significativo en el realce de las zonas con incendios. En la **Figura 5**, se muestra las variables resultantes del cálculo de índices de AQ NBR (A), BAI (B), BAIM (C), IBAIM (D), aportando un mayor realce de AQ.

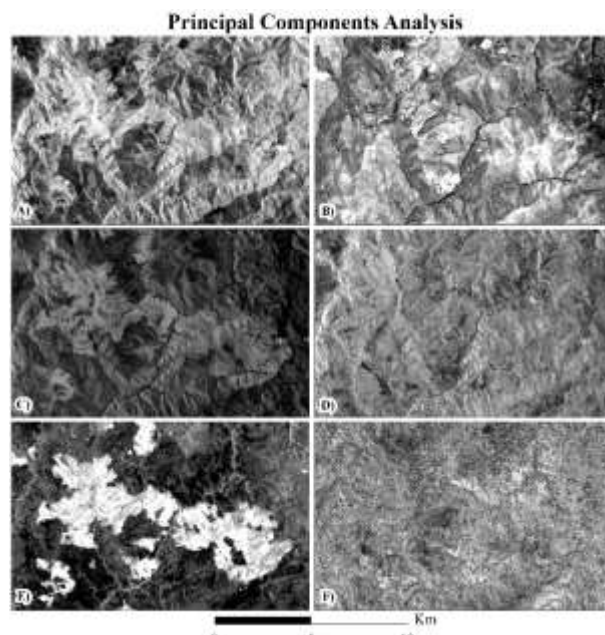


Figura 2. Bandas de los componentes principales resultantes del análisis PCA con 6 componentes (A-F).

En la **Figura 6**, se muestran las variables resultantes del cálculo de divisiones entre bandas 7/5 (A), 7/4 (B) y 4/5 (C), donde se puede observar un aporte significativo para el realce de las áreas quemadas con las bandas 7/5 y 7/4.

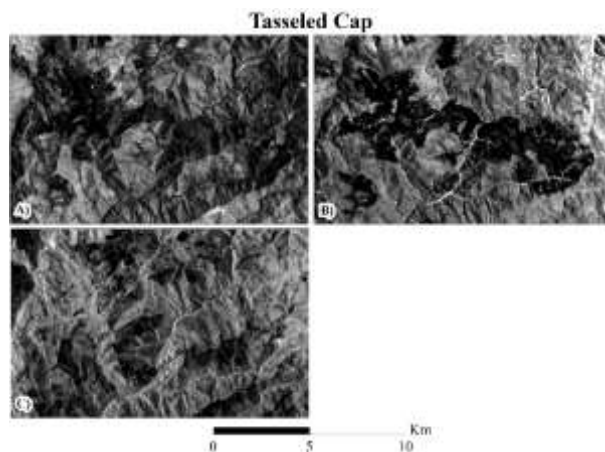


Figura 3. Resultado de la transformación tasseled cap, con las bandas *brightness* (A), *greenness* (B) y *third* (C).

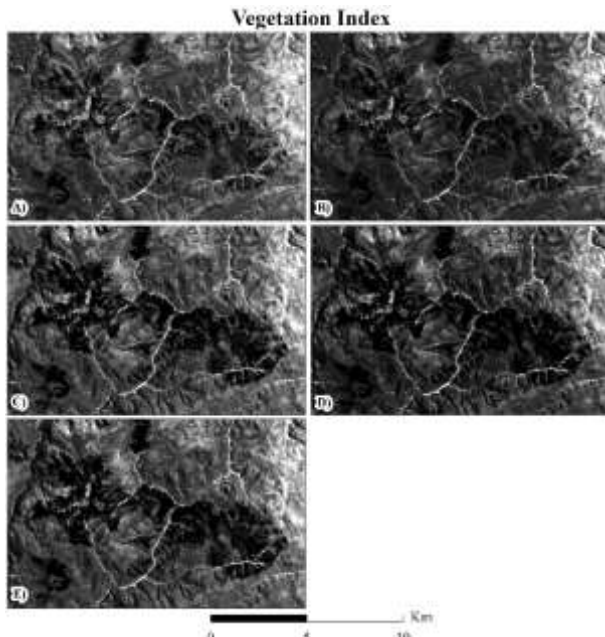


Figura 4. Variables con los índices de vegetación NDVI (A), RVI (B), SAVI (C), EVI (D) EVI2 (E).

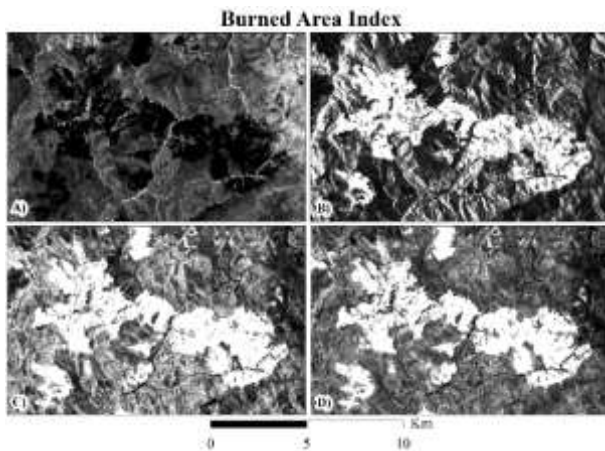


Figura 5. Variables con los índices de área quemada NBR (A), BAI (B), BAIM (C), IBAIM (D).

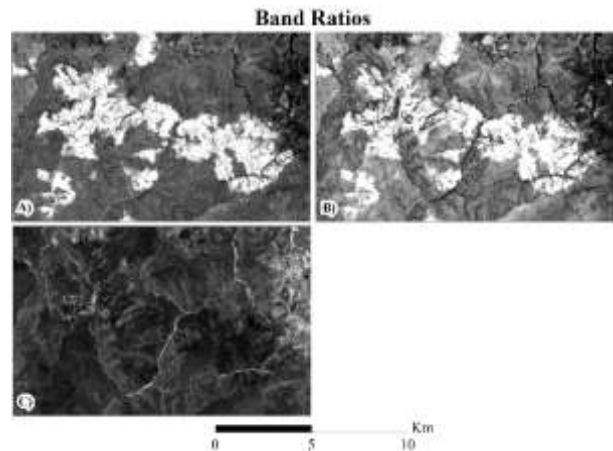


Figura 6. Variables resultantes de la división entre bandas 7/5 (A), 7/4 (B) y 4/5 (C).



Figura 6. Variables con los índices de área quemada NBR (A), BAI (B), BAIM (C), IBAIM (D).

Como resultado del cálculo de la distancia normalizada, se obtuvieron las cantidades de separabilidad espectral de los píxeles de las variables, con respecto a las muestras tomadas del mapa USyV Serie V. De ahí, se se calcularon las medias aritméticas como se muestra en la **Figura 6**, donde se observa que las variables B14, B24, B26 y B27 y B29, con valores de 3.0 y 3.6 respectivamente.

5 CONCLUSIONES

Es necesario destacar, que por los resultados obtenidos del análisis de separabilidad espectral, las variables que sirven de mayor apoyo en el realce de las áreas quemadas son las obtenidas por los índices de área quemada BAIM e IBAIM.

ANEXOS

Tabla 1. Compuesto de 30 bandas con capas espectrales y transformaciones, índices espectrales y divisiones entre bandas.

| Banda | Compuesto | Variable |
|-------|--------------------------------------|-------------|
| B1 | | Blue |
| B2 | | Green |
| B3 | Bandas espectrales "Landsat 5 TM" | Red |
| B4 | | NIR |
| B5 | | SWIR 1 |
| B6 | | SWIR 2 |
| B7 | | Quemado |
| B8 | LSU | Vegetación |
| B9 | | Suelo |
| B10 | | PCA - 1 |
| B11 | | PCA - 2 |
| B12 | | PCA - 3 |
| B13 | PCA | PCA - 4 |
| B14 | | PCA - 5 |
| B15 | | PCA - 6 |
| B16 | | Brightness |
| B17 | Tasseled Cap | Greenness |
| B18 | | Third |
| B19 | | NDVI |
| B20 | Índices de Vegetación | RVI |
| B21 | | SAVI |
| B22 | | EVI |
| B23 | | EVI2 |
| B24 | | NBR |
| B25 | Índices de Área | BAI/IAQ |
| B26 | Quemada | BAIM |
| B27 | | IBAIM |
| B28 | | $br_1: 7/5$ |
| B29 | Band Ratios | $br_2: 7/4$ |
| B30 | | $br_3: 4/5$ |

REFERENCIAS

Bastarrika Izaguirre, A. & Chuvieco Salinero, E., 2006. Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con Imágenes TM y ETM+. *Geofocus*, Issue 6, pp. 182-204.

Bastarrika, A., Chuvieco, E. & Martín, M. P., 2011. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), pp. 1003-1012.

Brewer, C. K. y otros, 2005. Classifying and Mapping Wildfire Severity: A Comparison of Methods.

Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 71(11), pp. 1311-1320.

Chuvieco, E. y otros, 2012. Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*, Volumen 23, pp. 606-619.

Chuvieco, E. y otros, 2008. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), pp. 46-58.

Chuvieco, E. y otros, 2008. Global Burned-Land Estimation in Latin America Using MODIS Composite Data. *Ecological Society of America*, 18(1), pp. 64-79.

Chuvieco, E., Ventura, G., Martín, M. P. & Gómez, I., 2004. Assessment of multispectral compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping. *Remote Sensing of Environment*, 94(4), pp. 450-462.

CONAFOR, 2013. *Reporte Semanal de Resultados de Incendios Forestales*, s.l.: Comisión Nacional Forestal.

CONAGUA, 2014. *Organismo de Cuenca Pacífico Norte*. [En línea] Available at: <http://www.conagua.gob.mx/ocpn/Contenido.aspx?n1=1&n2=0> [Último acceso: 28 Septiembre 2015].

De Santis, A. & Chuvieco Salinero, E., 2008. Análisis Comparativo de Sensores Espaciales para la Cartografía de la Severidad en el Incendio de Riba de Saelices (Guadalajara). *Revista de Teledetección*, Volumen 29, pp. 25-37.

Dubinín, M., Potapov, P., Lushchekina, A. & Radeloff, V. C., 2010. Reconstruction long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing. *Remote Sensing and Environment*, 114(8), pp. 1638-1648.

Giglio, L. y otros, 2006. Global estimation of burned area using MODIS active fire observation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Volumen 6, pp. 957-974.

Hantson, S., Padilla, M., Corti, D. & Chuvieco, E., 2012. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. *Remote Sensing of Environment*, Volumen 131, pp. 152-159.

Heredia Laclaustra, A. y otros, 2003. Comparación de Distintas Técnicas de Análisis Digital para la Cartografía de Áreas Quemadas con Imágenes Landsat ETM+. *Geofocus*, 3(12), pp. 216-234.

- INEGI, 2010. *Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa 2010*, Aguascalientes, Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, 2014. *Anuario Estadístico y Geográfico por Entidad Federativa*, Aguascalientes, Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, 2015. *Recursos Naturales*. [En línea] Available at: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/uso> [Último acceso: 28 Septiembre 2015].
- Kaufman, Y. J. & Remer, L. A., 1994. Detection of Forests Using Mid-IR Reflectance: An Application for Aerosol Studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(3), pp. 672 - 683.
- Koutsias, N. & Karteris, M., 2000. Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image. *International Journal of Remote Sensing*, 21(4), pp. 673-687.
- Lentile, L. B. y otros, 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fires*, Volumen 15, pp. 319-345.
- Opazo Saldivia, S. & Chuvieco Salinero, E., 2007. Utilización de productos MODIS para la cartografía de áreas quemadas. *Revista de Teledetección*, 27(3), pp. 27-43.
- Opazo, S. & Chuvieco, E., 2009. Cartografía de áreas quemadas en Sudamérica: detección de píxeles semilla. *Revista de Teledetección*, 32(5), pp. 50-71.
- Roy, D. P., Boschetti, L., Justice, C. O. & 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(9), pp. 3690-3707.