

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

CAMBIOS AMBIENTALES Y DINÁMICA DE LAS CUBIERTAS DE PASTIZAL EN EL SISTEMA CENTRAL ESPAÑOL A PARTIR DEL ANALISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES MODIS-TERRA ENTRE 2003 Y 2012

TERESA BULLÓN MATA

Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras.
Universidad Autónoma de Madrid. Calle Francisco Tomás y Valiente 1. 28049 Madrid.
E-mail: teresa.bullon@uam.es

RESUMEN

Este trabajo se realiza a partir del análisis hipertemporal de un conjunto de 212 imágenes del índice NDVI procedentes del sensor de media resolución MODIS TERRA adquiridas entre enero de 2003 y marzo de 2012. El objetivo del estudio es determinar los cambios que ocurren en coberturas de pastizal, situadas en el centro de la península Ibérica, que habitualmente se consideran estables, así como de las consecuencias asociadas. Se diferencian dos fases de realización de esta investigación. La primera consiste en la realización de la clasificación no supervisada con la técnica ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*, <http://www.naarm.ernet.in/Virtual/erdas13.htm>), a partir del conjunto de imágenes. La segunda fase desarrolla el análisis de los datos organizado en tres partes: 1. Identificación de las clases de pastizal, 2. Estudio estadístico de los datos numéricos extraídos de las imágenes. 3. Conexión de los datos espaciales y estadísticos con datos climáticos. Los datos de precipitación y temperatura procedentes de las estaciones situadas en el área de estudio ayudan a entender la variabilidad temporal y espacial de las cubiertas analizadas. Las clases de pastizal se agrupan en dos conjuntos, el primero contiene pastos que dependen de las lluvias de otoño y están preferentemente situados en las áreas de menor altitud. El segundo contiene pastos que se desarrollan en primavera-verano que están situados en las áreas de cumbre y son sensibles a los cambios de temperatura. El primero de ellos tiene tendencias evolutivas negativas y el segundo estables o positivas.

Palabras clave: Cambios ambientales; series temporales; sensor MODIS TERRA; NDVI; clasificaciones no supervisadas; pastizales; Sierra de Guadarrama; España.

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

ENVIRONMENTAL CHANGES AND DYNAMICS OF PASTURE LAND COVERS IN THE SIERRA DE GUADARRAMA (SISTEMA CENTRAL, SPAIN) WITH HYPERTEMPORAL MODIS-TERRA NDVI ANALYSIS (2003-2012).

ABSTRACT

The present paper was based upon a hypertemporal analysis of a set of 212 images from the NDVI index provided by the moderate-resolution sensor MODIS TERRA, acquired from January 2003 to March 2012. The aim of the study involved determining the changes occurring in pasture covers usually considered to be stable, in the centre of the Iberian Peninsula (Spain), as well as the causes and consequences thereof. Two phases of the research can be differentiated. The first one consists of an unsupervised classification with the isodata technique, based on stack images. The second phase develops the data analysis in three parts: 1. Identification of the pasture classes. 2. Statistical study of the numerical data extracted from the images. 3. Connection of the spatial and statistical data with climatic ones. The pasture classes were grouped into two sets. The first group contains pastures that strongly depend upon autumn rainfall and are preferably situated in the lower-altitude areas. The second group contains pastures presenting development in spring-summer, situated on slopes and mountaintops sensitive to temperature data. The first group exhibits negative evolutionary tendencies. The second one presents stable or slightly positive tendencies.

Keywords: Environmental changes; time series; pastures; MODIS TERRA sensor; NDVI; unsupervised classifications; Sierra de Guadarrama; Spain.

1. Introducción

Esta investigación se realiza a partir del análisis de un conjunto de 212 imágenes del índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) proporcionadas por el sensor MODIS TERRA de 250 m de resolución espacial, adquiridas desde enero de 2003 a marzo de 2012, con 23 imágenes por año. El sensor MODIS en su versión Terra, que contiene diferentes bandas electromagnéticas, proporciona una imagen diaria de cualquier punto de la superficie terrestre. Las imágenes que se emplean para este estudio son las de los resúmenes quincenales que se editan cada 16 días y tienen una resolución de 250m. La secuencia de imágenes seleccionadas contiene información sobre la sucesión de diferentes estados de floración y senescencia de la vegetación y facilita la definición de diferentes tipos de cubiertas a partir de las variaciones anuales e interanuales de estos ritmos fenológicos. Asimismo tiene capacidad para reflejar la influencia de factores excepcionales acaecidos durante el tiempo de observación, por lo que es capaz de determinar los cambios extraordinarios que se producen en una clase o sector geográfico en la franja temporal analizada.

1. 1. Contextualización sobre las técnicas de análisis

El espectroradiómetro MODIS fue considerado desde el principio de su actividad un gran avance para el análisis y control de los cambios en los usos del suelo y ecosistemas (Justice *et al.*,

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

2002, Rojas *et al.*, 2002). Los índices de vegetación proporcionados por MODIS, NDVI y *enhanced vegetation index* (EVI) fueron estudiados para comprobar su validez en la identificación de diferentes cubiertas en diversidad de biomas y situaciones atmosféricas (Huete *et al.*, 2002, Zhang *et al.*, 2002) y con el paso del tiempo han demostrado su eficacia. La precisión y fiabilidad de los datos obtenidos con el sensor MODIS es mayor que la del *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), que precedió a MODIS en el suministro de índices de vegetación en secuencias temporales regulares.

El estudio de las series temporales a partir del índice NDVI ha sido utilizado extensivamente, tanto a partir de datos procedentes del AVHRR (Barrio *et al.*, 2010, Julien y Sobrino, 2009), como de MODIS (Pouliot *et al.*, 2014, Yao *et al.*, 2012, Zhang *et al.*, 2014), o de ambos (Fensholt, 2012, Ma, 2006, Mao *et al.*, 2012). Entre los procedimientos metodológicos que se han utilizado están los desarrollados para detectar cambios asociados a eventos climáticos y evoluciones de larga duración. Los análisis de tipo fenológico (Pettorelli *et al.*, 2005) son muy abundantes y se concentran en el estudio de las fases anuales de desarrollo vegetal (Zhang *et al.*, 2003) y en la determinación de la capacidad de los indicadores fenológicos para reflejar cambios asociados la variabilidad climática y ambiental. Unas veces las observaciones in situ de especies concretas son comparadas con datos satelitales a escala de pixel (Busetto *et al.*, 2010, Hmimina *et al.*, 2013) y otras son utilizadas áreas extensas con grupos vegetales de diversa estructura y composición (Tuanmu *et al.*, 2010).

La relación entre índices de vegetación y clima es estudiada a partir de las temperaturas de superficie proporcionadas por las bandas térmicas de los sensores (Julien *et al.*, 2011) y a partir de datos de estaciones meteorológicas (Mao *et al.*, 2012, Yao *et al.*, 2012). En algunos casos se refieren a la Península Ibérica (Gouveia *et al.*, 2009, Vicente-Serrano, 2006).

1.2. Área de estudio

El área en la que se centra este trabajo está situada en la parte del Sistema Central español que comprende fundamentalmente a la Sierra de Guadarrama. Esta sierra, cuya cota máxima está a 2430 m de altitud, tiene una dirección general SW-NE, se subdivide en varias alineaciones, separadas entre sí por valles profundos o fosas tectónicas, y está bordeada por un amplio piedemonte plano, con altitud media de 1100 m. La organización espacial de las cubiertas del suelo en este sector geográfico está estrechamente relacionada con los contrastes topográficos, las clases de rocas y los tipos de suelos (Bullón *et al.*, 2014), figura 1.

El sector geográfico estudiado es representativo de un medio continental situado en el borde meridional de la zona templada europea. Conserva una gran cantidad de cubiertas seminaturales y sufre importantes y contrastadas alteraciones climáticas, cuyo efecto sobre los ecosistemas no está apenas definido. Los ecosistemas y usos del suelo asociados están organizados en varios pisos altitudinales (Rivas Martínez, 1986), que consisten en conjuntos de afinidad mediterránea en los piedemontes basales, con matorrales xerofíticos, encinares y pastos,

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

agrupamientos supramediterráneos con robles en las laderas bajas y medias, pinares o matorrales oromediterráneos en las mayores altitudes y pastos de aspecto alpino en las cumbres.

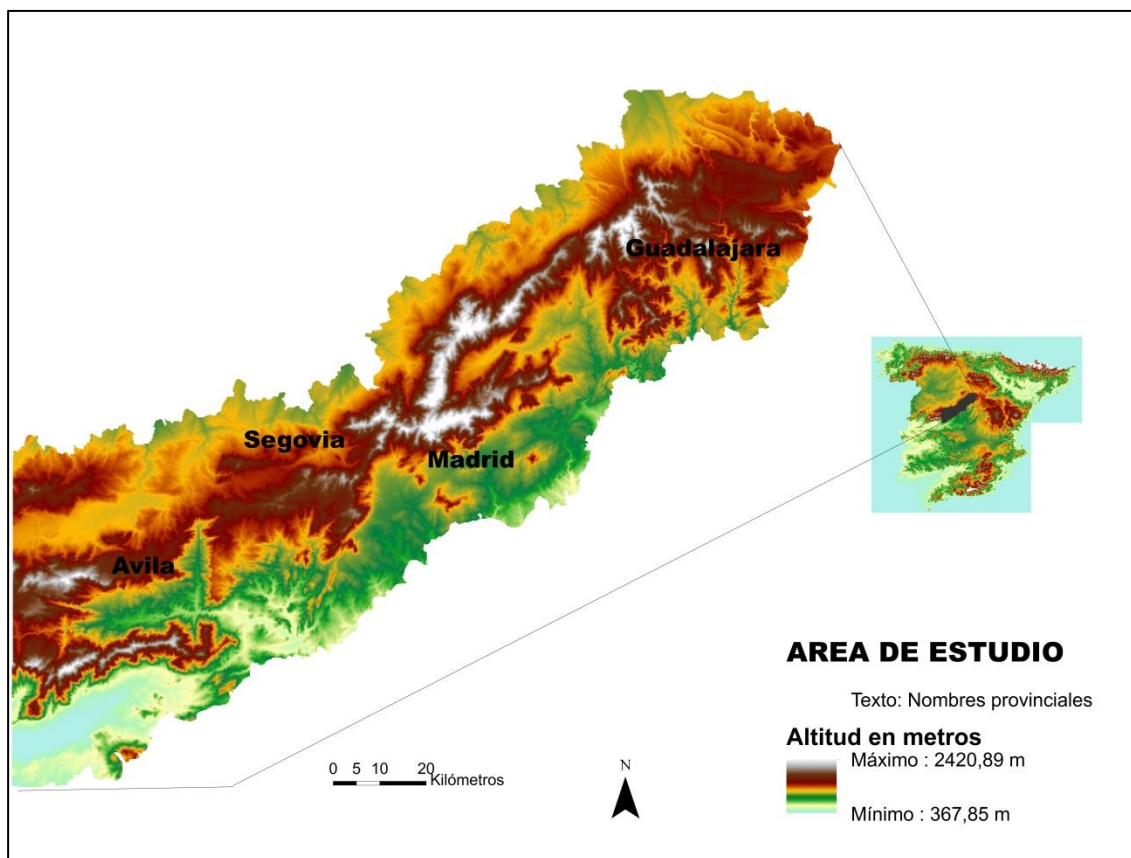


Figura 1. Área de estudio.

Fuente: elaboración propia a partir de modelos digitales de terreno MDT200 del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

1.3. El significado de las cubiertas de pastizal en la Sierra de Guadarrama

Los pastos situados en las zonas bajas y piedemontes de la Sierra de Guadarrama no constituyen la vegetación potencial del territorio, sino que están estabilizados por el propio aprovechamiento ganadero (Martínez Garrido y Sanz Herráiz, 2013, Pozo Peñalba, 2005, San Miguel Ayanz, 2001, San Miguel, 2009).

Muchos de los estudios realizados en estos pastizales determinan las especies principales que los pueblan y definen sus principales tipologías. Entre ellas destacan los berciales de *Stipa gigantea*, los cerrillares de *Festuca elegans*, y los vallicares o majadales con *Agrostis castellana*,

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

Trifolium subterraneum y *Poa bulbosa* (Rios y Salvador, 2009, San Miguel, 2009). Estos pastizales suelen tener un complejo ciclo anual con un período de florecimiento otoñal, durante el cual se desarrollan gramíneas y bulbosas y otro primaveral, con crecimiento de especies terofíticas de las familias leguminosas, compuestas y cariofiláceas. El comportamiento de estos pastizales ante la variabilidad climática muestra la fuerte dependencia de las precipitaciones en cuanto a la cantidad de biomasa y al tipo de especies que los pueblan (Henkin *et al.*, 2010), sin que por el momento se hayan definido tendencias evolutivas de carácter permanente.

Los pastos de montaña son considerados parcialmente como comunidades potenciales adaptadas al medio de cumbres y altas laderas, cuyo ámbito espacial ha aumentado a costa de los matorrales supraforestales. Están dominados por herbáceas de tipo *Festuca indigesta*, de baja talla y cobertura escasa, acompañadas de pequeños caméfitos leñosos, que conviven con comunidades de cervunal (*campanulo-nardion*) situadas en zonas húmedas o turbosas (San Miguel, 2009, Rigueiro *et al.*, 2009). El aprovechamiento ganadero de estos pastos es exclusivamente estival, aunque en el momento actual, como en otras montañas peninsulares, se encuentran en proceso de transformación y revegetación debido al descenso de la cabaña ganadera y a la sustitución de las razas tradicionales por otras de mayor valor económico (Lasanta, 2010). Las relaciones del clima con la dinámica de estos pastizales y con la regeneración de la cubierta de matorral ha sido intensamente estudiada en diversos sectores de cumbres de la Sierra de Guadarrama (García-Romero *et al.*, 2010, Muñoz Jiménez *et al.*, 2009, Muñoz Jiménez, 2013) y se ha constatado la influencia de las variables climáticas, tanto precipitación como temperatura, en la evolución hacia facies de mayor recubrimiento del suelo y en la abundancia de matorrales supraforestales.

El interés del estudio de las cubiertas de pastizal se debe a dos razones principales: 1º. Su sensibilidad para reflejar cambios ambientales, ya que por tener desarrollo anual corto son muy dependientes de la variabilidad climática. 2º. Su alto valor natural, pues mientras que los pastos situados en las áreas basales y piedemontes tienen una consideración de hábitats prioritarios en la red Natura 2000, los de las cumbres y altas laderas contienen especies de flora de alto valor y están integrados en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

1.4. Planteamiento general y objetivos

Teniendo en cuenta las consideraciones precedentes, en este trabajo se estudian los dos tipos fundamentales de pastos identificados desde la perspectiva global y consistente espacial y temporal que proporciona el sensor. Asimismo, se realiza una comparación de los datos de NDVI en nueve años seguidos con los datos climáticos según secuencias temporales cortas (estacionales o inferiores a un año) o de la totalidad del período de observación.

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

Los objetivos concretos de esta investigación son:

- Definir el ritmo anual y la tendencia que caracteriza a cada una de las cubiertas de pastizal.
- Localizar las áreas de comportamiento más dinámico.
- Conocer la influencia de los factores ambientales y climáticos en el desarrollo vegetal en cada una de estas cubiertas y explicar las diferencias entre ellas.

2. Métodos de estudio

2.1. Preparación de las imágenes hipertemporales e identificación de las clases

El proceso de preparación de las imágenes ha consistido en:

Creación de un archivo en el que se agrupa al conjunto de imágenes seleccionadas con fechas comprendidas entre 2003 y 2011, con corrección de los valores erróneos (Julien y Sobrino, 2010).

Realización de una clasificación no supervisada para la obtención de una distribución de las clases que tienen valores similares de NDVI en su comportamiento temporal. El método de la clasificación no supervisada de imágenes permite definir grupos espaciales de comportamiento dinámico análogo, que han sido definidos automáticamente por criterios exclusivamente estadísticos. La identificación del contenido de las clases, que inicialmente no tienen asignación temática concreta, se realiza a partir de mapas temáticos preexistentes, con el apoyo de las memorias y leyendas de los mismos y una verificación, ya sea in situ o asociada a imágenes de alta resolución.

La ventaja de este método en comparación con otros está en la rapidez con la que puede efectuarse el análisis y la accesibilidad a cualquier lugar de la superficie terrestre. Asimismo, el mapa que se obtiene facilita los análisis comparativos y la interrelación con variables ambientales. Con mucha frecuencia este método se ha empleado para el seguimiento y control de la productividad agraria y de las cosechas, pero también tiene utilidad para la detección de eventos ambientales singulares, como grandes inundaciones o para determinar la calidad ecológica de determinados lugares (Jiang *et al.*, 2013).

El número de clases estadísticamente más adecuado para el análisis se ha obtenido mediante la realización de sucesivas imágenes no supervisadas, con 50 iteraciones cada una de ellas, en las que el número de clases se incrementa desde 10 a 100. La selección entre ellas de la clasificación no supervisada que mejor expresa el contenido de los datos se ha efectuado mediante un estudio de separabilidad a partir de los datos numéricos de cada clase proporcionados por el programa

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

informático utilizado. La separabilidad mide la distancia entre dos signatures y consiste en la comparación por pares de las clases de una imagen según la fórmula: $\text{promedio de la clase A} - \text{promedio de la clase B} / (\text{desviación estándar de la clase A} + \text{desviación estándar de la clase B})$ (Ali, et al., 2014; de Bie et al., 2011, 2012).

La imagen clasificada más adecuada es la primera en la que se aprecia una mayor distancia entre los valores de la separabilidad promedio y los de la separabilidad mínima, indicando con ello que la imagen en cuestión contiene la mejor clasificación de los datos con el menor número de clases. Esta condición la reúne la imagen de 25 clases, que es la que se ha seleccionado para el estudio (figura 2).

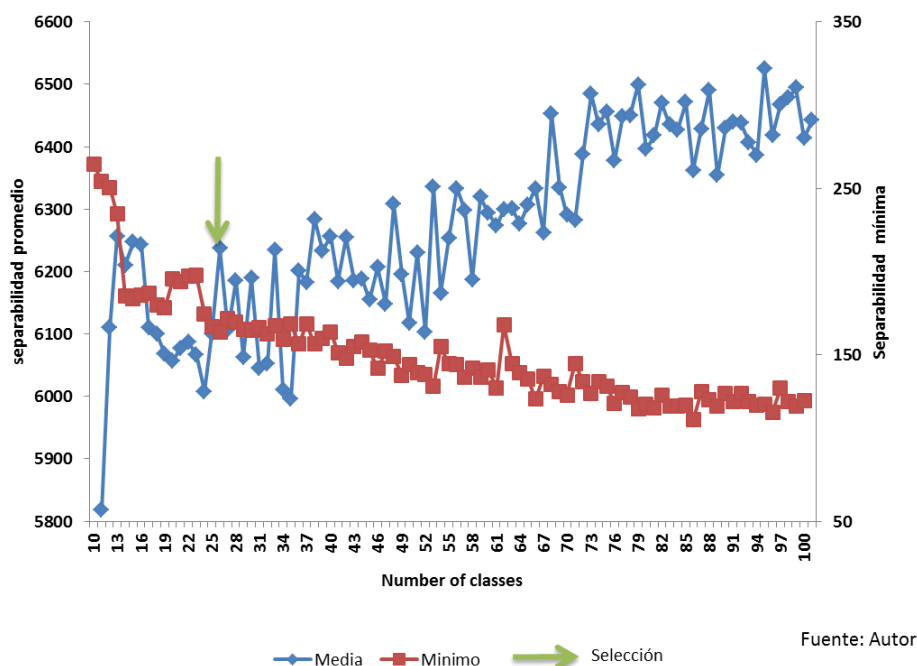


Figura 2. Gráfico de separabilidad y selección de la imagen más apropiada.

Fuente: elaboración propia.

La identificación de las diferentes clases se realiza mediante superposiciones de cada una de las clases identificadas con diversos mapas temáticos. A partir de ello se hallan los valores porcentuales en cada clase de las diferentes tipologías temáticas incluidas en cada clase, para obtener una definición estadística del contenido de las mismas. Los mapas temáticos utilizados para la identificación temática son el mapa de la vegetación potencial de Rivas Martínez (1986), el mapa publicado a partir de los datos del proyecto *Corine Landcover* (CNIG2009) y el mapa de *Hábitat de la Red Natura 2000* de la Comunidad Europea (MAGRAMA, 1996).

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

2.2. Desarrollo del análisis

El desarrollo del análisis tiene tres focos principales:

1. Análisis de la regularidad anual. Se realiza a partir de los valores medios mensuales de NDVI de los nueve años con datos en cada una de las clases. Se utilizan las curvas del desarrollo mensual del NDVI, ya que éstas expresan la duración, momento temporal y valor del NDVI a lo largo del año y están asociadas a la secuencia de comportamientos fenológicos propia y exclusiva de cada una de las clases consideradas.

2. Análisis interanual, que tiene como finalidad la determinación de las tendencias a medio plazo. Se consideran sucesivamente:

2.1. Estudio de los máximos. Los máximos anuales explican la vitalidad de las clases y el sentido de los cambios que se están produciendo. La mayoría de las series constan de dos máximos anuales, el principal, que está localizado en primavera-verano, y el secundario, que se produce en otoño. La tendencia evolutiva de los máximos anuales de NDVI por clase se controla mediante el parámetro b de las diferentes ecuaciones lineales.

2.2. Estudio del conjunto de datos numéricos por clase, que consiste en:

- Realización de una descomposición estacional para extraer el componente de ciclo-tendencia contenido en los datos. La implementación de los métodos de descomposición estacional es frecuente en el análisis de todas las series temporales, pues a partir de ellos se pueden extraer los componentes de estacionalidad, tendencia y ruido que contienen los datos. El componente ciclo-tendencia expresa la señal de las tendencias de cada una de las clases estudiadas (Verbesselt *et al.*, 2010a; Verbesselt *et al.*, 2010b). El método utilizado para la descomposición estacional de los datos es el de la razón sobre la media móvil. El diagrama de dispersión por nivel de Levene indica que el modelo de descomposición aditivo es el adecuado para los datos.
- Comparación de los promedios de NDVI de los dos grupos de años 2003-06 y 2008-2011 sobre la serie de ciclo-tendencia. De este modo se aprovecha la distribución simétrica de los datos antes y después del máximo que tiene lugar en 2007. Se considera que el aumento de valores de NDVI entre dos fechas diferentes indica un incremento de la densidad vegetal y la disminución de los mismos una degradación.

2.3. Análisis de la variabilidad espacial, que se realiza mediante los promedios de imágenes correspondientes a meses importantes en el desarrollo de las clases

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

(noviembre, junio) de años anteriores y posteriores a 2007. Las imágenes promedio de estos años y meses se comparan entre sí sustrayendo los valores de la imagen de fecha posterior de los de la fecha anterior. Con ello se obtienen los datos de crecimiento o decrecimiento del NDVI por pixel. Los resultados se presentan en porcentajes de superficie ocupada por diferentes tipos de cambio y/o se proyectan sobre mapas vectoriales.

3. Análisis de datos de temperatura y precipitación. Se utilizan los datos de las siguientes estaciones meteorológicas de la red principal de AEMET (Agencia Española de Meteorología): estación meteorológica de Puerto de Navacerrada (40°47'19" N, 4°0'12.32" O), situada a 1800m de altitud y enclavada en una posición central en el área de cumbres de la Sierra de Guadarrama. Estación meteorológica de Ávila (40° 39' 33" N, 4° 40' 48" O). Estación meteorológica de Segovia (40° 56' 43" N, 4° 7' 35" O). Las dos últimas están situadas a 1130 y 1005 m de altitud respectivamente. Con los datos extraídos se obtienen las diferencias de las temperaturas y de las precipitaciones entre los períodos 2003-06 y 2008-11. Asimismo, se relacionan las temperaturas y las precipitaciones con los valores de NDVI mediante correlaciones paramétricas (R) teniendo en cuenta los valores anuales y los de otros agrupamientos temporales. Las series que se utilizan son temperaturas máximas diarias, temperaturas mínimas y precipitaciones.

3. Resultados

3.1. Identificación de las clases

La identificación de clases viene dada automáticamente de menor a mayor valor de NDVI, de modo que la clase 1 es la que contiene el menor valor de NDVI y la clase 25 el mayor. Han sido identificadas las siguientes clases: 1º clases de carácter herbáceo, con un rápido desarrollo a partir de una senescencia casi absoluta, un período de actividad corta y un agostamiento rápido; 2º clases de caducifolios, con desarrollo de NDVI importante y mantenido en primavera-verano; 3º clases esclerófilas tanto de bosques como de matorral, con desarrollo máximo en primavera, depresión importante en verano y recuperación en otoño-invierno y, por último, 4º clases de pinar, con un valor de NDVI mantenido y varios máximos anuales (Bullón, 2015).

Las clases de pastizal que existen dentro de este conjunto son las que se estudian en detalle en este trabajo y se organizan en dos grupos, el de pastos de montaña, que acoge a las clases 12 y 13, y el de pastos de las áreas de piedemonte, que agrupa a las clases 16 y 17 (figura 3).

Los pastos de montaña se desarrollan por encima de los 1900 m. de altitud y comprenden comunidades herbáceas abiertas, acompañadas de matorral y tienen una disposición concéntrica rodeando a las cumbres. Comprenden mayoritariamente pastos de *Festuca indigesta* y cervunales de *Nardus stricta*, acompañados por matorrales supraforestales de *Juniperus communis ssp. nana* y *Cytisus oromediterraneus*. La clase 12 tiene una localización más interna que la clase 13. Las

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

especies que componen ambas clases son muy similares, pero la densidad de matorral es mayor en la clase 13.

En los pastos de piedemonte se diferencian: 1º Pastos situados entre los 1000 y 1200 m, situados referentemente en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama (clase 16). El 10% de esta clase 16 está formada por majadales y cervunales que están catalogados como hábitats prioritarios según el mapa *Hábitat de la Red Natura 2000*, n° 6220 (denominados nombre *Poo bulbosae-Trifolietum subterranei* Rivas Goday 1964), aunque también hay alisedas código 91E0 (*Scrophulario scorodoniae-Alnetum glutinosae* Br.-Bl., P. Silva & Rozeira 1956) y vallicares código n° 3170 (*Pulicario uliginosae-Agrostietum salmanticae* Rivas Goday 1956. 2º Pastos situados en fondos de depresiones topográficas, fosas de piedemonte y bordes de arroyos, acompañados frecuentemente por fresnedas, aunque también se pueden encontrar en laderas de suelos no degradados situadas en el piso potencial de robledales (clase 17). Una superficie <10% está catalogada de tipo mesomediterráneo y supramediterráneo, según la clasificación de Rivas Martínez, 1986.

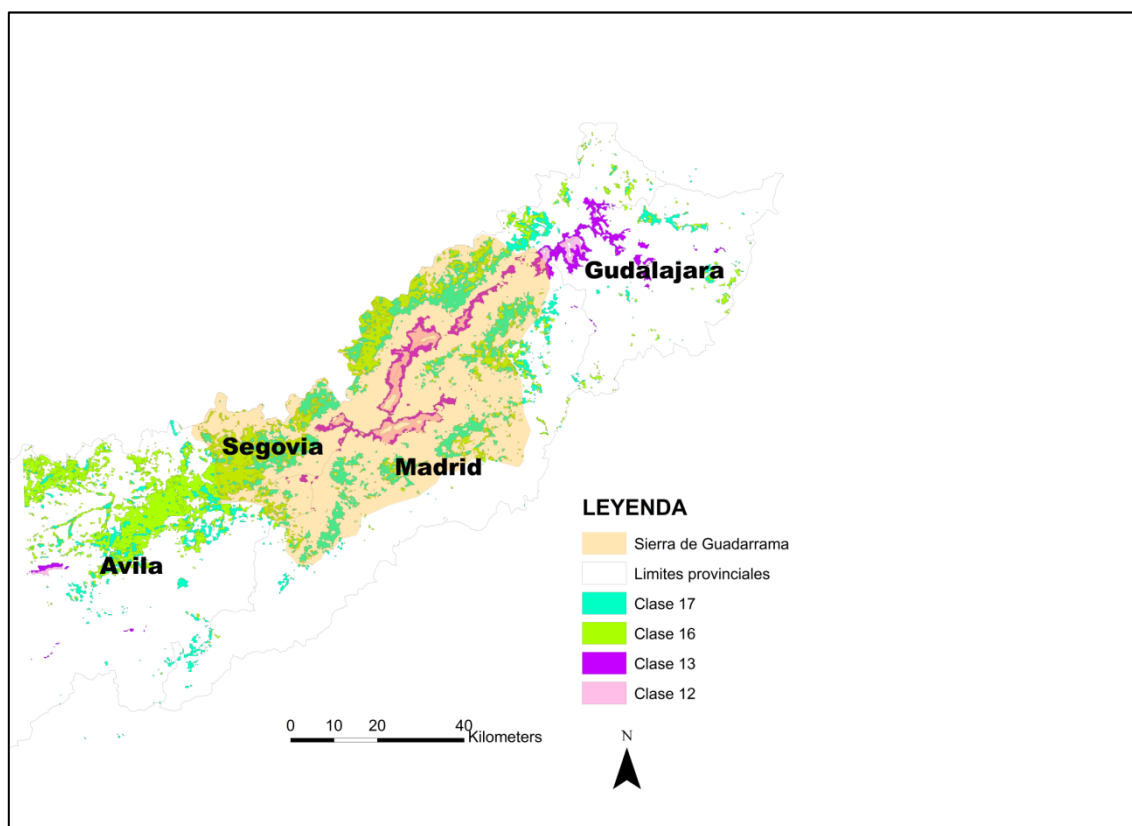


Figura 3. Localización de las clases de pastos de montaña y de piedemonte en el Sistema Central y en la sierra de Guadarrama.

Fuente: elaboración propia.

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

3.2. Regularidad anual

Los pastos de piedemonte tienen un máximo principal en mayo-junio y secundario en noviembre-diciembre. El verano es la estación desfavorable, mientras que el invierno es una estación de continuación del crecimiento iniciado en otoño. El crecimiento primaveral es muy rápido en ambas clases y proporciona una pendiente de la curva muy acentuada entre marzo y abril, un mantenimiento del máximo en mayo-junio y un rápido agostamiento a partir de julio.

Los pastos de montaña tienen un desarrollo principalmente estival, con máximo en Julio. La clase 12 es más efímera, mientras que la 13 se mantiene con un valor de NDVI alto durante agosto, decae lentamente durante septiembre y suele tener una reactivación otoñal (figura 4).

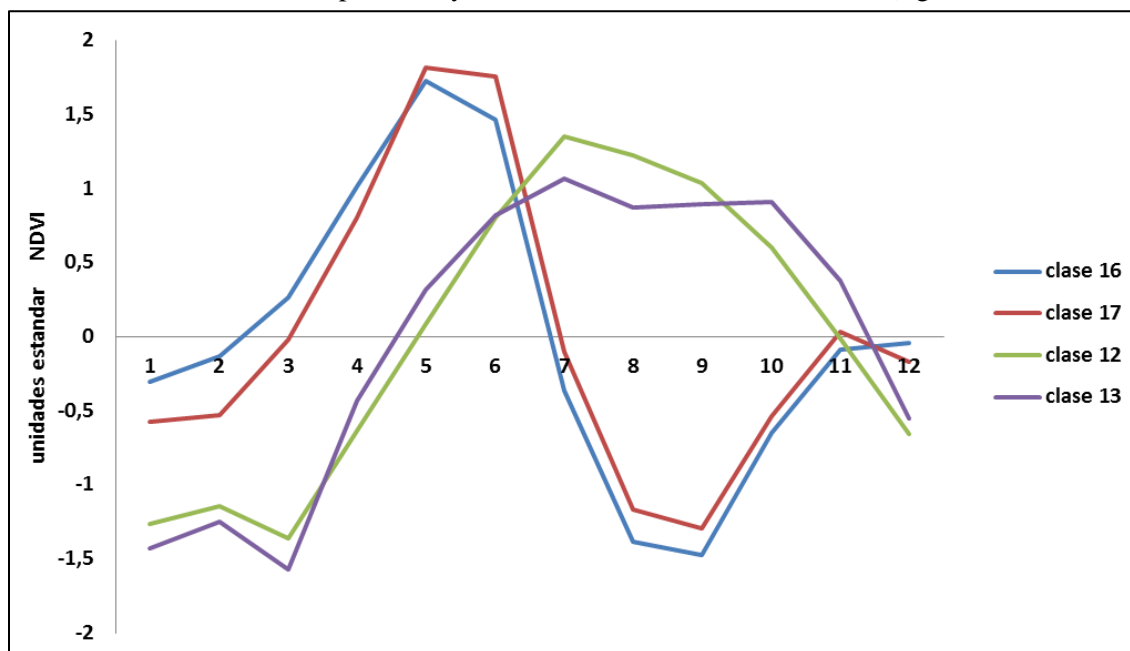


Figura 4. Valores normalizados del desarrollo por meses del NDVI de las clases de pastos de montaña (12 y 13) y de piedemonte (16 y 17). Fuente: elaboración propia.

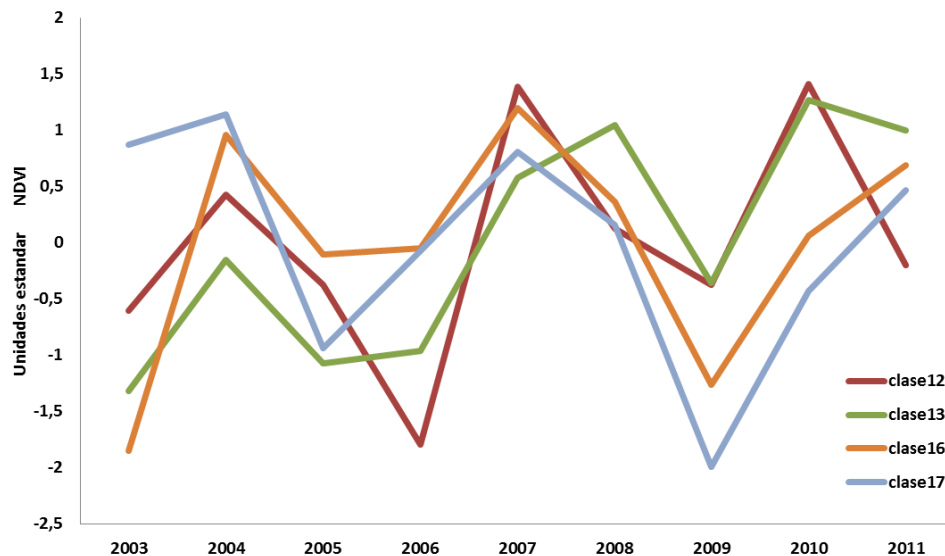
3.3. Evolución interanual

3.3.1. Estudio de máximos

En la sucesión temporal del conjunto de años estudiados se observa que el valor máximo de NDVI se produce en cada clase en un marco temporal muy estrecho y con frecuencia dentro de la misma quincena del año. La importancia del máximo anual de cada clase varía según las condiciones ambientales anuales. En la serie normalizada de máximos la mayoría de las clases muestran depresiones muy acentuadas en 2005 y 2009 y aumentos en 2004, 2007 y 2010. Esta

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

secuencia refleja las importantes sequías, que se producen en 2005 y 2009 y el máximo de producción vegetal, que se produce en 2007 (figura 5).



Figur

a 5. Máximos anuales normalizados de las clases de pastos.

Fuente: elaboración propia.

El análisis del parámetro b de las ecuaciones lineales correspondientes a los máximos principal y secundario del conjunto de los nueve años con datos indica que en el máximo principal las clases de pastos de montaña (12 y 13) tienen evolución positiva significativa y las clases de pastos de piedemonte (16 y 17) evolución negativa significativa tanto en el máximo principal como en el secundario, mucho más importante en éste último (tabla 1).

Tabla 1. Parámetro b de las ecuaciones lineales de las clases de montaña y piedemonte de en los máximos principal y secundario de NDVI

class	Max 1	sig	Max 2	sig
12	0.281	0	-	-
13	1.018	0.01	0.211	0.04
16	-0.774	0.043	-2.84	0.00
17	-0.889	0.001	-2.442	0.00

Fuente: elaboración propia.

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

3.3.2. Estudio de datos numéricos

Las comparaciones de las imágenes promedio de los grupos de años 2003-2006 y 2008-2011 proporcionan los resultados siguientes:

El crecimiento promedio anual de NDVI entre los períodos 2003-2006 y 2008-2011 en las clases 12 y 13 es positivo aunque $< 1\%$, y negativo en las clases 16 y 17. En el período marzo-junio, momento de crecimiento principal de todas las clases, el incremento porcentual en las clases 12 y 13 sigue siendo $< 1\%$ pero en las clases 16 y 17 hay decrecimientos de -4% y -3% respectivamente. Durante el otoño – invierno los contrastes entre las dos series de pastos se amplían, porque las clases 12 y 13 aumentan el NDVI $> 2,7\%$, mientras que las clases 16 y 17 decrecen $-7,6\%$ y $-6,1\%$ respectivamente. Durante el verano el vigor vegetal aumenta en todas las clases, especialmente la clase 13 con $2,2\%$ (tabla 2 y figura 6).

Tabla 2. Valores porcentuales de las diferencias entre los promedios de NDVI de 2003-06 y 2008-2011

MESES	CLASES			
	12	13	16	17
Marzo -junio	0,81	0,88	-4,01	-3,07
Julio-agosto	0,58	2,28	1,79	1,97
Octubre-febrero	2,71	2,72	-7,68	-6,11
Anual	0,40	0,96	-5,17	-4,05

Fuente: elaboración propia.

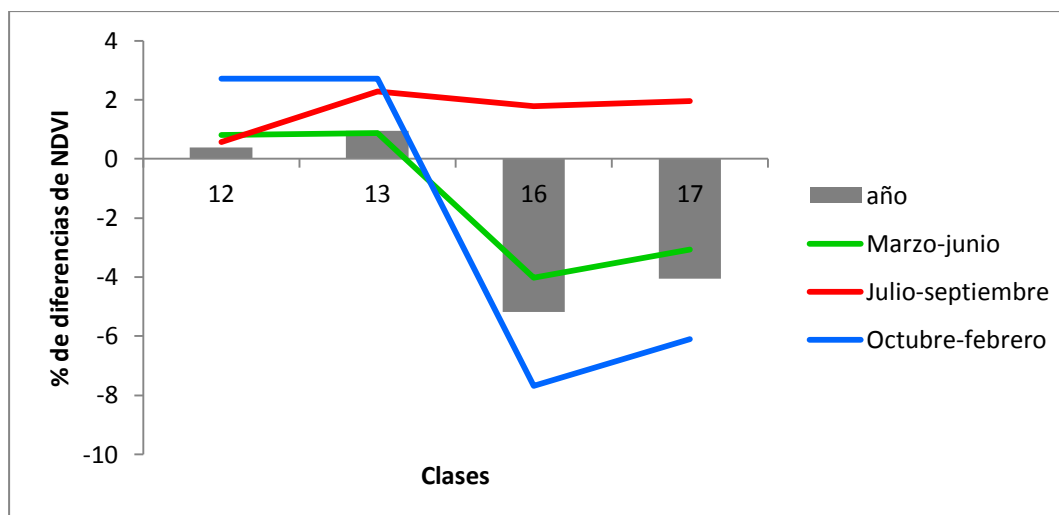


Figura 6. Gráfico de las diferencias en % entre los promedios de 2003-06 y 2008-11 en diferentes períodos del año. Fuente: elaboración propia.

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

3.3.3. Variabilidad espacial

La comparación de las imágenes promedio del mes de junio de 2003-06 y 2008-11 en la clase 16 indica que 4% de la superficie de esta clase tiene de cambios positivos y 18% negativos. En el mes de noviembre el 67% de la superficie de esta clase tiene una disminución de los valores de NDVI que oscila entre 10 y 25 % y el 19% de la referida superficie entre 25 y 40%. La comparación de la clase 17 da resultados similares a los de la clase 16 tanto en junio como en noviembre (figura 7).

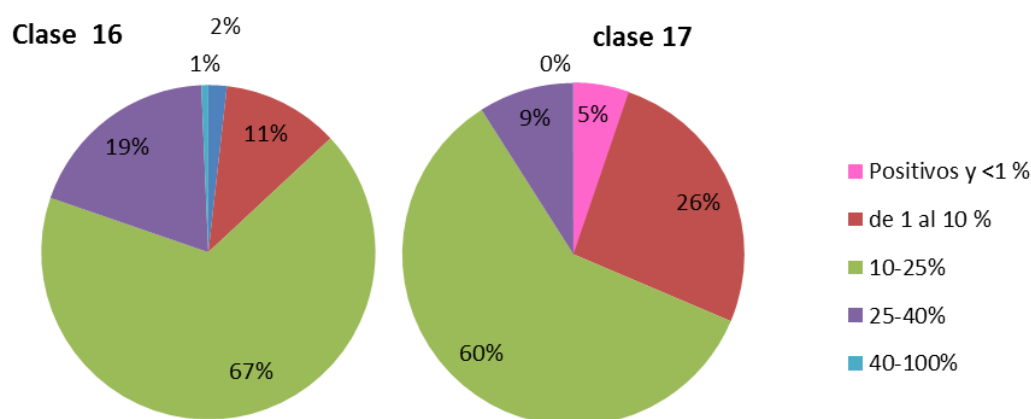


Figura 7. Valores porcentuales de la superficie sometida a cambios en las clases de pastos de piedemonte en noviembre. Comparación de medias de 2003-2006 y 2008-2011.

Fuente: elaboración propia.

Las clases de montaña tienen cambios similares entre sí durante el mes de junio, pero diferentes de los pastos de piedemonte. En conjunto se pueden considerar clases estables o que crecen ligeramente (figura 8).

Los cambios negativos de la clase 16 están preferentemente localizados en suroeste de la ciudad de Ávila, en los municipios que bordean por el sur a la ciudad de Segovia y en los municipios segovianos próximos al límite oriental del área de estudio. Los cambios negativos de la clase 17 se concentran en el suroeste de Ávila, sur de Segovia y área intramontañosa de la Sierra de Guadarrama, mientras que los cambios positivos están mayoritariamente localizados dentro del piedemonte meridional situado en la Comunidad de Madrid.

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", *GeoFocus (Artículos)*, n° 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

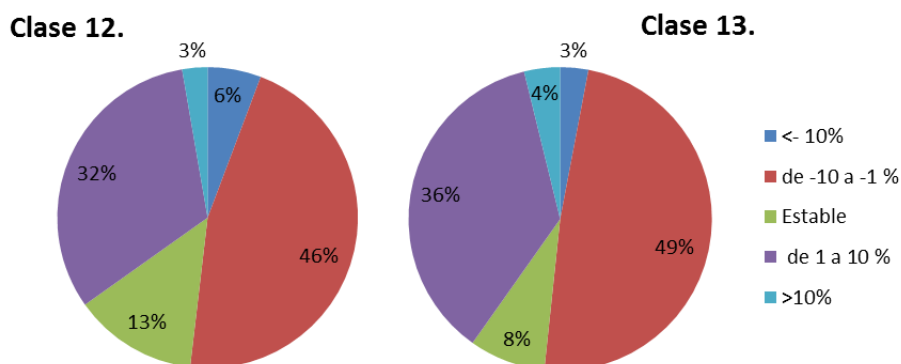


Figura 8. Valores porcentuales de los cambios ocurridos en las clases 12 y 13 de pastos de montaña en el mes de junio. Comparación de medias de 2003-2006- y 2008-2011.

Fuente: elaboración propia.

Los cambios que ocurren en las clases 12 y 13 tienen una localización en mosaico y se asocian a factores ambientales naturales, como la topografía, la cantidad de roca aflorante y la orientación de la pendiente. Se aprecian degradaciones en las áreas de actividad nivo-periglacial y de gran afluencia de visitantes del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (ej. Área Peñalara) y evoluciones favorables en lugares de menor pendiente y mayor cobertura sedimentaria (figura 9).

3.4. Datos climáticos

Las temperaturas máximas y mínimas son en general más bajas en el período 2008-11 que en el de 2003-06, aunque hay excepciones. En términos porcentuales las temperaturas mínimas han sufrido una disminución mayor, mientras que las máximas han tenido también algunas variaciones positivas.

Las precipitaciones tienen mayor contraste entre los dos períodos considerados. En el conjunto anual fueron 398 mm inferiores en 2008-11, lo que equivale a 7% menos. En el período octubre febrero se produce una pérdida de 851 mm, que equivale al 31,7 % menos, pero si se consideran solo los meses de octubre-noviembre la disminución sube a 48%. En marzo junio las lluvias fueron superiores en 51mm, 2,6% mayores, y en julio-septiembre 73,8 mm inferiores, equivalentes a una disminución de 22% (tabla 3).

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

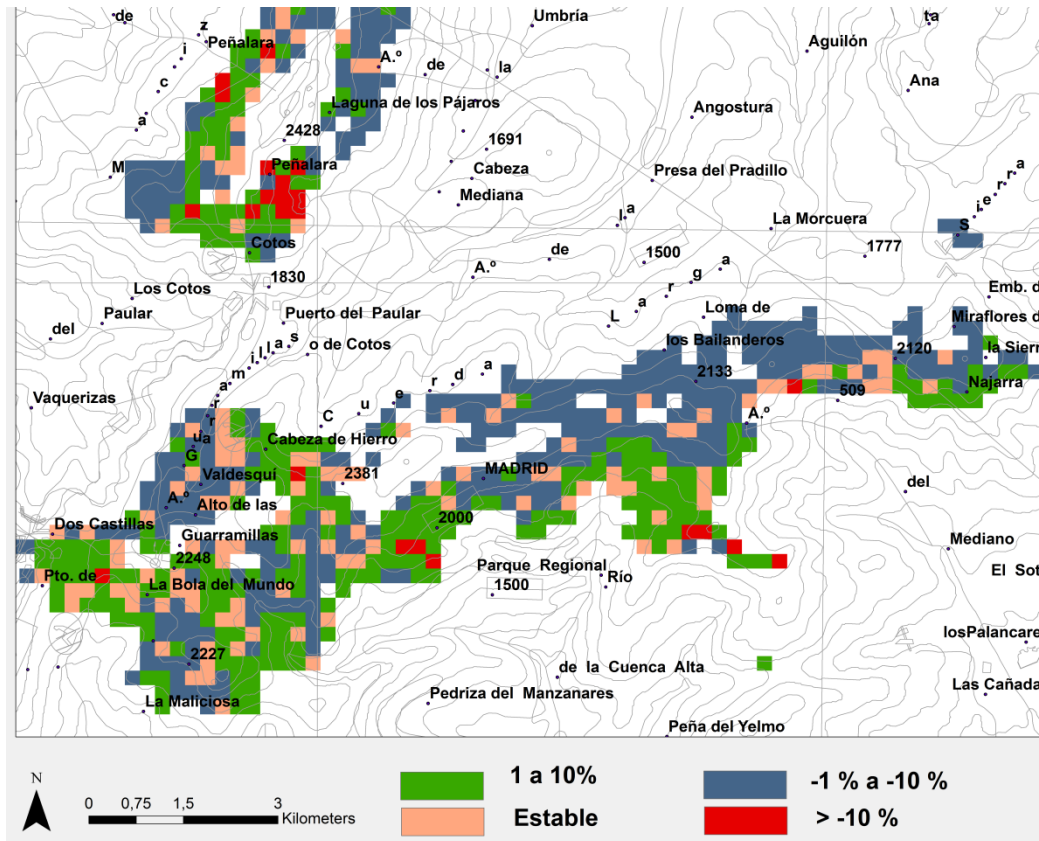


Figura 9. Localización de los diferentes tipos cambios en la clase de pastos de montaña (clase12) en el área de cumbres de la Sierra de Guadarrama.

Fuente: mapa vectorial 1:50000 del CNIG y capa raster de elaboración propia.

Tabla 3. Diferencias porcentuales de temperaturas y precipitaciones entre 2003-06 y 2008-11

	año	Octubre - Febrero	Marzo - Junio	Julio - Septiembre
Temperaturas mínimas %	-4,8	-13,9	-1,4	-3,6
Temperaturas máximas %	-0,2	3,0	-0,2	-0,3
Precipitaciones %	-7,4	-31,8	2,6	-73,8

Fuente: elaboración propia a partir de datos de AEMET.

Las precipitaciones anuales son muy similares en las estaciones de Ávila y de Segovia hasta 2008, pero a partir de este año las diferencias aumentan, siendo las de Ávila 0,6 desviaciones estándar menores que las de Segovia. Entre 2003-2006 y 2008-2011 durante los meses de octubre y noviembre hay una disminución acusada de las precipitaciones en ambas estaciones. Entre 2003-

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

2006 las precipitaciones de otoño son 7,5 % superiores en Ávila que en Segovia, pero entre 2008 y 2011 las precipitaciones son 8% menores en Ávila que en Segovia.

La correlación entre el NDVI y las precipitaciones muestra que en el período octubre-febrero hay una asociación significativa de moderada a fuerte con las clases 16 y 17. Las precipitaciones de primavera tienen una correlación débil y no significativa con el NDVI de ese período. Si se relacionan las precipitaciones de octubre-noviembre más las de marzo abril con el NDVI anual las correlaciones son algo menos importantes aunque significativas (tabla 4).

Tabla 4. Correlaciones entre NDVI y diversos períodos del año de las clases 16 y 17

	Clase 16		clase 17	
	R	sig	R	sig
NDVI noviembre-diciembre / precipitaciones oct-dic	0,92	0.0	0,84	0.0
NDVI anual/ Precipitaciones oct-nov y marz-abr	0,74	0.02	0,75	0.01

Fuente: elaboración propia

Ninguna de las correlaciones de precipitación con las clases 12 y 13 en los períodos indicados en el párrafo anterior es significativa. Tampoco son significativas las correlaciones de precipitación con cualquiera de las clases de pastos de piedemonte o de montaña en otros períodos del año, aunque las precipitaciones de marzo junio son las que tienen las correlaciones mejores (<0.4) con el NDVI anual.

Las temperaturas de octubre-diciembre tienen una alta correlación con el desarrollo vegetal de las clases 12 y 13 y una débil correlación negativa no significativa con las clases 16 y 17. Las temperaturas de mayo-junio tienen una alta correlación positiva y significativa con las clases 12 y 13 y una correlación inversa moderada, en el límite de la significación, con las clases 16 y 17 (Tablas 5 y 6). Las temperaturas de julio y septiembre tienen una alta correlación inversa significativa en todas las clases, que es expresiva de la influencia del rigor del verano.

Tabla 5. Correlación entre NDVI de las clases 12 y 13 y temperaturas

	clase 12		clase 13	
	R	sig	R	sig
NDVI oct.-diciembre / temperatura nov.-dic.	0,90	0.00	0,87	0.00
NDVI jul.-sept./ temperatura jul.-sept.	-0.76	0.01	-0.636	0.06
NDVI mayo-jun./temperatura abr.-jun.	0.80	0.00	0.70	0.03

Fuente: elaboración propia.

Bullón Mata, T. (2014): “Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

Tabla 6. Correlación entre NDVI de las clases 16 y 17 y temperaturas

	clase 16		clase 17	
	R	sig	R	sig
NDVI jul.-sept./ temp. jul.-sept.	-0.79	0.01	-0.75	0.01
NDVI may.-jun./temp. may.-jun.	-0.65	0.05	-0.63	0.06

Fuente: elaboración propia.

4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos no contradicen sino matizan y completan otros estudios similares realizados con imágenes MODIS en otros sectores de la Península Ibérica (Sobrino *et al.*, 2011). Lo mismo ocurre con los trabajos realizados en los pastos de montaña del Sistema Central (Muñoz *et al.*, 2009, Muñoz y García, 2013) o los referentes a cubiertas del suelo similares a las de los pastizales de piedemonte (Sardans y Peñuelas, 2007, Ogaya y Peñuelas, 2006, Peñuelas *et al.*, 2001). Los resultados climáticos son compatibles con los que proceden de análisis de potentes series de datos (Lorenzo-Lacruz *et al.*, 2010) y de estudios prospectivos (Luis *et al.*, 2010) en los que se resalta la importancia de las sequías en la Península Ibérica.

La aportación principal que presenta este trabajo es la de profundizar en el conocimiento de la evolución anual e interanual de las cubiertas vegetales, analizar su dinámica con una perspectiva muy poco utilizada hasta ahora y presentar un método para conocer de modo rápido datos de productividad vegetal que son difíciles de conseguir por otros procedimientos.

La variabilidad espacial estudiada a través de la interpretación de las imágenes facilita la localización de los cambios que se están produciendo y permite la obtención de datos estadísticos. Todo ello mejora el conocimiento de los equilibrios naturales y facilita el diseño de las acciones de prevención y potenciación de la calidad ambiental. Mediante la correlación de datos meteorológicos y de NDVI ha sido posible determinar el período del año y la intensidad con la que temperaturas y precipitaciones influyen en el NDVI de cada una de las clases analizadas.

5. Conclusiones

Las clases, que han sido definidas mediante la técnica ISODATA y han sido confirmadas posteriormente por su consistencia estadística según un análisis de separabilidad, tienen la capacidad de señalar agrupaciones espaciales de la cubierta vegetal a partir de la similitud de comportamiento fenológico. Estas clases expresan el momento temporal y duración de los períodos de floración, reposo o senescencia de las diferentes cubiertas vegetales y pueden explicar la organización vegetal del espacio geográfico de modo tan coherente como las definidas por criterios botánicos, fitosociológicos o bioclimáticos.

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", GeoFocus (Artículos), nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

Las clases obtenidas mediante la clasificación no supervisada de la imagen NDVI del sensor MODIS permiten identificar cubiertas pastizal con una resolución media, de escala aproximada 200.000. La división en clases ha permitido abordar el análisis del territorio desde su heterogeneidad y demostrar que existe una respuesta diferenciada a las condiciones ambientales según los tipos de cubierta y de desarrollo fenológico.

La dependencia de las temperaturas en los momentos de mayor desarrollo vegetal es más evidente en las clases de montaña que en las de piedemonte. En las clases 12 y 13 las temperaturas influyen positivamente en durante el inicio y desarrollo del ciclo vegetativo, pero afectan negativamente a partir del momento en el que se produce el mayor incremento de temperaturas en el comienzo del verano. Por otro lado, el crecimiento del NDVI de los pastizales de montaña durante Octubre-Febrero podría estar relacionado con el aumento de las temperaturas máximas durante este período.

En las clases 16 y 17 las temperaturas tienen un efecto negativo en el desarrollo del NDVI entre mayo y septiembre e influyen poco en el resto del año, ya que no se han encontrado correlaciones significativas entre temperatura y NDVI de estas clases. El otoño es una estación clave para los pastizales del piedemonte, ya que es cuando inician su crecimiento. Las precipitaciones que se producen en este momento del año influyen en el desarrollo de la vegetación en el otoño, en la primavera siguiente y en el conjunto del año.

La disminución de las temperaturas máximas en los meses de julio-septiembre ha favorecido el mantenimiento de la productividad vegetal en estos meses en todas las clases, pero la importante disminución de las precipitaciones en este mismo período no ha tenido repercusión significativa en ninguna de ellas.

La sensibilidad de los pastizales situados en las áreas bajas del Sistema Central a las variaciones de precipitación, principalmente otoñal, y la dependencia de los de montaña a las variaciones de temperatura expresan la importancia de todos ellos como indicadores de los cambios climáticos y ambientales en el área central de la Península Ibérica, ya que cada uno de ellos está especializado en expresar las consecuencias de las variaciones de temperatura o de precipitación en momentos diferentes del año.

El descenso de las precipitaciones ocurrido en el periodo de observación durante el otoño, especialmente a partir de 2007 explica la tendencia negativa de desarrollo de NDVI que se ha detectado en los pastizales de piedemonte, mientras que ha afectado menos a los pastos de montaña. La menor precipitación recibida por Ávila respecto a Segovia a partir de 2008 explica la localización del área de mayor degradación de pastos en el área próxima a la referida ciudad. La localización de los cambios en la clase 12 de pastos de montaña indica que algunos cambios también están asociados a factores topográficos y antrópicos, por lo que el clima no sería la única causa de su evolución temporal.

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

Referencias bibliográficas

Ali, A., de Bie, C.A.J.M., Skidmore, A.K., Scarrott, R.G. and Limberakis, P. (2014): "Mapping the heterogeneity of natural and semi-natural landscapes", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **26**, pp. 176-183.

Barrio, G., Puigdefabregas, J., Sanjuan, M.E., Stellmes, M. and Ruiz, A. (2010): "Assesment and monitoring of land condition in the Iberian Peninsula 1989-2000", *Remote Sensing of the Environment*, **114**, pp. 1817-1832.

Bullón, T. (2015): "Environmental assesment and land change analyisis in seminatural land covers applicable to land management", *International Journal on Earth Observation and Geoinformation*, **34**, pp. 147-152. DOI : 10.1016/j.jag.2014.08.006.

Bullon Mata, T., Lacasta Reoyo, P., Sanz Herráiz, C., (2014): "Dehesas públicas y privadas del piedemonte meridional de Guadarrama y Gredos", in Molinero, F., Tort, J., Ojeda, F., Ruiz, E., Martínez, E., Silva, R., Mata, R. (Eds.): *Atlas De Los Paisajes Agrarios De España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, pp. 1041-1058.

Busetto, L., Colombo, R., Migliavacca, M., Cremonesse, E., Meroni, M., Galvagno, M., Rissini, M., Siniscalos, C., Morradicella, U. and Paris, E. (2010): "Remote sensing of larch phenological cycle and analysis of relationships with climate in Alpine region", *Global Change Biology*, **16**, pp. 2504-2517.

CNIG (2009): *Corine Land Cover 06 (España)*. Madrid, Instituto Geográfico Nacional, <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscar.do>.

de Bie, C.A.J.M., Venus, V. and Skidmore, A. (2011): *Improved mapping and monitoring with hyper-temporal imagery*. National Institute for Agroenvironmental Sciences (NIAES).

de Bie, C.A.J.M, Nguyen, T.T.H., Ali, A., Scarrot, R., Skidmore, A.K (2012): "LaHMa: a landscape heterogeneity mapping method using hypertemporal datasets", *International Journal of Geographical Information Science*, **26**, pp. 1-16.

Fensholt, R. and Proud, S.R. (2012): "Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends- Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series", *Remote Sensing of Environment*, **119**, pp. 131-147.

Garcia-Romero, A., Muñoz, J., Andres, N. and Palacios, D. (2010): "Relationship between climate change and vegetation distribution in the Mediterranean mountains: Manzanares Head valley, Sierra De Guadarrama (Central Spain)", *Climatic Change*, **100**(3-4), pp. 645-666.

Gouveia, G., Trigo, R. and Dacamara, C. (2009): "Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using satellite data", *Natural Hazars and Earth System Sciences*, **9**, pp. 185-195.

Henkin, Z., Perevllotski, A. and Stenberg, M. (2010): "Vulnerability of Mediterranean grasslands to climate change: What can we learn from a long-term experiment?", *Options Méditerranéens*, **92**, pp. 167-174.

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

Hmimina, G., Dufrene, E., Pontailier, J.Y., Delpierre, N., Aubinet, M., Caquet, B., Grandcout, A., Burban, B., Flechard, C., Granier, A., Gross, P., Heinesch, B., Longdoz, B., Moureaux, C., Ourcival, J.M., Rambal, S., Saint Andre, L. and Soudani, K. (2013): "Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements", *Remote Sensing of Environment*, **132**, pp. 145-158.

Huete, A., Didan, K., Miura, T. and Rodriguez, E. (2002): "Overview of the radiometric and biophysical performance of MODIS vegetation indices (Special issue)", *Remote Sensing of Environment*, **83**, pp. 195-213.

Jiang, Y., de Bie, C.A.J.M., Wang, T., Skidmore, A.K., Liu, X. Song, S., Shao, X. (2013): "Hyper-temporal remote sensing helps in relating epiphyllous liverworts and evergreen forest", *Journal of vegetation Science*, **24**, pp. 214-226.

Julien, Y. and Sobrino, J. (2009): "The yearly land cover dynamics (YLCD) method: an analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters", *Remote Sensing of Environment*, **113**, pp. 329-334.

Julien, Y., Sobrino, J. (2010): "Comparison of cloud reconstruction methods for time series of composite NDVI data", *Remote Sensing of Environment*, **114**, pp. 618- 625.

Julien, Y., Sobrino, J. and Jimenez- Muñoz, J.C. (2011): "Land use classification from multitemporal Landsat imagery using the Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **13**, pp. 711-720.

Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Vermote, E.F., Masouka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., Roy, D.P. and Morisette, J.T. (2002): "An overview of MODIS Land data processing and product status", *Remote Sensing of Environment*, **83**, pp. 3-15.

Lasanta, T. (2010): "Pastoreo en áreas de montaña: Estrategias e impactos en el territorio", *Estudios Geográficos*, **268**, pp. 203-233.

Lorenzo-Lacruz, L., Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J., Begueria, S., García-Ruiz, J., Cuadrat, J., (2010): "The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (Central Spain)", *Journal of Hydrology*, **1-4**, 13-26.

Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez- Hidalgo, J.C., Longares, L.A., Martin-Vide, J. (2010): "Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005", *Global Planetary Change*, **74**, 27-33.

Ma, M. and Veroustaete, F. (2006): "Reconstructing pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the northwest of China", *Advances in Space Research*, **37**, pp. 835-840.

Mao, D., Wang, Z., Luo, L. and Ren, C. (2012): "Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in northeast China", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **18**, pp. 528-536.

MAGRAMA (1997): *Inventario Nacional de Hábitat*. Anexo I de la Directiva 92/43/CEE. <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/habitat.aspx>.

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

Martínez Garrido, E. and Sanz Herráiz, C. (2013): "La diversidad y valor de los pastizales mediterráneos", In: F. Molinero (Ed.): *Atlas de los paisajes agrarios de España. Tomo I*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, pp. 269-287.

Muñoz Jiménez, J., Andres, N. and Palacios, D. (2009): "Relationships between climate change and vegetation distribution in the Mediterranean mountains: Headvalley. Sierra de Guadarrama. Central Spain", *Climatic Change*, 100 (3-4), pp. 645-666.

Muñoz Jiménez, J. and García Romero, A. (2013): "Variación climática y cambios recientes de la vegetación supraforestal en el área de El Nevero- Puerto de Navafria (Sierra de Guadarrama, España)", *Eria*, 93, pp. 243-260.

Ogaya, R., Peñuelas, J. (2006): "Contrasting foliar responses to drought in *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*", *Biologia plantarum*, 50 (3), 373-382.

Peñuelas, J., Lloret, F., Montoya, R. (2001): "Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain", *Forest Science*, 47(2), 214-218.

Pettorelli, N., Vik, J., Mysterud, A., Gaillard, J., Tucker, C. and Stenseth, N. (2005): "Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change", *Trends in Ecology and Evolution*, 20,9, pp. 503-510.

Pouliot, D., Latifovic, R., Zabcic, N., Guindon, L. and Olthof, I. (2014): "Development and assessment of a 250m. spatial resolution MODIS annual land cover time series (2000-2011) for the forest region of Canada derived from change-based updating", *Remote Sensing of Environment*, 140, pp. 731-743.

Pozo Peñalba, J.M. (2005): "Los prados y pastizales españoles en la directiva Habitats(92/43CE)", *Foresta*, 32, pp. 73-83.

Rigueiro, A., Rodríguez, M.A. and Gómez Orellana, L.(2009): "6230 Formaciones herbosas con Nardus, con numerosas especies sobre sustratos silíceos de zonas montañosas (y de zonas submontañosas de Europa continental)". *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, pp. 5-58.

Rios E. and Salvador, F. (2009): "6220 Pastizales xerofíticos mediterráneos de vivaces y anuales", In: VVAA, Ed., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario en España*". Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Rivas Martínez, S. (1986): *Leyenda del mapa de las series de vegetación*. Madrid, Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx

Rojas, F., Schowengerdt, R.A. and Biggar, S.F. (2002): "Early results on the characterization of the Terra MODIS spatial response", *Remote Sensing of Environment*, 83, pp. 50-61.

Bullón Mata, T. (2014): "Cambios ambientales y dinámica de las cubiertas de pastizal en el Sistema Central español a partir del análisis multitemporal de imágenes MODIS-TERRA entre 2003 y 2012", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 252-274. ISSN: 1578-5157

San Miguel Ayanz, A. (2009): "Pastos orófilos mediterráneos de *Festuca Indigesta*", VVAA (Ed.): *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y Marino, pp. 1-57.

San Miguel, A. (2009): "Comunidades herbáceas higrófilas mediterráneas", VVAA (Ed.): *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino .

San Miguel Ayanz, A. (2001): "El pastoreo en la ordenación de los montes españoles del siglo XXI", *III Congreso Forestal Nacional*, pp. 1-10.

Sardans, J., Peñuelas, J. (2007): "Drought changes phosphorous and potassium accumulation patterns in a evergreen Mediterranean forest", *Functional Ecology*, 21, 191-201.

Sobrino, J., Julien, Y., Morales, L. (2011): "Changes in vegetation spring dates in the second half of the twentieth century", *International Journal of Remote Sensing*, 1-18.

Tuanmu, M., Vina, A., Bearer, S., XU, W. and Ouyang, Z., Zhang, H., Liu, J. (2010): "Mapping understory vegetation using phenological characteristics derived from remotely sensed data", *Remote Sensing of Environment*, 114, pp. 1833-1844.

Vicente Serrano, S. (2006): "Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula 1910-2000", *Hydrological Sciences Journal*, 51:1, pp. 83-97.

Yao, J., He, X.Y., LI, X.Y., Chen, W. and TAO, D.L. (2012): "Monitoring responses of forest to climate variations by MODIS NDVI: a case study of Hun river upstream, northeastern China", *Eur. J. Forest. Res.*, 131, pp. 705-716.

Zhang, X., Friedl, M.A., Schaaf, C.B, Stralher, A.H, Hodges, J.C.F., Gao.F. and Reed, B.C.H., A. (2003): "Monitoring vegetation phenology using MODIS", *Remote Sensing of Environment*, 84, pp. 471-475.

Zhang, X., Sohlberg, R.A., Townshend, J.R.G., Dimiceli, C., Carrol, M.L., Eastman, J.C., Hansen, M.C. and Defries, R.S. (2002): "Detection of Land cover changes using MODIS 250 m data", *Remote Sensing of Environment*, 83, pp. 336-350.

Zhang, J., Zhang, L., Xu, C., Liu, W., QI, Y. and Wo, X. (2014): "Vegetation variation of mid-subtropical forest based on MODIS NDVI data- A case study of Jinggangshan City, Jiangxi Province", *Acta Ecologica Sinica*, 34, pp. 7-12.