

Evaluación de un algoritmo para detección de áreas quemadas en bosques de Canarias

José R. García-Lázaro⁽¹⁾, José A. Moreno-Ruiz⁽¹⁾, Manuel Arbelo⁽²⁾ y Isabel M. del Águila Cano⁽¹⁾

⁽¹⁾ Grupo de Tratamiento de Imágenes, Departamento de Informática, Universidad de Almería, 04120-La Cañada de San Urbano, Almería, España. Emails: jrgarcia@ual.es, jaruiz@ual.es, imaguila@ual.es

⁽²⁾ Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera, Departamento de Física, Universidad de La Laguna, 38200-La Laguna, España. Email: marbelo@ull.es

Resumen: Se aplicó un clasificador bayesiano, inicialmente desarrollado y validado con éxito para la detección de áreas quemadas en regiones de bosque boreal usando el conjunto de datos LTDR (Long-Term Data Record) de 0,05° (~ 5 km) de resolución espacial, a una serie temporal de imágenes diarias Terra-MODIS de zonas forestales de Monteverde y Pinar de las Islas Canarias para el periodo 2002-2012. A partir de los dos productos MODIS, MOD09GQ (250 m) y MOD11A1 (1 km), que representan las imágenes diarias de reflectancia y temperatura de superficie respectivamente, se construyeron compuestos de 10 días mediante el criterio de máxima temperatura. Las variables estadísticas utilizadas en el clasificador bayesiano fueron los índices de vegetación GEMI y BBFI, junto con la banda espectral NIR, todos ellos relativos al año anterior y al año de ocurrencia del incendio. Se crearon polígonos de referencia de los 14 incendios mayores de 100 hectáreas identificados en el periodo analizado, utilizando conjuntamente imágenes LANDSAT post-fuego e información oficial de la base de datos nacional de incendios forestales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). El algoritmo de detección se entrenó usando un incendio producido en el sur de Tenerife en julio de 2012 que afectó a más de 6000 ha. Los resultados muestran que 13 de los 14 incendios registrados en ese periodo en el conjunto de las Islas Canarias, fueron detectados. El área total quemada detectada supone un 64,9% de los datos de referencia del MAGRAMA y un 78,6% según los datos obtenidos a partir de las imágenes LANDSAT. La aplicación de la metodología propuesta podría mejorar estos resultados considerando otros criterios de composición, índices de vegetación, variables estadísticas y/o región de entrenamiento, que mejor caractericen la respuesta espectral de la dinámica de la cobertura forestal de las Islas Canarias afectada por el fuego.

Palabras clave: MODIS, área quemada, clasificador bayesiano

Evaluation of an algorithm to detect burned areas in the Canary Islands

Abstract: A Bayesian classifier was applied to a time series of Terra-MODIS daily images of Monteverde and Pinar forest areas of the Canary Islands for the period 2002-2012. This classifier had initially been developed and successfully validated for the detection of burned areas in the boreal forest regions using the data set LTDR (Long-Term Data Record) with 0.05° (~ 5 km) of spatial resolution. From the two MODIS products, MOD09GQ (250 m) and MOD11A1 (1 km), which represent the daily images of surface reflectance and temperature respectively, 10-day composites were built up using the criterion of maximum temperature. The statistical variables used in the Bayesian classifier were the vegetation indices GEMI and BBFI, along with NIR spectral band, all relating to the previous year and the year of occurrence of the fire. The reference polygons of the 14 fires greater than 100 hectares identified in the analyzed period were created using post-fire LANDSAT imagery together with the official information from the national database of wildfires of the Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment (MAGRAMA). The detection algorithm was trained using a fire in the south of Tenerife in July 2012 that affected more than 6000 ha. The results show that 13 of the 14 fires in that period in the whole of the Canary Islands were detected. The detected total burned area was 64.9% of the MAGRAMA reference data and 78.6% according to data obtained from the LANDSAT images. Application of the proposed methodology could improve these results by considering other criteria of composition, vegetation indices, statistical variables and/or training region, which best characterize the spectral response of the dynamics of forest cover in the Canary Islands affected by fire.

Keywords: MODIS, burned area, Bayesian classifier

1. INTRODUCCIÓN

Las imágenes obtenidas de sensores a bordo de satélites constituyen una fuente valiosa de información para el estudio de variables ambientales tanto a escala global como a escala local (Riaño et al., 2007; García et al., 2013). El gran volumen de datos generado hace necesario la utilización de complejos sistemas informáticos para su procesamiento.

Moreno et al. (2014) desarrollaron una metodología para la detección de áreas quemadas en series temporales de

imágenes diarias del conjunto Long-Term Data Record (LTDR) con una resolución espacial de 0,05° (~ 5 km). Esta herramienta fue aplicada con éxito en regiones de bosque boreal de Norte América para los periodos 1982-1998 (Moreno et al., 2012), 2001-2010 (Moreno et al., 2014) y para el año 2000 (Núñez et al., 2013).

El objetivo de este trabajo consistió en la evaluación de dicha metodología al aplicarla a un ecosistema diferente (bosque canario) y utilizando imágenes MODIS con una mejor resolución espacial (< 1 km).

2. ZONA Y PERIODO DE ESTUDIO

La zona de estudio fueron las islas con cobertura forestal del archipiélago canario, esto es, Tenerife, La Palma, Gran Canaria, La Gomera y El Hierro. Y el periodo analizado entre 2002 y 2012. En esos once años se registraron 14 grandes incendios con más de 100 hectáreas de área quemada cada uno (Tabla 1). Los fuegos afectaron principalmente a zonas forestales de Monteverde (Laurisilva y Fayal-Brezal) y Pinar canario.

Tabla 1. Incendios registrados en el periodo 2002-2012 en las Islas Canarias: (Id.) código de identificación, fecha de detección, días transcurridos hasta su extinción, coordenadas geográficas (latitud y longitud) y superficie quemada según Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Id.	Fecha de detección	Días	Lat.	Lon.	Superf. (ha)
3	07/08/03	3	27,7	-18,0	357
5_1	21/07/05	3	28,0	-15,6	130
5_2	06/09/05	8	28,8	-17,9	1890
6	10/09/06	12	27,7	-18,0	1467
7_1	27/07/07	29	27,9	-15,7	18673
7_2	27/07/07	5	28,1	-17,2	119
7_3	30/07/07	17	28,4	-16,6	16821
8	26/04/08	69	28,1	-17,3	376
9	31/07/09	50	28,5	-17,8	3464
12_1	15/07/12	106	28,1	-16,7	6512
12_2	16/07/12	53	28,6	-17,9	752
12_3	04/08/12	86	28,1	-17,2	2677
12_4	04/08/12	10	28,6	-17,8	2028
12_5	10/08/12	82	28,3	-16,8	306

3. DATOS Y MÉTODOS

Se utilizaron los productos de imágenes diarias del sensor MODIS, MOD09GQ y MOD11A1, que representan las imágenes diarias de reflectancia y temperatura de superficie respectivamente. Los archivos originales, en formato Hierarchical Data Format (HDF), se descargaron de NASA. De estos archivos se extrajeron las reflectancias a nivel de superficie de las bandas R1 (RED) y R2 (NIR) con una resolución espacial de 250 m y las temperaturas superficiales (TIR) con una resolución espacial de 1 km. Esta información se usó para la

construcción de los archivos diarios en formato geoTiff con una estructura de bandas similar a la de los archivos del conjunto LTDR (Tabla 1). La proyección sinusoidal de los datos originales se transformó a proyección geográfica con re-muestreo por el vecino más próximo, un tamaño de píxel de salida de 0,0025° (250 m) y datum WGS-84. Las bandas de cada día se combinaron con las bandas de bits de calidad para obtener una banda del bit de calidad de acuerdo a LTDR. Los datos de relleno (datos perdidos) de cada banda se sustituyeron por el valor -9999. Se aplicaron factores de escala a cada una de ellas obteniendo finalmente los archivos diarios en formato secuencial (BSQ) de enteros con signo de 16 bits. Finalmente se generaron las imágenes compuestas de 10 días con el criterio del máximo de la temperatura de superficie.

Tabla 2. Bandas de los archivos diarios MODIS usadas para la construcción del conjunto diario de imágenes en formato compatible con el conjunto LTDR.

Archivo .HDF	Banda	
MOD09GQ	QC_250m_1	250 m Bit de calidad
	sur_refl_b01_1	250 m Banda 1 RED (620-670 nm) ~Banda 1-LTDR
	sur_refl_b02_1	250 m Banda 2 NIR (841-876 nm) ~Banda 2-LTDR
	QC_500m_1	500 m Bit de calidad
MOD11A1	LST_Day_1km	1000 m Temperatura de superficie ~Banda T3/3B-LTDR
	QC_250m_1	250 m Bit de calidad

3.1. Algoritmo bayesiano

La metodología desarrollada por Moreno et al. (2014), basada en un algoritmo bayesiano, se adaptó y aplicó a la zona de estudio para obtener mapas anuales de áreas quemadas y la distribución anual. Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debido a las características climáticas se usaron todas las imágenes compuestas de cada año.
- Las variables estadísticas utilizadas fueron los índices de vegetación GEMI (Global Environmental Monitoring Index) (Pinty et al., 1992) y BBFI (Burn Boreal Forest Index) (Moreno et al., 2012), junto con la banda espectral NIR. Todos ellos relativos al año anterior y al año de ocurrencia del incendio.
- El algoritmo se entrenó con un incendio de 6512 ha que ocurrió al sur de la isla de Tenerife en el año 2012.

3.2. Evaluación de la exactitud

Para el cálculo de la exactitud de los mapas de áreas quemadas, y debido a la irregular distribución temporal de los fuegos, se realizó un análisis exhaustivo fuego a fuego, calculándose los porcentajes de área quemada

detectada así como las principales métricas derivadas de la matriz de error (errores de omisión y de comisión) (Stehman 1997) con respecto a dos conjuntos de datos de referencia:

- Base de datos nacional de incendios forestales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) (Tabla 1).
- Los perímetros aproximados creados a partir de las escenas LANDSAT post-fuego inmediatamente disponibles (Tabla 3) mediante inspección visual de la combinación de bandas 7/4/2.

Tabla 3. Escenas LANDSAT usadas: código de identificación del fuego, fecha de detección y datos de la escena (path, row y fecha de la escena).

Id.	Fecha de detección	Escena LANDSAT		
		Path	Row	Fecha
3	07/08/03	208	41	11/03/04
5_1	21/07/05	206	41	22/05/06
5_2	06/09/05	208	40	13/02/06
6	10/09/06	208	41	12/03/07
7_1	27/07/07	206	41	21/08/07
7_2	27/07/07	207	41	23/10/07
7_3	30/07/07	207	40	28/08/07
8	26/04/08	207	41	29/01/09
9	31/07/09	208	40	16/08/09
12_1	15/07/12	207	40	05/11/12
12_2	16/07/12	208	40	19/08/13
12_3	04/08/12	207	41	02/09/12
12_4	04/08/12	208	40	19/08/13
12_5	10/08/12	207	40	05/11/12

4. RESULTADOS

Los resultados se presentan a tres niveles: mapas de áreas, distribución temporal de áreas quemadas y exactitud de los resultados.

4.1. Mapas anuales

El algoritmo bayesiano genera los mapas anuales con las probabilidades de que cada píxel esté quemado. Se consideró cada píxel como quemado si el valor de la probabilidad es mayor que cero. En la Figura 1 se representaron diferentes sub-escenas de dichos mapas con las cuatro mayores áreas quemadas registradas en el periodo de estudio.

4.2. Distribución anual

La Figura 2 muestra la distribución anual de área quemada en las Islas Canarias para el período 2002-2012 detectada por el algoritmo bayesiano aplicado a las imágenes MODIS, así como la registrada por los datos del MAGRAMA y la identificada en las escenas LANDSAT. La distribución de área quemada anual es bastante irregular, detectándose un pico muy elevado en

el año 2007 y otro en el año 2012, así como varios años en los que no hay o apenas se registraron áreas quemadas.

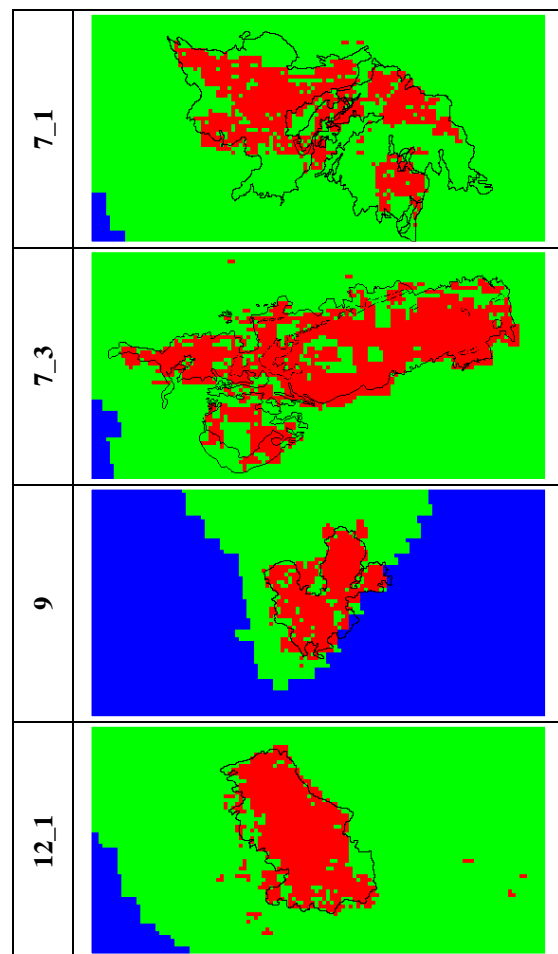


Figura 1. Sub-escenas (120 x 60 píxeles) de los mapas anuales de áreas quemadas. El código de identificación corresponde al del incendio (Tabla 1). Interpretación de colores: en rojo, quemado, en verde, no quemado, en azul el mar y en negro el perímetro del área quemada detectado en la escena LANDSAT (Tabla 3).

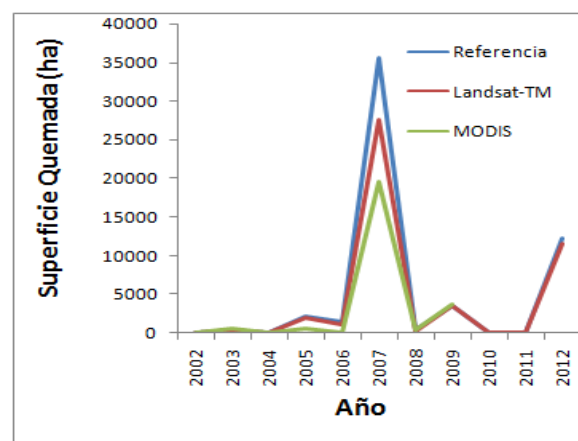


Figura 2. Distribución anual de área quemada.

4.3. Análisis de la exactitud

La Tabla 4 presenta un análisis por incendio de la exactitud del algoritmo. Se presenta el porcentaje de área quemada detectada con respecto a los datos de referencia (MAGRAMA) así como con respecto a las áreas de los polígonos de referencia derivados de imágenes LANDSAT de mayor resolución espacial, junto con los errores de comisión y de omisión. El área total quemada detectada supone un 64,9% de los datos de referencia del MAGRAMA y un 78,6% según los datos obtenidos a partir de las imágenes LANDSAT. El algoritmo aplicado detectó 13 de los 14 incendios registrados. En siete incendios el porcentaje de área detectada es superior al 90% de los datos de referencia. El algoritmo no detectó el incendio del año 2006 y sólo detectó aproximadamente un 40% del área quemada del mayor de todos los incendios.

Tabla 4. Análisis del algoritmo por incendio: código de identificación, superficie quemada y porcentaje detectado relativo a los datos de referencia e imágenes LANDSAT (LS) y errores de comisión y de omisión respecto de LANDSAT.

Id.	Refer. (ha)	LANDSAT (ha)	MODIS			
			%Ref	% LS	Com	Omis
3	357	360	138,6	137,6	0,36	0,13
5_1	130	111	20,8	24,5	0,75	0,94
5_2	1890	1736	30,5	33,2	0,26	0,75
6	1467	984	0,0	0,0	0,00	1,00
7_1	18673	14707	40,3	51,2	0,11	0,53
7_2	119	127	91,4	85,2	0,44	0,53
7_3	16821	12731	70,5	93,1	0,10	0,23
8	376	154	70,4	171,9	0,57	0,88
9	3464	3467	105,9	105,8	0,24	0,19
12_1	6512	6646	93,4	91,5	0,14	0,19
12_2	752	631	107,3	127,9	0,70	0,6
12_3	2677	2397	89,7	100,1	0,32	0,31
12_4	2028	1581	96,3	123,5	0,35	0,20
12_5	306	224	97,4	133,2	0,68	0,48
Total	54107	45854	64,9	78,6	0,18	0,38

5. CONCLUSIÓN

Se adaptó y aplicó una metodología para detección de áreas quemadas desarrollada para bosques boreales en bosques de las Islas Canarias usando imágenes diarias MODIS.

Se obtuvieron los mapas anuales de las áreas quemadas para el periodo 2002-2012. La distribución anual de áreas quemadas en dicho periodo sigue el mismo patrón que los datos de referencia oficiales (MAGRAMA) pero detectando sólo un 64,9% del área oficial quemada y un 78,6% según los datos obtenidos a partir de imágenes LANDSAT de mayor resolución espacial. El algoritmo

detectó 13 de los 14 incendios registrados, en muchos casos con exactitudes superiores al 90%.

Se continúa analizando otros criterios de composición, índices de vegetación, variables estadísticas y regiones de entrenamiento para caracterizar adecuadamente la respuesta espectral de la dinámica de la cobertura forestal de la región de estudio y mejorar los resultados obtenidos.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España a través del proyecto CGL2013-48202-C2. Las imágenes MODIS y LANDSAT empleadas en este trabajo fueron suministradas por las Agencias y Servicios de procesamiento de datos de satélite de NASA y NOAA.

7. BIBLIOGRAFÍA

- García Lázaro, J. R., et al 2013. *Effect of spatial resolution on the accuracy of satellite based fire scar detection in the north-west of the Iberian Peninsula*. International Journal of Remote Sensing, 34: 4736-4753.
- Moreno-Ruiz, J. A., et al 2014. *Desarrollo de una metodología para la detección de cambios de la cubierta vegetal en series temporales de imágenes de satélite diarias. Aplicación a la detección de áreas quemadas*. Revista de teledetección, 42:11-28.
- Moreno Ruiz, J. A., et al 2013. *Burned area mapping in the North American boreal forest using terra-MODIS LTDR (2001-2011): A comparison with the MCD45A1, MCD64A1 and BA GEOLAND-2 products*. Remote Sensing, 6:1; 815-840.
- Moreno Ruiz, J. A., et al 2012. *Burned area mapping time series in Canada (1984-1999) from NOAA-AVHRR LTDR: A comparison with other remote sensing products and fire perimeters*. Remote Sensing of Environment, 117:0; 407-414.
- Núñez-Casillas, L., et al 2013. *A Comparative Analysis of Burned Area Datasets in Canadian Boreal Forest in 2000*. The Scientific World Journal, 13.
- Pinty, B., Verstraete, M.M. 1992. *GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites*. Vegetatio, 101:1; 15-20.
- Riaño, D., Moreno Ruiz, J.A., Isidoro, D., Ustin, S.L. 2007. *Global spatial patterns and temporal trends of burned area between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder*. Global Change Biology, 13:1; 40-50.
- Stehman, S.V. 1997. *Estimating standard errors of accuracy assessment statistics under cluster sampling*. Remote Sensing of Environment, 60:3; 258-269.