

EVALUACIÓN DE GRADOS DE AFECTACION PRODUCIDOS POR UN INCENDIO. APLICACIÓN DE IMÁGENES LANDSAT-TM A SU CARACTERIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

NAVARRO CERRILLO, R.M.*; NAVARRO MEZQUITA, C.**; SALAS, F.J.1, GONZÁLEZ DUGO, M.P.***; FERNANDEZ, P.*

*E.T.S.I. AGRÓNOMOS Y DE MONTES. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA RURAL. UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

** SERVICIO DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES. CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE. JUNTA DE ANDALUCÍA

*** SERVICIO CENTRALIZADO DE INFORMACIÓN DEL TERRITORIO. UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

RESUMEN

La teledetección ha demostrado ser especialmente adecuada para suministrar información sobre cambios producidos en la situación de ecosistemas forestales. Esto hace de esta tecnología una herramienta con una gran capacidad para el estudio de los efectos de diferentes perturbaciones sobre la vegetación, en particular por su importancia y extensión en España, los daños causados por incendios forestales. En esta ponencia se analiza el grado de precisión que los índices más utilizados actualmente (NDVI, SAVI y ARVI) presentan en la estimación de los grados de afectación en áreas incendiadas. En base a un inventario de daños en el terreno se generaron para dos grandes incendios (Aznalcollar y Sierra Bermeja) mapas de daños, lo que ha permitido determinar la fiabilidad total suministrada por cada uno de ellos, y sugerir criterios de clasificación de daños.

PC: Incendios forestales. Teledetección. Grados de afectación.

SUMMARY

This paper is focused on determining the degree to which differences in burn severity relate to vegetation indexes (NDVI, SAVI and ARVI). Different vegetation indices of Landsat-TM data from June 1995 and August 1995 were compared with field data using contingency matrixes, which revealed that the most accurate is NDVI, following by SAVI. Results from this research indicate that burn severity classification can be accomplished using Landsat-TM data within the context of general damage cartography.

KW: Forest fires. Remote sensing. Burn severity.

INTRODUCCIÓN

La teledetección ha demostrado ser especialmente adecuada para suministrar información sobre cambios producidos en la situación de ecosistemas forestales. La teledetección suministra un sistema de bajo costo, como fuente de información, que combinada con bases de datos ya creadas minimiza la cantidad de información de campo necesaria, sin que esto suponga una pérdida de calidad en la información. Además, los satélites permiten a los investigadores observar los recursos forestales *hacia el pasado*, y verlos en una perspectiva regional, analizándolos como un todo y no individualmente. Esto representa una de las grandes potencialidades para la utilización operativa de datos LANDSAT-TM, permitiendo evaluar cambios en los recursos forestales básicos.

Transformar este potencial en soluciones operativas requiere de un gran esfuerzo de investigación y desarrollo, así como de capacidad por parte de los usuarios de adaptarse a estas nuevas tecnologías, lo que solo podrá conseguirse mediante una estrecha colaboración entre los usuarios de esa información, y las personas y organismos encargados de generarla.

MATERIAL Y METODOS

A. Descripción de la zona de trabajo. El monte *El Madroñalejo* se encuentra localizado en el T.M. de Aznalcollar (Sevilla). La topografía general de la zona se caracteriza por ser bastante irregular a medida que se asciende en la diagonal que va desde el sudeste al noroeste. El relieve es abrupto y entrecortado con profundos y estrechos valles por donde discurren ríos y arroyos. La altitud se inicia con cotas del orden de 50 metros, alcanzándose rápidamente los 100 m. para llegar a puntos de alturas de casi 500 m. La mayor parte del terreno son pertenecientes al Silúrico, con un estrato base formado por cuarcitas que por su dureza han sido poco erosionadas, encima de las cuales se han depositado pizarras, que por ser más erosionables forman un nivel inferior en el paisaje. Esta litología da lugar a suelos de color pardo, con mucha pedregosidad, que presentan texturas franco-arenosas, escaso o nulo contenido calizo, pH muy ácido y vocación típicamente forestal. La vegetación esta dominada por la encina (*Quercus ilex* subs. *ballota*), el alcornoque (*Quercus suber*) y las masas artificiales de pino piñonero (*Pinus pinea*), puros o en mezclas. También aparecen diferentes manchas de acebuche (*Olea europaea* subs. *sylvestris*), matorrales de madroño (*Arbutus unedo*), y matorrales de diferente composición específica (*Cistus crispus*, *Cistus pompeliensis*, *Ulex boeticus*, *Erica arborea*, *Erica umbellata*, *Calluna vulgaris*, *Lavandula stoechas*, *Chamaerops humilis* y *Rosmarinus officinalis*), aunque dominados generalmente por la jara pringosa (*Cistus ladanifer*).

La *Sierra Bermeja* esta situada en el extremo sudoccidental de la provincia de Málaga, y su eje corre de SO a NNO. Tiene alrededor de 23 km de longitud y una anchura máxima de 12 km, separando los pisos calizos de la serranía de Ronda de la costa. Esta localizada entre 3 y 17 km. de la costa y presenta una topografía muy accidentada, con pendientes muy pronunciadas.

Si recorremos los distintos pisos botánicos desde los doscientos metros hasta las cumbres, el estrato inferior esta ocupado por el alcornoque (*Quercus suber*), asociado con otras especies como el quejigo (*Quercus faginea*) y el quejigo andaluz (*Quercus canariensis*), y con inclusión de matorral mediterráneo (*Arbutus unedo*, *Pistacia* sp., *Daphne* sp, etc.). El piso medio esta ocupado por el pino negral, en una faja desde los 350 m. a los 1100 m. de altura en el piso termomediterráneo y mesomediterráneo. La especie ocupa alrededor de 3600 ha, situándose las mejores masas en la exposición N. Por encima de los 1100 m., y extendiéndose hasta la cumbre de la Sierra, en Los Reales, se presentan tres pequeñas zonas cubiertas de *Abies pinsapo*: el pinsapar de Casares o de la Mujer, el de Genalguacil o de los Reales Chicos, y el pinsapar de Los Reales, que es el más extenso.

B. Diseño del muestreo de campo. La correlación entre los Índices de Afectación obtenidos a partir de la imagen LANDSAT-TM, y los daños reales producidos por el fuego sobre la vegetación se ha realizado mediante la recogida de datos en el terreno. Estos datos son utilizados en general para verificar y para mejorar las clasificaciones. Se han utilizado fuentes alternativas de información, como por ejemplo fotografías para representar *la realidad terreno*, pero su validez ha sido cuestionada (BIGING, G. & CONGALTON, R. 1991). Independientemente de la fuente utilizada esta información tienen que ser lo más correcta posible, para evitar que introduzca errores en la interpretación de la imagen. Para ello se optó por establecer una serie de puntos de control que se utilizan para la realización de una estratificación real de los daños, con el fin de supervisar la información y comprobar la precisión de la imagen.

Esta serie de puntos de control se distribuyeron sobre el terreno y en cada uno de los estratos definidos por los distintos niveles de afectación. Para cada punto de control se establece una parcela circular de 15 m de radio (707 m^2) donde se realiza la evaluación de grados de afectación. La intensidad del muestreo se expresa por el número de parcelas medida por unidad de superficie de monte. Generalmente en este tipo de muestreo es difícil irse a intensidades muy elevadas de muestreo, que en nuestro caso ha quedado establecido en un punto de control cada 25/40 ha., en función de los niveles de daños y la heterogeneidad del lugar. En este caso se ha optado por un muestreo estratificado, donde las muestras se sitúan en unidades consideradas típicas o representativas. La zona previamente ha sido estratificada en base a composición y estructura (mapa de vegetación), y mediante la evaluación aparente de daños (índice de afectación).

En cada uno de estos puntos se procedió localizando las coordenadas del punto de control sobre un mapa 1:10.000, y valorando el nivel de afectación mediante una clave de estimación de daños. (Tabla I).

C. Aplicación de diferentes índices de vegetación. Desde el año 1991 y hasta la fecha se han utilizado para el inventario de daños causados por los grandes incendios forestales en Andalucía (CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE, 1995) el NDVI (bandas 3 y 4), y un índice de cambios, basado en la diferencia entre dos NDVI: uno de un año de referencia anterior, que describe las condiciones de la vegetación antes del incendio; y otro posterior al incendio.

Junto a estos índices se ha procedido a la aplicación de dos índices nuevos, diseñados a partir del NDVI, con el fin de atenuar la influencia atmosférica y del suelo respectivamente.

- ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*). Con el fin de reducir la dependencia del NDVI de las propiedades atmosféricas se ha propuesto un nuevo índice, definido como (KAUFMAN, J & TANRE, D. 1992):

$$ARVI = (L_{NIR} - L_{RB}) / (L_{NIR} + L_{RB})$$

$$L_{RB} = L_R - f(L_B - L_R)$$

- SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*).- Para reducir los efectos producidos por el suelo HUETE, A. (1988, 1989), propuso utilizar un factor corrector L, para incluir las variaciones radiométricas que inducía la presencia de zonas con escasa cubierta vegetal. (HUETE, A.R., 1988; HUETE, A.R. 1989):

$$SAVI = (L_{NIR} - L_{RED}) / (L_{NIR} - L_{RED} + k) * (1 + k)$$

D. Estimación de la precisión de la asignación de daños. Una forma más generalizada de representar la precisión de las interpretaciones realizadas a partir de imágenes LANDSAT-TM es mediante una matriz de error o mediante tablas de contingencia (CONGALTON, R.G. *et al* 1983). Una matriz de error consiste en una serie de filas y columnas las cuales expresan el número de píxeles asignados como un tipo de clase particular (Por ejemplo, coberturas del suelo o niveles de afectación) en relación con la *verdad terreno* verificada en los muestreos de campo. Las columnas usualmente representan los datos de referencia (que son aquellos asumidos como correctos), y las filas indican el dato procedente del tratamiento de la imagen (datos procedentes

de LANDSAT-TM). Estas matrices permiten examinar los errores en cada una de las clases propuestas, así como del conjunto de la asignación, lo cual incluye los errores de comisión y los errores de omisión

RESULTADOS Y DISCUSION

La cartografía de niveles de afectación son representaciones gráficas de las condiciones en que se encuentra la vegetación después de un incendio, y su precisión varia dependiendo de los métodos utilizados para generarla, y del cuidado con que estos son elaborados, el tamaño mínimo de las teselas, la escala de la presentación o la experiencia del analista. De acuerdo a la metodología propuesta para la determinación de la precisión se han utilizado una serie de puntos de control, y para cada uno de ellos una clave de evaluación de daños en el terreno. Con esta información se ha procedido a la comparación de la interpretación realizada a partir de los diferentes índices propuestos (NDVI, SAVI0.5, ARVI0.5, ARVI1, ARVI2), y los datos tomados en el terreno. Para ello se han generado las respectivas matrices de error, y se ha realizado el calculo de la fiabilidad total para cada índice (Tabla II y Tabla III).

Del análisis de los resultados obtenidos pueden hacerse las siguientes las consideraciones:

1. Los índices utilizados para la evaluación de daños pueden agruparse según su mayor sensibilidad en dos grupos: el primero formado por NDVI y SAVI; y el segundo por ARVI en sus tres modalidades (0.5-1-2).

2. Los valores obtenidos en cuanto a precisión son bastante parecidos para NDVI (Fiabilidad global 57%) y SAVI (Fiabilidad total 56%). Esto apunta a que no existe una mejora de la capacidad de análisis de daños por parte del SAVI. La mayor sensibilidad de SAVI aparece en las categorías menos afectadas, produciéndose un cambio en las categorías más afectadas donde el contraste de la zona quemada-verde parece ser mejor reconocida por el NDVI.(Tabla IV).

En términos generales parece correcto afirmar que pueden utilizarse indistintamente ambos índices, aunque por su facilidad y generalización en diferentes aplicaciones puede ser mas aconsejable el NDVI.

Los valores de precisión obtenidos, aunque pueden parecer relativamente bajos, deben entenderse teniendo en cuenta dos consideraciones. Primero, la posible precisión obtenida por otras fuentes alternativas de información, como son los inventarios de campo o la fotointerpretación, que es difícil que superen en casi ningún caso el 70% (JAKUBAUSKAS, M.E. *et al* 1990). En segundo lugar debe tenerse en cuenta la precisión obtenida para las clasificaciones que utilizan la teledetección, como puede ser el caso de las clasificaciones de vegetación, en donde la precisión ronda entre el 50-60% (SAN MIGUEL, J & BIGING, G. 1996).

3. El ARVI parece no mostrar ninguna sensibilidad a la estimación de daños, no existiendo apenas variación entre las diferentes categorías definidas. Esto ocurre para los tres valores propuestos de la constante: 0.5-1-2. Sería necesario estudiar con mayor profundidad las correcciones atmosféricas, con el fin de valorar adecuadamente el potencial que este índice puede tener.

4. La mayor dificultad en el proceso de análisis de precisión ha procedido de la subjetividad de la interpretación de daños en el terreno (a pesar de haber sido realizado en todos los casos por las mismas personas), así como la adecuada localización de las parcelas. El primer problema ha sido resuelto a medida que el equipo de campo se ha familiarizado con los diferentes tipos de daños. En cuanto al segundo su solución es bastante más compleja. En todos los casos se ha intentado reducir al mínimo el error aportado tanto por la georreferenciación (< 1 pixel), como en la localización del punto. Por ello se han elegido lugares uniformes en cuanto a daños, y de

superficie suficiente para evitar cambios de categorías como consecuencia de desplazamientos en los puntos de control.

5. La mayor fuente de error procede de las categorías intermedias. Existen, a nuestro entender dos fuentes fundamentales de error en este caso. La primera corresponde a la dificultad de interpretar los daños cuando el fuego ha afectado tanto al arbolado (parcialmente) como al matorral (total o parcialmente). En segundo lugar, cuando existen zonas de transición entre categorías, las cuales difícilmente pueden determinarse en el terreno. La elección de los puntos de control en zonas homogéneas en cuanto a daños reduce esta fuente de error, pero no la elimina totalmente, ya que en las categorías intermedias no es fácil encontrar este tipo de zonas, sino una distribución muy irregular (dado el comportamiento errático del fuego) sobre la vegetación.

BIBLIOGRAFIA

BIGING, G. S. & CONGALTON, R. G. 1991. *A comparison of photointerpretation and ground measurements of forest structure*. ACSM 51st Annual Convention

CONGALTON, R.G. ,ODERWALD, R.G. & MEAD,R.A. 1983. *Assessing LANDSAT classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques* **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. N°49(12):(1671-1678).

CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE, 1995. *Evaluación de superficies y nivel afectación ocasionados por los incendios forestales más importantes acaecidos en Andalucía en 1995*. Junta de Andalucía. Sevilla.

CHUVIECO, E. & CONGALTON, R.G. 1988. *Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data*. **Geocarto International** (4): 41-53.

HUETE, A.R. 1988. *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*. **Remote Sens. Environ.** 17:(37-53).

HUETE, A.R. 1989. *Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra*. En: ASRAR, G. (De.) **Theory and applications of optical remote sensing**. PP 107-141.

JAKUBAUSKAS, M.E.; LULLA, K.P. & MAUSEL, P.W. 1990. *Assessment of vegetation change in a fire-altered forest landscape*. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Vol. 56 N° 3:(371-377).

KAUFMAN, J. & TANRE, D. 1992. *Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS*. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Vol. 30, N° 2: 261-270

NIVEL DE AFECTACION	COLOR EN LA FOTOGRAFÍA AEREA	CARACTERÍSTICAS DE LOS DAÑOS EN EL TERRENO
No afectados-escasos	Rojo	No hay daños sobre la vegetación
Escaso (Moderado)	Verde con sombras rojas	Incendio de superficie, con el arbolado no afectado o solo parcialmente, y el sotobosque ligeramente quemado
Moderado (Intenso)	Azul a verde	El sotobosque o el estrato arbóreo han sido afectados en una gran proporción pero sin llegar a destruir la totalidad de la vegetación
Elevado (Muy intenso)	Azul a negro	El fuego ha destruido tanto el estrato arbóreo como el sotobosque en su totalidad
Extremo	Negro	La vegetación ha quedado totalmente carbonizada

Tabla I. Clave de estimación de grados de afectación utilizada en el inventario de campo

NDVI	Sin afectar	Escaso	Moderado	Elevado	Extremo	Total	Excat. Usuario (%)	Error comisión (%)
Sin afectar (> 143)	10	3	1	3	0	17	59	41
Escaso (125-143)	5	16	6	0	0	27	59	41
Moderado (108-125)	3	13	26	11	3	56	46	54
Elevado (99-108)	0	0	9	28	5	42	67	33
Extremo (<99)	0	0	0	6	10	16	63	38
Total	18	32	42	48	18	158		
Exact. Productor (%)	56	50	62	58	56			
Error omisión (%)	44	50	38	42	44			
Fiabilidad global	57							

Tabla II. Matriz de error para la estimación de la precisión del NDVI en la asignación de grados de afectación (Incendio de Aznalcollar)

SAVI	Sin afectar	Escaso	Moderado	Elevado	Extremo	Total	Excat. Usuario (%)	Error comisión (%)
Sin afectar (> 134)	14	8	5	3	0	30	47	53
Escaso (116-134)	4	22	13	3	1	43	51	49
Moderado (105-116)	0	2	19	13	3	37	51	49
Elevado (99-105)	0	0	5	22	3	30	73	27
Extremo (<99)	0	0	0	7	11	18	61	39
Total	18	32	42	48	18	158		
Exact. Productor (%)	78	69	45	46	61			
Error omisión (%)	22	31	55	54	39			
Fiabilidad global	56							

Tabla III. Matriz de error para la estimación de la precisión del SAVI en la asignación de grados de afectación (Incendio de Aznalcollar)

Exactitud del productor	Sin afectar	Escaso	Moderado	Elevado	Extremo
NDVI	56	50	62	58	56
SAVI	78	69	42	48	61

Tabla IV. Comparación de los valores de fiabilidad para NDVI y SAVI según categorías de grados de afectación.