

SEGUIMIENTO MEDIANTE IMAGENES LANDSAT-TM DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR UN PERIODO PROLONGADO DE SEQUÍA SOBRE ENCINARES EN SIERRA MORENA (CÓRDOBA): PRIMEROS RESULTADOS

NAVARRO , R.M.*; FERNÁNDEZ , P.* , CHANFREUT, M.R.* Y GONZÁLEZ , M.P.**

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

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

RESUMEN

El tratamiento de imágenes de satélite a través de la aplicación de diferentes índices de vegetación (NDVI, SAVI, VCI) se viene utilizando en los últimos años para el seguimiento de los procesos de sequía, así como para la evaluación de los efectos de esta perturbación sobre diferentes tipos de masas forestales. En este trabajo se analiza una serie temporal de imágenes para la delimitación de los efectos de la sequía sobre masas de *Quercus ilex* subsp. *ballota* en una zona localizada en la comarca de los Pedroches (Córdoba). Se pretende estudiar la capacidad de las imágenes LANDSAT-TM para evaluar los daños observados sobre la vegetación, y su capacidad para anticipar estos daños.

P. C.: Teledetección, Sequía, Fitoclimatología.

SUMMARY

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) images generated from LANDSAT-TM data were recently used to monitor large scale drought patterns and their climatic impact on vegetation. The purpose of this study is to use of the NDVI and SAVI to assess regional drought impacts. A temporal data for the period of July 1991 to September 1995 were used to produce NDVI and SAVI images of region in north Córdoba. Drought areas were delineated with certain threshold values of those indexes. Drought patterns delineated by the NDVI and SAVI reflected anomalies because of vegetation cover. It is suggested that NDVI may be used to construct a large scale drought control model, but a further research should be carry out to analyze temporal and spatial evolution of regional drought.

K.W.: Remote Sensing, Draught, *Quercus*

INTRODUCCIÓN

El reciente dilema que plantea la posibilidad de un cambio climático global está empujando a los científicos a refinar los sistemas y técnicas que permitan el estudio del clima y de sus efectos sobre la vegetación. Esto es particularmente importante para los recursos forestales, dada la intensidad y el carácter generalizado de los daños observados en los últimos años.

Se define la sequía como *una característica temporal que resulta de la ausencia, la escasez o la mala distribución prolongada en el tiempo de las precipitaciones. Se producen estas situaciones temporales, cuando la demanda de agua excede el abastecimiento disponible de distintos orígenes.* (NUÑEZ, M. 1994). La dificultad para evaluar la variabilidad natural del sistema climático (que suele tener lugar en un amplio rango de escala cronológica) hace que sea una tarea que escapa a nuestra capacidad de análisis. Nuestro interés se dirige, más particularmente, al estudio de la sequía como un evento climático de pequeña amplitud, lo que puede entenderse como el estudio del carácter perturbador de un periodo concreto de sequía, sin analizar su posible relación con variaciones climáticas de gran amplitud.

La mayor parte de los estudios climáticos todavía utilizan datos meteorológicos de superficie, y su relación con daños observados en el terreno (FERNANDEZ, J.A. & MONTERO, G. 1993). Sólo recientemente los investigadores están empezando a incorporar datos derivados de imágenes satélite para mejorar la capacidad de captar y tratar este tipo de información (KOGAN, F. 1992; ROYER, A. *et al.* 1993). Por otro lado, se han desarrollado sistemas que permiten clasificar la vegetación a partir de información procedente de sensores, así como de las variables más significativas para describir el estado de las masas forestales (McCORMICK, N. *et al* 1995; EKSTRAND, S. 1994).

En este trabajo se relacionan los índices de vegetación NDVI y SAVI con el estado de la vegetación en condiciones ambientales desfavorables, analizando su utilidad en la detección de daños producidos por periodos prolongados de sequía.

MATERIAL Y METODOS

A. Descripción de la Zona de Estudio. La zona de estudio se sitúa al N.O. de la provincia de Córdoba, en la Sierra Morena Occidental, y forma parte de la comarca del valle de los Pedroches. Comprende una superficie total de 53.987 ha repartidas entre los términos municipales de Bélmez, Espiel, Fuenteovejuna, La Granjuela, Peñarrolla, Pueblonuevo y Villafranca del Rey (ninguno de los cuales está incluido íntegramente). En esta zona predomina el clima Mediterráneo subnival IV(VI)₁

La fisiografía de la zona es suave hasta el contacto con la Sierra de los Santos, que constituye el principal accidente tectónico de la zona Norte de la provincia. La mitad que se extiende desde Fuenteovejuna hacia el sur, y hacia la provincia de Badajoz es una zona más quebrada, con numerosas sierras de menor importancia. Sobre estos terrenos predominan las tierras pardas meridionales sobre pizarras que se localizan en casi toda la superficie. Son suelos de profundidad variable, desprovistos de carbonato cálcico y con un horizonte A a veces escaso , bajo el que se encuentra la pizarra en fino estado de división. Dentro de estos suelos encontramos otros de más calidad, algo más profundos, de textura fuerte.

En cuanto a vegetación, predomina la labor extensiva con arbolado (dehesa de *Quercus ilex* subs. *ballota*) de baja densidad, que ocupa un 54.5% de la superficie. Los montes bajos (1.86 %) y el matorral (1.16 %) representan superficies de menor entidad, estando ocupado el resto por explotaciones agrícolas de distinta naturaleza.

C. Recogida de Datos en el Terreno. La recogida de datos en el campo se realizó en una campaña en los meses de Marzo y Abril. Esta toma de datos ha consistido en 159 puntos de control, distribuidos proporcionalmente a la superficie de cada uno de los estratos de vegetación forestal presentes en la zona. En cada punto de control se han tomado datos sobre:

1/ Síntomas: Vegetación afectada y características de los daños, considerándose la siguiente clasificación:

Todos los pies dañados (totalmente secos, parcialmente secos, debilitados)

Más del 50% de los pies dañados: (totalmente secos, parcialmente secos, debilitados)

Menos del 50% de los pies dañados: (totalmente secos, parcialmente secos debilitados)

2/ Características de la estación: exposición, pendiente, litología, profundidad aparente, textura al tacto, rocosidad y pedregosidad.

3/ Tratamientos observados: podas, laboreos, desbroces, etc.

D. Aplicación de Índices de Vegetación Generados a Partir de Imágenes LANDSAT-TM. Para este trabajo se han utilizado dos escenas LANDSAT-TM suministradas por la Conserjería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, de los años 1991 y 1995. Estas imágenes se han montado de acuerdo a un mosaico que cubra todo el área del trabajo. Para cada una de estas imágenes se han generado coberturas de NDVI y SAVI. Para poder hacer la comparación de series temporales se ha realizado una corrección por *puntos inalterados* (CHUVIECO,1990). Con esto se ha intentado reducir al mínimos los errores introducidos en el tratamiento de las imágenes, lo que hace posible su comparación en momentos diferentes del año. No obstante, aunque las fuentes de distorsión son numerosas: degradación del sensor, cambios en los satélites, nubosidad, atenuación atmosférica, etc. se ha optado por utilizar estas correcciones en un primer intento de aproximar la capacidad de los índices de vegetación para el análisis de sequía, dejando para mas adelante la aplicación de correcciones mas cuidadosas. Los índices fueron calculadas según las fórmulas propuestas para cada uno de ellos.

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*):

$$NDVI = (L_{NIR} - L_{RED}) / (L_{NIR} + L_{RED})$$

SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Constituye una modificación del índice NDVI con el fin de atenuar 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. Aunque se encontró que el ajuste optimo para el factor L varía con la densidad de la vegetación, se propuso para L un valor de 0.5, el cual reduce de forma importante las desviaciones introducidas por la radicación del suelo en un amplio rango de coberturas vegetales:

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

La precisión de los cambios detectados por estos índices se ha estudiado mediante un test T. Se ha considerado para este análisis las diferencias entre los valores de los índices para el año 1991 y 1995 en cada uno de los pixel de control. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa informático Minitab (RYAN *et al.* 1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis conjunto de todos los puntos de control muestra que hay diferencias significativas en los valores del índice NDVI para los dos años analizados. De igual forma se han encontrado diferencias significativas cuando se analiza el índice SAVI (tabla 1). Los valores de NDVI y SAVI para el año 1995 son, en la mayoría de los puntos de control, inferiores a aquellos obtenidos para el año 1991. Partiendo de la hipótesis que valores bajos

de NDVI y SAVI corresponden a valores bajos de *verdor* es posible explicar este resultado atribuyéndolo a una pérdida de la actividad fotosintética como consecuencia del estrés inducido por la sequía, ya que no se han producido variaciones considerables en la estructura de la vegetación de los puntos de control entre las dos fechas consideradas.

Al estratificar los puntos de control según el grado de afectación por la sequía, se observa que para aquellas parcelas sin daño no se ha producido un cambio significativo en los valores de NDVI ni SAVI. En cambio, los rodales afectados sí muestran diferencias significativas, siendo éstas máximas cuando los daños se presentan de forma generalizada (tabla 1). Para los rodales parcialmente afectados resulta difícil discriminar, basándose exclusivamente en las diferencias obtenidas para los índices, categorías internas de daño. Así por ejemplo, en la tabla 1 se presentan los resultados del análisis considerando por un lado aquellas parcelas con más del 50% de los pies afectados y por otro aquellas con menos del 50%, siendo semejantes las diferencias obtenidas. En todos los casos analizados las diferencias obtenidas con SAVI han sido mayores que las logradas con el índice NDVI (un 33% superiores).

De acuerdo con estos resultados, tanto el índice NDVI como el SAVI se muestran idóneos para evaluar, mediante análisis temporales, cambios en el estado de la vegetación inducidos por periodos prolongados de sequía y por extensión el efecto de cualquier perturbación sobre la vegetación. Sin embargo, el establecer categorías de daños inducidos por la sequía, con el fin de valorar la intensidad de los mismos y poder desarrollar sistemas para su cartografía y seguimiento, requiere de estudios de profundización que permitan establecer, con una adecuada fiabilidad, los umbrales para cada categoría de daño y estructura de la vegetación. Asimismo, las imágenes obtenidas del análisis temporal (fig 1 y fig 2) muestran zonas donde se ha producido un cambio en la vegetación (representadas por los colores rojo y azul) y zonas sin cambio, siendo difícil atribuir estos cambios exclusivamente a la sequía padecida ya que nos encontramos con un mosaico de zonas agrícolas (donde las modificaciones siguen patrones temporales cortos) entre un tejido forestal. Esto es particularmente importante dado que en estos procesos lo que se produce es una combinación de ambas condiciones, encontrándose por un lado una serie de efectos inducidos por la sequía (desfoliación, puntisecados, secado de hojas, etc.) pero sobre una vegetación de estructura diversa y cambiante. La generalización espacial puede mejorarse mediante la aplicación de máscaras que delimitan zonas agrícolas, agua, etc, que distorsionan los resultados.

El estudio de series temporales largas, mediante el análisis de imágenes intermedias durante el periodo de sequía (año 1992) podría incorporar información adecuada, siempre y cuando se redujeran las posibles fuentes de error introducidas en el análisis temporal. La naturaleza aparentemente errática de los daños de sequía hace difícil establecer pautas de predicción, y por tanto aproximar de forma más precisa la interpretación de los datos aportados por el satélite. Esto se complica aún mas cuando ese carácter errático se produce tanto en el espacio como en el tiempo (aparecieron daños por sequía sobre arbolado en forma de rodales muertos en Marzo de 1995, y en otras áreas los efectos se manifestaron en Agosto de 1995).

La imagen resultado del análisis temporal (fig 1 y fig 2) muestra que los cambios, en general, han afectado más a la parte sur del Término Municipal. En otros casos, la observación de la imagen no aporta información suficiente para poder determinar con precisión la intensidad de los daños. En cualquier caso, y a través de información recogida de palabra se puede aproximar que las pautas de comportamiento de la sequía han seguido

un proceso mas o menos recurrente. En el años 1994, cuando empezó a manifestarse de forma clara los daños sobre la vegetación estos se produjeron en áreas y rodales muy localizados, zonas que en el año 1995, fueron las que manifestaron mas claramente los efectos de la sequía y de una forma muy anticipada (El Viso). Por otro lado aquellas áreas que sin secarse habían sufrido desfoliaciones fuertes, se llegaron a secar en 1995 (Espiel). En cualquier caso, de la observación de la imagen se desprende que la sequía afectó de una forma generalizada e intensa a toda la zona estudiada, lo que confirma el carácter extraordinario de la sequía ocurrida en 1995.

CONCLUSIONES

La sequía estudiada mediante la aplicación del NDVI y SAVI, parece un sistema adecuado de seguimiento de los procesos, tanto para analizar en el tiempo como en el espacio. Estos índices parecen mostrar suficiente sensibilidad a los cambios producidos en las condiciones de estrés de la vegetación, como para anticipar los posibles procesos de debilitamiento previos al efecto final de secado de la vegetación. El análisis temporal de este tipo de índices, adecuadamente relacionados con los mapas de uso del suelo, puede mejorar notablemente su capacidad interpretativa. En este sentido se sugiere la necesidad de profundizar en estos estudios, con el fin de desarrollar herramientas adecuadas para el seguimiento de sequía sobre grandes superficies.

Del estudio de las imágenes durante el periodo 1991-95 puede concluirse que el periodo de sequía fue especialmente intenso, y que afectó de una forma generalizada a la vegetación en la zonas de estudio. Observándose una pauta de comportamiento insuficientemente conocida, tanto en términos temporales como espaciales. Esta diferente respuesta debe estar claramente relacionada a factores de estación y tratamiento de la vegetación, aunque hasta el momento no ha sido posible encontrar correlaciones claras.

BIBLIOGRAFIA

- CHUVIECO, E. 1990. *Fundamentos de teledetección espacial*. RIALP, pp:255-262.
- EKSTRAND, S. 1994. *Assessment of forest damage with Landsat TM: correction for varying forest stand characteristic*. **REMOTE SENS. ENVIRON.** 47, pp:291-302.
- FERNANDEZ, J.A. & MONTERO, G. 1993. *Prospección de secas en Quercus de Extremadura y la Mancha*. **Montes** N° 32, pp:32-36.
- HUETE, A.R. 1988. *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*. **Remote Sens. Environ.** 17, pp: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.
- KOGAN, F. 1992. *Global drought monitoring from NOAA polar orbiting satellites*. **Proceeding of the Central Symposium of the International Space Year**, pp: 829-833.
- MCCORMICK, N. *Et al* 1995 *An integrated methodology for mapping European forest ecosystem using satellite remote sensing*. **EARSeL Advances in Remote Sensing**. Vol 4. N° 3, pp: 87-92
- NUÑEZ, M. 1994. *Evolución del clima de la Tierra desde la ultima glaciación hasta la actualidad, y del proceso de desertificación en ese periodo*. I curso sobre desertificación. ETSIAM.

ROYER, A *et al* 1993. *Intégration de la télédétection dans un système d'information géographique pour la modélisation de l'impact climatique sur la forêt boréale au Québec. Canadian Journal of Remote Sensing* Vol 19, N° 1, pp: 31-63.

RYAN, B., JOINER, B., AND RYAN, T. 1985. *Minitab Handbook*. 2nd ed. PWS-Kent Publishing, Boston.

	N	Media NDVI 91-NDVI 95	Media SAVI 91-SAVI 95
Total parcelas control	159	0.02723* (0.00394)	0.04066* (0.00588)
Parcelas sin daño por sequía	22	0.01353 (0.00897)	0.02070 (0.01340)
Parcelas con daños generalizados por sequía	26	0.04566* (0.00974)	0.06810* (0.01450)
Parcelas con más del 50% de los pies dañados por sequía	59	0.02466* (0.00609)	0.03683* (0.00908)
Parcelas con menos del 50% de los pies dañados por sequía	52	0.02660* (0.00757)	0.03970* (0.01130)

El asterisco que sigue al valor medio indica que éste es significativamente distinto de cero ($p < 0.01$)

Tabla 1: Valores medios de las diferencias encontradas para los índices NDVI y SAVI de las imágenes LANDSAT-TM de 1991 y 1995. En paréntesis se presenta el error típico.

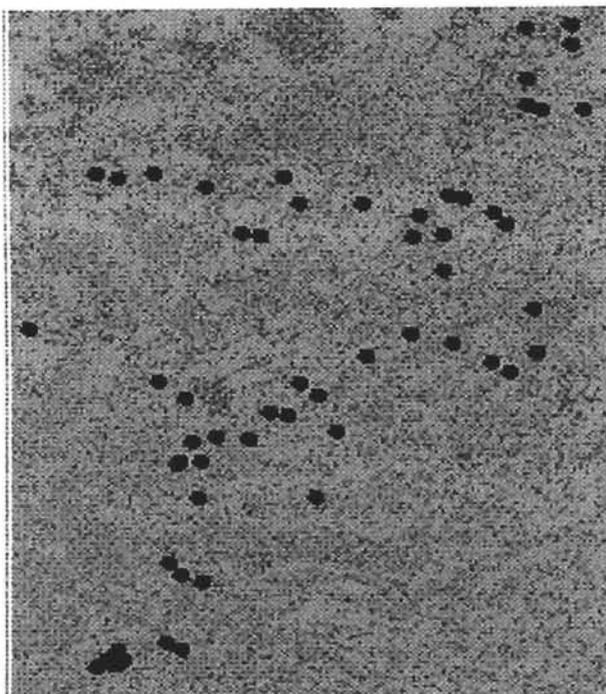


Fig 1: Imagen resultado de aplicar las diferencias del índice NDVI para los años 1991 y 1995. El color verde representa zonas sin cambio en el valor del índice; el azul zonas con cambios moderados o parciales (rango 0.02-0.04) y el rojo zonas con cambios generalizados o totales (>0.04).

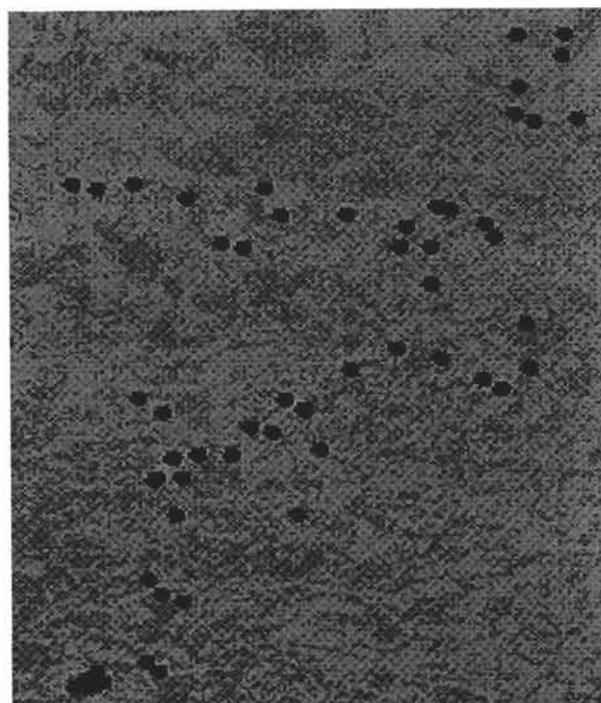


Fig 2: Imagen resultado de aplicar las diferencias del índice SAVI para los años 1991 y 1995. El color verde representa zonas sin cambio en el valor del índice; el azul zonas con cambios moderados o parciales (rango 0.02-0.04) y el rojo zonas con cambios generalizados o totales (>0.04).