

# Método simple para la identificación de zonas homogéneas de NDVI y temperatura de superficie en La Península Ibérica

## A simple method to identify homogeneous areas of NDVI and land surface temperature over The Iberian Peninsula

C. Mattar, J.A. Sobrino, Y. Julien, B. Franch y R. Oltra

<sup>1</sup> *Global Change Unit. Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica. Universitat de València. Polígono La Coma s/n, 46980 Paterna, València, España.*

*Recibido el 15 de Octubre de 2008, aceptado el 17 de Noviembre de 2008*

### RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología simple para la determinación de zonas homogéneas de vegetación y temperatura de la superficie, utilizando para ello los productos de temperatura de la superficie (LST) y NDVI desarrollados a partir del sensor MODIS. El procedimiento se llevó a cabo para el año 2005 analizando la Península Ibérica y el archipiélago Balear. El método propuesto consta de eliminación de nubes, análisis de cluster, filtros espaciales de paso bajo y un filtro temporal iterativo de Lanczos. Esta metodología logra distinguir, para el año analizado, más de veinte clases, mostrando una aplicación fenológica para cuatro de ellas. Estas clases coinciden, en parte, con cubiertas vegetales establecidas en el programa GLC2000.

**PALABRAS CLAVE:** LST, NDVI, MODIS, cluster, zonas homogéneas, fenología.

### ABSTRACT

This work presents a simple method to determine homogenous areas of vegetation and land surface temperature, using for this purpose Land Surface Temperature (LST) and NDVI products generating by MODIS images. This procedure was carried out for year 2005 analyzing the Iberian Peninsula and the Balear archipelago. The proposed method consists in cloud removal, low pass filters and Lanczos iterative filters. This methodology allows distinguishing for the analyzed year, more than twenty classes, showing a phenologic application for four of them. Those classes agree, in part, with the vegetation covers established by GLC2000 program.

**KEYWORDS:** LST, NDVI, MODIS, cluster, homogenous areas, phenology

### INTRODUCCIÓN

La zonificación de las distintas cubiertas de la superficie terrestre es una tarea necesaria para estudiar el comportamiento temporal y estacional de las variables biofísicas de dichas áreas. Estas zonificaciones se pueden llevar a cabo utilizando distintos tipos de datos y empleando métodos univariantes o mul-

tivariantes, lo cual varía en función del tipo de zonificación que se quiere encontrar en relación a una o más variables de interés.

En términos generales y a escala global existen variadas zonificaciones o clasificaciones para el estudio de variables biofísicas, las cuales pueden o no contemplar la vegetación (Thornwaite, 1948; Kottek *et al.*, 2006; Peel *et al.*, 2007). Estas clasificaciones

fueron desarrolladas principalmente para escalas de baja resolución, haciendo difícil su aplicación para un estudio local. Por otra parte, y debido principalmente a los avances en teledetección, es posible encontrar otro tipo de clasificaciones a escala global, en donde la vegetación se ha incorporado como variable primordial y se han generado diferentes zonas homogéneas de cobertura vegetal a escala global (Bartolomé & Belward, 2005) o continental (Eva *et al.*, 2004)

El incremento en la necesidad de disponer de información sobre la cobertura de la superficie terrestre junto con el estudio de su dinámica espacio temporal, es uno de los principales objetivos que se busca a la hora de generar los mapas de clasificación global utilizando datos de satélite (Neumann *et al.*, 2007). Esto ha llevado a la realización de diferentes programas con variados requerimientos y metodologías para generar distintos tipos de clasificaciones globales, las cuales difieren en escalas de trabajo y la precisión de los resultados (Herold *et al.*, 2006). Sin embargo, este tipo de clasificaciones no está exento de problemas tales como; diferencia de fechas en los datos utilizados, diferencia en las resoluciones espaciales, resultados estáticos de las clasificaciones (e.g. no se actualizan constantemente), entre otros (Strahler *et al.*, 1999). Debido a lo anterior y producto de la dinámica que poseen los ecosistemas terrestres, es necesario generar metodologías eficientes y útiles para zonificar coberturas naturales terrestres.

En la actualidad, una de las formas para determinar zonas homogéneas utilizando datos de satélite es relacionar el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) con la temperatura de superficie (Nemani & Running, 1997). Esta relación ha evidenciado su funcionamiento para la detección de parámetros biofísicos de la superficie terrestre (evapotranspiración o el contenido de humedad de la superficie) y en la caracterización y dinámica de las cubiertas vegetales (Julien & Sobrino, 2008a). Uno de los sensores que permiten evaluar esta alternativa es el *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), pero la serie de datos generada por este sensor está influenciada por la deriva orbital (Price, 1991; Privette *et al.*, 1995). La deriva orbital influye en una disminución de la radiancia recibida por el sensor, generando una alteración en los valores calculados a partir de estos datos, tal como la temperatura de brillo y el NDVI (Julien *et al.*, 2006). Por otra parte, se han desarrollado otros estudios utilizando productos del sensor *Moderate Resolution Imaging Spectrome-*

*ter* (MODIS) (Zhang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2006), en donde los efectos de la deriva orbital, sobre la temperatura de superficie y el NDVI, no son significativos sobre zonas homogéneas de vegetación (Rhee *et al.*, 2008; Viña *et al.*, 2008).

Por otra parte, una de las aplicaciones que tendría la determinación de este tipo de zonas homogéneas se relaciona con el cálculo de parámetros biofísicos, tal es el caso de la fenología de la vegetación, que se define como el estudio de los eventos cíclicos de la vegetación (Karlsen *et al.*, 2007). Por otra parte, la fenología de una cubierta vegetal se relaciona intrínsecamente con la magnitud del NDVI que presenta, la cual se analiza a través de su serie temporal, calculando las distintas etapas que caracterizan a un ciclo fenológico como el nivel mínimo y máximo o la amplitud, entre otras características de la vegetación (Julien, 2008; Julien & Sobrino, 2008b).

La determinación de zonas homogéneas es una tarea que se ha realizado en diversos campos de la ciencia, existiendo innumerables técnicas de agrupación, una de ellas es el análisis de cluster o de tipologías. El análisis de cluster tiene como objetivo principal la asignación de casos en grupos homogéneos (clases o clusters), no conocidos de antemano, pero sugeridos por la propia esencia de los datos, de manera que los datos que puedan ser considerados similares sean asignados a un mismo cluster, mientras que datos diferentes se sitúen en clases distintas (Pérez, 2004). Esta técnica estadística ya ha sido aplicada para la determinación de zonas homoclimáticas (Fovell y Fovell, 1993; Fovell, 1997; Rhee *et al.*, 2008) y ecozonas (Coops *et al.*, 2008), entre otras aplicaciones medio ambientales.

El objetivo principal de este trabajo es presentar un método simple para la determinación de zonas homogéneas de la cobertura de suelo, a partir de productos de temperatura de superficie e índice de vegetación normalizado (NDVI) generados por el sensor MODIS, aplicado a la península Ibérica durante el año 2005. Específicamente, sobre toda la península Ibérica exceptuando los trabajos de Lobo (Lobo *et al.*, 2004) son pocos los estudios sobre clasificación de vegetación realizados.

## METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo usando datos correspondientes al año 2005 para toda la península Ibérica,

la cual se caracteriza por sus marcados sistemas montañosos y por sus contrastes climáticos entre el Norte y el Sur, además del archipiélago Balear. La mayor parte de la vegetación que cubre la península corresponde a cultivos (aprox. 57%), bosques y arbustos (Tabla 1); los cuales se ubican principalmente entre los sistemas montañosos de los Pirineos y el sistema Cantábrico (Bartolomé & Belward, 2005).

## DATOS UTILIZADOS

La clasificación realizada se llevó a cabo utilizando valores de temperatura de la superficie (*Land Surface Temperature*, LST) y NDVI, ambos conjuntos de datos correspondientes a los productos MOD11A2 y MOD13A2, generados a partir de imágenes suministradas por el sensor MODIS a bordo del satélite TERRA. Estos datos se encuentran disponibles en <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/ims-welcome/>. El producto LST corresponden al promedio simple de 8 días de imágenes de temperatura de la superficie, señalando los píxeles contaminados mediante una imagen de calidad (QA) (Wan, 2006). Para ese trabajo sólo se utilizaron las imágenes correspondientes a temperatura diurna. La precisión de estas imágenes ha sido validada en más de 20 mediciones in-situ en condiciones de cielo despejado, obteniéndose una precisión de 1 K en un rango de 263 a 322 K (Wan *et al.*, 2002; 2004). Sin embargo, el sensor MODIS no está exento de dificultades,

siendo una de ellas la indeterminación de la variación continua de la temperatura y la influencia de las condiciones atmosféricas tanto en las bandas originales como en los productos Level 3 (Huang *et al.*, 2008). Por otra parte, las características de las imágenes de NDVI tienen dificultades similares a las de temperatura, no obstante el método utilizado para generar el *composite* de este producto es diferente, utilizándose el *Maximum Value Compositing* (MVC), entregando un producto de NDVI cada 16 días. Este método se encuentra descrito en Holben (1986), las características de este producto así como sus inconvenientes se encuentran señalados en Huete *et al.*, (2002). La resolución espacial de ambos productos es de ~1 Km y cada una de estas imágenes fue georeferenciada en la proyección sinusoidal utilizando los valores que se establecían en el fichero de cada producto.

## MÉTODO DE CLASIFICACIÓN Y MAPAS RESULTANTES

Para la determinación de las zonas homogéneas se utilizó un análisis de cluster no jerárquico sobre el promedio anual de temperatura y NDVI para el año 2005, aplicando como medida de agrupación la técnica del máximo valor del histograma, utilizando como valores de entrada el número máximo de clases a encontrar (10), un porcentaje de saturación (1%), nivel de discretización (6) y un nivel genera-

Tipo de Cobertura	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Tree Cover, broadleaved, deciduous, closed	57.433	8,54
Tree Cover, needle-leaved, evergreen	64.553	9,60
Tree Cover, mixed leaf type	23.136	3,44
Shrub Cover, closed-open, evergreen	68.715	10,22
Shrub Cover, closed-open, deciduous	27.617	4,11
Herbaceous Cover, closed-open	11.882	1,77
Sparse Herbaceous or sparse Shrub Cover	13.071	1,94
Regularly flooded Shrub and/or Herbaceous Cover	2.139	0,32
Cultivated and managed areas	385.991	57,42
Cropland / Shrub or Grass Cover	361	0,05
Bare Areas	721	0,11
Water Bodies	179	0,03
Artificial surfaces and associated areas	3.156	0,47
No data	13.223	1,97

Tabla 1.- Superficie de la península Ibérica para cada clasificación del GLC2000.

lización fino. Este algoritmo de clasificación se programó en IDL 6.3. El método de cluster empleado en este trabajo se encuentra bien detallado en Richards & Jia (1999) y Letts (1978). Debido a la naturaleza de los datos, se encontraron 7 y 9 clases para el NDVI y la temperatura de superficie respectivamente. El cálculo de la imagen promedio (para cada variable) no consideró los píxeles nubosos, se ha tomado como umbral para eliminar datos en la imagen de temperatura aquellos píxeles que presentan valores inferiores a 260 K y para el NDVI valores inferiores a 0.01. Las clases generadas fueron sometidas a un filtro espacial utilizando un kernel móvil de 7 x 7 de paso bajo, con el objetivo de eliminar los píxeles clasificados de baja frecuencia. En la Figura 1 se muestra las imágenes promedio de temperatura y NDVI y en la Figura 2 el mapa de zonas homogéneas generado.

Finalmente, se realizó un proceso de tabulación cruzada entre ambas clasificaciones para obtener un mapa con 24 zonas homogéneas para toda la península Ibérica y el archipiélago Balear. Este mapa final de clases se obtuvo después de aplicar un filtro de moda de 7x7 sobre la imagen resultante de la tabulación cruzada con el fin de eliminar las pequeñas

clases de baja frecuencia espacial (Figura 3a).

Con la objetivo de comprobar el grado de asociación de las clases encontradas con un mapa preestablecido se compararon cuatro clasificaciones de GLC2000 actualizada al 2006 (<http://www-gem.jrc.it/glc2000/ProductGLC2000.htm>). Por otra parte, como una aplicación a la determinación de las zonas homogéneas se calcularon las curvas fenológicas de las zonas que coincidían espacialmente con la cobertura GLC2000 (figura 3b) identificando cuatro tipos de cobertura: Bosque caducifolio, Bosque de hoja siempre verde, cultivos y humedal. Para calcular las curvas de fenología de cada zona, se seleccionó un grupo de 3 x 3 píxeles correspondientes al centro de cada zona que coincidían entre ambas clasificaciones. Debido a que la serie temporal presentaba valores anómalos, a la serie temporal de NDVI para las cuatro preseleccionadas anteriormente se aplicó un filtro de Lanczos (Cullum & Willoughby, 1985) de 2 iteraciones (Ecuación 1) para homogeneizar la serie de datos y eliminar el ruido que presenta esta serie. Este operador permite suavizar los valores que presentan más de dos desviaciones estándar, en relación a la desviación total de la muestra para el caso del NDVI.

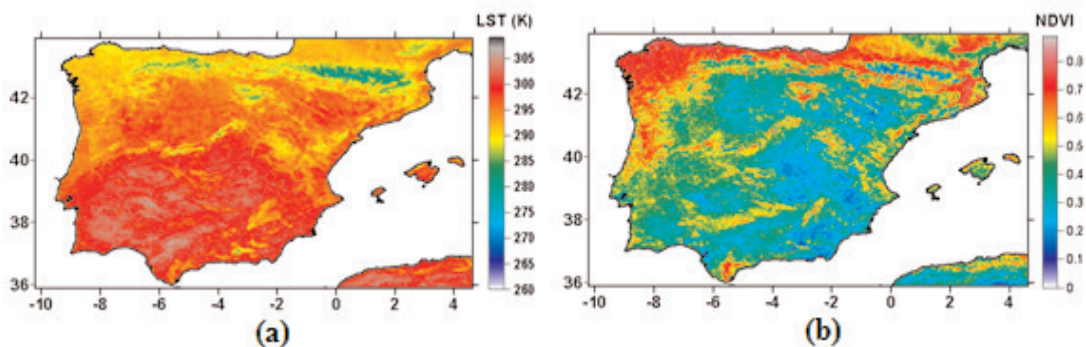


Figura 1.- a) LST y b) NDVI promedio para el año 2005

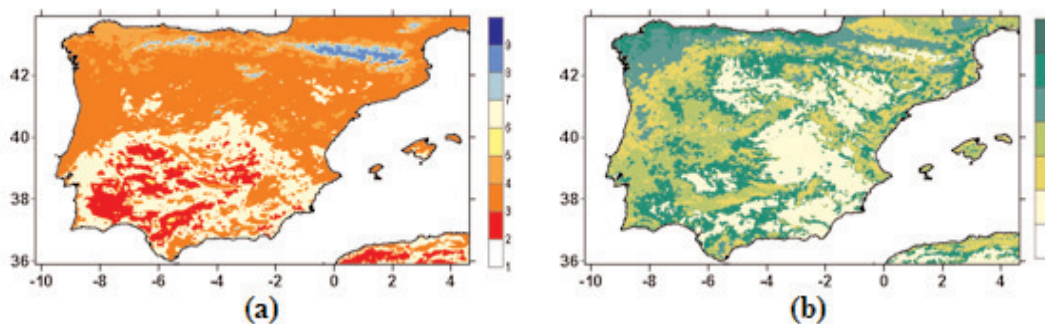
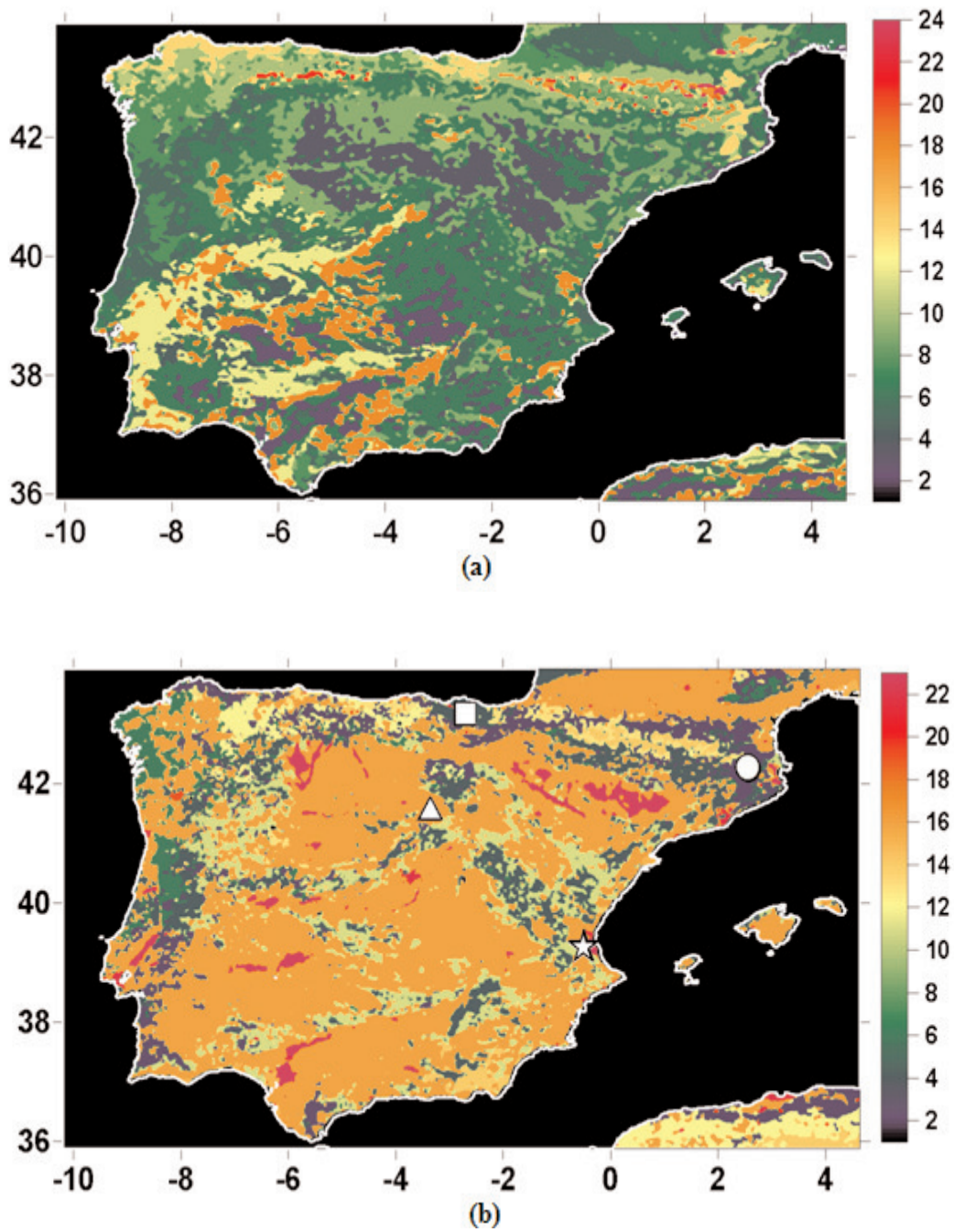


Figura 2.- Clasificaciones realizadas a partir de la figura 1 para la temperatura (a) y el NDVI (b).

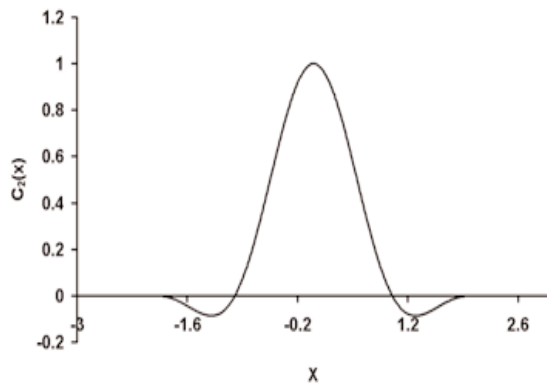




**Figura 3.-** Zonas homogéneas generadas (a) y mapa de clasificación de la GLC2000 (b). Las zonas seleccionadas para la comparación se identifican con: Bosque Siempre verde (cuadrado), Bosque Caducifolio (círculo), Cultivo (triángulo) y Humedal (estrella).

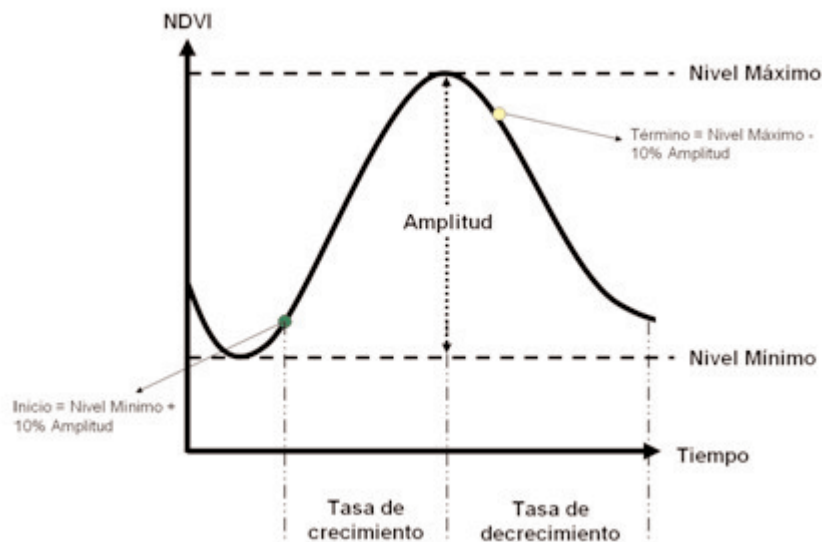
$$C_2(x) = \begin{cases} \text{sinc}(\pi x) \cdot \text{sinc}\left(\pi \frac{x}{2}\right) & \text{si } |x| < 2 \\ 0 & \text{si } |x| \geq 2 \end{cases} \quad (1)$$

donde  $\text{sinc}(a) = \sin(a)/a$ . La figura 4 muestra la respuesta temporal del filtro de Lanczos de 2 iteraciones.



**Figura 4.-** Representación gráfica de la función filtro de Lanczos para dos iteraciones.

La serie de NDVI para las cuatro zonas seleccionadas con los valores suavizados por el filtro de Lanczos, se muestra en la figura 5.



**Figura 5.-** Fases de la fenología calculadas en este estudio

Posteriormente, se calcularon los parámetros fenológicos generales, fundamentados en un criterio de umbrales (Julien & Sobrino, 2008b), resultantes de la serie temporal de los valores de NDVI, tal es el caso de la duración de la estación de crecimiento, el nivel máximo y mínimo, la amplitud, la tasa de crecimiento y decrecimiento de la vegetación para las cuatro zonas seleccionadas (Figura 6).

En función de cada curva de NDVI mostrada en la figura 6, se calcularon distintos valores fenológicos como el NDVI base y máximo, la amplitud entre estos valores, las fechas de comienzo del crecimiento y máximo NDVI y la tasa de crecimiento y decrecimiento.

Finalmente, en la figura 7 muestra un diagrama de flujo con la metodología realizada en este trabajo.

## DISCUSIÓN

Tanto en las clasificaciones de la LST como en el NDVI es posible apreciar en el norte de la península las zonas de bosque. En la región de Andalucía se distinguen las temperaturas más altas asociadas a valores de NDVI bajos (menores de 0.5). Esto se atribuye al tipo de cobertura del suelo, principalmente xérica (dominio árido y semiárido). La porción sur de la costa Mediterránea, así como la Atlántica, presentan un comportamiento similar en temperatura de la superficie. En el centro de la península se distingue una amplia clase asociada a valores de NDVI menores de 0.4.

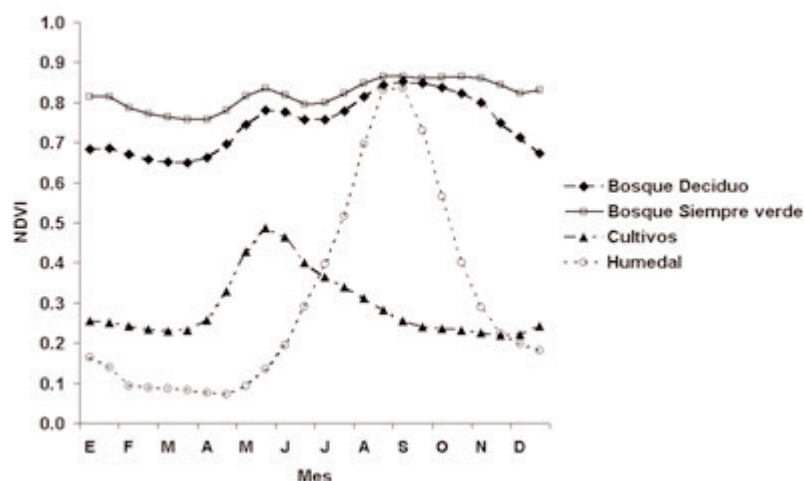


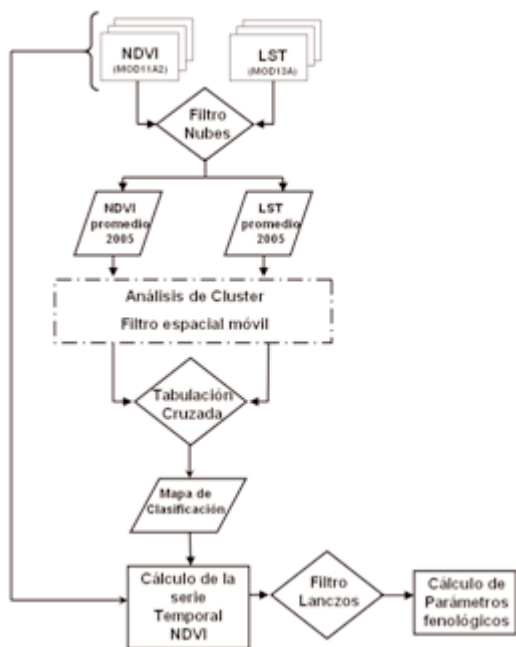
Figura 6.- Serie temporal de NDVI para el año 2005 calculado a partir de los cuatro tipos de cobertura seleccionados.

NDVI	Bosque hoja Densa	Bosque siempre verde	Cultivos	Humedal
<i>Mínimo</i>	0.65	0.76	0.22	0.07
<i>Máximo</i>	0.85	0.87	0.49	0.84
<i>Amplitud</i>	0.20	0.11	0.27	0.76
<i>Comienzo estación crecimiento</i>	23 de Abril	7 de Abril	25 de Marzo	24 de Mayo
<i>Fin estación de crecimiento</i>	9 de Oct	10 de Nov	10 de Junio	30 de Sep
<i>Tasa de Crecimiento (NDVI día<sup>-1</sup>)</i>	0.017	0.009	0.056	0.096
<i>Tasa de Decrecimiento (NDVI día<sup>-1</sup>)</i>	-0.027	-0.005	-0.018	-0.100

Tabla 2.- Parámetros fenológicos obtenidos a partir de las series temporales de las zonas homogéneas seleccionadas

Las categorías generadas (Figura 3a) tienen en cuenta en gran parte la topografía del lugar, con diferentes clases en los Pirineos, el Norte de España y las regiones montañosas del centro de la península. En la costa mediterránea, se pueden apreciar las distintas clases ubicadas a lo largo de esta zona, la cual muestra un mayor número de clases al sur de la península. La mayor parte de las clases no se pueden asociar directamente a un tipo de vegetación, ya que no se ha utilizado ninguna información espectral que pueda permitir la identificación y diferenciación de tipos de cobertura vegetal. Por otra parte, esta información podría complementar este método con el fin de asignar cada zona a un tipo de cobertura. Sin embargo, este no es el objetivo de este trabajo y se realizará en un próximo estudio.

La comparación entre las clases del mapa de zonas homogéneas generado y las clasificaciones GLC2000 antes comentadas (Figura 3a y 3b) muestra que las mayores discrepancias ocurren en el centro de España, lo que se atribuye principalmente a cultivos agropecuarios. A pesar de que en esta zona se pueden encontrar diferentes zonas de temperatura, éstas no se aprecian en la clasificación del GLC2000, debido a que ésta se basa principalmente en las propiedades espectrales y no térmicas de la cobertura de la superficie. No obstante, en las zonas donde existen bosques o sitios con algún grado de humedad, tal es el caso de valles o microcuencas, el mapa de clasificación realizado muestra un cierto grado de coincidencia con el GLC2000, como se puede apreciar para algunas clases de cobertura ve-



**Figura 7.-** Diagrama de flujo utilizado para el cálculo del mapa de clasificación y de los parámetros fenológicos.

getal como bosques caducifolios y siempre verdes en el norte de la península, algunos sectores de la costa oeste y el extremo este de los Pirineos. El número de clases encontrado en las dos clasificaciones son similares, aunque con distribuciones y proporciones distintas, debido principalmente a la influencia orográfica, la cual es una variable crítica que influencia la clasificación existente.

Con respecto a la evolución del NDVI en las cuatro zonas seleccionadas (Figura 5) podemos observar como en los bosques, el NDVI muestra patrones distintos a las zonas clasificadas como cultivos, presentando en promedio, un valor superior a 0.7 durante todo el año y existiendo errores en el filtro de nubes en los meses de verano. Los cultivos muestran una clara fase de crecimiento y decrecimiento del NDVI con un máximo definido. La evolución del NDVI de la zona clasificada como cultivo muestra un valor máximo de 0.5 para el NDVI, próximo al mes de mayo.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un método simple para la detección de zonas homogéneas a baja resolución utilizando productos MODIS de temperatura de superficie y NDVI para el año 2005 sobre la península

Ibérica. La metodología empleada es de secuencia simple y eficiente, determinando zonas homogéneas a través de valores de una tabulación cruzada entre las zonas que se caracterizan por las magnitudes de temperatura de la superficie y NDVI.

A pesar de la existencia de algoritmos para calcular la temperatura de la superficie utilizando imágenes MODIS (Sobrino *et al.*, 2003), el objetivo de este trabajo es presentar al usuario de los productos MODIS una aplicación en la identificación de zonas homogéneas a baja resolución. Estos productos no necesitan ser corregidos por el efecto atmosférico mediante el uso de códigos de transferencia radiativa, paso fundamental en la determinación de la temperatura de la superficie a partir de imágenes MODIS.

Una de las imperfecciones que muestra este método es la ubicación espacial y posterior eliminación de nubes, ya que sólo considera umbrales preestablecidos y no utiliza funciones estocásticas de filtraje de nubes. Esto condiciona de cierta manera los umbrales máximos de NDVI cuando la cobertura nubosa es persistente, lo que ocurre en el Norte de la península Ibérica, principalmente en el periodo invernal.

La diferenciación de tipos de cultivo, ya sean agrícolas o forestales, es una tarea difícil de realizar con este método, el cual fue desarrollado utilizando imágenes a una escala de resolución baja (~ 1 Km) y con los productos Level-3 generados a partir de datos MODIS. Por lo tanto, una mejora a este método sería la introducción de valores espectrales de reflectividad o de otro índice de vegetación, mejoras que se realizarán en trabajos futuros.

## REFERENCIAS

- BARTHOLOMÉ, E. & BELWARD, A.S. 2005. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*. 26(9): 1959–1977.
- COOPS, N., WULDER, M., DURO, D., HAN, T. & BERRY, S. 2008. The development of a Canadian dynamic habitat index using multi-temporal satellite estimates of canopy light absorbance. *Ecological indicators*. 8: 754 – 766.
- CULLUM, J.K. & WILLOUGHBY, R.A. 1985. *Lanczos Algorithm for large symmetric eigenvalue computations*. Vol. 1 -7. Boston. USA.
- EVA, H., BELWARD, A., DE MIRANDA, E., DI



- BELLA, C., GOND, V., HUBER, O., JONES, S., SGRENZAROLI, M. & FRITZ, S. (2004). A land cover map of South America. *Global Change Biology*. 10: 731-744.
- FOVELL, R. 1997. Consensus clustering of US temperature and precipitation data. *Journal of Climate*. 10: 1405 – 1427.
- FOVELL, R. & FOVELL, M.Y. 1994. Climate zones of the Conterminous United States defined using cluster Analysis. *Journal of Climate*. 6: 2103 – 2135.
- HEROLD, M., WOODCOCK, C., DI GREGORIO, A., MAYAUX, P., BELWARD, A., LATHAM, J. & SCHMULLIUS, C.C. 2006. A joint initiative for harmonization and validations of land cover datasets. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 4(7): 1719 – 1727.
- HOLBEN, B. N. 1986. Characteristics of maximum-value composite image from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*. 7: 1417 – 1464.
- HUANG, CH., LI, X., LU, L. 2008. Retrieving soil temperature profile by assimilation MODIS LST products with ensemble Kalman filter. *Remote Sensing of Environment*. 112: 1320 – 1336.
- 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.
- JULIEN, Y., SOBRINO, J. A. & VERHOEF, W. 2006. Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999. *Remote Sensing of Environment*. 103: 43–55.
- JULIEN, Y. 2008. Vegetation monitoring through retrieval of NDVI and LST time series from historical databases. PhD. Thesis. University of Valencia. 288 pp.
- JULIEN, Y. & SOBRINO, J. A. 2008a. The Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method: an analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters. *Remote Sensing of Environment* (in press).
- JULIEN, Y. & SOBRINO, J.A. 2008b. Global land surface phenology trends from GIMMS database. *International Journal of Remote Sensing* (in press).
- KARLSEN, S.R. & CO-AUTHORS. 2007. MODIS-NDVI-based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (in press).
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B. & RUBEL, F. 2006. World Map of Köppen-Geiger Climate Classification updated. *Meteorol Z.* 15: 259 – 263.
- LETTS, P.A. 1978. Unsupervised classification in the Aries Image Analysis system. *Proc. 5th Canadian Symposium on Remote Sensing*, 61- 71.
- LOBO, A., LEGENDRE, P., REBOLLAR, J.L.G., CARRERAS, J., MINOT, J.M. & 2004. Land cover classification at a regional scale in Iberia: separability in a multi-temporal and multi-spectral data set of satellite images. *International Journal of Remote Sensing*. 25(1): 205 – 213.
- NEMANI, R. R. & RUNNING, S.W. 1997. Land cover characterization using multitemporal re, near-IR and thermal-IR data from NOAA/AVHRR. *Ecological Applications*. 7(1): 79 – 90.
- NEUMANN, K., HEROLD, M., HARTLEY, A. & SCHMULLIUS, C. 2007. comparative assessment of CORINE2000 and GLC2000: Spatial analysis of land cover data for Europe. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 9: 425 – 437.
- PEEL, M.C., FINLAYSON, B.L. & MCMAHON, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Science*. 11: 1633 – 1644.
- PÉREZ, C. 2004. Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Editorial Pearson and Prentice May, Madrid, España, 646 pp.
- PRICE, J.C. 1991. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration, *IEEE Transaction in Geoscience and Remote Sensing*. 28: 940 – 948.
- PRIVETE, J. L., FOWLER, C., BALDWIN, D., WICK, G. A. & EMERY, W. J. 1995. Effects of orbital drift on advanced very high resolution radiometer (AVHRR) products: normalized difference vegetation index (NDVI) and sea surface temperature (SST). *Remote Sensing of Environment*. 53: 164 – 171.
- RHEE, J., IM, J., CARBONE, B. & JENSEN, J. 2008. Delineation of climate regions using in-situ and remotely-sensed data for the Carolinas. *Remote Sensing of Environment*. 112:

- 3099 – 3111.
- RICHARDS, J.A. & JIA, X. 1999. *Remote sensing digital image analysis : an introduction*. Springer, Berlin, 363 pp.
- SOBRINO, J.A., EL-KHARRAZ, J. & LI, Z. 2003. Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*. 24(24): 5161 – 5182.
- STRAHLER, A.H., MUCHONEY, D., BORAK, J., FRIEDL, M., GOPAL, S., LAMBIN, E. & MODDY, A. 1999. *Modis Landcover Product: Algorithm Theoretical Basis Document*. V 5.0
- THORNTHWAITE, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38: 55 – 94.
- VIÑA, A., BEARER, S., ZHANG, H., OUYANG, Z. & LIU, J. 2008. Evaluating MODIS data for mapping wildlife habitat distribution. *Remote Sensing of Environment*. 112: 2160 – 2169.
- WAN, Z. 2006. *MODIS land surface temperature product user's guide*. Institute of Computational Earth System Science. University of California, Santa Barbara, CA.
- WAN, Z., ZHANG, Y., ZHANG, Q., & LI, Z. -L. 2002. Validation of the land surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*. 83: 163 – 180.
- WAN, Z., ZHANG, Y., ZHANG, Q., & LI, Z. -L. 2004. Quality assessment and validation of the MODIS global land-surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*. 25: 261 – 274.
- ZHANG, X., FRIEDL, M., SCHAAF, C. & STRAHLER, A. 2004. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology*. 10:1133 – 1145.
- ZHANG, X., FRIEDL, M. & SCHAAF, C. 2006. Global vegetation phenology from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Evaluation of global patterns and comparison with in situ measurements. *Journal of Geophysical Research*, 111: G04017.