



**ANÁLISIS TEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE USOS  
DEL SUELO EN LA CUENCA DEL SEGURA  
MEDIANTE TELEDETECCIÓN.  
IMPLICACIONES SOBRE LA DEGRADACIÓN**

*Temporal Analysis of Land Use Changes in River Segura Basin  
using Remote Sensing. Implications on Desertification*

F. Alonso Sarría, F. Gomariz Castillo & F. Cánovas García

*Instituto del Agua y Medio Ambiente, Universidad de Murcia,  
Campus de Espinardo, 30001 Murcia (España)*

**Resumen:** Los cambios del uso del suelo es un proceso altamente dinámico que afecta a diversos procesos ambientales. Se ha optado por utilizar los SIG para el análisis de éstos mediante imágenes Landsat en el periodo 1977-2007, con importantes cambios socioeconómicos y territoriales en la Cuenca del Segura (18.000 km<sup>2</sup>).

Este trabajo describe una metodología unificada utilizando una clasificación supervisada mejorada por otra no supervisada, usando las bandas espectrales 4 (MSS) o 6 (TM,ETM) y dos variables texturales estimadas mediante la función semivariograma del albedo e índices NDVI. Para la obtención del mapa anual definitivo se han utilizado dos escenas de distintas estaciones, obteniendo 12 o 16 clases dependiendo del año analizado, obteniéndose un total de 31 mapas de coberturas del suelo.

Los resultados preliminares muestran una reducción del secano tradicional, el aumento de regadíos a principios de los 80 y un aumento del suelo desnudo por abandono de cultivos tradicionales. También se observa un aumento del suelo urbano.

Estos resultados se corresponden con estudios anteriores y sus consecuencias sobre la degradación han sido ampliamente estudiadas.

**Palabras clave:** Teledetección, Cuenca del Segura, Landsat, Sistemas de Información Geográfica.

**Abstract:** Land use change is a dynamic process that affects heavily to different environmental processes. In this work, a GIS application is designed to analyse land use changes from landsat imagery since 1976 to 2007, a period with important socioeconomic and land use changes in River Segura Basin.

This work describes the methodology used to obtain a yearly series of land cover maps of the Demarcación Hidrográfica del Segura (River Segura basin in South East Spain). In order to analyze this great amount of information for a large (more than 18,000 km<sup>2</sup>) and heterogeneous area, a unified methodology has been developed.

It has been used a supervised classification improved by a previous not supervised classification using both spectral (4



F. Alonso Sarría, F. Gomariz Castillo & F. Cánovas García (2010). Análisis temporal de los cambios de usos del suelo en la cuenca del Segura mediante teledetección. Implicaciones sobre la degradación. *Rev. C. & G.*, 24 (3-4), 73-88.

or 6 landsat solar spectrum bands depending on the sensor available, MSS or TM, ETM) and two textural variables. The last ones were obtained estimating the semivariogram function from the albedo and NDVI layers. Having used two images from different seasons, the total number of variables included in the classification is 12 or 16 depending on the year.

Preliminary results show a reduction of the surfaces with traditional dry crop uses and the important increase of irrigation lands during the first half of the 1980s decade. The increase in bare soil areas also reflects the abandonment of traditional crops. Finally, it has been observed an increase in urban areas attributable to demographic trends.

**Keyword:** Remote Sensing, River Segura Basin, Landsat, Geographic information system.

## 1. Introducción

### *1.1. Los cambios de uso del suelo en la Región de Murcia y su influencia en la erosión y desertificación*

Para Thornes (2009), el término degradación resulta más adecuado que desertificación al evitar las ambigüedades de este último. La degradación del territorio (land degradation) es la reducción y pérdida de la productividad biológica o económica ocasionados por los cambios de uso del suelo, procesos físicos o una combinación de ambos (Thornes, 2009), incluyendo la degradación biológica, pérdida de suelo, y el descenso en cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles para la supervivencia humana y sostenibilidad económica.

A pesar de que los grandes paisajes erosivos abarrancados del sureste peninsular tienen un origen más tectónico o climático que antrópico (Alexander et al., 1994, Wise et al., 1982); Wainwright y Thornes (2004) consideran la erosión producida por la agricultura como un componente fundamental de la evolución de los paisajes mediterráneos desde tiempos prehistóricos que ocurriría de forma diacrónica conforme nuevas tecnologías llegaban a distintos asentamientos. Por otro lado, la mayor parte de los procesos clave que conforman el fenómeno de la degradación o desertificación actual están relacionados con la agricultura (López-Bermúdez, 2006).

La agricultura ha sido por tanto el factor de impacto ambiental en el Mediterráneo más significativo, a pesar del incremento, especialmente significativo en la segunda mitad del siglo XX, de la industrialización y el turismo (Wainwright y Thornes, 2004).

Los cambios de uso del suelo en la Región de Murcia, así como en toda la cuenca mediterránea, están muy vinculados a la dinámica socioeconómica y en particular a la evolución de la población (López-Bermúdez et al., 1995, Barberá et al., 1997, Kosmas et al., 2002). La despoblación del medio rural, la intervención de las administraciones y las condiciones del mercado, pueden considerarse los motores de los cambios en los usos del suelo (García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009).

El proceso de desarrollo, que en los países más avanzados ha supuesto el paso de sistemas rurales a otros sistemas urbanos e industrializados, supone la marginalización de las áreas rurales al quedar excluidas de las políticas de desarrollo. En España especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX con notable falta de planificación, abandonando las laderas e intensificando la actividad en los fondos de valle (Lasanta-Martínez, 1996)

La erosión del suelo puede considerarse el más grave riesgo de degradación del territorio en las zonas altas mediterráneas, proceso natural que puede ser agravado por la actividad humana (Kosmas et al., 2002). La relación de la cubierta vegetal con la producción de escorrentía y la erosión ha sido bien establecida por diversos autores (Kosmas et al., 2002, García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009).

Los cambios de uso más destacables durante los últimos cincuenta años, se relacionan con una disminución de las hectáreas de secano; un incremento del regadío, especialmente del nuevo regadío en zonas costeras, y un aumento de la urbanización.

Romero-Díaz (2003) señala como el abandono de tierras de cultivo ha afectado en la Región de Murcia a unas 100.000 hectáreas (9.1 % de la superficie regional) desde 1980, la mayor parte en cuencas neógenocuaternarias sobre suelos predo-

minantemente margosos y fácilmente erosionables.

Las últimas décadas son las que han visto las transformaciones más profundas con la expansión del regadío y la pérdida de secano tradicional atribuible al uso generalizado de maquinaria agrícola que hace caer la demanda de piensos (Picazo y Lemeunier, 2003).

Los efectos del abandono pueden ser positivos o negativos dependiendo de los suelos y de las condiciones climáticas del área (Kosmas et al., 2002). García-Ruiz y López-Bermúdez (2009) consideran que, en general, se acepta que el abandono favorece una reducción de la erosión y la escorrentía, tal como se ha comprobado experimentalmente, pero no siempre es así debido al importante papel que juegan las condiciones climáticas y la gestión de las laderas. Suele ser beneficioso en áreas calizas (Romero-Díaz, 2003), encontrándose una recuperación paulatina del contenido en materia orgánica debido a las adecuadas condiciones para la recolonización de la vegetación; tal como se ha puesto de manifiesto en estudios llevados a cabo en áreas experimentales (López-Bermúdez et al., 1998, Martínez-Fernández et al., 1994, 1996, Belmonte-Serrato et al., 1999). Sobre sustrato margoso la situación es muy diferente debido a la presencia de sodio y arcillas expansivas, produciéndose una disminución de la estabilidad de los agregados (Cerdá et al., 1994) y la aparición de procesos de piping (Romero-Díaz, 2003, López-Bermúdez y Romero-Díaz, 1989) favorecidos por la presencia de fuertes gradientes hidráulicos vinculados a la presencia de aterrazamientos. En ambientes semiáridos la sucesión vegetal es un problema tras el abandono de tierras de cultivo en el sureste español vinculado con la disponibilidad de semillas y la irregularidad de las precipitaciones (García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009).

El ciclo vegetativo del cereal hace que el suelo esté desprotegido la mayor parte del año. López-Bermúdez et al. (1998) midieron (en terreno calizo) las mayores pérdidas de suelo en parcelas de trigo y cebada entre un amplio rango de usos del suelo, especialmente cuando las lluvias intensas coinciden con los períodos de desprotección del suelo.

Por lo que respecta a cultivos arbolados, la baja densidad de los marcos de plantación y la intensidad de las lluvias mediterráneas hacen de ellos cultivos potencialmente muy erosivos, especialmente

en plantaciones jóvenes (García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009). Sin embargo (Kosmas et al., 1997, 2002) a partir de diversos estudios experimentales concluyen que el olivar produce pérdidas de suelo escasas si se mantiene la cubierta herbácea.

El caso del almendro resulta especialmente grave por la marginalidad de las tierras ocupadas por este cultivo. A pesar de ello, la PAC ha incentivado el cultivo del almendro que se ha desarrollado a costa de parcelas de matorral sobre laderas en pendiente (Faulkner, 1995) y en contra de los esfuerzos nacionales de control de la pérdida de suelo (Rojo-Serrano et al., 2002). En concreto en la Región de Murcia se han dado ciclos muy agresivos de puesta en cultivo y arranque de almendros subvencionados por la PAC.

A partir de los sesenta hay un incremento en el viñedo, especialmente en la comarca del Altiplano (Jumilla y Yecla), reduciéndose a partir de los ochenta (Picazo y Lemeunier, 2003). En la actualidad se mantiene como uno de los cultivos predominantes en la parte norte de la Región.

En general se considera que el cultivo de la vid representa uno de los usos agrícolas con mayor actividad erosiva en climas mediterráneos semiáridos (García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009). Las razones habría que buscarlas según estos autores en que el suelo permanece descubierto casi todo el año y a la pendiente moderada de las laderas utilizadas para la vid. El resultado son unas pérdidas de suelos anuales estimadas en 25 Mg ha<sup>-1</sup> por término medio (Ramos y Martínez-Casnovas, 2009).

Los nuevos regadíos que aparecen a partir de mediados del siglo XX, son total o parcialmente independientes de los ejes fluviales principales (García-Ruiz y López-Bermúdez, 2009).

En la cuenca del Guadalentín, buena muestra de la situación en la cuenca del Segura, los cambios de uso han tendido a un incremento de los regadíos con un aumento en el consumo de agua mientras que los secanos tradicionales tienden a la marginalidad (Barberá et al., 1997). López-Bermúdez et al. (2002) indican como esta tendencia sólo puede proseguir si hay acceso a recursos hídricos externos.

El incremento espectacular del regadío entre 1970 (20,4 % de las tierras de cultivo) y la actualidad (31,5%) se explica por el acceso al agua del trasvase y la sobreexplotación de acuíferos (Picazo y Lemeunier, 2003). España, y especialmente la

cuenca del Segura, destacan en el ámbito de la cuenca mediterránea por el elevado grado de explotación de los recursos hídricos (Margat, 2009).

Los intentos de mitigar los procesos de degradación en medios semiáridos mediante la mejora de la cubierta vegetal no son todo lo positivos como se ha considerado tradicionalmente (Obando, 2002, Romero-Díaz y Belmonte-Serrato, 2008) obteniéndose, utilizando matorral autóctono, resultados mejores que los obtenidos en coníferas (Chirino et al., 2006, Francis y Thornes, 1994).

La zona costera española en general (Morris, 1992), y la Región de Murcia en particular, han sido objeto de una intensa urbanización en los últimos años. Cuatro son los elementos de degradación ambiental que resultan del exceso de urbanización (Grenon y Batisse, 1989): consumo de terreno a menudo mal planificado, presión sobre los recursos hídricos, producción de basura y polución.

La presión sobre los recursos hídricos lleva a la salinización de acuíferos costeros (Thornes, 2009). El problema se agrava por la coincidencia de nuevos regadíos con nuevas urbanizaciones en áreas costeras (Postiglione, 2002), y en la costa mediterránea española por la escasez de las precipitaciones y la irrigación con aguas de baja calidad (Moreno, 1998).

Grenon y Batisse (1989) citan cuatro problemas ambientales vinculados a la urbanización, un consumo, a menudo mal planificado, del territorio; problemas de suministro de agua; aumento de la producción de residuos urbanos y contaminación. A estos habría que añadir el aumento del riesgo de avenidas e inundaciones (Quiñonero-Rubio et al., in press). Llasat (2009) afirma que los impactos sociales y económicos de las inundaciones están, no sólo vinculados a episodios meteorológicos extremos, sino también a la vulnerabilidad creada por la actividad humana.

### *1.2. Los SIG y la teledetección como herramienta de análisis espacio-temporal*

El cada vez más generalizado uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como sistema capaz de gestionar y analizar la información espacial, junto a la mejora en la adquisición y

uso de información procedente de la teledetección, ha propiciado el aumento de trabajos de seguimiento y análisis temporal de los diferentes procesos y de las variables espaciales que influyen sobre la erosión y desertificación.

Entre los trabajos a citar destacan los desarrollados por Baker (1989), Shugar (1985) o Parks (1990), en los que se observan tres aspectos comunes a resaltar:

- La tipología de modelos utilizados (empíricos, algorítmicos y sistémicos).
- Aplicación a trabajos muy concretos, relacionados sobre todo con la deforestación y evolución de masas forestales como clase espacial objeto de estudio.
- Utilización de imágenes satélite como sustituto de cartografía tradicional, cuya actualización se desfasa respecto a la dinámica territorial.

Las tipologías de modelos existentes son, según Lambin (1994) y Sandoval (2005):

- Empíricos: Imitan las relaciones reales existentes entre las variables que explican el cambio de uso y asumen que éstas continuarán así en el futuro
- Algoritmos: En esta tipología los procesos individuales de un sistema son descritos por ecuaciones simples, pero bajo criterios científicos.
- Sistémicos: Estos modelos se orientan a explicar el funcionamiento de las interacciones de todos los componentes de un sistema.

En el presente trabajo se pretende llegar al nivel del análisis de cambios de uso en el periodo de tiempo seleccionado, considerándose que el estadio de modelización y prognosis de este proceso se debe abordar en posteriores trabajos.

## **2. Área de estudio**

La Cuenca del Segura, con una extensión de unos 19.000 km<sup>2</sup> (el 3,7% del territorio español), se encuentra ubicada en el Sureste de la Península Ibérica, incluyendo totalmente a la Región de Murcia y en parte a Andalucía, Comunidad Valenciana y Castilla-La Mancha.

Esta Cuenca se divide a su vez en 49 grandes subunidades hidrográficas (subzonas hidráulicas de la Demarcación Hidrográfica) que actúan para el presente trabajo como una de las unidades de estudio temporal fundamental (Figura 1).

### 3. Metodología

El objetivo de este trabajo es presentar la metodología aplicada en un entorno GNU/Linux para la elaboración de una colección multitemporal de coberturas del suelo en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS) desde 1976 hasta 2007 y un análisis posterior de la evolución de los usos del suelo.

Esta primera versión de la colección de mapas ha sido desarrollada según las siguientes fases:

- Creación de una base de datos de áreas de entrenamiento para la clasificación de las imágenes.
- Corrección geométrica de las imágenes de satélite y posterior verificación de los resultados.
- Corrección atmosférica y de iluminación de la serie de imágenes disponibles.
- Desarrollo y aplicación de una metodología basada en técnicas estándar para generar

mapas de coberturas del suelo a partir de las imágenes de satélite pre-procesadas.

- Validación cualitativa y cuantitativa de los resultados.
- Análisis de los cambios de uso del suelo en el periodo de tiempo considerado.

Los primeros trabajos realizados han sido los que tratan de conseguir una metodología unificada en entorno GNU/Linux que permita el procesamiento de la ingente cantidad de información espacial disponible. Piénsese que para abarcar el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Segura (algo menos de 19.000 Km<sup>2</sup>) son necesarias más de dos escenas de Landsat-5 y 4 escenas en el caso de los antiguos Landsat MSS. Además, la mayoría de los mapas de coberturas se han calculado con dos fechas diferentes (normalmente primavera y verano) con el objeto de mejorar la discriminación de cultivos. En total se han procesado más de 100 escenas del satélite Landsat.

#### 3.1. Georreferenciación y corrección geométrica

El primer paso en el tratamiento de las imágenes de satélite ha sido su georreferenciación, que se

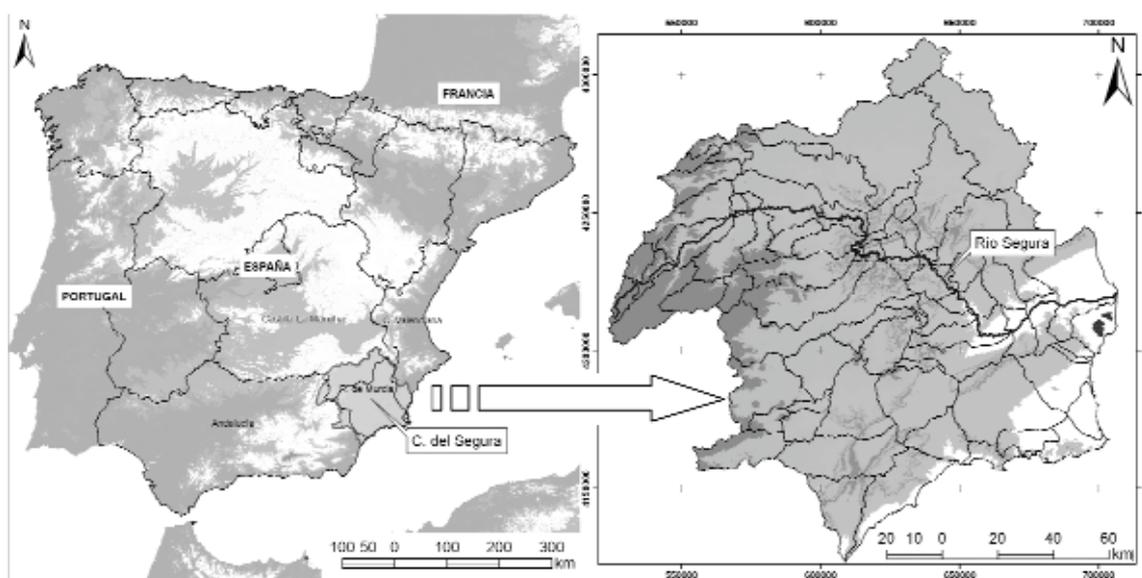


Figura 1. Área de estudio: Subzonas hidráulicas de la Confederación Hidrográfica del Segura.  
 Figure 1. Study area: Hydraulic subzones in Confederación Hidrográfica del Segura.

ha basado en la búsqueda de un conjunto de puntos de control con los que calibrar una ecuación de transformación de tipo polinómico.

Se han localizado puntos de control homogéneamente repartidos para evitar sobrecalibrar un área, ya que los errores se incrementarían en las áreas submuestreadas.

Finalmente se ha optado por contar con una muestra inicial de 35 puntos para escenas del sensor MSS, 50 para las del sensor TM y 120 cuando se trataba de escenas flotantes del sensor TM.

Se ha observado que el error medio cuadrático no disminuye de forma significativa al aumentar el grado de los polinomios de transformación, pero sí se incrementa el riesgo de que aparezcan distorsiones locales importantes. Por ello finalmente se ha optado por emplear transformaciones lineales.

Como criterio general, se ha tratado de obtener valores de error cuadrático entorno al tamaño del píxel. En todo caso hay que tener en cuenta la presencia de distorsiones localmente elevadas, aunque la media sea reducida. Este hecho se ha constatado especialmente en las áreas costeras.

### 3.2. Cálculo de reflectividad: corrección atmosférica y de iluminación

En el caso de un proyecto multitemporal como este, la corrección atmosférica resulta obligada. Se ha utilizado un método sencillo de corrección atmosférica y de iluminación que se describe en Riaño et al., (2000), implementando los algoritmos en un programa para automatizar las tareas.

La corrección atmosférica está basada en el método de Chávez (1988), método mediante el cual la distorsión atmosférica residual que quede tras la corrección afectará, en cada imagen, del mismo modo a los píxeles de las áreas de entrenamiento utilizadas para caracterizar las clases y a los posteriormente clasificados minimizando su impacto en el error de clasificación.

Este enfoque obliga a disponer de áreas de entrenamiento válidas para todas las fechas, es decir que no hayan variado su uso a lo largo del tiempo. Para ello se ha optado por un método de búsqueda de estas áreas que se expondrá en el apartado correspondiente.

Con respecto a la corrección de iluminación se ha optado por un ajuste semiempírico como el rea-

lizado en el método lambertiano de corrección C, Teillet et al., (1982), representado en la ecuación 1:

$$(1) \quad \rho_{ki} = \rho_k \left( \frac{\cos\theta_i \cdot c_i}{\cos\beta_i + c_k} \right)$$

donde  $\rho_k$  es la reflectividad de la banda  $k$ ,  $\theta_i$  es el ángulo cenital solar,  $\beta_i$  es el ángulo formado por la radiación incidente con el plano del terreno y es una constante empírica para cada banda que se obtiene de (Eq. 2):

$$(2) \quad c_k = \frac{b_k}{a_k}$$

donde  $b_k$  y  $a_k$  son la constante y la pendiente de la recta de regresión  $\rho_k = b_k + a_k\beta$ . Este método tiene la ventaja de que obtiene correcciones de iluminación diferentes para cada una de las bandas.

En la figura 2 se observa el descenso en los valores de reflectividad debido a la eliminación de la radiación atmosférica difusa en el proceso de corrección atmosférica. También muestra como la corrección de iluminación ha modificado los valores de reflectividad a ambos lados de la Sierra de Carrascoy. Se observa como en la vertiente de solana estos han disminuido mientras que en la de umbría han aumentado.

### 3.3. Creación de capas de información textural

Una de las tendencias más fructíferas en teledetección en los últimos años ha sido la incorporación de información adicional a las capas de reflectividad en los procedimientos de clasificación. Principalmente se trata de dos tipos: información contextual e información textural.

En este trabajo se ha incorporado la segunda, que representa la variación espacial del brillo de una imagen (Berberoglu et al., 2007). Según estos mismos autores, la utilización de este tipo de información resulta especialmente interesante en paisajes mediterráneos debido a la gran variedad y fragmentación de patrones espaciales.

Si las características espectrales del conjunto de clases seleccionado no permiten garantizar la separabilidad entre estas, la información textural puede introducir información adicional que incremente la separabilidad de las clases.

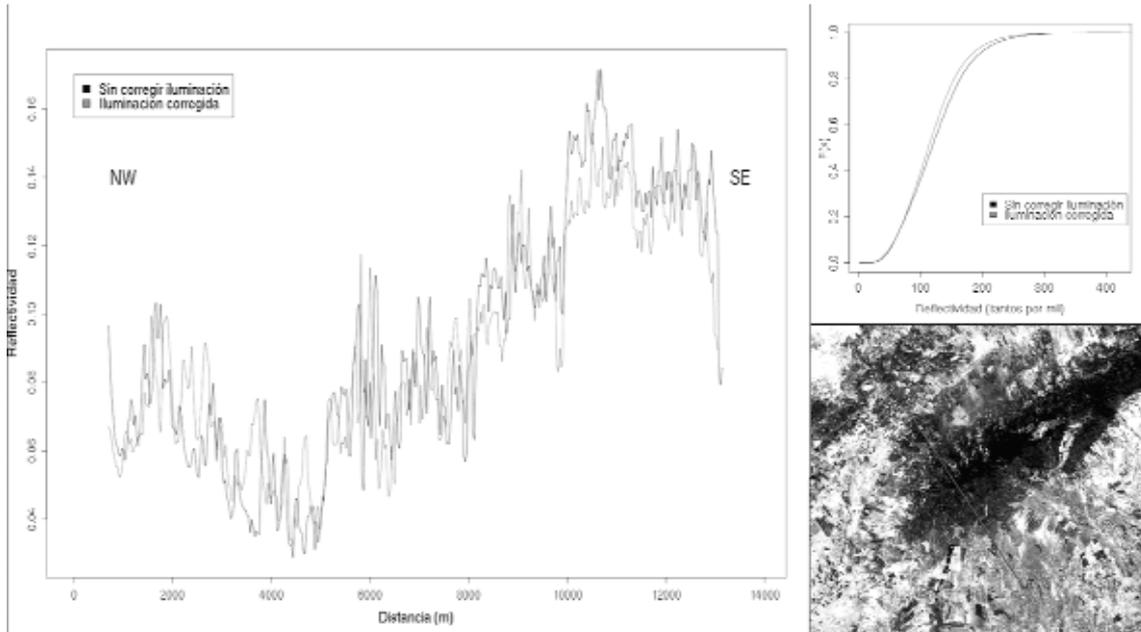


Figura 2. Corrección atmosférica y de iluminación en un transecto de la Sierra de Carrascoy.  
 Figure 2. Atmospheric and illumination correction in a transect of Sierra de Carrascoy.

En los últimos años se ha experimentado con el uso de información textural en teledetección, se trata del cálculo, píxel a píxel, de índices texturales que cuantifican los criterios texturales cualitativos tradicionales de la fotointerpretación.

La información textural suele extraerse del primer componente obtenido de un Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado a las capas de reflectividad; para ello se ha utilizado la función semivariograma. Es la opción más utilizada en ciencias de la tierra y es muy intuitiva en cuanto a la naturaleza de sus parámetros. Se han incorporado dos índices texturales basados en el semivariograma (Eq. 3):

$$(3) \quad \gamma = \frac{\sum (b - b_i)^2}{8}$$

donde  $b$  hace referencia al valor en la celdilla analizada de la banda de que se trate y  $b_i$  hace referencia al valor en las cuatro celdillas vecinas (norte, sur, este y oeste).

Este índice se ha aplicado a dos capas obtenidas a partir de los valores de reflectividad:

Primer componente de un ACP con las bandas de reflectividad, relacionado casi siempre con un albedo medio ponderado de la imagen.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) calculado según la ecuación 4:

$$(4) \quad NDVI = \frac{\rho_{CIR} - \rho_R}{\rho_{CIR} + \rho_R}$$

### 3.4. Clasificación supervisada

Las especiales características de este trabajo imponen la necesidad de buscar áreas de entrenamiento y validación que hayan permanecido con el mismo uso en los últimos 30 años. Para ello se han utilizado mapas de uso de suelo e imágenes de tres fechas:

- Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de 1977 y de 2001.
- Ortofoto de 1986-87.
- Mapa del proyecto Corine-Land Cover de 1990 y 2000.
- Ortofoto de la Dirección General de Medio Natural de la CARM de 2008.

Se han localizado zonas con los mismos usos del suelo en todas las fechas, homogéneas en cuanto a topografía y sin discontinuidades, considerando un total de 512 áreas de entrenamiento y 173 de validación (tabla 1).

### 3.5. Análisis estadístico de las áreas de entrenamiento

La necesidad de cumplir las exigencias de un método de clasificación paramétrico como es la máxima verosimilitud, obliga a una comprobación exhaustiva de su cumplimiento, en particular la normalidad de las variables empleadas, en este caso las bandas corregidas atmosféricamente y la capa de semivariograma de albedo y NDVI.

En este sentido, y con carácter exploratorio, se han obtenido gráficos de normalidad para cada combinación de los valores de las bandas con las clases informacionales. Estos gráficos se han obtenido también para transformaciones de variable logarítmica e inversa.

A partir de estos gráficos resulta fácil observar la presencia de *outliers* que pueden eliminarse recalculando el mapa de áreas de entrenamiento para eliminar de estas los píxeles con dichos valores.

Una vez eliminados los *outliers* se ha determi-

nado mediante tests de normalidad la transformación más adecuada para cada capa, buscándose para cada una de ellas una transformación de compromiso entre todas las clases.

### 3.6. Integración de las clasificaciones supervisada y no supervisada

La integración de la clasificación supervisada y no supervisada se hace combinando categorías de ambos métodos empleando un algoritmo de agrupación jerárquico. Se utiliza como criterio de ordenación la divergencia entre las CE (clases espectrales) y las CI (clases informacionales). Si existe una CE con baja divergencia con todas la CI se considerará una clase significativa y se añadirá al conjunto de clases. Un método similar ha sido probado con buenos resultados en Chuvieco y Congalton (1988).

El índice de divergencia se ha utilizado para evaluar la similitud o disimilitud entre clases (Chuvieco, 2007; Thomas et al., 1987). Se trata de un test paramétrico que, por tanto, asume normalidad en las variables que caracterizan las clases y será especialmente adecuado para comprobar la separabilidad entre clases empleando el método de máxima verosimilitud (Eq. 5):

Tabla 1. Número y extensión de las áreas de entrenamiento y validación.  
Table 1. Number and extension of training and validation zones.

Clase	Entrenamiento		Validación	
	Número	Sup. (ha)	Número	Sup. (ha)
Bosque denso	58	4.479	15	9.112
Bosque abierto	39	1.822	7	2.615
Matorral denso	23	805	15	4.291
Matorral abierto	96	2.808	14	2.080
Arbolado seco	63	1.332	22	1.082
Arbolado regadío	33	368	15	406
Herbáceo seco	55	1.722	30	5.624
Herbáceo regadío	33	368	15	406
Suelo desnudo	12	245	3	237
Núcleos urbanos	52	1.048	20	742
Superficies de agua	10	83	4	109
Viñedos	23	340	6	783
Suelos alterados	7	133	3	153
Huerta	8	652	4	2.473
<b>Total</b>	<b>512</b>	<b>16.205</b>	<b>173</b>	<b>30.113</b>

$$(5) \quad Div_{a,b} = \frac{Tr\{(V_a - V_b)(V_b^{-1} - V_a^{-1})\}}{2} - \frac{Tr\{(V_a^{-1} - V_b^{-1})(M_a - M_b)(M_a - M_b)^t\}}{2}$$

donde  $M_a$  es el vector de medias de la clase  $a$ ,  $V_a$  es la correspondiente matriz de varianzas-covarianzas,  $Tr$  la función traza de la matriz,  $t$  indica la matriz transpuesta y  $-1$  la matriz inversa.

### 3.7. Validación. Error de clasificación

Para comprobar la calidad de los resultados obtenidos se han realizado para cada año dos clases de validaciones: (a) validación cualitativa detallada basada en el conocimiento de la cuenca de estudio y (b) validación cuantitativa a partir de matrices de confusión, que obtiene una caracterización del error cometido y una media sobre la adecuación de la clasificación a partir de la clasificación efectuada respecto a una clasificación real. Los índices necesarios para su cálculo son el error de comisión (proporción de píxeles clasificados erróneamente como clase A) y el error de omisión (proporción de píxeles de la clase A clasificados erróneamente).

A partir de las matrices de confusión han calculado el estadístico *kappa*, que evalúa la proporción de mejora que la clasificación respecto a una clasificación al azar (Eq. 6)(Chuvieco, 2007).

$$(6) \quad k = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}$$

donde:  $X_{ii}$  es el N° de píxeles correctamente clasificados en la clase  $i$ ,  $X_{+i}$  es el total de píxeles clasificados correctamente y  $X_{i+}$  es el total de píxeles pertenecientes a la clase  $i$ .

Para este tipo de validación, se han digitalizado un total de 142 polígonos de validación, siguiendo los siguientes criterios: (a) localización espacial diferente a las áreas de entrenamiento, (b) la clase de uso debe ser la misma para cada uno de los años incluidos en el estudio y (c) definición de los límites de los polígonos inferior al polígono real, para evitar confusiones.

### 3.8. Análisis temporal de la información

Dado que el alcance del presente trabajo no es la prognosis de los cambios mediante modelos, se

ha optado por utilizar la metodología denominada “*matrices de transición*”, matrices de doble entrada entre las categorías para dos fechas que refleja la tendencia de una población a moverse entre los diferentes estados posibles.

De esta forma, se ha desarrollado una metodología de cálculo basada en el SIG GRASS y sus módulos de cálculo cruzado de información para la información espacial entre las imágenes clasificadas y R, software para trabajo estadístico y matemático, para trabajo con matrices y la construcción de las tablas.

La información calculada mediante este procedimiento ha sido:

- Construcción de *tablas de cambio absoluto* de las clases que permite cuantificar la tasa de cambio absoluto de una clase. En este caso se ha calculado la persistencia o cambio entre cada uno de los píxeles de las imágenes de dos fechas diferentes, obteniéndose mapas raster con 144 clases, cruces posibles entre las 12 clases de usos propuestas.
- *Matrices cruzadas* de cambios de uso entre clases que permite cuantificar el traspaso de superficie entre las diferentes clases, expresado en ha (posibles cambios absolutos entre los posibles estados).
- *Matrices cruzadas de cambios de uso expresada en peso relativo* del cambio respecto al total de superficie analizada. Tablas de transición que reflejan el estado en términos relativos.

La metodología empleada para cuantificar y detectar los diferentes cambios ha sido la utilizada por Aldana y Bosque (2008), desarrollada por Pontius et al (2004) para la determinación de situaciones en términos de persistencia y cambios estimados, a partir de los siguientes índices:

- *Cambios totales en cada clase* (Eq. 7): cálculo para cada clase de la suma de las pérdidas y ganancias; representa el valor de cambio en términos de signo para una clase.

$$(7) \quad CT_c = G - P$$

- *Cambios netos en cada clase* (Eq. 8): Diferencia absoluta entre pérdidas y ganancias; refleja el cambio absoluto sin signo.

$$(8) CN_c = |G - P|$$

- *Intercambios* (Eq. 9): Refleja para ambos periodos el mínimo intercambio entre pérdidas y ganancias.

$$(9) Int = 2 * m_{pg}$$

donde  $P$  son las pérdidas de una clase en el periodo, calculadas mediante  $P=S_{ic1} - P_c$ ,  $G$  son las ganancias de una clase en el periodo, calculadas mediante  $G=S_{ic2} - P_c$ ,  $P_c$  es la persistencia de la clase (diagonal de la matriz de confusión),  $m_{pg}$  es el valor mínimo entre las pérdidas y las ganancias,  $S_{ic1}$  es la superficie de la clase para el primer año y  $S_{ic2}$  la superficie de la clase para el segundo año.

Así mismo, se ha realizado un análisis de clases agregadas conforme al apartado de validación para minimizar el error producido en superficies para clases que son poco diferenciables entre si (como suele ocurrir con las clases *regadío herbáceo-huerta*).

#### 4. Resultados y Discusión

En lo referente a la calidad en la clasificación, los valores iniciales del estadístico kappa oscilan entre 0.295 y 0.485, siendo menores en el período 1977-1984 (sensor landsat MSS) y mayores en el resto del período. Se trata de valores relativamente bajos, en todo caso hay que tener en cuenta que, examinando las matrices de confusión, se observa como el mayor número de errores aparecen entre clases muy similares (bosque denso-bosque abierto, matorral denso-matorral abierto, regadío herbáceo-huerta).

Los valores  $k$  resultantes de las clases agrupadas oscilan entre 0.503 y 0.751, que pueden considerarse ya valores aceptables (Chuvienco, 2007). A modo de ejemplo, se puede ver en la tabla 2 cómo mejora  $k$  para el año 2001.

Estos valores siguen una evolución temporal similar a la de los coeficientes  $k$  sin agrupar (Fig. 3).

También aparecen clases con importantes errores de comisión y omisión, especialmente el caso del suelo desnudo, sin embargo se trata de clases relativamente poco representativas, dato con celdi-

llas de matorral abierto, secano y en general cualquier clase con escasa cobertura.

En cuanto a la evolución de los usos en la cuenca en su conjunto, debido al formato de dato adquirido, en el que pueden haber lagunas de información (por nubes, falta de algunas escenas, etc...), se ha optado por seleccionar como área de estudio la concerniente a un periodo temporal determinado, pero seleccionando aquellos mapas en los que se minimizase la superficie incluida en lagunas de información. De este modo se han seleccionado las siguientes imágenes: 1977, 1984, 1986, 1987, 1988, 1992, 1993, 1994, 1998, 2001, 2002, 2005, 2006, 2007, sumando 1.330.000 ha., que corresponde con el 69% de la cuenca.

No obstante, esta modificación tan solo afecta al resumen total, ya que en función del área de

Tabla 2. Errores de omisión y comisión a partir de la matriz de confusiones para el año 2001. Puede apreciarse cómo mejora  $k$  para las clases agrupadas (0,75) frente a las desagrupadas (0,47).

Table 2. Omission and commission errors from the confusion matrix in year 2001.  $k$  value is better in grouped classes (0,75), compared with ungrouped classes.

CLASES	Err. Om.	Err. Com.
<i>Clases desagrupadas</i>		
<i>Bosque denso</i>	30.51	18.18
<i>Bosque abierto</i>	70.68	81.20
<i>Matorral denso</i>	92.00	42.05
<i>Matorral abierto</i>	27.28	72.53
<i>Arbolado secano</i>	68.54	73.66
<i>Arbolado regadío</i>	35.25	76.96
<i>Herbáceo secano</i>	22.37	11.39
<i>Herbáceo regadío</i>	26.98	69.85
<i>Urbano</i>	0.00	4.19
<i>Suelo desnudo</i>	99.63	99.81
<i>Vid</i>	8.02	0.10
<i>Suelo alterado</i>	19.33	60.64
<i>Huerta</i>	89.72	49.56
<i>Clases agrupadas</i>		
<i>Bosque</i>	8.51	7.33
<i>Matorral</i>	19.39	15.77
<i>Arbolado secano</i>	68.54	73.66
<i>Arbolado regadío</i>	35.25	76.96
<i>Herbáceo secano</i>	22.37	11.39
<i>Herbáceo regadío+Huerta</i>	29.08	25.33
<i>Urbano</i>	0.00	4.19
<i>Suelo desnudo</i>	99.63	99.81
<i>Vid</i>	8.02	0.10
<i>Suelo alterado</i>	19.33	60.64

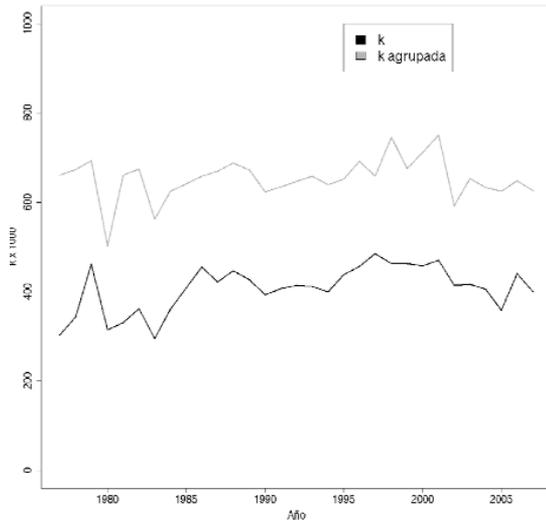


Figura 3. Evolución de los estadísticos kappa y kappa agrupado.  
Figure 3. Evolution of kappa and grouped kappa statistics.

estudio seleccionada, se dispone de años no considerados en esta evolución.

La figura 4 y tabla 3 representan el resultado de esta evolución, y en la figuras 5 se presentan a modo de ejemplo los datos espaciales obtenidos para los años 1998 y 2001, obteniéndose como resultado las zonas de persistencia, definidas como puntos en los que se da una misma clase de uso, frente a aquellas en las que se ha producido algún tipo de cambio (Figura 6). El análisis efectuado para cada par de años indica el cambio producido, como se puede ver en el ejemplo para el periodo 1998-2001 en las tablas 4 y 5 referentes a la matriz de transición y al análisis de cambio.

Si se analiza la evolución de las clases para el periodo de tiempo considerado y el área espacial seleccionada, como puede verse en la figura 4, que representa la evolución de clases agregadas con naturaleza similar, se puede apreciar cómo algunas

Tabla 3. Cuadro resumen de superficies por clase y año.  
Table 3. Summary table of surfaces by class and year.

Descr.	ha77	ha84	ha86	ha87	ha88	ha92	ha93	
1	B. denso	8254,72	32966,41	155143,74	115733,93	116891,32	126984,08	125353,36
2	B. abierto	150239,46	112491,81	40120,52	70935,73	53669,52	51664,13	99073,73
3	Mat. denso	177578,81	122644,18	6562,04	396,25	1037,32	1,43	32801,08
4	Mat. abierto	152727,65	146754,46	315385,46	264445,60	281441,54	268749,80	259705,91
5	Arb. secano	212203,59	197850,28	153495,15	90692,17	53856,88	50861,37	159383,92
6	Arb. regadío	204012,21	134479,87	126101,39	193197,65	223645,56	225682,06	59611,30
7	Herb. Secano	108843,02	230903,07	153109,63	150072,32	161540,78	124665,53	181324,72
8	Herb. regadío	111500,12	142490,18	162376,86	231635,93	173768,16	190681,07	164099,90
9	Urbano	31465,44	10721,79	8568,00	8841,68	8677,12	20800,11	21514,57
11	Suelo desnudo	60168,21	48296,69	53183,06	130541,44	119940,55	104611,31	47861,13
12	Vid secano	36395,11	36600,48	39914,64	37332,23	36086,82	36981,53	73353,32
13	Vid regadío	11052,57	10256,66	11233,12	10582,58	10297,68	10312,18	20403,60
14	Suelos alt.	5062,75	8526,63	27137,18	22130,99	22442,97	38580,47	23619,93
15	Huerta	60417,73	94938,86	77316,84	3165,86	66461,62	79225,13	61761,23
	Descr.	ha94	ha98	ha01	ha02	ha05	ha06	ha07
1	B. denso	104192,72	124122,62	92207,88	108175,78	101746,36	116014,86	145330,64
2	B. abierto	70693,05	95813,56	113344,06	41992,45	137565,53	35518,36	55033,05
3	Mat. denso	13,25	13319,38	21301,19	119470,19	25970,25	124390,99	454,23
4	Mat. abierto	244915,90	230921,19	249842,94	144410,83	293758,20	151943,21	248106,41
5	Arb. Secano	58596,75	154283,50	151627,81	35796,65	175217,41	91967,17	102843,87
6	Arb. regadío	193528,55	17477,25	145531,62	265146,06	49526,99	158585,42	214068,37
7	Herb. Secano	149643,26	199819,25	195600,94	73171,75	151161,08	85637,89	82193,78
8	Herb. regadío	200916,34	306738,31	176917,31	147254,67	145095,43	195374,27	202018,62
9	Urbano	20680,98	21307,75	32979,44	29991,38	34141,74	30315,78	30103,34
11	Suelo desnudo	111516,51	52607,06	48043,12	147544,19	69575,26	138510,81	79868,73
12	Vid secano	37119,83	34987,94	34901,19	35900,88	62101,86	36457,39	35261,08
13	Vid regadío	10562,10	9779,69	9720,56	10276,97	13949,31	10281,93	9740,82
14	Suelos alt.	40613,90	14592,75	20644,62	41086,77	17324,48	26248,14	42266,59
15	Huerta	86709,81	53989,38	37112,19	129531,19	52632,61	128540,62	82427,95

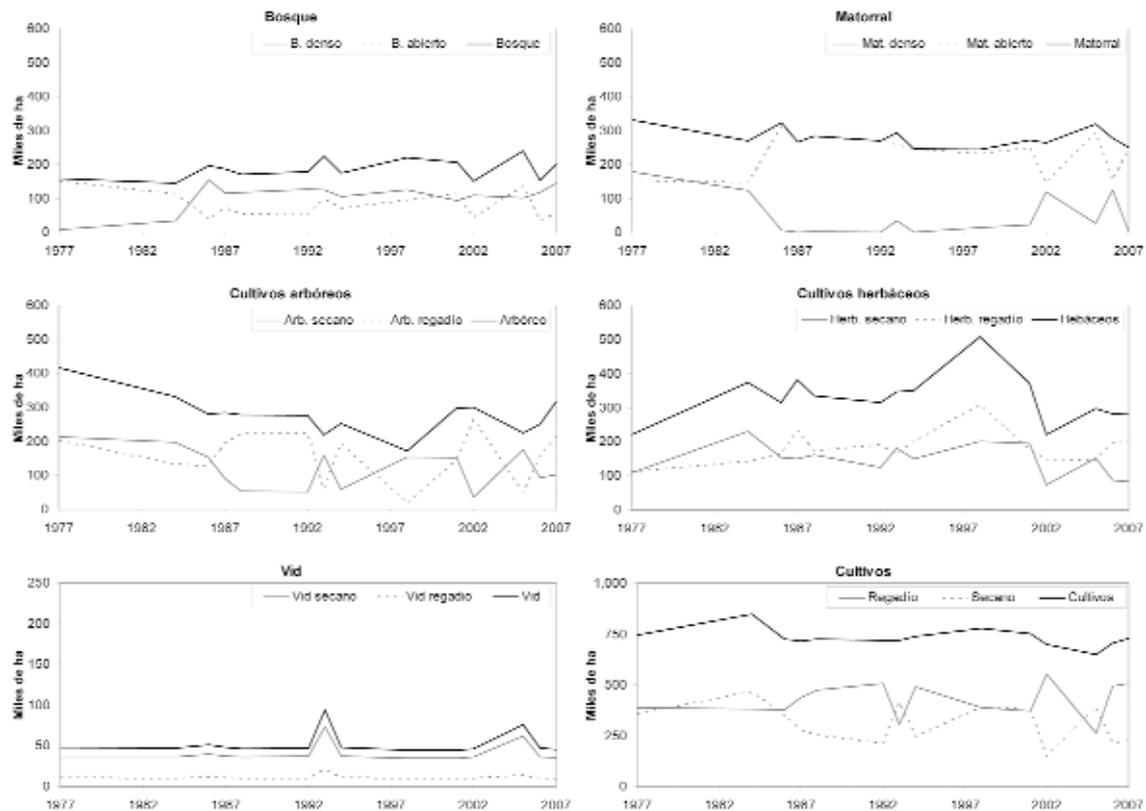


Figura 4. Evolución temporal para las principales clases y su agrupación.  
 Figure 4. Temporal evolution of main classes and groups.

de las clases analizadas tienden a complementarse (como por ejemplo en cultivos y vegetación natural). En la evolución de la vegetación natural se puede observar cómo las clases se contrarrestan entre sí, existiendo una relación directa entre el aumento y disminución entre clases (en torno al 0.5 de coeficiente de determinación), contrarrestándose las varianzas entre sí.

Analizando la tendencia de las clases bosque y matorral, se aprecia cómo la de bosque tiende a aumentar ligeramente, mientras que la de matorral desciende muy ligeramente, siendo la tendencia general a un descenso muy ligero pero constante.

En lo referente a los cultivos, la variabilidad detectada tiende comportarse de la misma forma que con las clases de vegetación natural, contrarrestándose entre ellas mediante una correlación entre el aumento de una clase respecto a la otra de en torno al 0.75. Las clases representadas en este

caso son regadíos (clases arbóreo, herbáceo, vid y huerta) frente al seco (clases de arbóreo, herbáceo y vid sin riego). En lo referente a los cultivos, se detecta un ligero aumento en la superficie total analizada.

En cuanto al resto de clases, suelos desnudos, suelos alterados y urbano, el primero y segundo tienden a presentar bastante variabilidad entre años, dado que se trata de una clase que engloba gran diversidad de situaciones. No obstante, la superficie representada y variabilidad de los suelos alterados es bastante menor que la de suelos desnudos.

En cuanto al urbano, esta clase es la que menor superficie tiene de todas las analizadas, y ha resultado tener una cierta tendencia al aumento en la serie temporal conforme a la dinámica demográfica. No obstante, en el gráfico que se presenta, se detecta un error en el año 1990 y 2000 que se debe

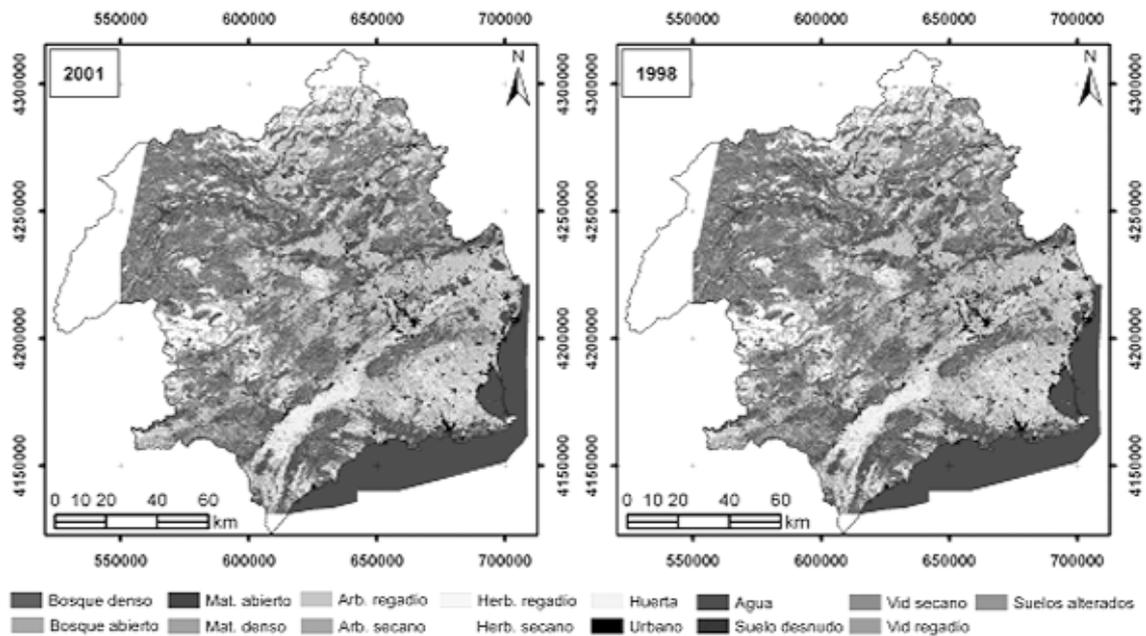


Figura 5. Mapa de clases y cambios de uso. Años 1998-2001.  
 Figure 5. Classes and land use change. Years 1998-2001.

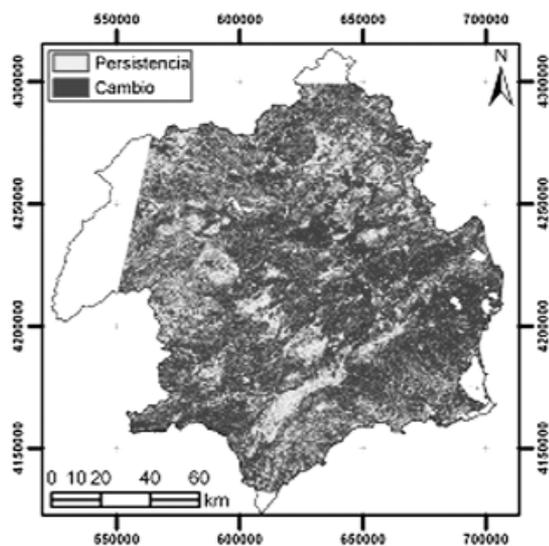


Figura 6. Mapa de persistencia en las clases agregadas. Años 1998-2001.  
 Figure 6. Persistence in aggregate classes. Years 1998-2001.

filtrar para no alterar el resto de la serie objeto de estudio.

### 5. Conclusiones

En términos generales, se han conseguido los objetivos perseguidos de adquisición e integración de la serie temporal de imágenes, de gran interés para los estudios ambientales y en concreto relacionados con la erosión, desertificación, el recurso agua, etc. Este trabajo ha permitido la creación de una base de datos con información de radiancia, de gran utilidad al posibilitar la integración en gran cantidad de modelos tales como identificación de combustibles, aplicaciones agrícolas y forestales, reconocimiento de unidades geomorfológicas, etc... todos ellos evaluados a partir de índices o como parte de modelos empíricos. La clasificación preliminar de usos para cada año, es un trabajo inédito hasta la fecha en el Sureste español.

Tabla 4. Matriz de transición de clases 1998-2001. Unidades en ha. Las celdas resaltadas hacen referencia a la superficie sin cambio (diagonal de la matriz).

Table 4. Transition matrix of classes. 1998-2001. Units in ha. The highlighted cells are no change surface(diagonal of the matrix).

Clase	Bosque	Mat.	Arb. sec.	Arb. reg.	Herb. sec.	Herb. reg.	Urbano	S. desn.	Vid	S. alt.	Tot. 98
<b>Bosque</b>	243029	51930	4138	3607	2103	14213	16	2249	14	324	<b>321622</b>
<b>Mat.</b>	65225	207231	25340	2567	19668	31975	36	11751	110	3231	<b>367134</b>
<b>Arb.sec.</b>	2779	17358	58721	2522	53195	40687	44	6980	398	2315	<b>184999</b>
<b>Arb.reg.</b>	9596	5457	16320	6694	16706	116625	42	1544	1355	777	<b>175116</b>
<b>Herb.sec.</b>	2157	14054	50007	3361	126103	37579	67	8260	641	2115	<b>244345</b>
<b>Herb.reg.</b>	11223	20199	21934	3832	21025	172862	127	6429	1052	3309	<b>261991</b>
<b>Urbano</b>	494	1250	1240	151	1622	8453	25276	852	4	1336	<b>40678</b>
<b>S.desn.</b>	3138	9879	4838	522	6932	9970	19	16988	18	2525	<b>54829</b>
<b>Vid</b>	18	87	257	883	743	1423	1	8	45055	4	<b>48479</b>
<b>S.alt.</b>	1542	5638	2881	394	3191	7088	20	2771	9	5187	<b>28722</b>
<b>Tot. 00</b>	<b>339201</b>	<b>333083</b>	<b>185676</b>	<b>24533</b>	<b>251290</b>	<b>440872</b>	<b>25647</b>	<b>57831</b>	<b>48657</b>	<b>21124</b>	<b>1727915</b>

Tabla 5. Resumen de los resultados de la matriz de trans. 1998-2001 (valores en % respecto a la sup. total).

Table 5. Summary results of transition matrix. 1998-2001 (values in % respect to total surface).

Clase	T.98	T.01	Estable	Ganancia	Perdida	Camb Total	Intercambio	Camb Neto	Camb Abs
<b>I</b>	18.61	19.63	14.06	5.57	4.55	10.11	9.10	1.02	1.02
<b>3</b>	21.25	19.28	11.99	7.28	9.25	16.54	14.57	-1.97	1.97
<b>5</b>	10.71	10.75	5.00	5.75	5.71	11.45	11.41	0.04	0.04
<b>6</b>	10.13	1.42	0.39	1.03	9.75	10.78	2.06	-8.71	8.71
<b>7</b>	14.14	14.54	7.30	7.24	6.84	14.09	13.69	0.40	0.40
<b>8</b>	15.16	25.51	10.00	15.51	5.16	20.67	10.32	10.35	10.35
<b>9</b>	2.35	1.48	1.46	0.02	0.89	0.91	0.04	-0.87	0.87
<b>II</b>	3.17	3.35	0.98	2.36	2.19	4.55	4.38	0.17	0.17
<b>12</b>	2.81	2.82	2.61	0.21	0.20	0.41	0.40	0.01	0.01
<b>14</b>	1.66	1.22	0.30	0.92	1.36	2.28	1.84	-0.44	0.44

El resultado de la clasificación puede considerarse aceptable si se tiene en cuenta la escala de trabajo a la que se aplica (resoluciones entre 35 y 75 metros en función del sensor) y los objetivos perseguidos. No obstante, se deben resaltar las siguientes limitaciones detectadas:

- Aparecen clases con problemas en la clasificación debido a su separabilidad utilizando técnicas de clasificación cuantitativas (como ocurre con el suelo desnudo).
- Las limitaciones de un proyecto que se basa en un análisis temporal a posteriori, que influye directamente en la localización de áreas de entrenamiento y validación.
- Problemas relacionados con la disponibilidad de información y las lagunas debidas a fenómenos como la nubosidad.

En lo referente al análisis temporal de los usos del suelo, la aplicación de las matrices de transi-

ción resulta ser de gran interés, ya que se pueden localizar espacialmente dichos cambios y a partir de ellas se pueden derivar indicadores de cambio de fácil interpretación. Asimismo, resultan ser de gran interés al ser un primer paso necesario para la modelización estadístico-espacial de los cambios. Se pretende iniciar este tipo de trabajos mediante “Cadenas de Markov” para el cálculo de matrices de confusión de probabilidad de cambio de estado y la generación de escenarios a partir de “autómatas celulares”.

#### Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo ha sido posible gracias al Proyecto de Investigación denominado “Análisis Multitemporal de Cambios de Uso del Suelo en la Cuenca del Segura. 1975-2007”, financiado por la Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua (IEA).

## Referencias

- Aldana, A. y Bosque, J. (2008). Cambios en la cobertura-uso de la tierra del Parque Nacional de Sierra de Culata Mérida-Venezuela. Periodo 1988-2003. *Rev. Geofocus*, 8, 139-168.
- Alexander, R.W., Harvey, A.M., Calvo, A., James, P.A. y Cerda, A. (1994). Natural stabilisation mechanisms on badland slopes: Tabernas, Almería, Spain. En: *Environmental Change in Drylands: Biogeographical and Geomorphological Perspectives* (A.C. Millington y K. Pye eds.). John Wiley y sons Ltd., Chichester, 85-111.
- Baker W. (1989). Review of models of landscape change. *Rev. Landscape Ecology*, 2 (2), 111-133.
- Barberá, G.G, López-Bermúdez, F., y Romero-Díaz, A. (1997). Cambios de uso del suelo y desertificación en el Mediterráneo: El caso del Sureste Ibérico. En: *Acción humana y desertificación en ambientes semiáridos* (J.M. García-Ruiz y P. López-García eds.). Instituto Pirenaico de Ecología, Zaragoza, 9-39.
- Belmonte-Serrato, F., Romero-Díaz, A. y López-Bermúdez, F. (1999). Efectos sobre la cubierta vegetal, la escorrentía y la erosión del suelo de la alternancia cultivo-abandono en parcelas experimentales. *Rev. Investigaciones Geográficas*, 22, 95-107.
- Berberoglu, S., Curran, P.J., Lloyd, C.D. y Atkinson, P.M. (2007). Texture classification of Mediterranean land cover. *Rev. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9, 322-334.
- Cerdá, A., García-Alvarez, A., Cammeraat, L.H. y Imeson, A.C. (1994). Agregación del suelo en una catena afectada por el abandono del cultivo en la cuenca del Guadalentín (Murcia). I. Estabilidad y distribución de los agregados del suelo. En: *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras* (J.M. García-Ruiz y T. Lasanta eds.). Geofoma Ediciones, Logroño, 9-19.
- Chávez, P.S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi-spectral data. *Rev. Remote Sensing of Environment*, 24, 459-479.
- Chirino, E., Bonet, A., Bellot, J. y Sánchez, J.R. (2006). Effects of 30 year old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion and plant diversity in a semiarid landscape in south-eastern Spain. *Rev. Catena*, 31(1), 19-30.
- Chuvieco, E. y Congalton, R.G. (1988). Using cluster analysis to improve the selection of training statistics in classifying remotely sensed data. *Rev. Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(9), 1275-1281.
- Chuvieco, E. (2007). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. 3ª Ed.* Ariel Ciencia, Barcelona, 586 pp.
- Conesa-García, C. (Ed.) (2006). *El Medio físico de la Región de Murcia*. Editum, Murcia, 278 pp.
- Faulkner, H. (1995). Gully erosion associated with the expansion of unterraced almond cultivation in the coastal Sierra de Lúlar, S. Spain. *Rev. Land degradation and rehabilitation*, 6, 179-200.
- Faz-Cano, A. (2003). El suelo de la Región de Murcia y su potencialidad agrícola. En: *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar* (M.A. Esteve-Selma, M. Llorens-Pascual De Riquelme y C. Martínez Gallur eds.). Universidad de Murcia, Murcia, 170-200.
- Francis, C.F. y Thornes, J.B. (1994). Matorral: Erosion and reclamation. En: *Soil Degradation and Rehabilitation in Mediterranean Environmental Conditions* (M.A Stocking y E. Diaz eds.). CSIC, Madrid. 87-116.
- García-Ruiz, J.M. y López-Bermúdez, F. (2009). *La erosión del suelo en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid. 441 pp.
- Grenon, M. y Batisse, M. (1989). *Futures for the Mediterranean Basin: The Blue Plan*. Oxford University Press, Oxford. 442 pp.
- Kosmas, C., Danalatos, N., Cammeraat, L.H., Chabart, M. y Diamantopoulos, J. (1997). The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Rev. Catena*, 29, 45-59.
- Kosmas, C., Danalatos, N.G., López-Bermúdez, F., y Romero-Díaz, M.A. (2002). The effect of Land Use and Soil Erosion and Land Degradation under Mediterranean Conditions. En: *Mediterranean Desertification. A mosaic of processes and responses* (N.A. Geeson, D.J. Brandt y J.B. Thornes eds.). J.Wiley y sons, Chichester, 57-70.
- Lambin E. (1994). *Modelling Deforestation Process, A Review*. European Commission, Institute for Remote Sensing Applications and European Space Agency. 113 pp.
- Lasanta-Martínez, T. (1996). El proceso de marginación de tierras en España. En: *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales* (T.Lasanta y J.M. García Ruiz eds.). Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología y Geofoma Ediciones, Logroño, 7-31.
- Llasat, M.C. (2009). High magnitude storms and floods. En: *The Physical Geography of the Mediterranean* (J.C. Woodward ed.). Oxford University Press, Oxford, 513-540.
- López-Bermúdez, F. (2006). Desertificación, un riesgo ambiental global de graves consecuencias. *Rev. Cuaternario y Geomorfología*, 20(3-4), 61-71.
- López-Bermúdez, F., Barberá, G.G., Alonso-Sarría, F. y Belmonte-Serrato, F. (2002). Natural Resources in the Guadalentín Basin (South-east Spain): Water as a Key Factor. En: *Mediterranean Desertification. A mosaic of processes and responses* (N.A. Geeson, D.J. Brandt y J.B. Thornes eds.). J.Wiley y sons, Chichester, 233-245.
- López-Bermúdez, F. y Romero-Díaz, A. (1989). Piping erosion and badland development in South-East Spain. *Rev. Catena*, 14, 59-73.
- López-Bermúdez, F., Romero-Díaz, A., Martínez-Fernández, J. y Martínez-Fernández, J. (1998). Vegetation and soil erosion under a semiarid Mediterranean climate: a case study from Murcia (Spain). *Rev. Geomorphology*, 24, 51-58.
- López-Bermúdez, F., Alonso-Sarría, F., y Conesa-García, C. (2003). Los escenarios físicos de la Región de Murcia: Diversidad y valor». En: *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar* (M.A. Esteve-Selma, M. Llorens-Pascual De Riquelme y C. Martínez-Gallur eds.). Universidad de Murcia., Murcia, 15-31.
- López-Bermúdez, F., Sánchez-Fuster, M.C. y Romero-Díaz, A. (1995). Incidencia de los modelos de gestión socio-econó-

- mica (siglos XIX y XX) en la degradación del suelo en el Campo de Lorca (Cuenca del Guadalentín, Murcia). *Rev. Papeles de Geografía*, 22, 5-18.
- Margat, J. (2009). Water resources. En: *The Physical Geography of the Mediterranean* (J.C. Woodward ed.). Oxford University Press., Oxford, 583-597.
- Martínez-Fernández, y López-Bermúdez, F. (1994). Evolución de algunas propiedades edáficas y de la vegetación en campos abandonados en ambiente semiárido mediterráneo. En: *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras* (J.M. García Ruiz y T. Lasanta ed.). Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología y Geoforma Ediciones, Logroño 107-120.
- Martínez-Fernández, J., Martínez-fernández, J. y López-Bermúdez, F. (1994). Evolución de algunas propiedades edáficas y de la vegetación en campos abandonados en ambiente semiárido mediterráneo. En: *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras* (J.M. García Ruiz y T. Lasanta ed.). Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología y Geoforma Ediciones, Logroño 107-120.
- Martínez-Fernández, J., López-Bermúdez, F. y Romero-Díaz, A. (1996). Evolution of vegetation and pedological characteristics in fields with different age of abandonment: A case study in Murcia (Spain). En: *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments* (J.L. Rubio y A. Calvo eds.). Geoforma Ediciones, Logroño, 279-290.
- Moreno, F. (1998). Soil salinity in Spain and its impact on agriculture: research activities carried out by the group of IRNAS. En: *Proceedings of 1st Trans-national Meeting on Salinity as Limiting Factor for Agricultural Productivity in the Mediterranean Basin*. Leone and Steduto, Napoli, 43-54.
- Morris, A. (1992). Spains new economic geography the Mediterranean axis. *Rev. Scottish Geographical Magazine*, 108(2), 92-98.
- Obando, J.A. (2002). Modelling the impact of land abandonment on regeneration of semi-natural vegetation: A case study from the Guadalentín. En: *Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses* (N.A. Geeson y C.J. Brandt eds.). John Wiley y sons., Chichester, 419-429.
- Parks L. y Peters R. (1990). Models of Forested and Agricultural Landscape. Integrating Economics. En: *Quantitative Methodes in Landscape Ecology* (M.G. Turner y R.H. Gardner eds.). Springer, New York, 309-322.
- Picazo, M.T. y Lemeunier, G. (2003). Los sistemas agrarios de la Región murciana durante medio milenio (1500-2000). En: *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar* (M.A. Esteve-Selma; M. Llorens-Pascual De Riquelme y C. Martínez Gallur eds.). Universidad de Murcia, Murcia, 170-200.
- Pontius R.G, Shusas E., Mceaherm M (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Rev. Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, 251-268.
- Postiglione, L. (2002). Soil Salinization in the Mediterranean: Soils, Processes and Implications. En: *Mediterranean desertification: A mosaic of processes and responses* (N.A. Geeson, C.J. Brandt y J.B. Thornes eds.), Wiley, Chichester, 163-173.
- Quiñonero-Rubio, J.M., López-Bermúdez, F., Alonso-Sarría, F. y Gomariz-Castillo, F.J. (en prensa). Landuse and Flood Risk Changes in Coastal Areas in Southeastern Spain. En: *Peace Research and Security Studies. Coping with Global Environmental Change: Climate Change, Soil and Desertification* (en prensa).
- Ramos, M.C. y Martínez-Casanovas, J.A. (2009). Impacts of annual precipitations extremes on soil and nutrient losses in vineyards of NE Spain. *Rev. Hydrological Processes*, 23, 224-235.
- Riaño, D., Salas, J. y Chuvieco, E. (2000). Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicadas a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes landsat TM. En: *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible* (I. Aguado y M. Gómez eds.), 222-239.
- Rojo-Serrano, L., García-Robredo, F., Martínez-Artero, J.A. y Martínez-Ruiz, A. (2002). Management plan to combat desertification in the Guadalentín River basin. En: *Mediterranean desertification: A mosaic of processes and responses* (N.A. Geeson, C.J. Brandt y J.B. Thornes eds.). Wiley, Chichester, 163-173.
- Romero-Díaz, A. (2003). Influencia de la litología en las consecuencias del abandono de tierras de cultivo en medios mediterráneos semiáridos. *Rev. Papeles de Geografía*, 38, 15-165.
- Romero-Díaz, A. y Belmonte-Serrato, F. (2008). *Erosión en forestaciones aterrazadas en medios semiáridos: Región de Murcia*. Editum, Murcia, 192 pp.
- Sandoval V. y Oyarzum V. (2003). Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. *Rev. Revista de ciencias Forestales-Quebracho*, 11, 9-21.
- Shugar H. y Seagle S. (1989). Modelling Forest Landscape in Ecosystems and Communities. En: *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics* (S.T.A. Pickett y P.S. White eds.). Academic Press, New York, 353-358.
- Teillet, P.M., Guindon, B. y Goodenough, D.G. (1982). On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Rev. Canadian Journal of Remote Sensing*, 58, 84-106.
- Thomas, I.L., Ching, N.P, Benning, V.M. y D'Aguanno, J.A. (1987). A review of multi-channel indices of class separability. *Rev. International Journal of Remote Sensing*, 8(3), 331-350.
- Thornes, J.B. (2009). Land Degradation. En: *The Physical Geography of the Mediterranean* (J.C. Woodward ed.), Oxford University Press, Oxford, pp. 563-581.
- Wainwright, J. y Thornes, J. (2004). *Environmental Issues in the Mediterranean: Processes and perspectives from the past and present*. Routledge Taylor & Francis, London, 410 pp.
- Wise, S.M., Thornes, J. y Gilman, A. (1982). How old are badlands? A case study from south-east Spain. En: *Badland Geomorphology and Piping* (R. Bryan y A. Yair eds.). Geo Books, Norwich, pp. 259-278.