

Castillejo-González, I.L., Medina Guerrero, J.M., García-Ferrer Porras, A., Mesas-Carrascosa, F.J. y Sánchez de la Orden, M. (2010): Utilización de imágenes de satélite de alta resolución espacial en la determinación de la fracción de cabida cubierta en sistemas adehesados. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 62-71.
ISBN: 978-84-472-1294-1.

UTILIZACION DE IMAGENES DE SATELITE DE ALTA RESOLUCION ESPACIAL EN LA DETERMINACION DE LA FRACCION DE CABIDA CUBIERTA EN SISTEMAS ADEHESADOS

I.L. Castillejo-González, J.M. Medina Guerrero, A. García-Ferrer Porras, F.J. Mesas-Carrascosa, M. Sánchez de la Orden

Dpto. Ingeniería Gráfica y Geomática, Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales. Crta. N-IVa, Km. 396, 14071 Córdoba. ilcasti@uco.es

RESUMEN

La dehesa es un ecosistema de creación humana a partir del bosque de encinas primitivas en el que se han aclarando los árboles y controlado el estrato arbustivo para que se establezca el pastizal. Su densidad arbórea es muy variable y depende del tratamiento recibido a lo largo de los años. La obtención de la densidad de cobertura arbórea de dicho sistema se calcula mediante la Fracción de Cabida Cubierta (FCC), medida que relaciona la superficie cubierta por la copa del árbol respecto del resto de superficie. En comparación a las imágenes utilizadas actualmente para la obtención de la FCC como ortofotografías o vuelos fotogramétricos, las imágenes satélite de alta resolución espacial ofrecen suficiente detalle espacial para poder aislar la copa de los árboles del entorno, unido a la multiespectralidad de los datos que permite su correcta caracterización espectral. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología con imágenes pan-sharpened QuickBird que, a partir del análisis espectral de los árboles, generó imágenes en formato binario árbol-no árbol mediante técnicas de combinación de bandas para la obtención de la FCC. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios al obtener fiabilidades mayores del 90% en la determinación de las copas de los árboles en la mayoría de los análisis realizados.

Palabras Clave: Encina, Fracción Cabida Cubierta (FCC), QuickBird, SIG, Teledetección.

ABSTRACT

The dehesa is an ecosystem developed from primitive oak forest where trees have been clarified and the shrub layer controlled to stabilize the pasture. The tree density is very variable and depends on the treatment received over the years. This density can be calculated by the Canopy Cover Fraction (CCF), a measure that relates the area covered by the trees over the other surface. Satellite imagery of high spatial resolution provide enough spatial detail to isolate the treetops from the environment, and enough multispectral data to allow the correct spectral characterization. The aim of this study was to develop a methodology with QuickBird pan-sharpened imagery for obtaining the CCF based on a spectral analysis of trees and a binary reclassification (tree- no tree) of each band. The results were satisfactory with accuracies greater than 90% in the discrimination of trees in most of the analysis.

Key Words: Canopy Cover Fraction (CCF), GIS, Oak, QuickBird, Remote Sensing

INTRODUCCIÓN

La dehesa es un ecosistema agrosilvopastoral estable y bien gestionado ecológicamente (Van Wieren, 1995), donde queda patente su doble aptitud agrícola y ganadera. Proviene del bosque mediterráneo y se basa principalmente en especies arbóreas del género *Quercus* (encinas y alcornoques) unidas a un estrato herbáceo. Se caracteriza por ser un sistema de explotación sostenible de los recursos naturales en contraposición a gran parte de los sistemas intensivos. El sistema adehesado tiene una gran importancia económica en la Península Ibérica debido a su gran extensión superficial, casi dos millones de hectáreas entre en sur de España y Portugal, y a la calidad de sus productos, como el cerdo ibérico, ganado ovino, caza menor, madera, carbón, cocho,...

Existen estudios basados en tecnologías de la información geográfica que permiten inventariar la superficie adehesada (Cano et al., 2003, López-Carrasco y Hoyos Rodríguez, 2005), pero muy pocos se basan en la detección de las copas de los árboles individualmente (Romero de los Reyes et al., 2007). Sin embargo, a la hora de determinar la Fracción de Cobertura Cubierta (FCC) con exactitud es necesario aislar las copas del resto del entorno para un correcto cálculo. Las técnicas más comunes utilizadas para el cálculo de la FCC se basan en fotointerpretación de fotografías aéreas u ortofotos. Entre estas técnicas cabe destacar el muestreo de árboles sobre una plantilla de puntos, la utilización de diferentes plantillas de densidad y la comparación con la imagen analizada o la estimación ocular con fotointérpretes expertos. En todos estos casos es importante tener en cuenta que las sombras de los árboles pueden contribuir sustancialmente a que distintos fotointérpretes den valores distintos para una misma FCC.

Por todo lo comentado anteriormente, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología de fácil aplicación para la discriminación de las copas de los árboles con objeto de calcular con exactitud la Fracción de Cobertura Cubierta en una zona adehesada. Para ello se han evaluado un conjunto de clasificaciones basadas en combinaciones de bandas que tienen como ventaja que pueden ser aplicadas tanto por un técnico de SIG como de Teledetección.

MATERIALES

Área de estudio

El área de estudio se encuentra situada en la comarca "Los Pedroches", en la provincia de Córdoba (España). Presenta un clima Mediterráneo continental caracterizado por veranos secos e inviernos suaves en un terreno relativamente plano. El análisis se ha llevado a cabo en dos zonas adehesadas con distinta densidad arbórea, donde los principales usos que se observan se reparten entre un estrato arbóreo representado principalmente por encinas (*Quercus rotundifolia* L.) y alcornoques (*Quercus suber* L.), un estrato de matorral en el que destaca el tomillo (*Thymus vulgaris* L.), la jara (*Cistus ladanifer* L.) y los cantuesos (*Lavandula stoechas* L.) y un estrato herbáceo de baja producción donde destacan algunos tipos de tréboles (*Trifolium glomeratum* L., *Trifolium arvense* L. y *Medicago* sp.). La figura 1 representa las zonas de estudio con 35.80 ha en la zona 1 (a) y 43.58ha en la zona 2 (b).

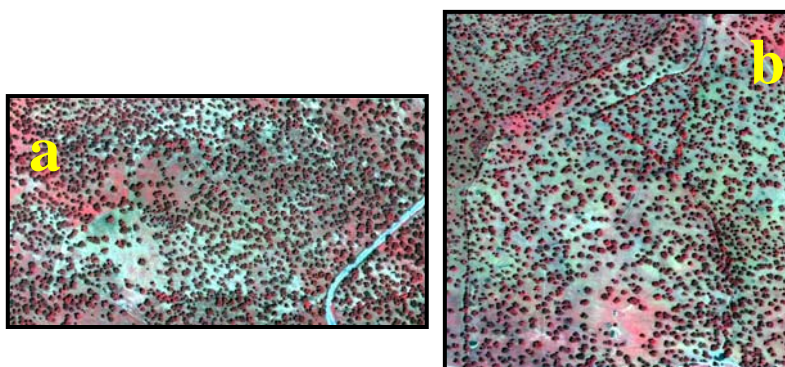


Figura 1. Área de estudio: a) zona 1 y b) zona 2.

Datos de campo

Para las distintas fases del estudio se tomaron muestras aleatorias de los usos del suelo presentes en la imagen. El muestreo se dividió en las categorías *arbolado* y *no arbolado*, al ser éste el grado de discriminación necesario para este estudio. Todo el muestreo se basó en la digitalización de puntos sobre la imagen.

Las áreas de entrenamiento se utilizaron para definir el comportamiento espectral de las copas de los árboles. Para el muestreo se eligieron árboles con distintas características de tamaño y forma repartidos por toda la imagen. En la zona 1 se muestreó un total de 813 puntos repartidos en 55 árboles, mientras que en la zona 2 se muestrearon 1090 puntos repartidos en 61 árboles. Los puntos de muestreo se tomaron por toda la copa para poder realizar una buena caracterización espectral de éstas (Fig. 2a).

Por su parte, las áreas de verificación se utilizaron para valorar la fiabilidad de cada una de las categorías discriminadas y obtener la calidad total de la clasificación. El muestreo para la verificación se repartió por toda la imagen, tomando un punto aleatorio de copa en la mayoría de los árboles presentes en cada zona estudiada para la categoría *arbolado* (Fig. 2b), junto con puntos de pertenecientes a suelo desnudo, pasto, sombra,... para la categoría *no arbolado* (Fig. 2c). Para la categoría arbolado se tomaron 1250 puntos en la zona 1 y 1150 puntos en la zona 2. Por su parte, para la categoría no arbolado se verificaron 2250 en la zona 1 y 7580 en la zona 2.

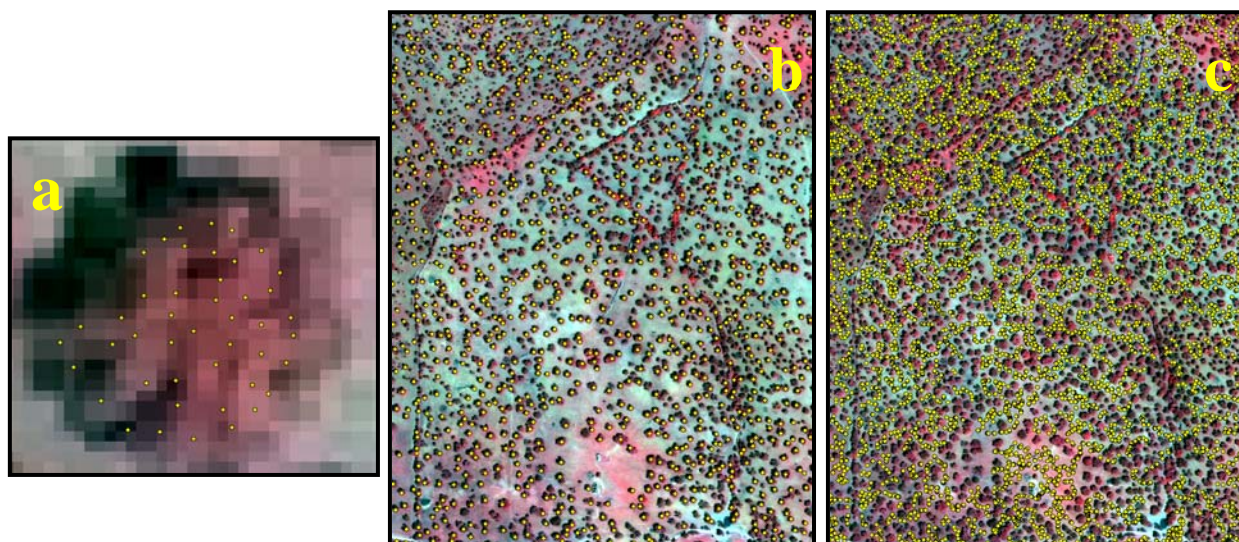


Figura 2. Muestreo: a) Entrenamiento sobre una copa, Verificación de la zona 2: b) de árboles y c) de entorno

METODOLOGÍA

Análisis espectral de los datos

Una vez obtenidos los puntos de muestreo correspondientes al entrenamiento de las dos zonas estudiadas, se extrajo los valores estadísticos básicos de cada una de las bandas a estudiar. Además de la utilización de las 4 bandas multiespectrales de la imagen (Azul, Verde, Roja e Infrarroja cercana), en el estudio se incluyó el índice de vegetación Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Eq. 1) al ser un índice muy fácil de obtener y ampliamente utilizado en detección arbórea en sistemas forestales (Chuvieco, 2002).

$$NEVI = \frac{\text{Infrarrojo}_{\text{cercano}} - \text{Rojo}}{\text{Infrarrojo}_{\text{cercano}} + \text{Rojo}}$$

Con los valores obtenidos en cada punto se obtuvo la media (X) y desviación estándar (σ) para cada banda en las dos zonas estudiadas. Con estos valores se determinó un intervalo de valores (X ±σ) dentro del cual se discriminó con fiabilidad las copas de los árboles.

Antes de realizar cualquier tipo de análisis, los datos obtenidos en el muestreo de verificación se sometieron a un análisis de separabilidad espectral para analizar si eran suficientemente diferentes espectralmente para ser discriminados con precisión. Para ello se utilizó el método de medida de distancia espectral Jeffries-Matusita, el cual obtuvo la separabilidad espectral entre la categoría *árbol-no árbol*. Este índice ofrece valores de 0 a 2 en función de la separabilidad espectral entre cubiertas. Valores mayores de 1.9 muestran una separabilidad muy buena, mientras que valores menores indican posibles problemas de discriminación. Cuando el valor es menor de 1, la separabilidad espectral es muy mala y se recomienda combinar las dos cubiertas en una sola (ITT, 2009).

Evaluación de distintas combinaciones de bandas

Para la discriminación de las copas de los árboles se plantearon dos metodologías basadas en combinación de bandas. Ambas metodologías parten de una misma base en la que se reclasifica cada uno de los píxeles de las bandas utilizadas en el estudio en un sistema binario no árbol-árbol (0-1) en función de si su valor se encuentra caracterizado o no por el rango definido anteriormente para el arbolado en dicha banda. Una vez realizado dicho procedimiento, en la primera metodología se procedió a sumar las distintas bandas reclasificadas para obtener una única banda con un gradiente de valores ascendente conforme aumenta la probabilidad de que dicho píxel pertenezca al estrato arbóreo. Por otro lado, la segunda metodología de combinación de bandas fue más limitante ya que se basó en la multiplicación de las distintas bandas reclasificadas para obtener una única banda con valores binarios no árbol-árbol (0-1), donde se definió la categoría árbol únicamente en aquellos píxeles reclasificados como árbol en todas las bandas analizadas.

Puesto que se trabajó con las 4 bandas multiespectrales junto con el índice de vegetación NDVI, se plantearon varios análisis en los que se aplicó cada una de las metodologías utilizando únicamente las 4 bandas multiespectrales y añadiendo a estas bandas la banda NDVI. Finalmente, y en vista del uso del NDVI como única fuente de información de muchos trabajos, se realizó otro análisis en el que sólo se utilizó esta banda para la discriminación de las copas arbóreas (Tabla1).

Tabla 1. Descripción de los análisis

	Análisis				
	1	2	3	4	5
	Suma	Suma	Multiplicación	Multiplicación	
Azul	x	x	x	x	
Verde	x	x	x	x	
Rojo	x	x	x	x	
IR cercano	x	x	x	x	
NDVI		x		x	x

Debido a que las imágenes de alta resolución espacial generan ruido, especialmente el efecto denominado “sal y pimienta”, el resultado de las clasificaciones se puede ver disminuido. Con objeto de mejorar la clasificación y obtener mejores resultados se aplicó un filtro de mayoría (3x3) a cada uno de los análisis.

El grado de acierto de la clasificación se analizó a partir de matrices de confusión, las cuales determinan la fiabilidad del análisis comparando el porcentaje de píxeles clasificados de cada categoría con la verdad-terreno muestreada, mostrando los datos correctos y el error entre clases estudiadas (Congalton, 1991). De la matriz de confusión se obtiene la fiabilidad global de la clasificación, calculada al dividir los píxeles clasificados correctamente entre el número de píxeles totales en la imagen. Por otro lado, el estadístico Kappa mide la diferencia ente el

acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar simplemente por azar para delimitar el grado de ajuste debido sólo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios (Chuvienco, 2002). Se calculó la fiabilidad global y el coeficiente Kappa para cada una de las clasificaciones realizadas.

Cálculo de la Fracción de Cobertura (FCC)

El cálculo de la Fracción de Cobertura (FCC) cuantifica la superficie que está cubierta por la proyección de las copas de los árboles respecto a la superficie total de estudio (Eq. 2).

$$Fcc(\%) = \frac{\text{Área_copa} \times 100}{\text{Área_total}}$$

Para su cálculo se vectorizó la superficie clasificada como masa arbórea, aislando así las copas de los árboles en polígonos. Tras del cálculo del área que representan cada una de las copas, se ha eliminó todos aquellos polígonos cuya superficie era inferior a 1m², puesto que no se consideró representativo de una copa por sí solo. A partir de este vectorial se obtuvo la superficie arbolada y se comparó con la superficie total para la obtención de la FCC.

El software utilizado para realizar todas las operaciones fue ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008) y ENVI 4.7 (ITT Visual Information Solution, 2009).

RESULTADOS

Análisis espectral de los datos

Las tabla 2 muestra los valores estadísticos media y desviación estándar obtenidos en cada una de las 5 bandas analizadas para la zona 1 y 2. A partir de estos datos se definió un intervalo espectral ($X \pm \sigma$) que define los valores máximos y mínimos utilizados en la reclasificación de cada una de las bandas estudiadas en la categoría *arbolado* (tabla 3).

Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de cada banda para las zonas de estudio

	Azul		Verde		Rojo		Infrarrojo		NDVI	
	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ
Zona 1	227.637	10.520	324.207	23.104	209.207	23.669	509.731	50.769	0.417	0.035
Zona2	211.995	8.372	300.533	18.457	194.286	20.502	501.599	53.375	0.441	0.037

X = media; σ = desviación estándar

Tabla 3. Valores máximos y mínimos de reclasificación de árboles de cada banda para las zonas de estudio

	Azul		Verde		Rojo		Infrarrojo		NDVI	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Zona 1	217.117	238.157	301.103	347.310	185.537	232.876	458.962	560.499	0.382	0.453
Zona2	203.624	220.367	282.076	318.990	173.784	214.789	448.225	554.974	0.404	0.477

Min = valor mínimo; Max = valor máximo

Junto a la determinación de los valores espectrales que definen la categoría arbolado, en la tabla 4 se muestra el análisis de separabilidad espectral mediante el método de medida de distancia espectral Jeffries-Matusita.

Tabla 4. Separabilidad espectral para las zonas de estudio

	Nº Puntos		Jeffries-Matusita
	Arbolado	No arbolado	
Zona 1	1250	2250	1.63
Zona2	1150	7580	1.89

La separabilidad espectral obtenida en estas dos muestras fue aceptable, aunque en el caso de la zona 1 dio lugar a valores de fiabilidad menores que en la zona 2 debido a que la masa de arbolado tiene una señal espectral más parecida a las cubiertas que le rodean como el pastizal y matorral.

Evaluación de distintas combinaciones de bandas

Antes de calcular las fiabilidades obtenidas con cada método de análisis, fue necesario calcular el intervalo de valores que discrimina entre las cubiertas *árbol-no árbol* para los dos análisis basados en el sumatorio de las reclasificaciones de las bandas estudiadas. Para ello se evaluó la distribución de puntos de verificación muestreados en cada cubierta de las zonas 1 y 2 para cada uno de los valores raster obtenidos en la capa suma de 4 bandas (tabla 5) y en la capa suma de 5 bandas (tabla 6).

Tabla 5. Distribución de puntos muestreados en cada cubierta sobre el raster suma de 4 bandas.

Valor raster	Zona 1		Zona 2		Zona 1		Zona 2	
	Arbolado		No Arbolado		Arbolado		No Arbolado	
	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%
4	647	51.76	3	0.13	594	51.65	0	0.00
3	257	20.56	14	0.62	192	16.70	9	0.12
2	95	7.60	18	0.80	113	9.83	22	0.29
1	124	9.92	771	34.27	153	13.30	4510	59.50
0	127	10.16	1444	64.18	98	8.52	3039	40.09
Total	1250	100	2250	100	1150	100	7580	100

Tabla 6. Distribución de puntos muestreados en cada cubierta sobre el raster suma de 5 bandas.

Valor raster	Zona 1		Zona 2		Zona 1		Zona 2	
	Arbolado		No Arbolado		Arbolado		No Arbolado	
	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos	%
5	529	42.32	1	0.04	473	41.13	0	0.00
4	225	18.00	3	0.13	202	17.57	0	0.00
3	211	16.88	15	0.67	187	16.26	10	0.13
2	89	7.12	18	0.80	101	8.78	24	0.32
1	155	12.40	862	38.31	165	14.35	4634	61.13
0	41	3.28	1351	60.04	22	1.91	2912	38.42
Total	1250	100	2250	100	1150	100	7580	100

Para la determinación del umbral que describe la categoría *arbolado* de la categoría *no arbolado* se analizó el porcentaje de puntos de cada categoría que se encontraron en cada valor de la capa raster. En el caso de los valores que muestra la tabla 5, pertenecientes a la suma de 4 bandas, se observa muy claramente que los valores 4 y 3 pertenecen a la categoría *arbolado* y los valores 0 y 1 pertenecen a la categoría *no arbolado*. El valor 2 queda

indefinido entre ambas cubiertas con muy pocos puntos en ambos casos. En el caso de la suma de 5 bandas (tabla 6) ocurre algo similar. El intervalo perteneciente a la categoría *arbolado* se encuentra claramente definido con los valores 5, 4 y 3, mientras que la categoría *no arbolado* se define con los valores 0 y 1. El valor 2 también se queda indefinido entre ambas cubiertas. Por tanto, ante la dificultad de definir los intervalos con exactitud, se planteó realizar ambos tipos de análisis teniendo en cuenta dos posibilidades (tabla 7).

Tabla 7. Descripción de los análisis en función de los valores raster asignados a cada cubierta

	Bandas	Valor raster Arboleda	Valor raster No Arboleda
Análisis 1a	4	4, 3, 2	1, 0
Análisis 1b	4	4, 3	2, 1, 0
Análisis 2a	5	5, 4, 3, 2	1, 0
Análisis 2b	5	5, 4, 3	2, 1, 0

Finalmente, tras determinar los intervalos considerados para definir cada cubierta en los análisis 1 y 2, se procedió a verificar los distintos tipos de análisis mediante el cálculo de la fiabilidad global de la clasificación y el índice Kappa (tabla 8).

Tabla 8. Precisión de las clasificaciones en las zonas de estudio

	Zona1				Zona2			
	Sin Filtro		Con filtro		Sin Filtro		Con filtro	
	FG (%)	Kp	FG (%)	Kp	FG (%)	Kp	FG (%)	Kp
Análisis 1a	91.83	0.81	93.80	0.86	96.77	0.85	97.43	0.88
Análisis 1b	89.63	0.76	92.03	0.82	95.73	0.79	96.06	0.80
Análisis 2a	93.34	0.85	95.09	0.89	97.47	0.88	98.10	0.91
Análisis 2b	91.31	0.80	93.20	0.85	96.59	0.83	97.00	0.86
Análisis 3	82.69	0.58	83.86	0.61	93.63	0.65	93.45	0.64
Análisis 4	79.37	0.48	80.34	0.51	92.25	0.55	92.27	0.55
Análisis 5	85.40	0.66	85.94	0.68	94.15	0.72	94.35	0.73

FG =Fiabilidad Global; Kp = índice Kappa

Analizando la capacidad de discriminación de las copas de las encinas, en general se observó que todas las clasificaciones conseguían una alta fiabilidad con valores superiores al 90% en la mayoría de los casos. En general se observó que la clasificación de la zona 2 presentó mejores resultados que la zona 1, algo que se preveía debido a la mayor mezcla espectral observada en la zona 1. Además, la aplicación del filtro de mayoría mejoró levemente los resultados.

En las clasificaciones de la zona 1 se observó diferencias de casi un 14% en la fiabilidad global (FG) entre la peor detección de copas con el análisis 4 (79.37% de FG) y la mejor con el análisis 2a (93.34% de FG). Por su parte, tras aplicar un filtro de mayoría a las clasificaciones se observó una mayor diferencia entre los valores de ambas clasificaciones, con valores de FG de 80.34% en el peor de los casos y 95.09% en el mejor. La zona 2 presentó una situación bastante parecida a la anterior pero con valores de FG mayores. Se produjo un incremento de FG de algo más de un 5% entre la peor clasificación con el análisis 4 (92.25%) y la mejor con el análisis 2a (97.47%). Tras aplicar el filtro de mayoría a las clasificaciones se observó una mayor diferencia entre los valores de ambas clasificaciones, con valores de FG de 92.27% en el peor de los casos y 98.10% en el mejor.

Cálculo de la Fracción de Cobertura (FCC)

Tras analizar las precisiones obtenidas en las clasificaciones realizadas, se tomó la clasificación obtenida con el análisis 2a para el cálculo de la FCC (Fig. 3). Los valores del área ocupada por la cobertura arbórea y de la FCC se observan en la tabla 9.

Tabla 9. Valores de la FCC de cada zona de estudio y descripción de tipo de dehesa

	AT (ha)	AA (ha)	FCC (%)	Descripción
Zona1	35.80	10.03	28.00	Dehesa de espesura excesiva
Zona2	43.58	7.79	17.86	Dehesa de espesura normal

AT = Área Total; AA =Área de Arbolado; FCC = Fracción de Cobertura

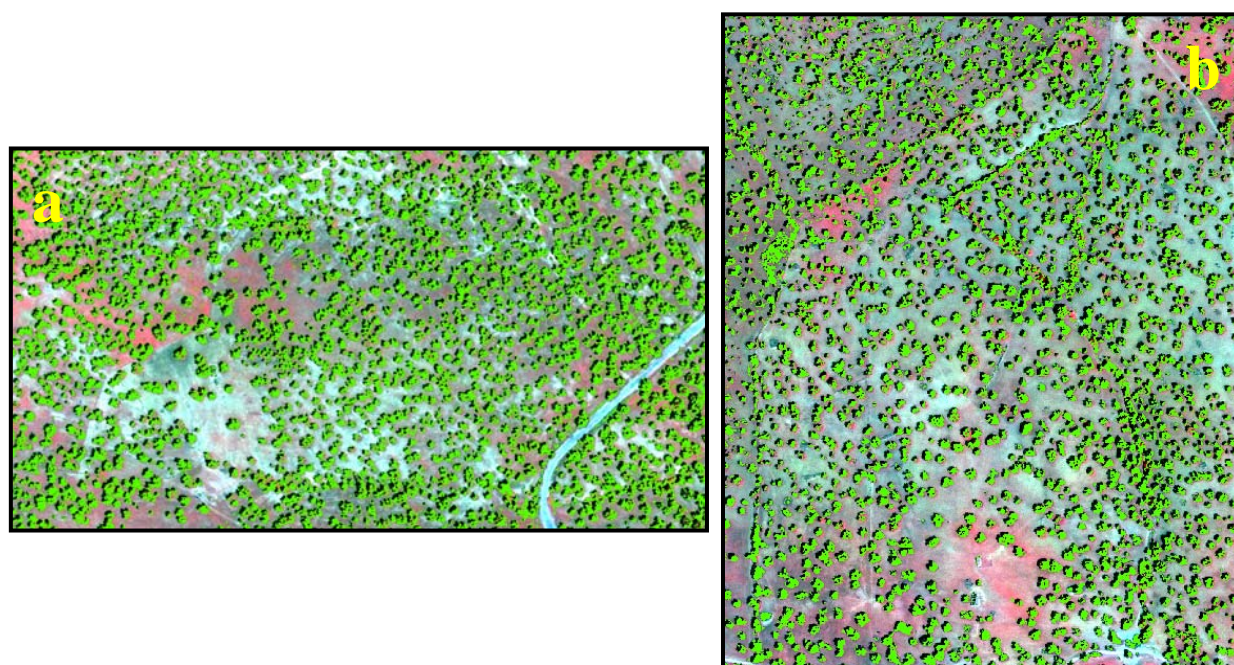


Figura 3. Superposición del vectorial de cobertura arbórea (color verde): a) zona 1 y b) zona 2

DISCUSIÓN

El objeto de este estudio fue analizar la capacidad de discriminación de copas de árboles en una dehesa mediante técnicas de combinaciones de bandas aplicadas a imágenes de alta resolución espacial y su posterior cálculo de la Fracción de Cobertura (FCC). Para este estudio se analizaron dos zonas adehesadas de diferentes densidades arbóreas. En ambas se obtuvo una separabilidad espectral aceptable para la discriminación de copas de árboles del resto del entorno, aunque hay que destacar que la zona 1 presentó un valor espectral más parecido entre cubiertas (*árbol-no árbol*), que la zona 2. Esto se ve corroborado con el análisis de fiabilidad de las clasificaciones, ya que se observó menores precisiones en la discriminación de la zona 1 que en la zona 2.

Tras analizar el comportamiento de las distintas metodologías propuestas en ambas zonas, se observó que la mayor parte de los análisis realizados para discriminar las copas de los árboles eran aceptables. Sin embargo, sólo los análisis que se basaron en la suma de las bandas reclasificadas obtuvieron los mejores resultados, superando en todos los casos el 90% de fiabilidad global: análisis 1 (A + V + R + IRc) y análisis 2 (A + V + R + IRc + NDVI). Las metodologías basadas en la multiplicación de las bandas, análisis 3 (A x V x R x IRc) y análisis 4 (A x V x R x IRc x

NDVI), fueron menos precisas debido a su carácter excluyente, con una disminución de precisión global entre el 4 y el 12% en función de la zona estudiada.

Además de proponer distintos tipos de análisis en función del tipo de combinación de bandas (suma o multiplicación), también se evaluaron las bandas más apropiadas para la clasificación. Así, ambos tipos de combinaciones de bandas se aplicaron sobre las cuatro bandas que ofrece la imagen multiespectral (3 bandas del visible y una del infrarrojo cercano) y sobre estas 4 bandas y la del NDVI. En el caso del análisis sumativo, el añadido de la banda NDVI ofreció mejores resultados que en el caso del análisis de las 4 bandas aisladas, con un incremento de fiabilidad global entre un 1-2% debido a su mejor organización de la información espectral para la discriminación de cubiertas vegetales. Por su parte, en el caso del análisis multiplicativo ocurrió lo contrario, ya que la inclusión de una banda más en este análisis excluyente disminuyó la precisión hasta en un 3% respecto al análisis de las 4 bandas multiespectrales en la zona 1. Pese al valor indiscutible que tiene el índice de vegetación NDVI para la discriminación de masas vegetales, en este caso su reclasificación aislada, análisis 5, presentó unos valores inferiores a otros análisis propuestos.

El filtrado de los resultados de las clasificaciones con un filtro de mayoría para homogeneizar la imagen y eliminar el efecto "sal y pimienta" típico de las clasificaciones con imágenes de alta resolución espacial supuso un aumento de la fiabilidad de los datos entre un 1-2%. Con valores de precisión tan altos no se puede esperar incrementos muy marcados en las precisiones en tratamientos post-clasificación.

Pese a que los resultados han sido buenos con una imagen tomada en abril, éstos pueden mejorarse teniendo en cuenta el estado fenológico de los distintos estratos vegetales presentes en la dehesa. El momento temporal en la toma de la imagen es fundamental, siendo preferente la toma de imágenes en periodos estivales donde la vegetación existente en la superficie de estudio esté agostada o sea inexistente. Este requisito es especialmente importante en las zonas adehesadas que presenten cultivos herbáceos y/o vegetación muy vigorosa.

Tras este análisis se muestra que la suma de las 4 bandas multiespectrales junto con la banda del NDVI reclasificadas, previo un análisis estadístico de los valores espectrales que definen las copas de los árboles, ofrece una precisión muy buena para la discriminación de las copas de los árboles de los elementos de su entorno y su posterior cálculo de la Fracción de Cobertura. Esta técnica se caracteriza por ser sencilla y aplicable con facilidad tanto para técnicos SIG como técnicos de Teledetección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cano, F. (2002): Clasificación de la vegetación de un monte alcornocal mediante imágenes Ikonos. *Revista de Teledetección*, 19: 31-41.
- Congalton, R. G. (1991): A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- Chuvieco Salinero, E. (2002): *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel, Madrid, 592 pp.
- López-Carrasco, C. y Hoyos Rodríguez, P (2005): Determinación de zonas de dehesa en Castilla-La Mancha mediante cartografía disponible: resultados obtenidos en la provincia de Toledo. *XLV Reunión Científica de la SEEP. Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural*, 2: 793-800.
- ITT (2009). *ENVI 4.7 Help*.ITT VIS, France.
- Romero de los Reyes, E. (2007): Aplicación de ortofotos para la estimación de pérdida de individuos en dehesas de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *Ballota* (Desf.) Samp.) afectadas por procesos de decaimiento. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 33: 121-134.

Van Wieren, S. E. (1995): The potential role of herbivores in nature conservation and extensive land use in Europe. *Biological Journal of the Linnean Society*, 56: 11-23.

Vrabel, J. (1996): Multispectral Imagery Band Sharpening Study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62 (9): 1075-1083.