

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE INDICADORES DE LA SEQUÍA DEDUCIDOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y LA INCIDENCIA DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN ESPAÑA

A. VÁZQUEZ ⁽¹⁾; F. GONZÁLEZ-ALONSO ⁽¹⁾; J.M. CUEVAS ⁽¹⁾;
A. CALLE ⁽²⁾; J.L. CASANOVA ⁽²⁾

(1) Laboratorio de Teledetección, CIFOR-INIA, Cta. A Coruña km 7, 28040 Madrid, España, vazquez@inia.es
(2) LATUV, Universidad de Valladolid, Prado de la Magdalena s/n, 47071 Valladolid, España

RESUMEN

En esta comunicación se combinan distintos datos procedentes del sensor AVHRR con la finalidad de evaluar las relaciones entre las anomalías en el NDVI en España peninsular y Baleares en los cuatro meses del verano de 2000 y los focos activos de incendio detectados en el mismo periodo. El análisis se ha realizado por medio de las proporciones relativas de píxeles afectados por el fuego en las distintas clases de anomalía establecidas. Nuestra hipótesis inicial es que los incendios se registraron preferentemente en zonas con anomalía negativa, esto es con valores del NDVI inferiores a la media del periodo de referencia. Los resultados obtenidos confirman en gran medida la hipótesis planteada.

P.C.: NDVI, detección de incendios, AVHRR

SUMMARY

In this communication we combine data from the AVHRR sensor in order to evaluate the relationships between the anomalies in the NDVI in peninsular Spain and Baleares during the four summer month of the year 2000 and the active "hot spots" detected in the same period. The analysis was performed using the relative proportions of pixels affected and no affected by fire in the several anomaly classes. Our starting hypothesis is that forest fires are registered in higher proportions in the negative anomaly classes, that is, with NDVI values lower than the normal in the reference period. The results obtained supported the hypothesis.

K.W.: NDVI, fire detection, AVHRR

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son una perturbación de carácter recurrente que condiciona, en ocasiones de manera determinante, la vegetación de numerosas regiones (Moreno *et al.*, 1998). La incidencia de los incendios forestales sobre un territorio concreto depende de numerosos factores. El vigor de la vegetación y el estado hídrico de los combustibles pueden determinar la probabilidad de ignición y condicionar la propagación del fuego (Burgan *et al.*, 1998). El estado de la vegetación puede ser evaluado, al menos en términos relativos, por medio de las desviaciones en el valor del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) en un periodo concreto con respecto al valor medio en un periodo de referencia, lo que denominamos anomalías en el NDVI (López-Soria *et al.*, 1991; González-Alonso *et al.*, 1998). El NDVI es el índice de vegetación más comúnmente empleado y se define como la diferencia entre la reflectancia en el infrarrojo cercano y la reflectancia en el rojo. Está muy relacionado con diversos parámetros descriptores de la cubierta vegetal y se le considera como un buen indicador del grado de desarrollo y vigor de la vegetación.

Por otra parte, desde hace unos años hay iniciativas internacionales como la World Fire Web (WFW) que proporcionan la localización diaria de los focos de calor, generalmente incendios forestales activos, a nivel global a partir de la información suministrada por las bandas del infrarrojo y del visible del sensor AVHRR (Stroppiana *et al.*, 2000).

El objetivo de esta comunicación es combinar estas dos fuentes de información y evaluar las relaciones entre las anomalías en el NDVI en España peninsular y Baleares en los cuatro meses del verano de 2000 y los focos activos detectados en el mismo periodo. Este análisis se ha llevado a cabo por medio de las proporciones relativas de píxeles afectados por el fuego en las distintas clases de anomalía establecidas. Las anomalías en el verano de 2000 se han calculado a partir de dos fuentes de datos y para dos periodos de referencia distintos: (1) periodo 1995-98 en los meses de junio a septiembre, y en los cuatro meses por separado, y (2) periodo 1993-99 desde la tercera decena de mayo a la tercera de septiembre. La hipótesis inicial es que los incendios se registraron preferentemente en zonas con anomalía negativa, esto es con valores del NDVI inferiores a la media del periodo de referencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio ha sido España peninsular y Baleares. La superficie forestal se ha obtenido por medio del remuestreo a 1 km de los datos del proyecto CORINE Land Cover (NATLAN, 2000) con una resolución inicial de 250 metros. De las 49 categorías presentes en dichos datos, se han eliminado las consideradas como no forestales. Los píxeles con cursos de agua o embalses se han excluido también a partir de los ficheros vectoriales correspondientes a la hidrología 1:1.000.000 proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional y rasterizados a píxeles de 1 km. La superficie considerada finalmente ha estado próxima a los 24 millones de hectáreas.

La WFW es un sistema para localizar globalmente los incendios de vegetación desarrollado por el Space Applications Institute (SAI) del Joint Research Center. Las imágenes del satélite NOAA-AVHRR son adquiridas por una red de estaciones receptoras que procesan los datos en cadena para detectar los incendios registrados diariamente y proporcionar en cada nodo las coordenadas de los incendios detectados. Esta detección se realiza a partir de los cinco canales visibles e infrarrojos y se basa en algoritmos contextuales (Flasse & Ceccato, 1996). En este trabajo se han empleado los datos diarios disponibles en el nodo de Maspalomas. Hay que tener en cuenta que el WFW se encuentra actualmente en desarrollo y que algunos de los focos detectados pueden no corresponder a incendios reales (Dwyer *et al.*, 2000). Los datos diarios de los focos activos situados sobre de una ventana geográfica circundante a España se han agrupado en cuatro ficheros mensuales correspondientes a los meses de

junio, julio, agosto y septiembre de 2000. Las coordenadas geográficas se han convertido al sistema de proyección UTM zona 30 y Datum Europeo 1950. Estas localizaciones se han rasterizado sobre imágenes con un tamaño de pixel de 1 km. El procedimiento empleado en la rasterización recodifica como afectado por el fuego cada pixel con uno o más focos detectados.

Las anomalías en el NDVI para el periodo 1995-98 están basadas en datos NOAA-AVHRR elaboradas por el Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DLR) y recuperadas gracias al sistema ISIS (Intelligent Satellite Data Information System). Las imágenes empleadas corresponden a compuestos mensuales de los valores máximos diarios del NDVI para los meses de junio a septiembre de 1995-98 y 2000. Una de las imágenes mensuales se corrigió geoméricamente por medio de 39 puntos de control (con un RMSE de 0,89) y remuestreo del vecino más próximo mientras que las restantes imágenes se han corregido a ésta. A partir de éstas imágenes mensuales del NDVI se han calculado las anomalías para el periodo junio a septiembre de 2000, y para cada mes individualmente, tomando como periodo de referencia los mismos meses de los años 1995-98. El cálculo consiste en efectuar un ratio para cada pixel, una vez excluidos los pixeles con nubes, entre el periodo de interés y el periodo de referencia.

Las anomalías en el NDVI para el periodo 1993-99 están deducidos de las imágenes NOAA-AVHRR de alta resolución, captadas por el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (LATUV). Los datos de partida corresponden a los valores del NDVI máximos en periodos decenales. La metodología empleada en la obtención de las anomalías en el NDVI ha sido recogida en distintas publicaciones (e.g. González-Alonso *et al.*, 1998). Básicamente consiste en realizar un ratio entre el valor del NDVI en el periodo de interés frente a un periodo de referencia. En este análisis el periodo de interés ha sido de la tercera decena de mayo a la tercera decena de septiembre de 2000 y el periodo de referencia 1993-99, más amplio que el considerado previamente a partir de los datos del DLR.

Los ratios obtenidos de los dos conjuntos de datos (DLR y LATUV) se reclasificaron en cinco intervalos de anomalía. La clase "Normal" agrupa a pixeles con una variación máxima de un $\pm 2.5\%$ entre el valor del NDVI en el periodo de interés y la media en el periodo de referencia. Las anomalías negativas se han agrupado en "Muy mal" ($< 82,5\%$) y "Mal" ($\geq 82,5\%$ y $< 97,5\%$). Las anomalías positivas se han agrupado en las clases "Muy bien" ($\geq 117,5\%$) y "Bien" ($\geq 102,5\%$ y $< 117,5\%$). Estas clases de anomalía se cruzaron con las máscaras correspondientes a superficie forestal y cursos de agua definidas previamente, y posteriormente se cruzaron con las capas temáticas derivadas de los focos de incendios registrados a partir de WFW.

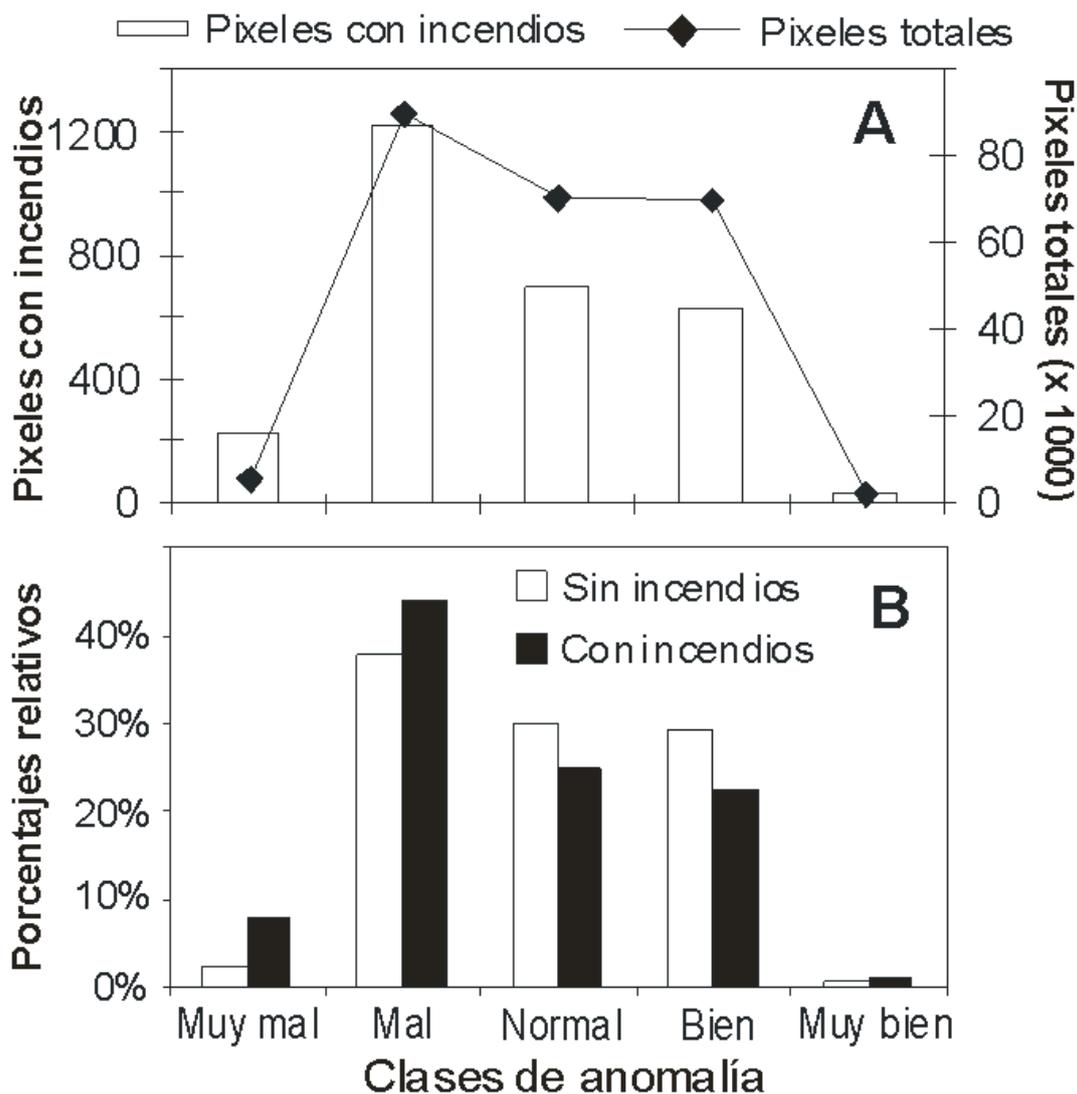


Figura 1. Anomalías en el NDVI del verano 2000 vs 1995-98 (datos del DLR) frente a pixeles afectados por incendios. (A) Número de pixeles con incendios y pixeles totales por clases de anomalía y (B) Proporciones relativas de pixeles con incendios y sin incendios por clase de anomalía. En esta figura cada una de las dos categorías suma 100.

RESULTADOS

Anomalías NDVI verano 2000 vs 1995-98

Considerando el periodo de referencia 1995-98 para los cuatro meses de junio a septiembre, la mayor parte de los pixeles situados dentro del área de interés (superficie forestal una vez excluidos los cursos de agua) se encuentran con valores del NDVI inferiores al promedio (Figura 1A). En esta figura se muestra, en valores absolutos, la distribución de los pixeles en los que se ha registrado algún incendio (columnas) y el total de pixeles presentes en cada clase (líneas). La Figura 2B muestra que, en términos relativos, los pixeles afectados por el fuego han sido más numerosos que los no afectados en las clases calificadas como “Mal” y “Muy Mal” y al contrario en las demás clases. Si analizamos la incidencia de los incendios en función del número de meses en el que se hallan detectado incendios sobre el mismo pixel (no mostrado), se aprecia como los pixeles con incendios en más de un mes se han situado preferentemente en zonas con anomalías negativas.

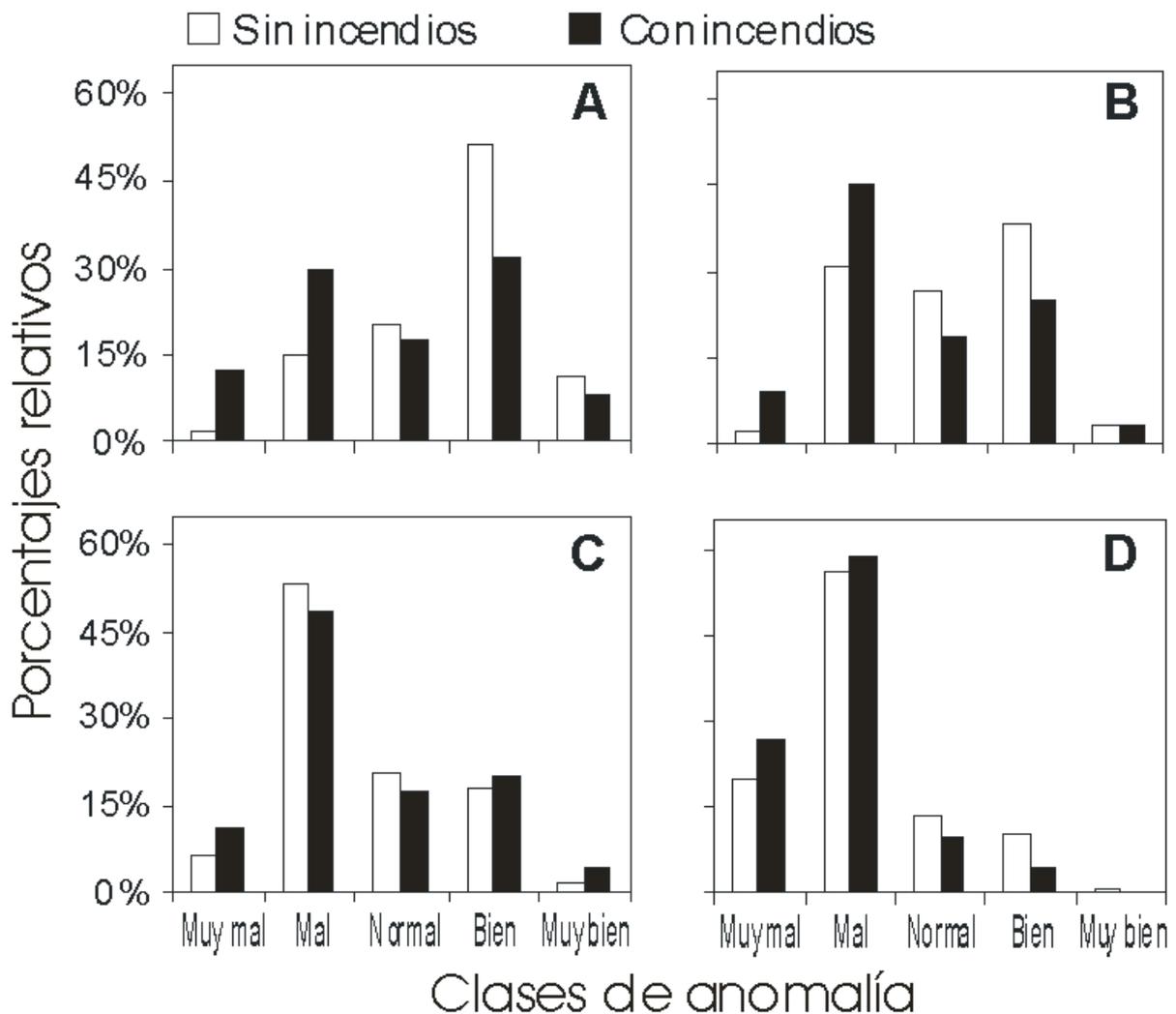


Figura 2. Proporciones relativas de pixeles con incendios y sin incendios en función de las clases de anomalía definidas tomando como referencia el periodo 1995-98 para los cuatro meses del verano de 2000: (A) junio; (B) julio; (C) agosto y (D) septiembre. En cada figura los porcentajes de cada categoría suman 100.

La evolución de las anomalías a lo largo del verano, de junio a septiembre, muestra un incremento de la superficie con desviaciones negativas, es decir, con valores inferiores a la media del periodo de referencia, pasando de un 15% de pixeles en esta situación en junio a casi un 76% en septiembre (no mostrado). Los cuatro gráficos de la Figura 2 muestran la comparación, en términos relativos, entre los pixeles que han registrado incendios y los que no en función de las clases de anomalías. Para junio y julio (Figura 2A y 2B) se mantiene el patrón mostrado durante el periodo completo. Esto es, la proporción de pixeles con incendios es bastante mayor que la de pixeles sin incendios en las clases de anomalía negativa (“Muy mal” y “Mal”). En el mes de agosto (Figura 2C) la proporción es mayor en la clase “Muy mal” pero también en los pixeles que estaban en la clase “Bien” y “Muy Bien”. Durante el mes de septiembre (Figura 2D) se vuelve a recuperar el patrón esperado y la proporción de pixeles con incendios es mayor, aunque sólo ligeramente, en las clases “Muy Mal” y “Mal”, y al contrario en las demás.

Anomalía NDVI verano 2000 vs 1993-99

El intervalo considerado en las anomalías, desde la tercera decena de mayo a la tercera de septiembre, es casi idéntico al empleado anteriormente, aunque al ampliar el periodo de referencia a los años 1993-99 las clases derivadas de las anomalías presentan una distribución totalmente distinta (Figura 3A) a las presentada previamente para el periodo 1995-98. A partir de estos datos se aprecia como, durante este periodo, la mayor parte de la superficie forestal presentaba valores del NDVI mayores a los medios del periodo de referencia. Al analizar la incidencia del fuego en relación a las clases de anomalía, el patrón obtenido (Figura 3B) muestra como la proporción de píxeles con algún incendio ha sido mayor en la clase de anomalía "Mal" pero también en la calificada como "Normal" al contrario de lo que ocurría en el análisis para el periodo 1995-98. De manera adicional, se han efectuado test de independencia (χ^2) entre las dos variables (clases de anomalía e incendios) para los dos conjuntos de datos (DLR y LATUV). Los resultados obtenidos permiten (con $P \leq 0,05$) decir que estas dos variables no son estadísticamente independientes.

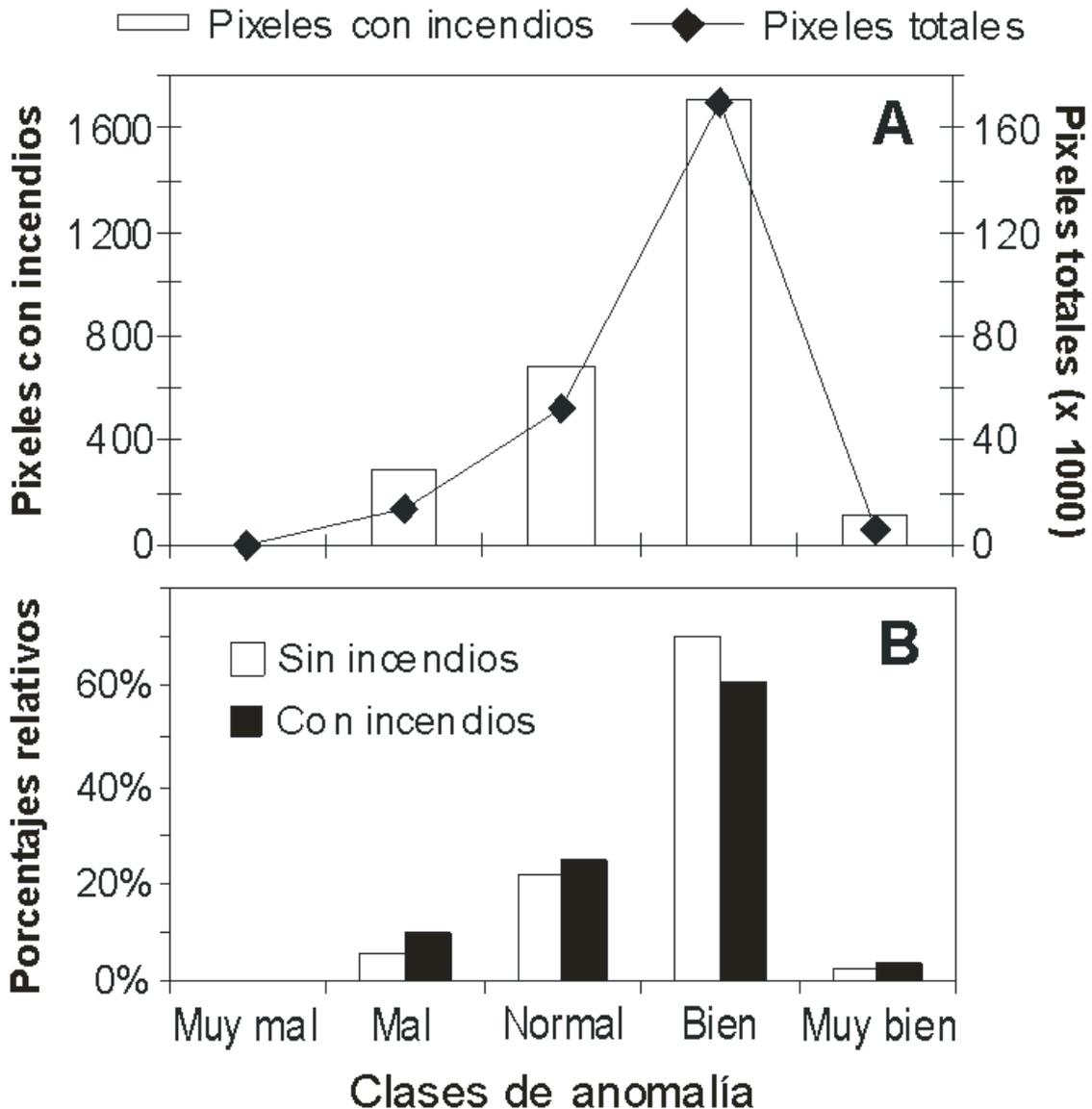


Figura 3. Anomalías en el NDVI del verano 2000 vs 1993-99 (datos del LATUV) frente a píxeles afectados por incendios. (A) Número de píxeles con incendios y píxeles totales por clases de anomalía y (B) Proporciones relativas de píxeles con incendios y sin incendios por clase de anomalía. En esta figura cada una de las dos categorías suma 100.

DISCUSIÓN

Nuestra hipótesis inicial es que los incendios se registraron preferentemente en zonas con anomalía negativa, esto es con valores del NDVI inferiores a la media del periodo de referencia. Los resultados obtenidos confirman en gran medida la hipótesis planteada, de manera que la proporción relativa de píxeles afectados por el fuego frente a los no afectados es mayor en las clases de anomalía negativa. No obstante, los resultados obtenidos para los dos análisis efectuados, considerando distintos

periodos de referencia, muestran la dependencia que tiene el cálculo de las anomalías de los periodos de referencia considerados. Al excluir del primer análisis años muy secos como 1994 la situación de referencia resulta distinta.

Por otra parte, hay diversas limitaciones en la detección de incendios empleando únicamente el sensor AVHRR (Dwyer *et al.*, 2000). Las imágenes AVHRR representan una visión instantánea del número total de incendios que están activos en un periodo dado de 24 horas. Los incendios detectados pueden estar sobrestimados o infraestimados debido a la confusión con superficies calientes y reflejos de superficies tales como agua y nubes. En los análisis efectuados se han intentado limitar en lo posible estos errores empleando únicamente superficies forestales y eliminando los píxeles con cursos o láminas de agua. En cualquier caso, y a pesar de las limitaciones expuestas, la validación realizada en estos análisis corrobora la importancia que las anomalías en el NDVI tienen en la distribución espacial de los incendios y su gran valor como herramienta en la lucha contra el fuego.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo a sido posible gracias a la financiación de los proyectos SC96_96 y SC50_00 por parte del INIA-MAPA. Agradecemos al SAI y al DLR la disponibilidad en el uso de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- BURGAN, R.E., KLAVER, R.W. & KLAVER, J.M.; (1998). Fuel Models and Fire Potential from Satellite and Surface Observations. *Int. J. Wildland Fire* 8(3): 159-170
- DWYER, E., PINNOCK, S., GRÉGOIRE, J.M., & PEREIRA, J.M.C.; (2000). Global spatial and temporal distribution of vegetation fire as determined from satellite observations. *Int. J. Remote Sensing* 21: 1289-1302.
- FLASSE, S.P. & CECCATO, P.S.; (1996). A contextual algorithm for AVHRR fire detection. *Int. J. Remote Sensing*, 17(2): 419-424.
- GONZÁLEZ-ALONSO F., CALLE, A., CASANOVA, J.L., CUEVAS, J.M. & VÁZQUEZ, A.; (1998). Drought monitoring in Spain using NOAA-AVHRR multitemporal images. Proceedings de ECO BP'98 ISPRS VII Symposium, Budapest, Sept. 1998, pp. 709-719
- LÓPEZ-SORIA, S., GONZÁLEZ-ALONSO, F., LLOP, R. & CUEVAS, J.M.; (1991). An evaluation of the utility of NOAA AVHRR images for monitoring forest fire risk in Spain. *Int. J. Remote Sensing* 12(9): 1841-1851.
- MORENO, J.M., VÁZQUEZ, A., & VÉLEZ, R.; (1998), Recent history of forest fires in Spain. En: *Large Forest Fires*, editado por J.M. Moreno (Leiden: Backhuys Publishers), pp. 159-185.
- NATLAN; (2000). CORINE Land Cover 250 m. European Environment Agency.
- STROPPIANA, D., PINNOCK S., GRÉGOIRE J.M.; (2000). The Global Fire Product: daily fire occurrence from April 1992 to December 1993 derived from NOAA AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing* 21(6-7): 1279-1288.