Validación de productos globales de cobertura del suelo en la España Peninsular

Validation of global land cover products for the Spanish Peninsular area

M. V. Moreno y E. Chuvieco
vanesa.moreno@uah.es

Departamento de Geografía – Universidad de Alcalá,
Colegios 2- 28801 Alcalá de Henares, España.

Recibido el 09 de septiembre de 2008, aceptado el 19 de enero de 2009

RESUMEN

El presente trabajo presenta una validación de algunos productos de cobertura del suelo de escala global sobre la España peninsular, comparándolos con el mapa CORINE Land Cover del año 2000. Los productos analizados son el IGBP DISCover, GLC2000 y MODIS land cover. La metodología de validación se ha basado en la obtención de matrices de confusión y los índices de fiabilidad derivados, además de técnicas de regresión con algunas categorías más significativas. En el análisis de los patrones de error hemos considerado información contextual, observándose una relación entre errores y fragmentación del paisaje. Los resultados obtenidos muestran que los tres productos presentan fiabilidades similares, siendo el producto GLC2000 el que mayor grado de acuerdo presenta respecto al CORINE LC2000 (acuerdo global del 52,42%, con un valor κ de 0,31). Las exactitudes por clases son muy variables y en general los resultados obtenidos del análisis de regresión no difieren mucho de los análisis basados en la matriz de confusión. Se observa que el mayor porcentaje de superficie de desacuerdo se encuentra en zonas con una alto nivel de fragmentación, mientras las zonas de acuerdo son mayores en áreas con un nivel de fragmentación bajo.

PALABRAS CLAVE: Cobertura del suelo, validación, GLC2000, IGBP DISCOVER, MODIS land cover, CORINE LC2000, teledetección, productos globales.

ABSTRACT

This paper focuses on the validation of different global land cover products for the peninsular territory of Spain. The evaluated products were the IGBP DISCover, GLC2000 and MODIS land cover. CORINE Land Cover 2000 was used as reference data. The validation methodology was based on obtaining confusion matrix and accuracy metric derivatives, in addition to regression techniques with some categories more meaningful. In the analysis of patterns of errors we considered contextual information and found a relationship between errors and fragmentation of the landscape. The results of the assessment showed similar accuracies for the three products, although the GLC2000 offered the closest agreement with the CORINE LC2000 data (global accuracy of 52.42%, with a κ value of 0.31). The accuracies for classes are very diverse and the results obtained from the regression analysis are similar to those derived from the confusion matrix. It was observed that errors were more frequent in zones with high level of fragmentation, while agreement was higher for more homogeneous areas.

KEYWORDS: Land cover, validation, GLC2000, IGBP DISCOVER, MODIS land cover, CORINE LC2000, Remote Sensing, Global products.

INTRODUCCIÓN

Conocer la distribución de la cobertura del suelo a escala regional y global es fundamental para estudios de cambio global, por su efecto en el sistema ecológico y climático (Latifovic y Olthof, 2004) y por servir de entrada a numerosas variables de interés global (Mayaux *et al*., 2007). La naturaleza de la cobertura del suelo influye en el sistema climático, afectando al agua y a los intercambios de energía con la atmósfera (Sellers *et al*., 1997). En estudios del sistema ecológico la cartografía de cobertura del suelo se utiliza para evaluar los ecosistemas y la biodiversidad (Giri *et al*., 2004). También, la cartografía de cobertura del suelo a escala global o regional es de gran utilidad en la ordenación del territorio (Muchoney y Strahler, 2002). En un reciente informe del programa GEOSS (*The Global Earth Observation System of Systems*) se destaca que la cobertura del suelo es una de las variables de mayor trascendencia para la gestión del territorio y la mejora en su uso y planificación. (http://earthobservations.org/docs/10-Year%20Implementation%20Plan.pdf, último acceso junio 2008).

En los últimos años la disponibilidad de productos cartográficos a escala regional y global a partir de datos de teledetección, ha crecido notablemente gracias a la disponibilidad de instrumentos y herramientas más sofisticadas para la obtención y el procesamiento de estos datos (Strahler *et al*., 2006; Chuvieco, 2008a). En el campo de la cobertura del suelo merece destacarse el IGBP DISCover realizado por el USGS (*U.S. Geological Survey*) para el IGBP (*International Geosphere-Biosphere Programme, Data Information System Cover: Loveland et al*., 2000) y el UMD *Global land cover* producido por la Universidad de Maryland (Hansen *et al*., 2003). Ambos productos fueron generados a partir de datos del sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo del NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite*). Además de este sensor, resultan destacadas las aplicaciones globales del sensor SPOT-VEGETATION, a partir del que se elaboró un inventario global de cobertura del suelo en el año 2000. El producto, denominado GLC2000 (*Global land cover* 2000) fue generado con la colaboración de 30 instituciones internacionales coordinados por el JRC (*European Joint Research Centre*: Bartolomé y Belward, 2005). Finalmente, el sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) ha permitido generar un producto de cobertura del suelo a escala global, denominado MOD12Q1 (*MODIS land cover*), elaborado por la Universidad de Boston (Friedl *et al*., 2002).

Además de éstos, conviene citar un reciente producto global, denominado GLOBCOVER, impulsado por la Agencia Espacial Europea con datos obtenidos por el sensor MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) a bordo del satélite ENVISAT. Este producto se encuentra actualmente en fase de revisión.

Otros productos a escala regional, son los derivados del programa CORINE Land cover 1990 y 2000 (*Coordination of Information on the Environment*: EEA, 1990-2000) en Europa, con datos obtenidos del sensor Landsat-TM+, MRLC2001 en los Estados Unidos (USGS-EDC, 2003) y Africover en África (FAO, 2004).

Hasta hace muy poco, una de las principales limitaciones de estos productos globales era el escaso esfuerzo dedicado a la validación debido a la evidente dificultad de disponer de datos de referencia válidos. Reconociendo que cualquier mapa sin la debida validación sigue siendo una hipótesis sin verificar, en los últimos años se ha puesto especial énfasis en este tema desarrollándose protocolos y redes específicas de validación para productos globales (Morisette *et al*., 2002; Foody, 2002). En este marco, conviene citar la actividad de LPV (*Land Product Validation subgroup*: http://lpvs.gsfc.nasa.gov/ último acceso julio 2008), que forma parte del WGCV (*Working Group on Calibration and Validation*) del CEOS (*Comitte on Earth Observing Satellites*). Actualmente, sólo pueden considerarse como bien validados el producto IGBP DISCover (Scepan, 1999) y el producto GLC2000 (Mayaux *et al*., 2006). Existen medidas de exactitud del producto MODIS land cover, pero no basadas en un muestreo probabilístico (*MODIS land cover team*, 2003). Algunos autores han validado algunos productos globales para determinados países, como es el caso de Canadá (Latifovic y Olthof, 2004). En otros trabajos se han comparado varios de los productos globales de cobertura del suelo disponibles (Hansen *et al*., 2000; Giri *et al*., 2005; Neumann *et al*., 2007; Herold *et al*., 2008). Como resultado de estas experiencias el grupo LPV publicó recientemente una guía de las mejores prácticas de validación de productos de cobertura del suelo (Strahler *et al*., 2006).

Además de la dificultad para conocer la fiabilidad de los productos globales de cobertura del suelo, se plantea para la utilización operativa de los mismos los problemas derivados de la compatibilidad y com-

parabilidad entre sus leyendas temáticas. En este contexto algunas iniciativas internacionales preocupadas en la elaboración de los productos globales de cobertura del suelo, proponen armonizar y estandarizar el proceso de producción (Herold y Schumullius, 2004). Esto permitiría eliminar las inconsistencias en las definiciones de clases en las leyendas (por ejemplo, determinar cuál es la altura del arbolado para definir la clase forestal), así como diferenciar entre las etiquetas de las clases de cobertura y uso del suelo. En esta línea de trabajo está el LCCS (*Land Cover Classification System*; Di Gregorio, 2005; http://www.fao.org/docrep/008/y7220e/y7220e00.HTM. último acceso noviembre 2008). LCCS es un sistema de clasificación que permite crear, comparar y relacionar leyendas, definiendo todas las clases posibles a escala global y al nivel que el usuario requiera (Herold *et al*., 2006b).

La validación de los productos globales resulta de gran interés para la comunidad científica, tanto a los usuarios como a los productores de estos datos, para conocer su grado de acuerdo espacial y temático con la realidad, lo que permite elegir el producto más adecuado para un determinado estudio en una determinada región. Desde el punto de vista de los productores, las zonas de acuerdo pueden ser utilizadas como áreas de entrenamiento, mientras los errores servirán para refinar las técnicas de clasificación y los datos de entrada para futuros intentos (Giri *et al*., 2004; Latifovic y Olthof, 2004; Neumann *et al*., 2007).

El objetivo de este trabajo es evaluar la fiabilidad de algunos productos globales de cobertura del suelo en el territorio peninsular español (esto es, el total nacional excluyendo Baleares y Canarias). Para ello, hemos comparado la asignación de cobertura que realizan estos productos con la realizada por el programa CORINE Land Cover, que se considera como producto de referencia, al haberse elaborado con imágenes de mayor detalle (Landsat-TM/ETM), y haber sido sujeto de una evaluación sistemática (EEA, 2007). Se han evaluado los tres productos más fácilmente accesibles (IGBP DISCover, GLC2000 y MOD12Q1). Se pretendían obtener valores de fiabilidad global y por categorías, de cara a identificar el producto más adecuado para nuestro país, así como las clases mejor clasificadas y las más conflictivas. Finalmente, se pretendía estimar qué factores explicaban esas variaciones en el nivel de fiabilidad.

METODOLOGÍA

Productos considerados

Los productos globales considerados para este trabajo son los siguientes:

- IGBP DISCover, realizado a partir de datos NOAA-AVHRR, adquiridos entre 1992 y 1993, con una resolución de 1 km^2 (http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/tabgoode_globe.html, último acceso septiembre 2008). La clasificación de coberturas se realizó a partir de una serie temporal de composiciones mensuales del NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) desde abril de 1992 a marzo de 1993. Se utilizaron máscaras para las áreas de suelo desnudo, hielo y nieve. Las clases de agua y urbano no fueron clasificadas, sino que se tomaron del mapa digital del mundo DCW (*Digital Chart of the World*). Se crearon grupos automáticos no supervisados, encontrando 961 grupos espectrales idóneos de cubierta para todo el planeta, de acuerdo con las propiedades similares de la productividad de las plantas y el comportamiento fenológico, que después fueron simplificadas a 17 clases (Loveland *et al*., 2000). El producto UMD no se ha validado en este trabajo, ya que presenta bastantes afinidades con el IGBP DISCover, aunque este último cuenta con una mayor validación y está posteriormente actualizado al año 2000.
- MODIS land cover, obtenido a partir de datos Terra-MODIS de 2001, con una resolución corregida de 1 km^2 (http://duckwater.bu.edu/lc/mod12q1.html, último acceso septiembre 2008). Este producto se elaboró a partir de datos mensuales del MODIS, obtenidos desde noviembre de 2000 hasta diciembre 2001, incluyendo siete bandas de reflectividad, junto al EVI (*Enhanced Vegetation Index*), la textura espacial, la temperatura de la superficie, la cubierta de nieve, la altitud y una máscara para el agua (Strahler *el al*., 1999).
- GLC2000, clasificado a partir de datos SPOT-Vegetation adquiridos entre Noviembre de 1999 y Diciembre de 2000, con una resolución de 1 km^2 (http://www-tem.jrc.ec.europa.eu/Mapping_land_cover/index.htm, último acceso septiembre 2008).

Se realizó bajo la coordinación del JRC (*Joint Research Centre*) sobre datos diarios del año 2000. Participaron 30 grupos de investigación. Se empleó el LCCS para la creación de la leyenda (Bartolomé y Belward, 2005).

Todos los productos están disponibles en Internet y son de acceso público.

Como producto de referencia se ha utilizado un producto regional de cobertura del suelo de mayor fiabilidad, el CORINE LC2000 (http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/, último acceso septiembre 2008), también de acceso público y disponible en Internet. Se trata del producto estándar de cobertura del suelo de la Agencia Europea de Medio Ambiente, realizado en el marco del programa CORINE a partir de 1990 con una segunda versión en 2000. Este producto tiene una resolución espacial de 1 ha, incluye 44 clases jerárquicas, organizadas en tres niveles. Considera como unidad mínima cartografíable polígonos de 25 ha para las zonas rurales y de 5 ha para las urbanas. El proyecto se basa en la interpretación y digitalización de imágenes Landsat ETM+, empleando documentos de mayor resolución o trabajos de campo en las zonas conflictivas (EEA, 2005). En el caso de España, el CORINE LC lo coordinó el Instituto Geográfico Nacional con las comunidades autónomas. El producto CORINE LC2000 incluye un proceso de control calidad y verificación de los resultados. El RMS de la precisión geométrica es menor de 100 m y la exactitud temática estimada es de 85% (EEA, 2006). En consecuencia, nos parecía que resultaba un producto adecuado para utilizarse como referencia en la validación de los productos globales previamente indicados.

Proceso geométrico

Para la comparación entre los productos globales considerados en este trabajo y el mapa CORINE LC2000 de referencia, todos ellos fueron reproyectados a UTM sobre el huso 30 extendido, empleando como referencia geodésica el WGS 84 (World Geodetic System). Puesto que el producto CORINE LC2000 tiene una resolución espacial de 1 ha, para proceder a comparar los distintos productos globales con el de referencia generalizamos éste a un tamaño de píxel de 1 km^2, aplicando como criterio de generalización la clase más abundante de la matriz original.

Generalización de leyendas

Uno de los problemas que se planteaba la comparación entre los tres productos globales y el de referencia era la diversidad de leyendas. En otros trabajos, se ha propuesto en ocasiones asimilar las leyendas de los productos de entrada a la leyenda de uno que sirva como referencia (Latifovic y Olthof, 2004), pero esto puede causar problemas si no existe una definición común de las clases de coberturas (Herold *et al*., 2008).

En este trabajo se ha optado por la adaptación de una nueva leyenda global creada en LCCS, porque el uso de esta leyenda reduce las diferencias en las definiciones de clases y facilita la comparación entre los productos (Herold *et al*., 2008), adecuándose a los objetivos de este trabajo. Aunque la adecuación siempre es compleja, en nuestro caso hemos tomado las siguientes decisiones:

- Los productos IGBP DISCover y CORINE LC2000 se han comparado utilizando LCCS (Herold and Shumullius, 2004).
- El producto MODIS land cover tiene varias opciones de leyenda, seleccionándose para este trabajo la que coincide con el IGBP DISCover, por lo que se ha aplicado el criterio anterior.
- La leyenda GLC2000 se creó utilizando LCCS (Bartolomé y Belward, 2005), por lo que hemos utilizado para la comparación el trabajo de Herold *et al*., (2008).
- Finalmente, para la integración de la leyenda del CORINE LC2000 se consideró un trabajo reciente de evaluación comparativa entre los productos CORINE LC2000 y GLC2000 que define la correspondencia entre las clases de ambos productos basada en la definición de las clases (Neuman *et al*., 2007).

La leyenda global original propuesta por Herold *et al*., (2008) está categorizada en 13 clases, pero en este trabajo se ha reducido a 11 clases, porque el CORINE LC2000 no distingue entre árboles de hoja caduca y perenne, por tanto hemos optado por la unión de estas dos categorías en una misma clase sin diferenciar la naturaleza de la hoja, pero sí su forma (coníferas y frondosas). En la tabla 1 se presenta la leyenda generalizada y las clases de cada producto integradas a las categorías de esta leyenda. En la figura 1 se incluye el mapa resultante de aplicar esa leyenda a los distintos productos analizados.

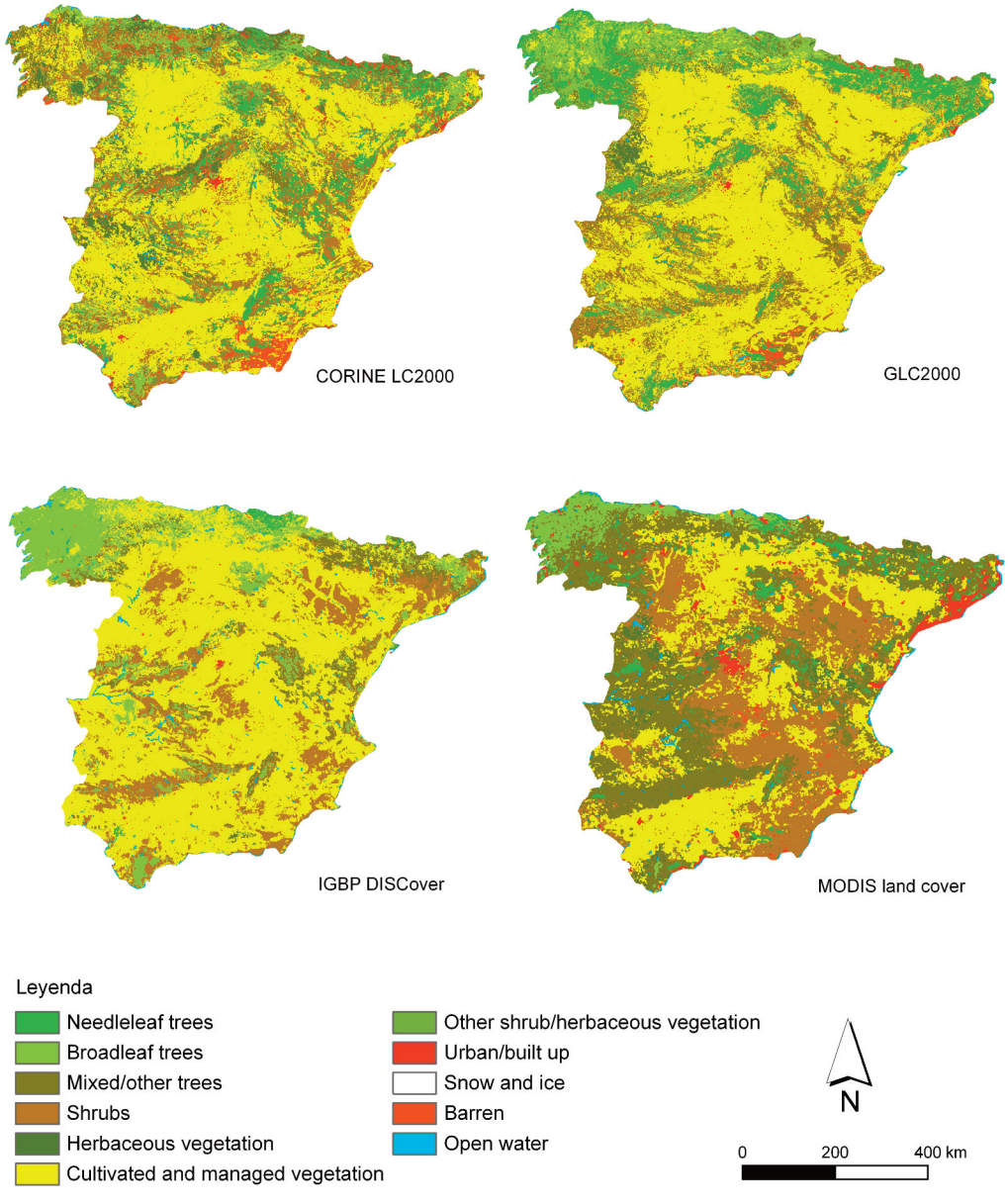


Figura 1. Productos globales de cobertura del suelo con leyenda generalizada en el área de estudio. Tratamiento estadístico

Leyenda generalizada	IGBP DISCover MODIS land cover	GLC 2000	CORINE LC2000 (level 3)
Needleleaf trees	Evergreen needleleaf forest	Tree cover, broadleaved, deciduous, closed	Coniferous forest
	Deciduous needleleaf forest	Tree cover, broadleaved, deciduous, open	
		Tree cover, needle-leaved, evergreen	
		Tree cover, needle-leaved, deciduous	
Broadleaf trees	Evergreen broadleaf forest	Tree cover, broadleaved, evergreen	Broad-leaved forest
	Deciduous broadleaf forest	Tree cover, regularly flooded, fresh water	
		Tree cover, regularly flooded, saline water,	
Mixed/other trees	Mixed forests	Tree cover, mixed leaf type	Mixed forest
	Woody savannas	Mosaic: tree cover/Other natural vegetation	Burnt areas
	Savannas	Tree cover, burnt	
Shrubs	Closed shrublands	Shrub cover, closed-open, evergreen	Moors and heathland
	Open shrublands	Shrub cover, closed-open, deciduous	Sclerophyllous vegetation
			Transitional woodland-shrub
Herbaceous vegetation	Grasslands	Herbaceous cover, closed-open	Pastures
			Natural grasslands
Cultivated and managed vegetation /agriculture (incl. mixtures)	Croplands	Cultivated and managed areas	Non-irrigated arable land
	Cropland/natural vegetation mosaic	Mosaic: cropland/tree cover /other natural vegetation	Permanently irrigated land
		Mosaic: cropland/shrub of grass cover	Rice fields
			Vineyards
			Fruit trees and berry plantations
			Olive groves
			Annual crops associated with permanent crops
			Complex cultivation patterns
			Agro-forestry areas

Leyenda generalizada	IGBP DISCover MODIS land cover	GLC 2000	CORINE LC2000 (level 3)
Other shrub/herbaceous vegetation	Permanent wetlands	Regularly flooded shrub and/or herbaceous cover	Inland marshes
			Peat bogs
			Salt marshes
			Intertidal flats
Urban/built up	Urban and built-up	Artificial surfaces and associated areas	Continuous urban fabric
			Discontinuous urban fabric
			Industrial or commercial units
			Road and rail networks and associated land
			Port areas
			Airports
			Mineral extraction sites
			Dump sites
			Construction sites
			Green urban areas
			Sport and leisure facilities
			Salines
Snow and ice	Snow and ice	Snow and Ice (natural & artificial)	Glaciers and perpetual snow
Barren	Barren or sparsely vegetated	Sparse herbaceous or sparse shrub cover	Beaches, dunes, sands
		Bare areas	Bare rocks
			Sparsely vegetated areas
Open water	Water bodies	Water bodies (natural & artificial)	Water courses
			Water bodies
			Coastal lagoons
			Estuaries
			Sea and ocean

Tabla 1. Conversión de categorías de cobertura del suelo entre productos globales y la verdad terreno

Matriz de confusión

La validación de cualquier clasificación temática tiene por objetivo obtener una descripción cuantitativa de la exactitud alcanzada en el proceso. El enfoque estándar consiste en seleccionar una muestra de lugares y determinar las relaciones entre la cubierta asignada y la de referencia a partir de una matriz de confusión (Strahler *et al*., 2006). Una matriz de confusión es una tabla cuadrada, que indica las correspondencias entre las clases del producto a evaluar y el de referencia. Las columnas suelen señalar las clases de referencia y las filas el mapa que se quiere validar. En la diagonal de la matriz se incluyen el número de píxeles correctamente asignados y los marginales son los errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresa la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa, es decir los errores de omisión, mientras los residuales en filas corresponden con las cubiertas del mapa que no se ajustan a la realidad, dicho con otras palabras, los errores de comisión. El interés de la matriz de confusión consiste en plasmar los principales conflictos entre categorías (Congalton, 1993; Chuvieco, 2008b).

A partir de la matriz de confusión pueden obtenerse diversos índices de fiabilidad, tanto global como por clases, teniendo en cuenta el punto de vista del usuario o del productor. La medida de fiabilidad global que se ha comentado anteriormente es la más simple:

$$\hat{F} = \frac{\sum_{i=1,n} \mathrm{X}_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} \mathrm{X}_{ij}} \qquad (1)$$

donde X_{ii} son los píxeles correctamente asignados y n es el tamaño de la muestra. Sobre el valor estimado se calcula un intervalo de confianza a partir del error de muestreo que se haya elegido para la verificación (Chuvieco, 2008b).

Las medidas de fiabilidad por clases proporcionan una visión complementaria y más específica de los errores incluidos en la clasificación, facilitando información sobre las clases más problemáticas. Los errores de omisión de una clase se calculan como:

$$E_{0,1} = \frac{\mathrm{X}_{+i} - \mathrm{X}_{ii}}{\mathrm{X}_{+i}} \qquad (2)$$

donde X_{+i} indica el marginal de la columna, mientras los errores de comisión se calculan a partir de los marginales de las filas:

$$E_{c,i} = \frac{\mathrm{X}_{i+} - \mathrm{X}_{ii}}{\mathrm{X}_{i+}} \qquad (3)$$

donde X_{i+} indica el marginal de la fila i. Complementarios de estos errores serían la exactitud del productor y exactitud del usuario, respectivamente (Congalton y Mead, 1983).

Además del estudio de la diagonal y los residuales de filas y columnas, también resulta de interés analizar las relaciones múltiples entre las clases. Para esto se emplea el estadístico κ (Kappa), que mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar aleatoriamente. Se define como (Congalton, 1993):

$$\hat{\kappa} = \frac{n \sum_{i=1,n} \mathrm{X}_{ii} - \sum_{i=i,n} \mathrm{X}_{i+} \mathrm{X}_{+i}}{n^2 - \sum_{i=i,n} \mathrm{X}_{i+} \mathrm{X}_{+i}} \qquad (4)$$

con el mismo significado de las fórmulas anteriores. El índice κ permite verificar si existen diferencias significativas entre clasificaciones realizadas con diferentes métodos, puesto que puede calcularse su varianza y los intervalos de significación. En nuestro caso, el cálculo se realizó a partir de un programa en Fortran cedido por Russ Congalton.

Análisis de regresión

La matriz de confusión requiere que todos los datos de entrada tengan la misma resolución, lo que requiere un remuestreo de los datos de referencia o a validar. Cuando se cambia el tamaño del píxel de los datos de referencia, es práctica común que se extraiga la clase dominante para el nuevo tamaño del píxel, de acuerdo a la frecuencia de la resolución original. Esto supone asumir que el paisaje es homogéneo en el interior de cada píxel, lo que implica un cierto margen de error, mayor cuanto más diverso sea el territorio.

Para reducir este problema, también hemos aplicado en la validación el análisis de regresión por sec-

tores de la imagen. Se trata de dividir el área de estudio en cuadrículas regulares, de tamaño más grande que el documento de menor resolución analizado. Se calcula para cada celda resultante la proporción de superficie ocupada en una determinada categoría, tanto para el producto que quiere validarse, como para el de referencia. El dato obtenido se incluye en un diagrama de dispersión. Con todas las celdas se calcula la ecuación de regresión lineal entre las proporciones de superficie cubierta en los dos productos (referencia y objetivo), trabajando con cada uno a su resolución original. Si los dos productos ofrecen proporciones similares, la regresión tenderá a presentar altos valores de ajuste (r^2) y coeficientes cercanos a 1 y 0. Este método se ha utilizado en la validación en diversos contextos, por ejemplo en la cartografía incendios forestales (Roy *et al*., 2005; Chuvieco *et al*., 2008). Permite comparar productos de distinta resolución, pero sólo se puede calcular para variables dicotómicas.

En nuestro caso generamos una malla regular de 25*25 km, para calcular la proporción de área cubierta de una determinada clase en el producto global y en el CORINE LC2000. Este análisis se llevó a cabo para las clases más significativas o conflictivas tras analizar las matrices de confusión.

Análisis de errores

Una matriz de confusión o error cataloga las discrepancias entre la cubierta terrestre y el mapa que se quiere validar. Una segunda fase en la validación sería intentar explicar los patrones de error, a partir de variables auxiliares. En nuestro caso, hemos partido de la base de que la heterogeneidad espacial de un territorio está relacionada con el error (Smith *et al*., 2003), siendo éste mayor cuando menor homogeneidad exista. En este trabajo, los errores se van analizar según su distribución espacial considerando la fragmentación del paisaje en el mapa CORINE LC2000. Para ello se ha calculado un índice de fragmentación calculado como:

$$F = (n-1)/(c-1) \tag{5}$$

donde n es el número de clases presentes en una ventana (en este caso de 3x3 píxeles) y c el número de celdas de la ventana. También se han obtenido imágenes de diferencias de cada producto y el CORINE LC2000, con el objetivo de analizar la distribución de los errores de acuerdo a la fragmentación del paisaje mediante una tabulación cruzada.

RESULTADOS

Resultados de la matriz de confusión

En la tabla 2 aparecen los resultados de las matrices de confusión. En ellas, no hemos incluido la clase 7 (Other shrub/herbaceous vegetation) por su reducida dimensión, y la clase 9 (Snow and ice) por su ausencia en el área de estudio.

La tabla 3 presenta las precisiones por clases derivadas de la matriz de confusión para los tres productos globales de cobertura del suelo.

El rango de la exactitud del productor en el producto IGBP DIScover varía de 0,0%, para la clase 10 (*Barren*) a 75,4% para la clase 6 (*Cultivated and managed vegetation/agriculture, incl. mixtures*). La clase 10 *(Barren)* se confunde con las clases 6 *(Cultivated and managed vegetation/agriculture, incl. mixtures*) y 4 (*Shrubs*), pero también con las clases 5 (*Herbaceous vegetation*), 3 (*Mixed/other trees*) y 1 (*Needleleaf trees*). Esto resulta curioso porque en el proceso de clasificación se utilizó una máscara para esta clase, si bien la superficie ocupada por esta clase según el producto global es pequeña. La clase 6 (*Cultivated and managed vegetation/agriculture incl. mixtures*), es la clase que mayor exactitud del productor presenta. El rango de la exactitud del usuario es también variable, entre 5,6% para la clase 11 (*Open water*) y 79,1% para la clase 8 (*Urban/built up*). Estos dos casos resultan de interés, porque las clases de agua y urbano no fueron clasificadas, sino que se extrajeron del DCW. Por tanto, se puede decir que esta información no es suficientemente precisa. En el caso de la clase 8 (Urban/ built up) los errores de omisión son altos y para el caso de la clase 11 (*Open water*) son los errores de comisión. La clase 3 (*Mixed/other trees*) presenta altos errores de comisión, lo que implica que la probabilidad de que la zona clasificada en el mapa lo sea realmente es muy baja. La clase 6 (*Cultivated and managed vegetation/agriculture incl. mixtures*) es la segunda clase con menos errores de comisión, y considerando que los errores de omisión son los más bajos, se puede concluir diciendo que la superficie representada en el mapa es similar a la realidad representada en el producto CORINE LC2000, siendo la clase que mayor exactitud presenta desde los puntos de vista del productor y del usuario.

IGBP DISCover	CORINE LC2000 1	2	3	4	5	6	8	10	11	Total
1	840	485	236	516	1052	499	32	122	15	3797
2	7363	12233	7697	12240	5147	13804	235	280	115	59114
3	8688	3273	2516	9243	1415	4546	132	362	26	30201
4	7772	5020	1438	17294	3233	41634	820	3130	230	80571
5	281	116	136	482	513	56	4	556	2	2146
6	16588	16616	3455	53692	18489	191878	3039	4978	864	309599
8	2	2	1	11	17	121	595	1	2	752
10	0	0	0	0	1	1	5	1	2	10
11	383	400	155	1493	339	1826	386	135	1654	6771
Total	41917	38145	15634	94971	30206	254365	5248	9565	2910	493691

MODIS land cover	CORINE LC2000 1	2	3	4	5	6	8	10	11	Total
1	6975	1731	1788	4084	930	1342	113	196	199	17358
2	699	3464	3655	2664	2950	5963	196	37	166	19794
3	18478	21757	6960	41523	13084	43015	459	1139	507	146922
4	7757	3393	1082	23960	3591	81434	800	5797	410	128224
5	1295	773	238	2797	2589	5378	53	672	36	13831
6	4971	6046	1547	16440	5913	108163	1186	1387	321	145974
8	1336	605	281	2144	655	5340	2089	113	98	12661
10	17	0	4	87	33	2052	21	103	9	2326
11	378	372	76	1261	453	1665	321	121	1156	5803
Total	41906	38141	15631	94960	30198	254352	5238	9565	2902	492893

GCL2000	CORINE LC2000 1	2	3	4	5	6	8	10	11	Total
1	18835	8437	6544	15024	2990	3936	425	447	762	57400
2	2910	12773	4013	12563	6631	13683	230	471	56	53330
3	5450	6057	1984	15822	3876	16704	390	2019	550	52852
4	7636	4210	1505	20713	2125	14624	196	938	178	52125
5	126	286	40	544	1866	2881	3	222	2	5970
6	6078	6164	1449	28582	12153	198672	2365	3294	369	259126
8	54	33	16	154	118	1024	1065	0	36	2500
10	785	166	70	1370	398	2666	363	2007	99	7924
11	43	19	13	199	49	175	211	162	858	1729
Total	41917	38145	15634	94971	30206	254365	5248	9560	2910	493685

Tabla 2. Matrices de confusión. Los números de las clases corresponden con las siguientes cubiertas 1 Needleleaf trees, 2 Broadleaf trees, 3 Mixed/other trees, 4 Shrubs, 5 Herbaceous vegetation, 6 Cultivated and manager vegetation/agriculture (incl. mixtures), 8 Urban/built up, 10 Barren, 11 Open water.

	IGBP DISCover				MODIS land cover				GLC2000			
Clases	Exactitud Productor	Error omisión	Exactitud Usuario	Error comisión	Exactitud Productor	Error omisión	Exactitud Usuario	Error comisión	Exactitud Productor	Error omisión	Exactitud Usuario	Error comisión
1	2	98	22.1	77.9	16.6	83.4	40.1	59.9	44.9	55.1	32.8	67.2
2	32.1	67.9	20.7	79.3	9.1	90.9	17.5	82.5	33.5	66.5	23.9	76.1
3	16.1	83.9	8.3	91.7	44.5	55.5	4.7	95.3	12.7	87.3	3.7	96.3
4	18.2	81.8	21.4	78.6	25.2	74.8	18.7	81.3	21.8	78.2	39.6	60.4
5	1.7	98.3	23.9	76.1	8.6	91.4	18.7	81.3	6.2	93.8	31.3	68.7
6	75.4	24.6	61.9	38.1	42.5	57.5	73.9	26.1	78.1	21.9	2.3	97.7
8	11.3	88.7	79.1	20.9	39.8	60.2	16.5	83.5	20.3	79.7	42.5	57.5
10	0	100	6.3	93.8	1.1	98.9	4.4	95.6	21	79	25.1	74.9
11	56.8	43.2	5.6	94.4	39.7	60.3	19.7	80.3	29.5	70.5	48.5	51.5

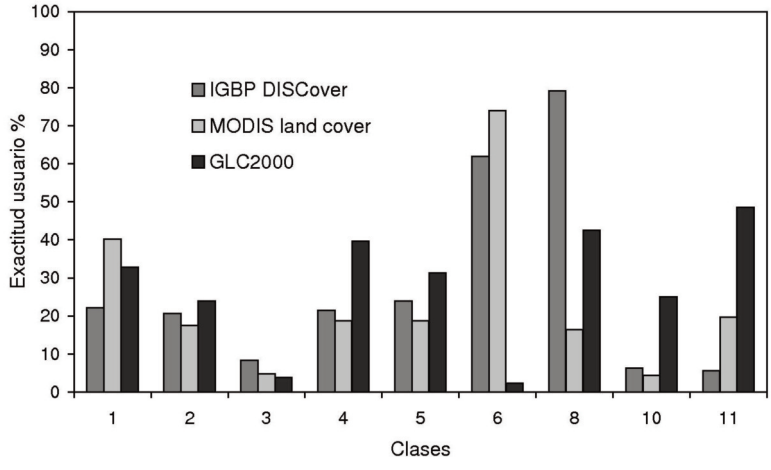
Tabla 3. Medidas de exactitud por clase de los productos globales evaluados. Los números de las clases corresponden con las siguientes cubiertas 1 Needleleaf trees, 2 Broadleaf trees, 3 Mixed/other trees, 4 Shrubs, 5 Herbaceous vegetation, 6 Cultivated and manager vegetation/agriculture (incl. mixtures), 8 Urban/built up, 10 Barren, 11 Open water. Los valores están en porcentaje.

Para el producto MODIS land cover, el rango de exactitud del productor es menos variable. Ninguna clase supera la mitad, el rango está entre 1,1 y 44,5%, lo que implica errores de omisión muy altos y una baja probabilidad de que estas superficies clasificadas en el mapa lo sean realmente. La exactitud del usuario es similar y en general los errores de comisión son muy altos, en un rango de 26,1 a 95,6%. De nuevo la clase 6 (*Cultivated and managed vegetation /agriculture incl. mixtures*) es la que más se ajusta a la realidad representada en el CORINE LC2000, pero con una menor precisión que en el producto IGBP DISCover. Esta clase presenta las principales confusiones con las clases 3 (*Mixed/other trees*) y 4 (*Shrubs*). La clase 11 (*Open water*) presenta una exactitud de 39,7% para el productor y 19,7% del usuario. Ambas son bajas, considerando que el agua es una de las cubiertas más fáciles de clasificar y que en la producción del MODIS land cover se utilizó una máscara.

En el producto GLC2000, la clase 5 (*Herbaceous vegetation*) es la que menor exactitud del productor presenta, y se confunde principalmente con la clase 6 (*Cultivated and managed vegetation /agriculture incl. mixtures*). Esta clase es la que presenta menores errores de omisión, lo que significa mayor exactitud del usuario, aunque los errores de comisión son muy altos, por tanto parece que el área cubierta por esta clase esté bien recogida, pero excede la extensión representada en el CORINE LC2000. En la matriz de confusión se observa que la mayoría de estos errores de comisión son resultado de la confusión con la clase 3 (*Mixed/other trees*), y puede ser explicado por una pobre definición de la clase (Neuman *et al*., 2007) y por el efecto de homogenización de la resolución en el producto de referencia. Las exactitudes del usuario son muy bajas, todas menores del 50%, y es la clase 8 (*Urban/built up*) la que mayor exactitud presenta. En definitiva, en el producto la clase de mayor exactitud desde el punto de vista del productor es la clase 6 (*Cultivated and managed vegetation /agriculture incl. mixtures*) y desde el punto de vista del usuario es la clase 8 (*Urban/built up*) siendo el error de comisión bastante alto, de 70,5%.

La figura 2 muestra una comparación de las exactitudes por clases de los tres productos globales. Existen diferencias entre las exactitudes y variabilidad entre las clases en cada producto global. Se observa como algunas clases aparecen con una exactitud del productor alta dentro del rango y una exactitud del usuario alta en algunos de los produc-

tos; por ejemplo la clase 2 (*Broadleaf trees*) de los productos IGBP DISCover y GLC2000. Otras clases muestran una alta exactitud del productor y baja exactitud del usuario. La clase 6 (*Cultivated and managed vegetation /agriculture incl. mixtures*) del producto GLC2000 es la más representativa desde el punto de vista del productor, sin embargo desde el punto de vista del usuario es muy baja. Los resultados de la validación del producto GLC2000 presentan una fiabilidad global de 68% con una baja exactitud en las clases de mosaicos (Mayaux *et al*., 2006) que están incluidas en esta clase precisamente, y esto puede explicar la magnitud de los errores de comisión.



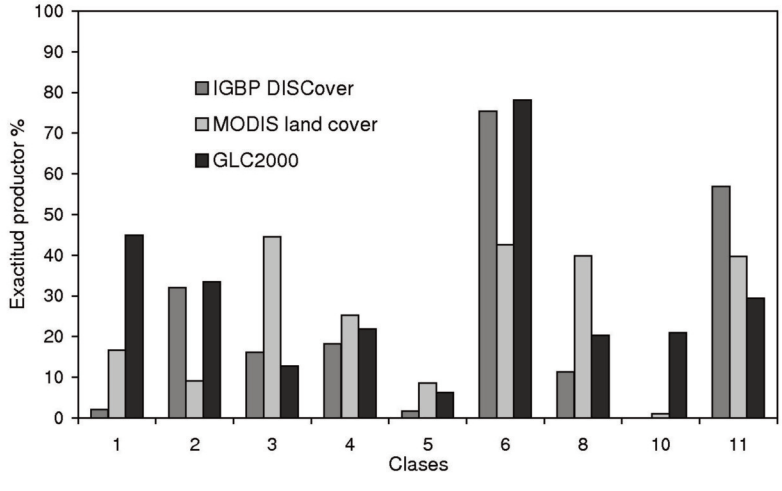


Figura 2. Comparación de exactitud de productor y usuario para tres productos globales. Los números de las clases corresponden con las siguientes cubiertas 1 Needleleaf trees, 2 Broadleaf trees, 3 Mixed/other Trees, 4 Shrubs, 5 Herbaceous vegetation, 6 Cultivated and manager vegetation/agriculture (incl. mixtures), 8 Urban/ built up, 10 Barren, 11 Open water

Los resultados de la medida de fiabilidad global se presentan en la tabla 4. La fiabilidad global varía de 31,5% (MODIS land cover), 46,09% (IGB DISCover) y 52,42% (GLC2000).

Conviene indicar que estas medidas de fiabilidad global se refieren únicamente a las 9 clases analizadas, aunque se compararon las medidas de fiabilidad sin la exclusión de las clases y las diferencias eran mínimas.

El estadístico κ ofrece valores de 0,12 (MODIS land cover), 0,15 (IGBP DISCover) y 0,31 (GLC2000) lo que indica que los productos tienen una discreta probabilidad de ser mejores que lo esperable al azar. Dos de las matrices analizadas con el test estadístico k son significativamente diferentes. Los resultados calculados con un 95% de nivel de confianza indican que los productos MODIS land cover y GLC2000 son significativamente diferentes, siendo mejor este último. IGBP DISCover y GLC2000 son las más diferentes, mientras el MODIS land cover y el IGBP DISCover son los menos diferentes, con una mayor fiabilidad para el producto IGBP DISCover (Tabla 5).

Resultados del Análisis de Regresión Lineal

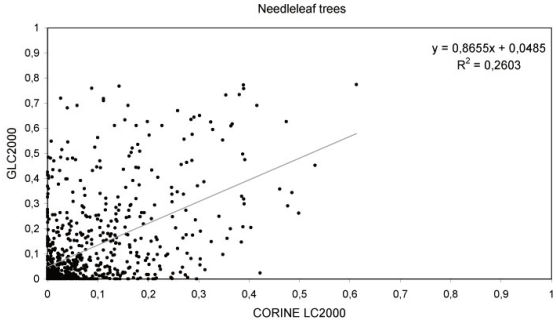
El análisis de regresión lineal se realizó para 5 de las clases analizadas en la matriz de confusión (fig. 3). En el eje-x se representa el área cubierta por los datos de referencia y en el eje-y el área cubierta en cada producto global. En general, los resultados no difieren mucho de los obtenidos en las matrices de confusión. Para la clase 1 (*Needleleaf Trees*) el producto con mejor ajuste es el MODIS, aunque el GLC2000 ofrece una pendiente más próxima a 1. La función para la clase 2 (*Broadleaf trees*) presenta una alta pendiente en el producto GLC2000 y también el ajuste es más alto. Lo mismo sucede en las clases 4 (*Shrubs*), 6 (*Cultivated and manager vegetatio /agriculture incl. mixtures*) y 8 (*Urban/built up*). Los tres productos presentaron un bajo ajuste en las clases 4 (*Shrubs*) y 6 (*Cultivated and managed vegetation/agriculture incl. mixtures*). El valor más alto de R^2 se registró en la clase 8 (*Urban/built up*) para el producto GLC2000 (R^2 =0,8). También esa clase ofreció los valores más altos para los otros productos: R^2= 0,6 en el producto IGBP DISCover y R^2= 0,5 en el producto MODIS land cover.

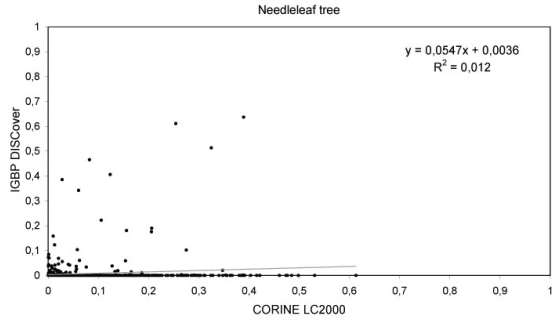
Productos	Fiabilidad Global %	Error de muestreo	95% Intervalo de Confianza	+	-
IGBP DISCover	46.09	0.071	0.139	45.95	46.22
MODIS land cover	31.5	0.066	0.13	31.41	31.66
GLC2000	52.42	0.071	0.139	52.28	52.55

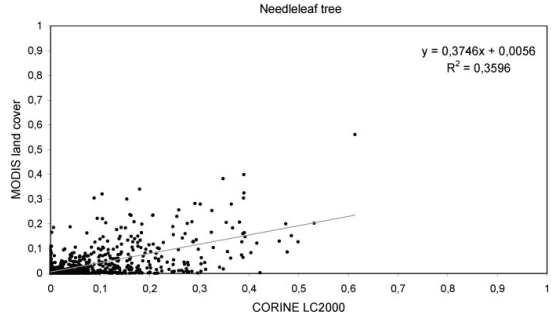
Tabla 4. Resultados de Medidas de Fiabilidad Global

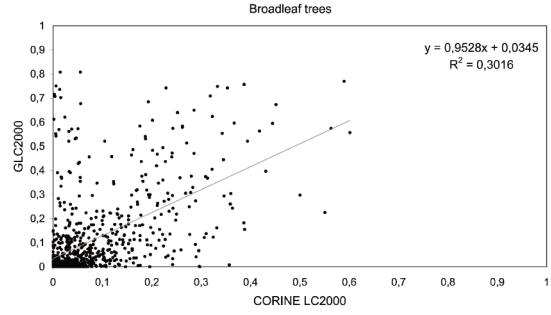
Productos	κ -	κ	κ +	Varianza	Combinación		Z estadístico	Resultado
1 MODIS land cover	-0.0018	0.12142	0.24465	0.0039527	1	2	-0.2994	No Significativa
2 IGBP DISCover	0.0232	0.14824	0.27327	0.0040695	1	3	-2.156	Significativa
3 GLC2000	0.1917	0.30735	0.42305	0.0034845	2	3	-1.8307	No Significativa

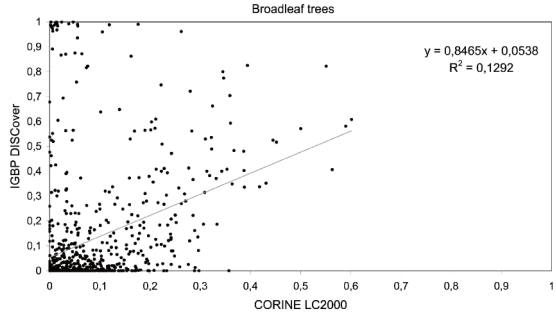
Tabla 5. Resultados del estadístico de significación de κ

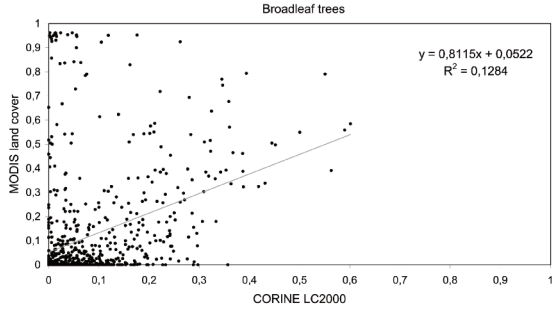

Needleleaf trees
y = 0,8655x + 0,0485
R2 = 0,2603
GLC2000
CORINE LC2000

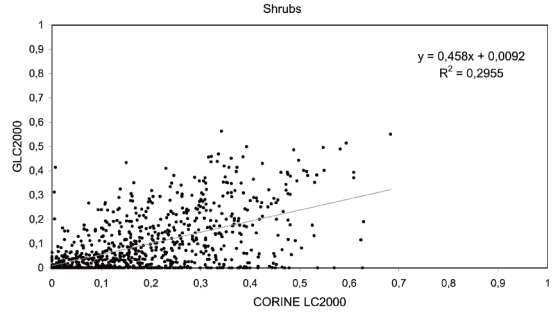

Needleleaf tree
y = 0,0547x + 0,0036
R2 = 0,012
IGBP DISCover
CORINE LC2000

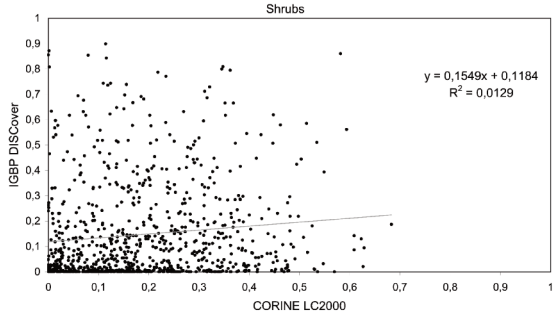

Needleleaf tree
y = 0,3746x + 0,0056
R2 = 0,3596
MODIS land cover
CORINE LC2000


Broadleaf trees
y = 0,9528x + 0,0345
R2 = 0,3016
GLC2000
CORINE LC2000


Broadleaf trees
y = 0,8465x + 0,0538
R2 = 0,1292
IGBP DISCover
CORINE LC2000


Broadleaf trees
y = 0,8115x + 0,0522
R2 = 0,1284
MODIS land cover
CORINE LC2000


Shrubs
y = 0,458x + 0,0092
R2 = 0,2955
GLC2000
CORINE LC2000


Shrubs
y = 0,1549x + 0,1184
R2 = 0,0129
IGBP DISCover
CORINE LC2000

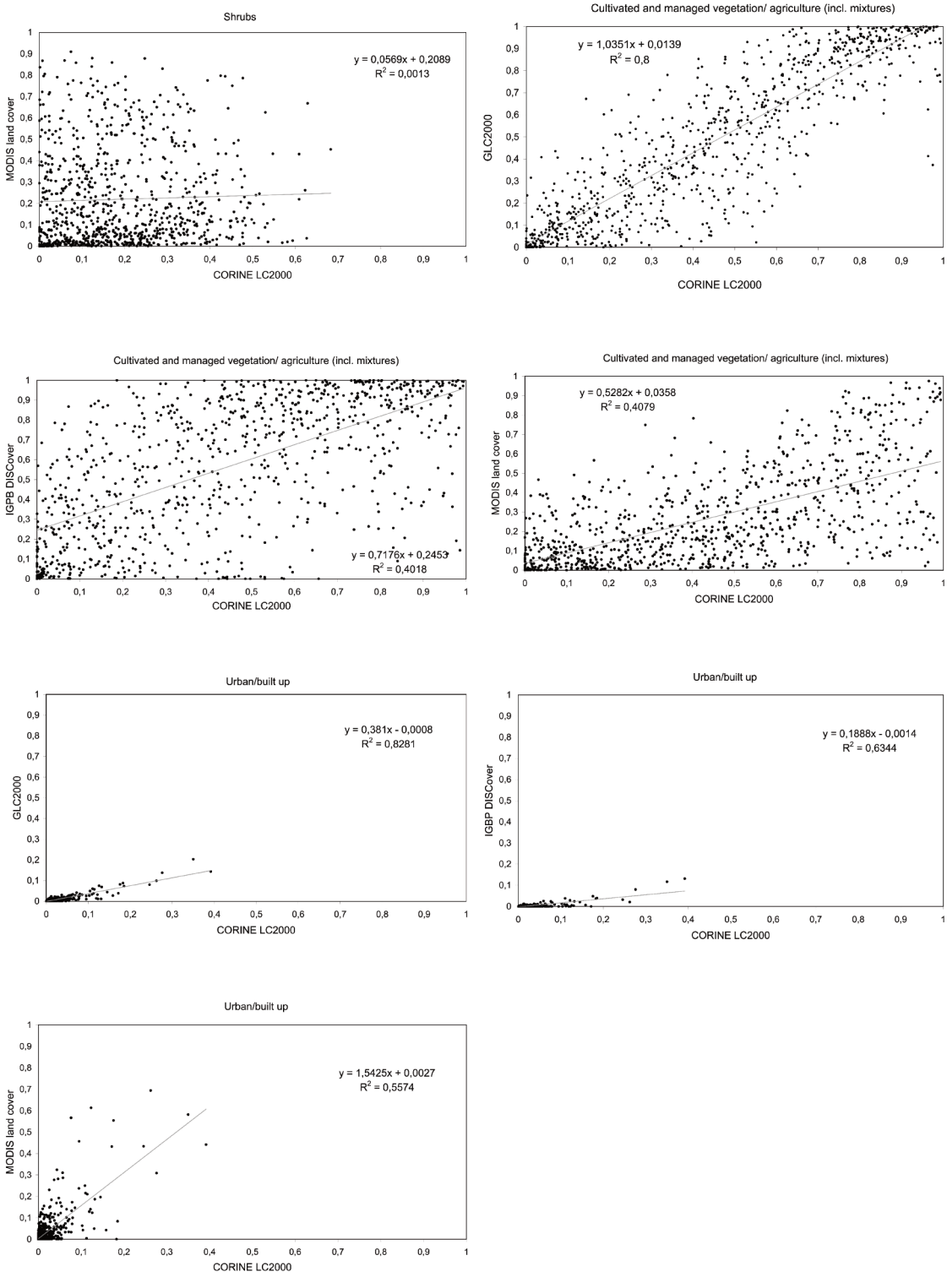


Figura 3. Proporción de área cubierta en porcentaje de las clases 1 (Needleleaf trees), 2 (Broadleaf trees), 4 (Shrubs), 6 (Cultivated and manager vegetation/agriculture incl. mixtures) y 8 (Urban/built up) en una malla regular de 25*25 km.

Análisis de errores

El análisis de errores en relación con la fragmentación del paisaje mostró que el mayor porcentaje de las áreas de desacuerdo se encontraban en zonas con un nivel de fragmentación alto. Por el contrario, las zonas de acuerdo aparecieron con mayor frecuencia en la zonas con un nivel de fragmentación bajo (Tabla 6.). En la figura 4 se puede observar la distribución espacial de las zonas de acuerdo y descuerdo para cada producto en el área de estudio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo era la validación de tres productos globales de cobertura del suelo de baja resolución mediante la comparación con un producto regional más fiable para obtener una medida de cuantificación sobre su exactitud global y por clases. Para este propósito fue necesario homogenizar las leyendas a una nueva de menor precisión temática, generalizada en 11 clases. Esto puede ser una limitación del trabajo por dos razones

	GLC2000		IGBP DISCover		MODIS land cover	
Índice de Fragmentación	Errores	Aciertos	Errores	Aciertos	Errores	Aciertos
Bajo (8,3 - 10,29)	33	75	26	74	27	73
Medio (10,29 - 13,62)	46	54	48	52	45	55
Alto (13,62 - 33)	51	49	53	47	48	52

Tabla 6. Resultados en porcentaje del análisis espacial de los errores en relación con la fragmentación del paisaje.

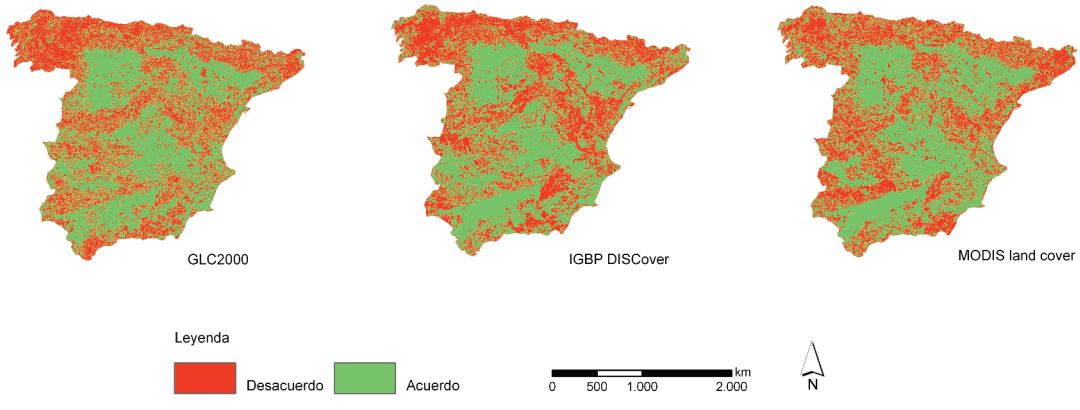


Figura 4. Imágenes de diferencias entre cada producto global y el producto CORINE LC2000.

que afectan al resultado. La generalización de las leyendas reduce las diferencias en las definiciones, por tanto es esperable una mayor exactitud. También, otros autores han confirmado que la resolución espacial y la resolución temática son dependientes, es decir, en mapas de baja resolución espacial y alta temática, la exactitud es menor en zonas de paisaje más heterogéneo (Smith *et al*., 2003). Por tanto, en este trabajo generalizar la leyenda con una menor precisión temática favorece que la exactitud sea mayor. Para obtener medidas de fiabilidad consistentes, las leyendas de los productos tendrían que ajustarse a un nivel de desagregación adecuado para permitir la comparación entre ellos. Para esta mejora el uso de LCCS sería idóneo.

Otra cuestión es referente al remuestreo de la imagen de referencia a la de baja resolución, considerando la clase dominante. Este proceso asume que el paisaje es homogéneo, y algunos autores han comprobado el efecto de la heterogeneidad sobre la exactitud de los mapas de cobertura de suelo. Una opción para tratar este tema con otra metodología

sería utilizar la denominada *sub-pixel fractional error matrix* propuesta por Latifovic y Olthof (2004).

Los resultados obtenidos de la evaluación de la exactitud usando la matriz de confusión son muy variables en cada producto. Las clases mixtas presentan una menor precisión. El producto GLC2000 es el que presenta mejor ajuste con los datos de referencia, tanto en la fiabilidad global como en el estadístico k. A modo de referencia, en el trabajo de Latifovic y Olthof (2004) presentan resultados parecidos a los nuestros respecto a los productos GLC2000 (acuerdo global del 48.81%, con un valor κ de 0.44) e IGBP DISCover (acuerdo global del 47.14%, con un valor κ de 0.38).

Los resultados del análisis de regresión lineal corroboraron los resultados obtenidos en la matriz de confusión, con valores de acuerdo en el rango del 10 al 35%, salvo la clase urbana, que generalmente no se clasificó en los productos globales, sino que se extrajo de fuentes auxiliares.

Por su parte, el análisis de errores mostró una tendencia de aumento con relación a la heterogeneidad del territorio, mientras se observó un mayor acuerdo en las zonas más homogéneas.

REFERENCIAS

BARTHOLOMÉ, E. Y BELWARD, A.S., 2005. GLC2000: A new approach to global land covers mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*. 26: 1959-1977.

CHUVIECO, E. (Ed.), 2008a. Earth Observation of Global Change, Springer, Dordrecht.

CHUVIECO, E., 2008b. Teledetección Ambiental, (3ª Edición actualizada), Barcelona, Ariel Ciencia.

CHUVIECO, E., ENGLEFIELD, P., THISHCHENKO, A.P., y LUO, Y., 2008. Generation of long time series of burn area maps of the boreal forest from NOAA-AVHRR composite data. *Remote Sensing of Environment*. 112: 2381-2396.

CONGALTON, R.G. y MEAD, R.A., 1983. A Quantitative Method to Test for Consistency and Correctness in *Photointerpretation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 49: 69-74.

CONGALTON, R.G., 1988. Using Spatial Autocorrelation Analysis to Explore the Errors in Maps Generated from Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 54: 593-600.

DI GREGORIO, A., 2005. Land Cover Classification System. Classification concepts and user manual for Software version 2. FAO Environment and Natural Service Series. 82: 88.

EEA, 2007. The thematic accuracy of Corine land cover 2000 assessment using LUCAS. European Environmental Agency. Technical report. http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2006_7/en (último acceso junio 2008)

FAO., 2003. The Africover Iniciative. http://www.africover.org/africover_initiative.htm (último acceso junio 2008)

FOODY G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80: 185-201.

FRIEDL, M.A., MCLVER D.K., HODGES, J.C.F., ZHANG, X., *e. al*., 2002. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*. 83: 287-302.

GEO, 2005. The Global Earth Observation System of Systems GEOSS "10-Year Implemetation Plan" http://earthobservations.org/documents/10-Year%20Plan%20Reference%20Document.pdf (último acceso junio 2008)

GIRI, C., ZHU, Z. Y REE, B., 2005. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover datasets. *Remote Sensing of Environment*. 94: 123-132.

HANSEN, M.C. Y REED, B., 2000. A comparison of the IGBP DISCover and University of Maryland 1 km global land cover products. *International Journal of Remote Sensing*. 21: 1365-1373.

HEROLD, M. Y SHMULLIUS, C., 2004. Report on the Harmonization of Global and Regional Land Cover Products. Workshop report at FAO. Rome, Italy. GOFC-GOLD report series 20.

HEROLD, M., WOODCOCK, C., DI GREGORIO, A., MAYAUX, P., *et al*., 2006 A joint initiative for harmonization and validation of land cover datasets. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 44: 1719-1727.

HEROLD, M., LATHAM, J.S., DI GREGORIO, A., Y SCHUMULLIUS, C.C., 2006b. Evolving standards in land cover characterization. *Journal of Land Use Science*. 1: 157-168.

HEROLD, M., MAYAUX, P., WOODCOCK, C.E., BACCINI, A. *et al*., 2008. Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets. *Remote Sensing of Environment*. 112: 2538-2556.

LATIFOVIC, R. Y OLTHOF I., 2004. Accuracy assessment using sub-pixel fractional error matrices of global land cover products derived from satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 90: 153-165.

LOVELAND, T.R., REED, B.C., BROWN, D.O., OHLEN, D.O., *et al*., 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*. 21: 1303-1330.

MAYAUX, P., STRAHLER A., EVA, H., HEROLD, M., *et al*., 2004. Validation of the Global Land Cover 2000 Map. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 44: 1728-1739.

MAYAUX, P., EVA, H. *et al*. Remote Sensing of Land-Cover and Land-Use Dynamics. Chuvieco E. (Editor) 2008. Earth Observation of Global Change. The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring Global Environment, Springer, 300.

MODIS LAND COVER TEAM. (2003). Validation of the consistent year 2003. V003 MODIS land cover product 2003. http://www-modis.bu.edu/landcover/userguidelc/consistent.htm (último acceso junio 2008)

MOODY, A. Y WOODCOCK, C.E., 1995. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing. *Landscape Ecology*. 10: 63-379.

MORISETTE, J.T., PRIVETTE, J.L., CHRISTOPHER, O., Y JUSTICE, C.O., 2002. A framework for the validation of MODIS Land products. *Remote Sensing of Environment*. 83: 77-96.

MUCHONEY, D. Y STRAHLER, A., 2002. Regional vegetation mapping and direct land surface parameterization from remotely sensed and site data. *International Journal of Remote Sensing*. 23: 1125.-1142.

NEUMANN, K., HEROLD, M., HARTLEY, A. Y SCHUMULLIUS, C., 2007. Comparative assessment of CORINE LC2000 and GLC2000: Spatial analyses of land cover data for Europe. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 9: 425-437.

ROY, D.P., FROST, P.G.H. *et al*., 2005. The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol. *International Journal of Remote Sensing*. 26: 4265-4292.

SCEPAN, J., 1999. Thematic validation of hight-resolution global land-cover data sets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 65: 1051-1060.

SELLERS, P.J., DICKINSON, R.E., RADALL, D.A., BETTS, A.K., *et al*.., 1997. Modelling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. *Science*. 275: 502-509.

SMITH, J.H., STEHMAN, J.D., WICKHAM, J.D., STEHMAN, S.V., Y YANG. 2002. Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 84: 342-349.

STRAHLER, A., MUCHONEY, D., BORAK, J., FRIEDL, M. *et al*., 1999. MODIS land cover product: Algorithm Theoretical Basic Document (ATBD) Version 5.0. USA: Boston University.

STRAHLER, A.S.; BOSCHETTI, L., FOODY, G.B., FRIEDL, M.A, *et al*., 2006. Global Land Cover Validation: Recommendations for evaluations and accuracy assessment of Global Land Cover Maps. EUR 22156 EN Luxembourg, Office for Official Publication of the European Communities. 48.

USGS-EDC, 2003. Multi-Resolution Land Characteristics 2001 (MRLC2001). EROS Data Center, U.S. Geological Survey. http://edc.usgs.gov/products/satellite/mrlc2000.html (último acceso junio 2008)