

ANÁLISIS DE LA RECUPERACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL TRAS EL INCENDIO DEL SOLSONÉS (LLEIDA) DE 1998 MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN (LANDSAT-7 ETM+)

J. Castillo y J. A. Martínez-Casasnovas

j.martinez@macs.udl.es

Universidad de Lleida

Dept. de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo

Av. Rovira Roure, 191, 25198 Lleida

RESUMEN: El presente estudio se basa en la realización de un análisis multitemporal de índices de vegetación calculados a partir de dos imágenes Landsat ETM+ correspondientes a una zona de la provincia de Lleida afectada por el incendio de julio y agosto de 1998. El método utilizado es la obtención de diversos índices de vegetación y posterior diferencia entre ambas imágenes, estableciendo los píxeles en que las diferencias son significativas estadísticamente a niveles de confianza del 90%, 95% y del 99%. Para realizar los índices, se trabaja tanto con números digitales como con valores de reflectancia según sea el tipo de datos que requiera el índice calculado y se comparan los resultados obtenidos para los diferentes índices mediante el establecimiento de tabulaciones cruzadas entre unas áreas verdad-terreno tomadas en campo y el resultado de las reclasificaciones de los índices.

ABSTRACT: In the present study a multitemporal analysis from two Landsat ETM+ imagery, corresponding to the forest area of the province of Lleida affected by the huge fire occurred in July and August of 1998, is performed. Several types of vegetation index and the image differencing between both imagery for each one of them have been calculated, establishing the pixels where differences are statistically significant at confidence levels of 90%, 95% and 99%. To compute the vegetation index, we have worked with digital values (except for some index where reflectance values instead of digital values were required), and the results obtained for each index are compared in order to establish the accuracy assessment between the interpreted index reclassification and the result of ground truth investigation.

Palabras clave: teledetección, recuperación cubierta vegetal, índices de vegetación.

INTRODUCCIÓN

Durante los días 18 y 21 de julio de 1998 un incendio de grandes dimensiones asoló parte importante de la zona central de Cataluña (más de 27000 ha calcinadas) (González y Castellnou 1998). Parte de ese territorio corresponde a la zona de estudio del presente trabajo, un área de 15500 ha localizada básicamente en los municipios de Torá, Pinós, la Molsosa, Calonge de Segarra y pertenecientes a las comarcas de Solsona, la Segarra y el Bages.

Los grandes incendios forestales son el tipo de perturbación más importante en Cataluña. Todo y que el fuego es un factor natural en la región Mediterránea, en los últimos años se ha observado un incremento importante de la frecuencia de incendios. Algunas de las causas que se apuntan son el abandono rural, que ha permitido la ocupación de prados y campos por vegetación leñosa densa, a menudo continua y poco penetrable, y el incremento de actividades humanas de riesgo (industriales, domésticas, vertederos, etc), incluso el cambio climático, que está provocando un aumento del

número de días de riesgo meteorológico de fuego forestal en los últimos años (Terrades 1996).

Vista la importancia de las cifras del incendio resulta necesario desarrollar nuevas técnicas que permitan evaluar de forma rápida las superficies afectadas y permitan llevar a cabo un seguimiento a tiempo real de la evolución de la vegetación después de un incendio. Así como, también mejorar el conocimiento de los factores de riesgo de los incendios y de sus efectos, que constituirían información de gran utilidad para la gestión de zonas forestales quemadas (Masip y Martínez-Casasnovas 2001).

El objetivo del presente trabajo es analizar la respuesta en la recuperación de la cubierta vegetal tras el incendio del Solsonés (Lleida) de 1998 mediante el análisis multitemporal de índices de vegetación.

METODOLOGÍA

Para el análisis de la respuesta de la vegetación se han utilizado dos imágenes del satélite

LANDSAT 7 ETM+ de septiembre de 1999 y 2001. Inicialmente y antes de realizar las correspondientes correcciones radiométricas y geométricas, se procedió, en base a la delimitación de la superficie quemada obtenida a partir de la imagen de 1999 en un estudio anterior (Masip y Martínez-Casasnovas 2001), a delimitar una subescena que abarca los municipios estudiados. Se realizaron las mismas correcciones radiométricas y geométricas para ambas imágenes, para que los resultados obtenidos fuesen comparables entre sí. La corrección atmosférica que se realizó difiere según el tipo de índice estudiado. Para la mayoría de índices se usaron números digitales y por tanto la corrección se realizó sustrayendo el valor mínimo para cada una de las bandas según el método del histograma mínimo (Campbell 1987). Para el índice SAVI la corrección se realizó a través del comando ATMOSC de IDRISI 32. El resultado de la misma son valores de reflectancia proporcional expresados en formato de número real con valores que van de cero a uno.

Las correcciones geométricas se realizaron en base a puntos de control utilizando 52 puntos fácilmente identificables en ortofotomapas a escala 1:25000 de la zona. Los errores cuadráticos medios del ajuste polinómico no superaron el píxel de distancia para ambas imágenes (0.85 y 0.78 respectivamente). El remuestreo de los números digitales a su nueva posición corregida se realizó mediante el método del vecino más próximo.

El análisis de los índices de vegetación postincendio se ha realizado en base al cálculo de los índices que ofrece el módulo de análisis VEGINDEX de IDRISI 32. En él se incluyen 19 índices diferentes divididos en dos grupos. Por un lado, los basados en la pendiente que se obtienen a partir de combinaciones aritméticas simples basadas en el contraste entre los patrones de respuesta espectral de porciones del espectro electromagnético del rojo y del infrarrojo próximo, y, por otro lado, los basados en la distancia, con los que se obtiene el grado de vegetación de cada píxel mediante la comparación de la diferencia de su valor respecto a la respuesta de suelo desnudo, para lo cual es necesario el cálculo de la línea de suelo (Eastman 2002).

Los índices evaluados en el presente trabajo han sido, dentro del primer grupo de índices:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). También las variaciones NDVI₅ y NDVI₇.
- TVI (Transformed Vegetation Index).

- CTVI (corrected transformed vegetation index).
- TTVI (Thiam's Transformed Vegetation Index).
- RVI (Ratio Vegetation Index).
- NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index).

En el segundo grupo de índices se incluyen:

- PVI (Perpendicular Vegetation Index). También sus variaciones PVI₁, PVI₂ y PVI₃.
- DVI (Difference Vegetation Index).
- AVI (Ashburn Vegetation Index).
- SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index).
- TSAVI₁ y TSAVI₂ (Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index).
- MSAVI₁ (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index).
- WDV (Weighted Difference Vegetation Index).

Una vez obtenidos dichos índices para ambos momentos de tiempo se procedió a la resta de los índices dos a dos. Esta operación produce para cada caso, una nueva imagen. Una simple resta entre las imágenes de dos fechas permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios. Las zonas estables presentarán un valor cercano a cero, mientras que las que hayan experimentado cambios significativos estadísticamente ofrecerán los valores más alejados de cero (positivos o negativos). La imagen de cambios resultante presentará tonos oscuros para las zonas que hayan reducido su número digital, los más claros para aquellas que hayan ganado y los intermedios para las zonas estables (Chuvieco 1996). Por otra parte se realizó la resta a partir del módulo de IDRISI 32 Time Series/Change Analysis. El histograma de esta imagen reproducirá una distribución en la que puede resultar difícil establecer unos cortes claros para poder diferenciar lo que es zona de cambio real de la que sólo representa una variación aleatoria. En la medida en que el histograma se asemeje a una distribución normal, la desviación estándar medirá la dispersión característica de los valores lejanos a la media y puede ser usada para evaluar la probabilidad de que se produzca realmente esa diferencia. Notando como media al símbolo χ y como desviación estándar al símbolo σ , se pueden establecer los niveles de confianza listados en la tabla 1 al operar con dichos parámetros.

	NC 90%	NC 95%	NC 99%
Clase 1	$X < \chi - \sigma$	$X < \chi - 3\sigma$	$X < \chi - 2\sigma$
Clase 0	$\chi - \sigma < X < \chi + \sigma$	$\chi - 3\sigma < X < \chi + 3\sigma$	$\chi - 2\sigma < X < \chi + 2\sigma$
Clase 2	$X > \chi + \sigma$	$X > \chi + 3\sigma$	$X > \chi + 2\sigma$

Tabla 1.- Determinación de cada una de las clases de significación o niveles de confianza.

Con los valores obtenidos a partir de las anteriores operaciones se realizan reclasificaciones de la imagen diferencia en tres clases (diferencia significativamente positiva, negativa y cambio aleatorio) a niveles de confianza del 99%, 95 y 90%.

A partir del trabajo realizado en campo, en que se tomaron 70 puntos de muestreo, se estableció la verdad terreno asignando, igualmente que en las reclasificaciones, a cada punto un valor de no cambio, cambio positivo o negativo en función de la regeneración observada en ese punto. Estos valores obtenidos fueron asignados a un área de 50 m de radio creando una nueva imagen con su distribución espacial y categoría. Mediante tabulaciones cruzadas entre la imagen correspondiente a la verdad-terreno y las imágenes diferencia reclasificadas para cada índice, se obtuvieron los resultados finales para determinar cuales eran los mejores índices a tener en cuenta en este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la comparación visual entre las diferentes clasificaciones para los diferentes índices, se observa que los resultados para casi todos los índices son parecidos pero destacan los mejores resultados para los índices NDVI, NDVI₇, NDVI₅, PVI, SAVI, TVI y TTVI. Los índices para los cuales son mayoritarias las diferencias negativas son WdVI, DVI, PVI₁, PVI₂, PVI₃ y SAVI. Al realizar las tabulaciones cruzadas entre la verdad terreno y las reclasificaciones de las imágenes diferencia para cada índice a niveles de confianza del 99%, 95% y del 90% se obtienen los siguientes niveles KIA (tabla 2) y fiabilidades globales (tabla 3) en tantos por ciento.

Como se observa en la tabla 2 la tendencia general es a no superarse el 5% de KIA para un nivel de confianza del 99%, a excepción de los índices NDVI, CTVI, TTVI, AVI y SAVI. Para niveles de confianza del 95% se amplía el rango de valores hasta el 15% y ya para niveles de confianza del 90% se llegan a obtener valores de KIA de hasta el 25%. Los índices que proporciona mejores resultados son DVI, TVI y sus variaciones y SAVI (que ya para un nivel de confianza del 99% presenta un KIA de 10,14%). NDVI y sus variaciones muestran resultados muy parecidos aunque son mayores los valores obtenidos a un nivel de confianza del 95% para NDVI₅ y NDVI₇ que para NDVI. Los índices que peores resultados presentan son RVI, NRVI y DVI ya que no superan valores de KIA del 3%.

Índice	NC 99%	NC 95%	NC 90%
NDVI	6,64	8,94	15,96
RVI	0,00	0,62	2,59
NRVI	0,53	0,83	2,29
TVI	4,99	8,44	17,79
CTVI	6,39	9,05	15,46
TTVI	8,53	12,75	21,58
AVI	8,84	14,11	22,48
SAVI	10,14	14,22	19,54
MSAVI ₂	2,86	10,74	17,57
PVI	0,00	1,35	2,35
PVI ₁	3,85	9,10	20,66
PVI ₂	2,78	8,98	15,55
PVI ₃	-	1,01	21,95
DVI	3,44	8,99	25,53
TSAVI ₁	1,25	6,41	21,70
TSAVI ₂	0,00	4,74	18,85
WDVI	-	2,04	19,94
NDVI ₅	7,34	10,16	15,44
NDVI ₇	4,81	8,60	14,47

Tabla 2.- Valores del índice KIA para las reclasificaciones de los índices en tres clases.

Índice	NC 99%	NC 95%	NC 90%
NDVI	38,56	40,12	44,43
RVI	34,49	34,97	35,65
NRVI	34,97	35,09	34,97
TVI	37,82	38,92	43,59
CTVI	38,26	39,64	43,95
TTVI	39,64	43,95	48,38
AVI	43,95	42,99	48,86
SAVI	48,38	43,47	47,54
MSAVI ₂	48,86	41,08	45,39
PVI	47,54	35,45	35,93
PVI ₁	45,39	39,76	47,43
PVI ₂	35,93	40,00	44,43
PVI ₃	-	35,09	48,62
DVI	36,53	39,88	51,38
TSAVI ₁	35,33	38,92	48,50
TSAVI ₂	34,49	37,72	46,59
WDVI	-	35,57	47,43
NDVI ₅	39,16	40,96	44,31
NDVI ₇	37,37	39,88	44,19

Tabla 3.- Valores de fiabilidades globales (Pc) para las reclasificaciones de los índices en tres clases.

En la tabla 3 observamos como sólo para el caso del índice DVI se supera el valor de fiabilidad global del 50%, para el resto los valores rondan los 35-45%. Igual que para el caso de los KIA, los

mejores resultados se obtienen para los índices DVI, TVI y sus variaciones, pero a diferencia de los KIA, las fiabilidades globales se mueven en un rango de variación de entre el 30 y el 50%. Los valores más elevados se producen para la reclasificación con el nivel de confianza del 90%

CONCLUSIONES

En el estudio se pone de manifiesto la mejor adecuación al realizar las diferencias estandarizadas respecto a una resta simple de imágenes, puesto que al normalizarse la distribución de los valores, la elección de los límites entre variabilidad aleatoria y diferencias significativas estadísticamente es más exacta (los valores KIA para la resta estandarizada son superiores).

Observando los resultados obtenidos para los KIA se evidencia la necesidad de obtener unas superficies de verdad terreno más extensas y no basarse en el establecimiento de unas áreas de 50 m de radio. Para su obtención sería recomendable la utilización de fotografías aéreas post incendio para la discriminación de zonas más extensas y intentar definir exactamente qué nivel de regeneración se ha obtenido en cada punto, estimando que las zonas donde la cobertura de frondosas (básicamente quercínias) era elevada eran zonas de regeneración positiva cuando posiblemente el estrato superior de coníferas podía provocar una disminución en el valor del índice de vegetación para ese píxel en cuestión. Además la realización del trabajo de campo debería intentar aproximarse al máximo a las fechas de la toma de las imágenes y tomar un número mayor de muestras para que al realizar las tabulaciones cruzadas pudiese haber más puntos en común. Puede ser interesante para futuros estudios la utilización de la banda pancromática con resoluciones de 15 m para delimitar exactamente esas zonas.

Por lo que respecta a la contribución del suelo desnudo en la respuesta, ya se tiene en cuenta en la formulación teórica de algunos de los índices estudiados, como el índice SAVI pero sería conveniente, de cara a mejorar su aislamiento y separación de la respuesta obtenida, emplear técnicas de análisis que permitan aislar de la respuesta espectral la porción que es debida al suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Campbell, J. B. 1987. Introduction to remote sensing. The Guilford Press, New York.

Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. 3ª edición revisada. Ediciones Rialp. Madrid. 568 pp.

Eastman, J. R., 2002. IDRISI 32 version I32.22 On-line help. Clark Labs, Clark University, Worcester MA.

González J.M., Castellnou M., 1998. El fuego en la Catalunya Central. Montes 53:17-20.

Masip, G. Y Martínez-Casasnovas, J.A. 2001. Análisis de diferentes métodos de clasificación de una imagen de satélite para caracterizar la superficie afectada por el incendio del Solsonés de 1998. Teledetección. Medio Ambiente y cambio global. Universitat de Lleida. Lleida. 686 pp.

Terrades, J., 1996. La dinámica de la vegetación y los puntos de vista actuales de la ecología en relación a la gestión del medio natural. La gestión sostenible de los bosques. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, 3: 17-25.