

Análisis de series temporales de vegetación obtenidas mediante teledetección como herramienta para el seguimiento de procesos de desertificación

I. Meléndez-Pastor ⁽¹⁾, **J. Navarro-Pedreño** ⁽¹⁾, **I. Gómez** ⁽¹⁾, **M. Koch**⁽²⁾

(1) Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad Miguel Hernández de Elche, Avenida Universidad s/n, Edificio Alcludia, 03.202 Elche (España). E-mail: jonavar@umh.es

(2) Center for Remote Sensing, Boston University, 725 Commonwealth Avenue, 02215-1401 Boston, MA (USA).

ABSTRACT

The risk of desertification in the Mediterranean Basin, is evident in the southeast of the Iberian Peninsula, where land degradation reaches unsustainable levels. This study aims to analyse the temporal evolution of land covers as an indicator of soil desertification. Time series of vegetation indices derived from satellite remote sensing images were analysed. Various climatic variables as possible causes of land covers behaviour were considered. The existence of a large inter-annual and intra-annual variability for all land covers and precipitation was observed. It is showed an association between temporal patterns of vegetation series of different land uses and rainfall.

Palabras clave: desertificación, degradación edáfica, teledetección, índices de vegetación.

INTRODUCCIÓN

La desertificación es considerada el más extremo caso de degradación del suelo (Porta *et al.*, 1999). Actualmente existe un grave riesgo de desertificación en gran parte de España, y muy especialmente en el sureste peninsular (MARM, 2008). La conjugación de diversos factores tales como la existencia de un clima semiárido, altas tasas de erosión, elevada recurrencia de incendios forestales y sobreexplotación de acuíferos, todo ello unido a una dinámica de usos del suelo, donde la destrucción de las cubiertas naturales es constante, suscita una preocupación por el avance de procesos de desertificación en la provincia de Alicante. En relación a la desertificación, la teledetección ha sido ampliamente utilizada para su detección y seguimiento desde hace décadas (Tucker *et al.*, 1991)

El área de estudio se localiza en el sur de la Provincia de Alicante, entre las ciudades de Elche y Alicante. Es una zona de alto valor ambiental y socio-económico, dada la coexistencia de zonas húmedas (p.e. los humedales RAMSAR de El Hondo de Elche-Crevillente y las Salinas de Santa Pola) y agricultura de regadío (Campo de Elche y Bajo Segura). Se trata de un área altamente afectada por la expansión urbana (EEA, 2006) frecuentemente a expensas de áreas de cultivos tradicionales (OSE, 2006).

El objetivo de este estudio es el análisis de series temporales de índices de vegetación obtenidas mediante imágenes de teledetección, para analizar la evolución del estado de la vegetación, concebida como elemento protector del suelo e indicador de la productividad del mismo, y su relación con variables climatológicas. Mediante este estudio, es posible analizar la incidencia de la variabilidad climática sobre diversas cubiertas/usos del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó una serie temporal de imágenes de teledetección satelital, adquiridas por el sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) durante los años 2001 a

2007, ambos inclusive. El producto MODIS utilizado fue el MOD13Q1, el cual contiene índices de vegetación obtenidos para composiciones temporales de 16 días a 250m de resolución espacial. Se utilizó el índice de vegetación EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (Huete *et al.*, 1999) para el seguimiento a lo largo del tiempo de la dinámica de la cubierta vegetal. Dicho índice se correlaciona con la biomasa vegetal y los cambios fenológicos, siendo más resistente a la saturación para zonas con gran biomasa que el índice NDVI (Huete *et al.*, 2002). Se utilizó la cartografía del programa CORINE Land Cover a nivel II, para obtener los distintos usos del suelo de la zona de estudio. Se obtuvo el valor promedio para distintos tipos de usos de suelo del índice espectral EVI. Adicionalmente, se emplearon serie temporales de diversos parámetros climatológicos (precipitación diaria, temperatura media diaria y evapotranspiración potencial diaria), para estudiar la relación entre las variaciones de dichas variables en relación a las estimaciones del índice de vegetación. Se calculó la magnitud de las anomalías en los valores del EVI para los distintos usos del suelo y las variables climáticas, conforme al método propuesto por Anderson *et al.* (2007). Se estimó el valor acumulado a lo largo de la serie temporal, para utilizando los resultados del cálculo de anomalías temporales. Estadísticamente se analizaron los resultados mediante el análisis de la varianza (ANOVA) con la finalidad de detectar la posible existencia de diferencias interanuales de las variables estudiadas (EVI promedio de los usos del suelo y variables climatológicas), a la vez que se aplicó también un análisis de componentes principales para analizar similitudes en el comportamiento de las variables estudiadas.

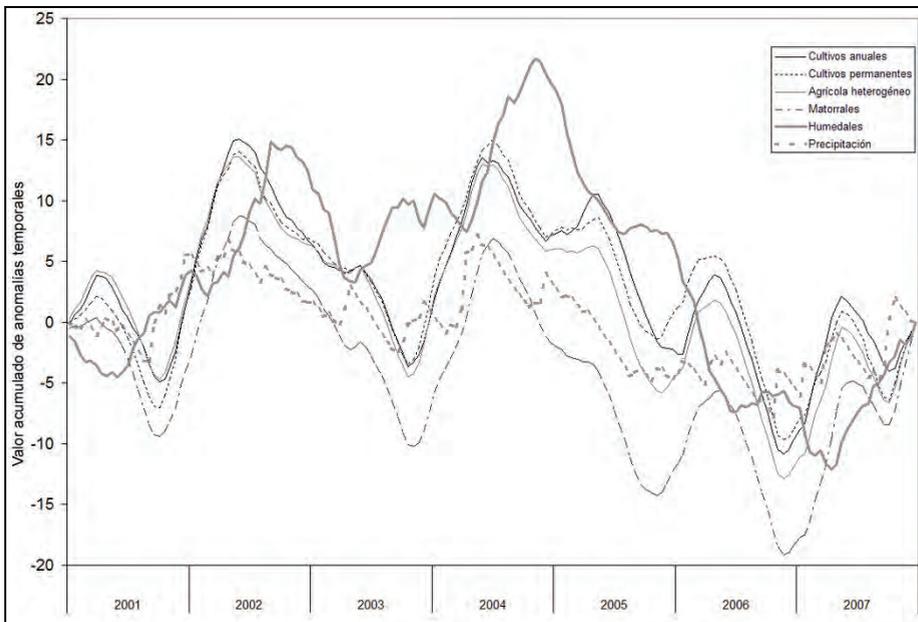


Figura 1. Evolución temporal de la anomalía acumulada del índice EVI para los distintos usos del suelo más la precipitación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron grandes variaciones interanuales e intra-anales en los valores del índice de vegetación EVI, siendo muy diferentes entre sí los ciclos fenológicos observados para las distintas cubiertas del suelo. Los valores máximos de EVI se obtuvieron durante las primeras y últimas semanas del año natural, debido a la mayor disponibilidad de agua en el

suelo, gracias a las precipitaciones otoñales. Los valores mínimos de EVI se obtuvieron entre mitad de julio y mitad de septiembre, siendo muy prolongado el periodo de tiempo en que la vegetación está seca y por lo tanto el suelo es más vulnerable a la erosión (hídrica o eólica).

El análisis de la anomalía en las series de vegetación y climatológicas, evidenció una gran variabilidad interanual, que mediante el cálculo de los valores acumulados, mostró puntos de inflexión en el comportamiento de las cubiertas del suelo y las variables climatológicas, correlacionándose los incrementos en los valores acumulados de anomalías de series temporales, con incrementos sostenidos en las variables analizadas. Este método es eficaz para analizar patrones generales de comportamiento en series temporales, minimizando el efecto de micro-variaciones que pudieran llegarse a interpretarse como ruido en el patrón general de comportamiento.

En la tabla 1 se muestra el resultado de la aplicación del análisis de la varianza (ANOVA) de un factor, a las series temporales, considerando como factor el año de adquisición de los datos. Se verificó previamente a la aplicación del test que las variables adoptaban una distribución normal y las varianzas eran homogéneas. Analizando resultados del test ANOVA, se puede observar como existen diferencias significativas ($p < 0,001$) interanuales para todas las series EVI de los usos del suelo, así como para la variable precipitación, no observándose diferencias significativas $p > 0,05$ para las variables temperatura media y evapotranspiración potencial.

Tabla 1. Análisis de la varianza (ANOVA) de un factor, considerando como tal el año de adquisición de las imágenes/variables climatológicas.

Variables	gl	F	Sig.
Cultivos anuales	6	45,384	0,000 ***
Cultivos permanentes	6	46,980	0,000 ***
Agrícola heterogéneo	6	47,464	0,000 ***
Matorrales	6	41,886	0,000 ***
Humedales	6	101,892	0,000 ***
Precipitación	6	52,294	0,000 ***
Temperatura media	6	2,015	0,067 ns
Evapotranspiración potencial	6	1,992	0,070 ns

*** $p \leq 0,001$; ** $p \leq 0,01$; * $p \leq 0,05$; ns : no significativa

Mediante el análisis de componentes principales se pudo estudiar la asociación de las variables estudiadas, complementando las observaciones realizadas a raíz del test ANOVA.

Tabla 2. Matriz de componentes rotadas.

Variables	Componente 1	Componente 2
Cultivos anuales	0,961	-0,140
Cultivos permanentes	0,948	-0,178
Agrícola heterogéneo	0,983	-0,137
Matorrales	0,928	-0,059
Humedales	0,738	0,454
Precipitación	0,858	0,047
Temperatura media	-0,121	0,976
Evapotranspiración potencial	-0,043	0,932

Se obtuvieron dos componentes principales, mostrándose en la Tabla 2 el grado de asociación de las variables estudiadas con los mismos. Puede apreciarse una clara

asociación en el comportamiento de las series de vegetación para los siguientes usos del suelo: cultivos anuales, cultivos permanentes, agrícola heterogéneo y matorrales. Próximo a este grupo de variables se encuentran la precipitación, y un poco más distante la serie de vegetación para humedales. Estas variables poseen una elevada correlación con la primera componente y una leve correlación (tanto positiva como negativa) con la componente 2, excepto para el caso de los humedales, debido a que no responden totalmente a un patrón natural, dado que los ciclos hídricos de los mismos (El Hondo de Elche-Crevillente y las Salinas de Santa Pola) están controlados artificialmente. En el otro extremo se encuentran las variables temperatura media y evapotranspiración potencial, dado que poseen una muy leve correlación con la primera componente y una gran correlación con la segunda. De este modo es posible distinguir un grupo de variables de comportamiento análogo, integradas por las series temporales de EVI para los distintos usos del suelo (a excepción de los humedales) más la precipitación, y por otro lado las otras variables climatológicas.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se muestra la potencialidad de la teledetección para el estudio de los procesos de desertificación. El estudio de las series temporales de índices de vegetación adquiridas mediante sensores de teledetección, permitió analizar la evolución de la vegetación y su dependencia con los parámetros climatológicos, esencialmente con la precipitación. Este hecho no se percibió en el caso de los humedales antropizados. Esta herramienta facilita el seguimiento temporal sinóptico de los procesos de degradación edáfica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Caja de Ahorros del Mediterráneo (CAM), la concesión de una beca predoctoral con la que se pudo llevar a cabo este estudio.

REFERENCIAS

- ❖ Anderson, L., Malhi, Y., Aragao, L. & Saatchi, S. 2007. Spatial patterns of the canopy stress during 2005 drought in Amazonia. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IGARSS 2007, 2294-2297.
- ❖ EEA. 2006. *Land accounts for Europe 1990–2000. Towards integrated land and ecosystem accounting*. EEA Report 11/2006. European Environment Agency (EEA). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- ❖ Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodríguez, E.P., Gao, X. & Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83, 195-213.
- ❖ Huete, A., Justice, C. & van Leeuwen, W. 1999. *MODIS Vegetation Index (MOD 13). Algorithm Theoretical Basis Document. Version 3*. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt (MD), USA.
- ❖ MARM. 2008. *Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND)*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), Gobierno de España, Madrid, España.
- ❖ OSE. 2006. *Cambios de ocupación del suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad*. Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE) y Ministerio de Fomento. Mundi-Prensa.
- ❖ Porta, J., López-Acevedo, M. & Roquero, C. 1999. *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente*. 2ª edición. Mundi-Prensa.
- ❖ Tucker, C., Dregne, H. & Newcomb, W. 1991. Expansion and contraction of the Sahara desert from 1980 to 1990. *Science*. 253, 299-301.