

EVOLUCIÓN DE LA CUBIERTA DE ALCORNOQUE EN UN MONTE AFECTADO POR SECA (LA ALCAIDESA-CÁDIZ) MEDIANTE UNA SECUENCIA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

FRANCISCO CANO¹, RAFAEL M.^a NAVARRO² Y ALFONSO GARCÍA FERRER³

RESUMEN

Los medios que aportan la teledetección (fotografía aérea e imagen satélite) son capaces de dar una representación cartográfica precisa de procesos asociados al seguimiento de ecosistemas forestales. En este trabajo se ha realizado el seguimiento de la evolución de la cubierta de alcornocal en un monte afectado por *seca*, a través de los fotogramas en papel para los años 1977, 1992 y 1995 sobre emulsión pancromática, y de una imagen «IKONOS fusión» procedente de una imagen pancromática y otra imagen multiespectral.

La superficie ocupada por alcornocal, considerando el periodo 1977-1998, disminuye en un 6,2% produciéndose una transformación a matorral principalmente. La fracción de cabida cubierta (fcc) de alcornocal predominante en la finca de estudio es la categoría entre el 20-50%. El cambio más importante en términos de fcc, sin considerar el periodo entre 1998 y 2000, es el descenso de 42 ha para el intervalo de fcc 5-10% producido entre 1977 y 1992. La disminución para esta fcc se produce no sólo por un cambio de la masa a categorías de superior fcc sino, sobre todo, por una desaparición de superficies catalogadas como de alcornocal que pasan a ser ocupadas por matorral.

Palabras clave: alcornocal, Seca de *Quercus*, fotointerpretación, IKONOS, fracción de cabida cubierta.

SUMMARY

Development of the coverage of cork oak in a woodland affected by decline (La Alcaidesa-Cádiz) through a sequence of aerial photographs

The resources that contribute to remote sensing (aerial photography and satellite image) can give a precise cartographic representation of associate processes to the monitoring of forest ecosystems. Monitoring the development of cork oak coverage in a woodland affected by decline was achieved

¹ Aurensa: San Francisco de Sales, 38. 28003 Madrid. E-mail: fcano@aurensa.es

² Departamento Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos y Montes (Univ. Córdoba). Avda. Menéndez Pidal, s/n. 14080 Córdoba. E-mail: ir1nacer@uco.es

³ Departamento Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica. Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos y Montes (Univ. Córdoba). Avda. Menéndez Pidal, s/n. 14080 Córdoba. E-mail: agferrer@uco.es

in this work, using paper stills for the years 1977, 1992 y 1995 on panchromatic emulsion, and one IKONOS fusion image from one panchromatic and one multi-spectral image.

The surface occupied by cork oak woodland, considering the period 1977-1998, decreases by 6,2% producing a transformation to scrubland principally. The crown cover of cork oak woodland predominant in the study area is the category between 20-50%. The most important change in terms of crown cover, not considering the period between 1998 and 2000, is the decrease of 42 ha for the interval of crown cover 5-10% produced between 1977 and 1992. The fall of this crown cover is produced not only by a change in the mass to categories of superior crown cover but, above all, by a disappearance of surface categorised as cork oak woodland that becomes occupied by scrubland.

Key words: cork oak, oak decline, photo-interpretation, IKONOS, crown cover.

INTRODUCCIÓN

El área de distribución potencial de daños de *seca* corresponde en Andalucía a la distribución de las masas del género *Quercus*, en particular, a las masas de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp) y alcornoque (*Quercus suber* L.).

Se conoce con el nombre de la *seca* o decaimiento de los *Quercus* a un conjunto de daños sobre la vegetación forestal caracterizados por un síndrome con una sintomatología común, causado por la acción conjunta de varios factores tanto bióticos como abióticos, que desemboca en la pérdida de vigor y frecuentemente en la muerte del arbolado. La sintomatología asociada es inespecífica ya que suele ser el resultado de numerosos factores, pero de manera general se pueden mencionar algunos síntomas externos (MANION y LACHANCE 1992; SÁNCHEZ *et al.*, 2000; NAVARRO y FERNÁNDEZ 2000): defoliación, muerte regresiva de brotes y ramas, abundantes emisiones de brotes adventicios (chupones), necrosis del sistema radical y muerte del árbol completo. Estos síntomas se traducen en dos tipos de muertes del arbolado (SÁNCHEZ *et al.*, 2000): *muertes regresivas*, acompañadas de un proceso progresivo de decaimiento (pérdida de vigor y defoliaciones) y donde el agente ejecutor puede ser identificado en muchos casos; y *muertes súbitas*, donde el proceso es bastante acelerado y sin que se presente una sintomatología clara del daño.

La detección y seguimiento de fenómenos de *seca* en un área tan extensa no tiene una fácil solución. Los medios que aportan la teledetección (fotografía aérea e imagen satélite) son capaces de dar una representación cartográfica precisa de procesos asociados al seguimiento de ecosistemas forestales. La fotografía aérea, considerada como una parte de la teledetección o detección a distancia, pueden salvar algunos de los inconvenientes que presenta la inventariación en campo, siempre que sean usados de una forma correcta; por ejemplo, utilizando fotografías a escala adecuada y georreferenciados (AVERY 1977; LÓPEZ 1996). Fuera de las aplicaciones métricas, la fotografía aérea también adquiere, de forma precoz, un elevado interés en la evaluación cualitativa de las masas forestales. El estudio de la representación fotográfica de la vegetación se inicia sobre el soporte de la fotografía pancromática. Posteriormente, se particulariza al resto de emulsiones y a las distintas escalas fotográficas utilizadas, con la pretensión de definir aquellos caracteres que permitan la discriminación e identificación de las diversas masas forestales y especies. Así, se llega a un conocimiento general de aquellas características usadas en fotointerpretación (tamaño, forma, textura, tono, color, etc.) que pueden permitir la discriminación entre diversas cubiertas, a la vez que los trabajos concretos, sobre determinadas emulsiones y escalas, describen la condición de la vegetación (CALZADO 2000). Una aplicación posterior de la fotogrametría, pero de notable desarrollo en la década de los 70-80, fue la de-

tección de cambios asociados a cubiertas de vegetación, tanto cuantitativos (PHILIPSON 1997; RUIZ DE LA TORRE 1990; PAINE 1981), como cualitativos (ALDRICH 1975; GRANICA *et al.* 1999; MUCHONEY y HAACK 1994).

La fotogrametría y la fotointerpretación han sido y siguen siendo herramientas muy útiles en tareas de gestión forestal (LÓPEZ y GARCÍA 1968; PHILIPSON 1997). No sólo no han sido desplazadas por nuevas técnicas o nuevos registros de teledetección sino que se han mejorado mediante la implantación de nuevos sensores o por las nuevas posibilidades de aplicación derivadas de la informática. Las tareas de fotointerpretación se han visto auxiliadas por la clasificación digital de imágenes que sigue cauces análogos a los que se emplean en la fotointerpretación (CHUVIECO 1996; MICHENER y HOUHOULIS 1997). Este tipo de clasificación se ha desarrollado para imágenes captadas por sensores en satélites. En la actualidad los nuevos sensores remotos de alta resolución, como los montados en el SPOT 4 recientemente lanzados con resolución espacial 20 m en multiespectral y 10 m en pancromática o IKONOS de hasta 1 m en pancromático y 4 m en multiespectral, permitirán vencer las limitaciones que ahora los hacen sólo parcialmente útiles en el campo de la inventariación a escala de terreno. El inventario forestal mediante teledetección, utilizando estos sensores de alta resolución, puede ser una de las líneas de futuro en la inventariación de superficies forestales con baja densidad de arbolado, como es el caso de los montes de *Quercus* mediterráneos.

El objetivo general de este trabajo es estudiar la evolución temporal de la cubierta de alcornoque en el monte de «la Alcaldesa» durante el periodo 1997-2000 a partir de diferentes vuelos fotogramétricos y de una imagen satélite del sensor IKONOS.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del área de trabajo

El monte «La Alcaldesa» se encuentra situado dentro de los límites de los términos municipi-

pales de Castellar de la Frontera y San Roque (Cádiz). La extensión total del monte es de 1.302,6 ha, correspondiendo a la hoja 1075 escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército, serie L y a las hojas 2-1, 2-2 y 3-3 del Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1:10.000. La altitud no es excesivamente elevada, las cotas oscilan entre los 70 m y los 250 m de la Sierra del Arca. El relieve es, en general, poco pronunciado, las menores pendientes se encuentran en la parte noroccidental, y no superan el 10%; y los mayores superan el 30%. La clase fitoclimática a la cual pertenece la zona en estudio, se corresponde con el grupo IV₂ 4, que se identifica con el clima mediterráneo genuino.

La vegetación natural dominante es el alcornoque (*Quercus suber* L.), que en suelos decapitados, sobre todo en los secos y soleados degenera hacia formaciones de herguen (*Calicotome villosa*), y jarales de *Cistus ladanifer* L. Junto a estas especies suelen encontrarse aulagas (*Gennista hirsuta* Vahl.), brezos (*Erica scoparia* L.), espliegos (*Lavandula stoechas* Boiss.) y otras jaras menores (*Cistus salviifolius* L., *Cistus crispus* L.).

Desde el punto de vista edafológico el tipo de suelo predominante para la finca es el fersialítico pardo sobre materiales silíceos sin presencia de caliza, en los que se asientan preferentemente los alcornoques. Se ubican en zonas de moderada o poca pendiente. Se trata de suelos evolucionados con tres horizontes, A₂B₁C, con presencia de arcilla en el horizonte intermedio, lo que permite caracterizarlo como B_w. En los fondos de valles llegan a aparecer algunos suelos ácidos con horizonte B_t, en los que tiende a predominar el quejigal. Aparecen también vertisoles litomorfos, formados sobre arcillas y margas, «bujeos», poco permeables y con abundancia de arcilla.

En el monte «La Alcaldesa» se realizó, simultáneamente a este trabajo, un inventario sistemático (EGMASA) y un censo de daños de seca (Departamento de Ingeniería Forestal-Universidad de Córdoba). Los resultados de este inventario se han utilizado como apoyo a la fotointerpretación.

El tipo de inventario adoptado ha sido un inventario sistemático estratificado con punto de arranque aleatorio, y parcela circular de 18 m de radio y 150 x 150 m de tamaño de malla donde predominaba el alcornoque y el quejigo y 13 m de radio y 200 x 200 m de tamaño de malla donde predominaba el pino o el eucalipto. El número total de parcelas tomadas fue de 483. La información específica recogida en el inventario sistemático sobre la evaluación de daños por *seca* incluye tanto parámetros relacionados con la calidad de estación y el estado selvícola (orientación, pendiente, etc.), como daños producidos por agentes bióticos y abióticos (datos no incluidos). La variable de mayor interés para el objetivo de este trabajo es la defoliación que presenta la copa de los pies afectados. El porcentaje de defoliación de la copa se midió de acuerdo con los criterios establecidos para el seguimiento de daños en la Red Europea de Seguimiento del Estado Sanitario de Bosques (FERRETI 1994).

En segundo lugar, se ha realizado un censo de daños, que consistió en la detección y delimitación de focos afectados de *seca* para posteriormente realizar una evaluación del estado fitosanitario de los árboles que lo forman (figura 1). Este censo de daños se realizó duran-



Figura 1 - Vista general de focos de seca y pies muestreados durante la realización del censo de daños de la finca La Alcaidesa. Escala de representación de la figura 1:60.000.

Figure 1 - Overview of diedback areas and trees evaluated location at La Alcaidesa. Scale 1:60.000.

te los meses de septiembre y octubre del año 2000, siguiendo el Manual de Campo para el Inventario de Daños Sobre Masas de *Quercus* afectadas de daños de *seca* (NAVARRO *et al.* 2000). El procedimiento que se siguió para llevar a cabo este censo de daños se puede separar en 3 fases sucesivas que se describen a continuación (figura 1):

Detección de focos: Esta es la fase en la que se determinó la existencia de los focos de *seca* en la zona de estudio y queda registrada, aunque de forma aproximada, su ubicación sobre la cartografía de referencia. Un foco de *seca* está definido como un rodal en el cuál la vegetación arbórea aparece afectada en su mayor parte (más de un 50% de los pies), con síntomas claros de muerte regresiva o súbita.

Delimitación de los focos: Consistió en la delimitación lo más exacta posible de los perímetros de todos los focos presentes en el monte. Estos perímetros se delimitaron mediante la utilización de un GPS diferencial con antena base sita en la ETSIAM de Córdoba (TOPSAT V.3.0. y GEOTEC para el paso de posiciones GPS en sistema WGS-84 al sistema de referencia local)

Evaluación de los focos: Consistió en una descripción de daños (agentes bióticos y abióticos) de los pies presentes en el foco. En este censo de daños se registraron tanto datos que caracterizan al foco como variables específicas para los árboles afectados.

Materiales utilizados

En el seguimiento de la evolución de las cubiertas vegetales se ha utilizado tanto información procedente de vuelos fotogramétricos como información registrada y almacenada desde una plataforma espacial (satélite IKONOS). Ambas fuentes de información remota constituyen la base para las posteriores labores de fotointerpretación.

En este trabajo se han utilizado fotogramas en papel para los años 1977, 1992 y 1995 sobre emulsión pancromática, con una escala media común para todos ellos de 1:20.000. El

Fecha	Pasada	Fotogramas	Escala media	Dist. focal	Tipo de emulsión
1977	C 08-13 D 10-14	2399, 2400, 2401, 2725, 2726	1 : 18.000	153.05	B/N
Ago-1992	06-09 08-12	7431, 7443, 7444, 7445, 7446	1 : 20.000	153.26	B/N
Feb-1995	08-12 10-15	1806, 1807, 1823, 1824, 1825, 1826, 1827	1 : 20.000	152.47	B/N

Tabla 1 - Fotogramas utilizados en el seguimiento de la evolución de cubiertas vegetales.

Table 1 - Photo map used in the monitoring of the evolution of forest cover.

empleo de fotogramas tomados sobre la misma emulsión y de escala de vuelo similares, permite que los resultados de la fotointerpretación sean comparables entre fechas sucesivas (tabla 1).

Además de estos fotogramas, se empleó la Ortofotografía Blanco/Negro 113005001 de la marca «Campo de Gibraltar», en formato digital, del Sistema de Información Geográfica (SIG) Oleícola Español. El periodo de toma de los fotogramas que componen dicha ortofoto esta centrado en los primeros meses del año 1998. El tamaño de píxel es de 1 metro lo que permite la visualización en pantalla a una escala aproximada de 1:4.000. A esta escala se distinguen formas y contornos sin llegar a apreciar el pixelado de la imagen.

Como última fuente de información remota, se empleó una imagen IKONOS fusión, una imagen pancromática y otra imagen multiespectral. Ambas recubren exactamente la misma porción de territorio de 11 x 11 km y han sido tomadas en el mismo instante. Dichas imágenes fueron captadas el 2 de octubre del año 2000 a las 11:10 A.M. con un ángulo de elevación en la adquisición de 65.39091°. Esta imagen fusionada presenta las características de resolución espacial de la banda pancromática del sensor IKONOS (1 metro) y combina la información espectral contenida en las 4 bandas de la imagen multiespectral, con resolución espacial 4 metros. El Error Medio Cuadrático (RMS) con el que se lleva a cabo este proceso de ortorrectificación de la imagen es en nues-

tro caso un RMS total de 3,85 m, el RMS en X igual a 3,74 y el correspondiente al eje Y igual a 0,38 m. La descripción del proceso de ortorrectificación de la imagen puede consultarse en CANO *et al.* (2003).

Fotointerpretación de los vuelos y de la imagen IKONOS

En este trabajo se estudia la evolución temporal de dos variables. En primer lugar la superficie ocupada por cada una de las formaciones más representativas presentes en el área de estudio. Siguiendo el sistema de definiciones de teselas del Mapa Forestal de España (RUIZ DE LA TORRE 1990), se ha diferenciado dentro de la cobertura forestal entre:

- «Alcornocal: cubierta caracterizada por el predominio de *Quercus suber*.
- Pinar: porción elemental y homogénea de cubierta caracterizada por predominio (carácter dominante) de *Pinus pinea*.
- Eucaliptal: plantación de eucaliptos.
- Matorral: agrupación vegetal definida por su estructura o por su aspecto, conferidos por el hecho de que su estrato superior o el más alto con espesura están caracterizados por el predominio de matas (leñosas bajas ramificadas desde la base).
- Vegetación de arroyo: formación de especies hidrófilas que sigue una disposición más o menos lineal a lo largo de un cauce o un torrente.

Adicionalmente se han incluido dos categorías para la descripción de superficies sin presencia de especies leñosas:

- «Pastizal: cubierta herbácea o con intervención poco significativa de leñosas bajas, susceptible de ser pastada en un periodo o en la totalidad del año.
- Inforestal: incluye tanto infraestructuras dentro de la finca como roquedos con extensión suficiente para ser digitalizados».

El seguimiento de la superficie ocupada por cada una de las coberturas de interés se ha realizado a través de fotointerpretación en papel de los fotogramas (positivos) para los años 1977, 1992 y 1995 y en la fotointerpretación en pantalla para los productos digitales (ortofoto del año 1998 e imagen satélite «IKONOS fusión» del año 2000).

El método de fotointerpretación se articula en la observación de las características de las imágenes. Las características más importantes que han posibilitado la identificación de la especie principal presente en cada tesela han sido: contraste tonal, textura, apariencia de copas (forma, aspecto del borde y tamaño) y sombras. El sistema de trabajo elegido para llevar a cabo la

fotointerpretación ha sido ya apuntado por otros autores (FERNÁNDEZ GARCÍA 2000; CALZADO 2000) que aprovechan las facilidades que presentan los programas informáticos en tareas de interpretación de fotografías aéreas. Estos programas permiten dibujar por capas en la pantalla del ordenador, ocultándolas o haciéndolas visibles según la situación lo requiera y ampliando o reduciendo sectores específicos de la vista en pantalla.

Las ortofotos sirven como excelentes fondos sobre los que visualizar otros datos, y gracias a la precisión y a la cobertura completa que presentan cuando son usados en SIG, las ortofotos digitales están destacando como base planimétrica de uso común.

El proceso operativo seguido partió de la definición sobre los fotogramas de los años 1997, 1992 y 1995 recintos que presentan características de tono, textura, y formas de copa homogéneas, para después etiquetarlos dentro de una de las clases que constituyen la leyenda de este trabajo. Posteriormente, se trasladaron los límites que componen cada una de las teselas a la base cartográfica de la ortofoto del SIG-Oleícola, que se utilizó como guía en la colocación de los vértices que conforman cada recinto (figura 2). De esta forma el resultado de

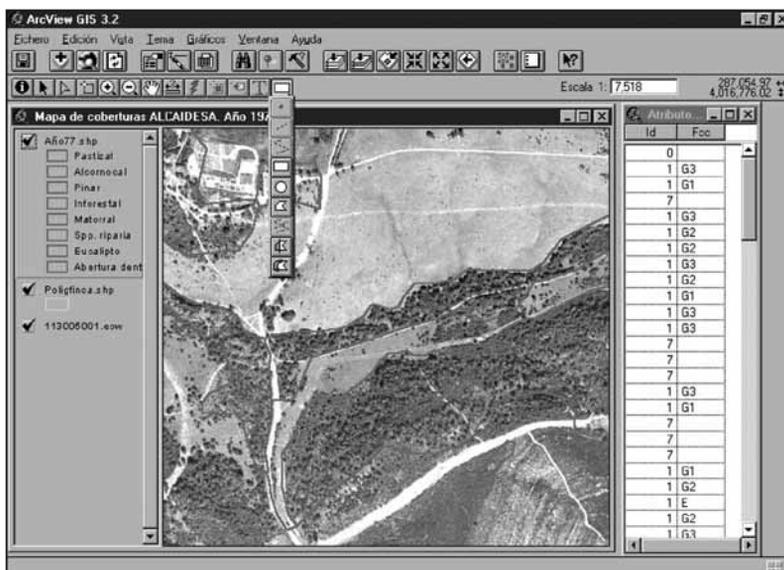


Figura 2 - Ventana del programa ArcView 3.2 usado en la digitalización de las teselas de vegetación.

Figure 2 - Screen of ArcView 3.2 used for photointerpretation of vegetation plot .

la digitalización es una capa de información georreferenciada que tiene asociada una tabla de atributos o base de datos editable que permite incorporar a cada uno de los recintos una o varias etiquetas.

Así, para cada uno de los años considerados se ha generado dentro del SIG *ArcView* 3.2 el mapa de coberturas de la finca como una capa de información vectorial. La base cartográfica utilizada en la georreferenciación de los resultados de la fotointerpretación ha sido la ortofotografía del SIG-Oleícola en proyección UTM, sistema de referencia local. La desviación que presenta dicha ortofoto respecto a los puntos GPS tomados directamente en campo es menor que la presenta el propio Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1: 10.000 en formato digital.

En segundo lugar, se ha evaluado la fracción de cabida cubierta (fcc de ahora en adelante) en las superficies sobre las que el alcornoque es especie predominante. La fcc se define como la suma de la proyección vertical de copas, para cada tesela en cuestión, por unidad de superficie. De forma similar a como se digitalizan en pantalla los mapas de coberturas vegetales para cada año, se trasladaron a la pantalla los recintos que componen unidades homogéneas para cada fcc.

La variable fcc es fácilmente estimable a través de fotografía aérea por la inmejorable perspectiva que presenta. La estimación de fcc para las teselas que presentan como especie principal «alcornoque», se realiza mediante comparación visual de cada imagen considerada con una plantilla previamente elegida. Estas plantillas de fcc están confeccionadas sobre un acetato transparente, en el se presentan pequeñas ventanas que simulan varias alternativas de configuración de pies y densidades para dar un intervalo de porcentaje de suelo cubierto. La plantilla de fcc está diseñada para una sola escala de fotograma, si bien la que se ha utilizado para este trabajo recoge en una misma lámina varias escalas. Los porcentajes de fcc se agruparon en los siguientes intervalos:

- Monte de alcornoque no adherado fcc > 50%
- Dehesa de alcornoque de espesura excesiva fcc 20-50%
- Dehesa de alcornoque de espesura normal fcc 10-20%
- Dehesa de alcornoque de espesura defectiva fcc 5-10%
- Pies aislados fcc < 5%

Un vez que se obtienen las correspondientes coberturas vectoriales de cada uno de los años considerados para las variables superficie ocupada por los tipos de vegetación principales y la fcc, se procede a analizar la evolución temporal producida. Ello se lleva a cabo mediante intersección de las capas de información obtenidas para cada fecha en las que se cuenta con información procedente de sensores remotos. La superposición de los mapas de coberturas presenta el inconveniente de originar una considerable cantidad de manchas de escasa superficie, produciendo un efecto indeseable de mosaico y una excesiva dispersión de la información. Por ello, se despreciaron aquellos polígonos de borde que proceden de las inevitables imprecisiones en los procesos de digitalización.

RESULTADOS

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos al inicio y final del periodo estudiado (1977 y 2000), así como el porcentaje que cada superficie representa con respecto al área total. De la misma forma en la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en la estimación de la fcc para alcornoque durante el mismo periodo.

Cabe reseñar, antes de comenzar a analizar los resultados obtenidos para el conjunto de los años de estudio, la mejora en la discriminación y delimitación de distintas cubiertas forestales presentes en el año 2000, a través de la imagen satélite IKONOS. El uso de un sen-

Clase de cobertura	Superficie 1977		Superficie 1992		Superficie 1995		Superficie 1998		Superficie 2000	
	ha	%								
1 Pastizal	273,85	21,32	246,39	19,17	254,17	19,77	270,73	21,06	256,71	19,98
2 Alcornocal	362,18	28,20	344,13	26,78	341,18	26,54	340,03	26,46	376,74	29,32
3 Pinar	105,14	8,19	180,16	14,02	180,38	14,03	180,38	14,04	288,66	22,46
4 Inforestal	2,11	0,16	2,41	0,19	3,83	0,30	3,83	0,30	5,83	0,45
5 Matorral	521,77	40,63	492,53	38,33	486,62	37,85	480,8	37,41	348,21	27,10
6 Vegetación arroyo	7,12	0,55	9,37	0,73	9,42	0,73	9,42	0,73	8,96	0,7
7 Eucalíptal	12,16	0,95	9,99	0,78	9,99	0,78	0	0	0	0
Superficie total	1.284,33	100,00	1.284,98	100,00	1.285,59	100,00	1.285,09	100,00	1.285,11	100,00

Nota: Existen pequeñas diferencias en la superficie total debido a la precisión de la digitalización.

Tabla 2 - Superficie (ha) de cada una de las clases de coberturas forestales identificadas por fotointerpretación para el periodo 1977-2000.

Table 2 - Area (ha) of the different forest cover types identified by photointerpretation in the period 1977-2000.

Clase de cobertura	Superficie 1977		Superficie 1992		Superficie 1995		Superficie 1998		Superficie 2000	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1 G0. Pies aislados	12,17	3,36	9,01	2,61	11,46	3,35	11,46	3,37	6,24	1,65
2 G1. 5-10%	105,44	29,11	63,01	18,30	62,05	18,10	61,72	18,15	114,46	30,38
3 G2. 10-20%	54,68	15,09	68,79	19,98	61	17,89	60,2	17,70	57,19	15,18
4 G3. 20-50%	185,13	51,11	203,32	59,08	206,67	60,57	206,65	60,77	198,85	52,78
5 E. > 50%	4,76	1,31	0	0	0	0	0	0	0	0
Superficie total	350,75	100,00	344,13	100	341,18	100,00	340,03	100,00	376,74	100,00

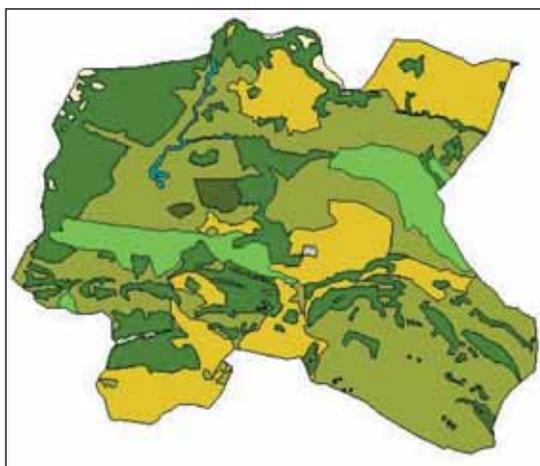
Tabla 3 - Superficie de cada una de las clases de fracción de cubierta cubierta (%) para alcornoque identificadas por fotointerpretación para el periodo 1977-2000.

Table 3 - Area of the different crown cover types for cork oak identified by photointerpretation in the period 1977-2000.

sor de mayor resolución espacial y espectral hace que algunos de los resultados deducidos al comparar con mapas de vegetación procedentes de fotografías aéreas no sean directamente interpretables, por lo que se trataran de manera separada.

La superficie ocupada por alcornocal, considerando el periodo 1977-1998, disminuye en un 6,2% (figura 3 y figura 4). Las formaciones de alcornocal se diferencian claramente en las fotografías aéreas de las de pinar, no tanto por

la distinta tonalidad en los niveles de gris, que es variable en función de la orientación, sino, de manera mucho más clara por la forma de las copas y la distribución espacial (tendencia a la regularidad en las repoblaciones forestales) de los pies dentro de cada uno de los tipos de masa. La tasa de pérdida de superficie de alcornocal es máxima durante el periodo 92-95 con un valor de 1,8 ha/año, seguido del intervalo 77-92 en el que se produjo una tasa de 1,018 ha/año y por último el 95-98 con pérdida de 0,31 ha/año.

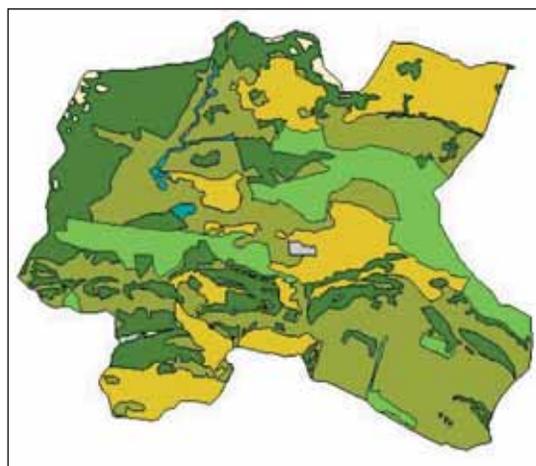


Clase de cobertura	Superficie	
	ha	(%)
1 Pastizal	273,85	21,32
2 Alcornocal	362,18	28,20
3 Pinar	105,14	8,19
4 Inforestal	2,11	0,16
5 Matorral	521,77	40,63
6 Vegetación arroyo	7,12	0,55
7 Eucaliptal	12,16	0,95
Superficie total	1.284,33	100,00

Nota: Existe pequeñas diferencias en la superficie total debido a la precisión de la digitalización.

Figura 3 - Resultado de la fotointerpretación de coberturas de vegetación en la finca La Alcaldesa a partir de fotografía aérea tomada en 1977. Escala de presentación de la figura 1: 60.000

Figure 3 - Area (ha) of the different forest cover types identified by photointerpretation in 1977 at Alcaldesa forests. Scale 1:60.000.



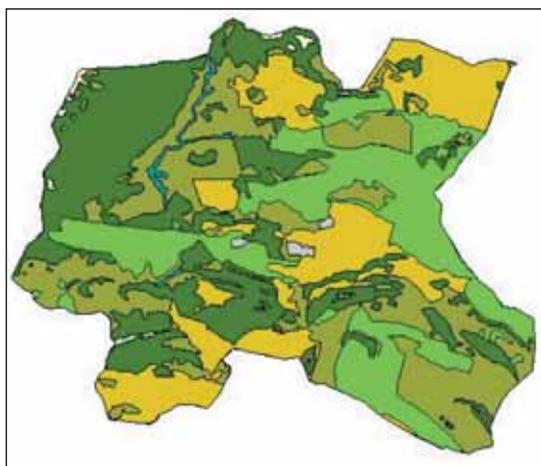
Clase de cobertura	Superficie	
	ha	(%)
1 Pastizal	270,73	21,06
2 Alcornocal	340,03	26,46
3 Pinar	180,38	14,04
4 Inforestal	3,83	0,30
5 Matorral	480,8	37,41
6 Vegetación arroyo	9,42	0,73
7 Eucaliptal	0	0
Superficie total	1.285,09	100,00

Nota: Existe pequeñas diferencias en la superficie total debido a la precisión de la digitalización.

Figura 4 - Resultado de la fotointerpretación de coberturas de vegetación en la finca La Alcaldesa a partir de ortofotografía aérea tomada en enero de 1998. Escala de presentación de la figura 1: 60.000

Figure 4 - Area (ha) of the different forest cover types identified by photointerpretation in 1998 at Alcaldesa forests. Scale 1:60.000.

La superficie de la categoría alcornoque para el año 2000 experimenta un «aparente» incremento con respecto al año 98 (figura 5). El aumento de la superficie de alcornoque no es atribuible a una expansión real de la masa, sino a la mejora en las características de la imagen utilizada como fuente de información para el año 2000 (registro multispectral frente a pancromático de fechas anteriores). Se incluyen nuevas áreas de alcornoque presentes en la finca que anteriormente habían pasado desapercibidas, siendo catalogadas en años anteriores



Clase de cobertura	Superficie	
	ha	(%)
1 Pastizal	256,71	19,98
2 Alcornoque	376,74	29,32
3 Pinar	288,66	22,46
4 Inforestal	5,83	0,45
5 Matorral	348,21	27,10
6 Vegetación arroyo	8,96	0,7
7 Eucaliptal	0	0
Superficie total	1.285,09	100,00

Nota: Existe pequeñas diferencias en la superficie total debido a la precisión de la digitalización.

Figura 5 - Resultado de la fotointerpretación de coberturas de vegetación en la finca La Alcaldesa a partir de imagen IKONOS fusión adquirida en Octubre del año 2000. Escala de presentación de la figura 1: 60.000.

Figure 4 - Area (ha) of the different forest cover types identified by photointerpretation of IKONOS in 2000 at Alcaldesa forests. Scale 1:60.000.

principalmente como matorral, por lo que esta categoría de cobertura experimenta un fuerte descenso en la última estimación (año 2000).

La fcc de alcornoque predominante en la finca de estudio, es la representada por la categoría entre el 20-50%, con una superficie en torno a 200 ha para el conjunto de años considerados. El cambio más importante en términos de fcc, sin considerar el periodo entre 1998 y 2000, es el descenso de 42 ha para el intervalo de fcc 5-10% producido entre 1977 y 1992. La disminución para esta fcc se produce no sólo por un cambio de la masa a categorías de superior fcc sino, sobre todo, por una desaparición de superficies catalogadas como de alcornoque que pasan a ser ocupadas por matorral. Aunque los datos de evolución del matorral experimentan en ese periodo una disminución, un análisis más cuidadoso de las superficies permite observar que se debe al balance negativo entre el incremento de la superficie de pinar mediante repoblación forestal de terrenos de matorral y el incremento de la superficie de matorral procedentes de las categorías de alcornoque de menor fcc.

La cobertura de vegetación de matorral es la predominante en el área de estudio para el periodo 1977-1998, siendo predominante en esta categoría las formaciones de hergüen (*Calicotome villosa*). El matorral de hergüen se caracteriza en las fotografías aéreas con un tono fuerte (oscuro) y una textura muy fina lo que la hace fácilmente distinguible de las demás cubiertas vegetales. La categoría matorral ocupa los mayores porcentajes absolutos respecto al área total si bien se observa que su representación va en ligero retroceso desde las 521 ha en el año 77 hasta las 480 ha en el 1998. Entre el año 1977 y 1992 son 15 y 69 las hectáreas que pasan de ser ocupadas por matorral a alcornoque y pinar respectivamente, disminuyendo un 5% la extensión con respecto al primer año, debido en gran parte a la repoblación realizada con *Pinus pinea* en el cuadrante Este de la finca. Entre los años 92 y 98 el descenso en la superficie ocupada por el matorral es de 6 ha en cada intervalo, pasando a categorías pastizal y pinar. En el año 2000 la superficie

ocupada por matorral es la menor de toda la serie temporal considerada, al mejorarse sobre la imagen satélite la fotointerpretación de pequeñas manchas de repoblaciones de pinar en estado de repoblado que anteriormente se presentaban en las fotografías aéreas como zonas de matorral.

Las nuevas áreas de alcornocal reconocidas sobre la imagen satélite IKONOS, se corresponden con zonas de baja fcc. Esto explica el aumento de la categoría de fcc 5-10%, cuya superficie en el año 1998 es de 61,7 ha, presentando para el año 2000 un valor de 114,4 ha.

La tendencia seguida por la categoría pinar muestra dos claros incrementos en los periodos 1977-1992 y 1998-2000. Esta categoría se presenta en el área de estudio bajo la forma de repoblación mono-específica de *Pinus pinea*, aumentado su superficie desde las 105 ha digitalizadas en el primer año de estudio, hasta las 288 ha en el mapa de coberturas del año 2000. Las zonas repobladas se reconocen en las fotografías aéreas más fácilmente por la observación de la preparación del terreno que por la posible diferenciación del arbolado, en particular cuando corresponde a la clase natural de edad de repoblado y monte bravo. Entre 1977 y 1992 la categoría pinar pasa de ocupar 105 ha a 180 ha debido a la repoblación realizada en el cuadrante Este de la finca, como ya se ha mencionado anteriormente, mientras que entre los años 1998 y 2000 se reconocen sobre la imagen satélite algo más de 100 ha nuevas de pinar, procedentes tanto de nuevas repoblaciones como de una mejor identificación de repoblaciones jóvenes con presencia de matorral, que en clasificaciones previas se habían asignado dentro de la categoría de matorral. En ambos casos las repoblaciones se asientan sobre antiguas áreas de matorral.

La superficie del pastizal presente en la finca no muestra grandes cambios, manteniéndose alrededor de las 250 ha. Los pastizales se presentan como amplias extensiones llanas de terreno donde el pastoreo rescinde el crecimiento de especies leñosas. Estos son fácilmente reconocibles en los fotogramas por la tonalidad

clara que muestran frente a las restantes coberturas vegetales. Algo más complejo supone el reconocimiento del eucaliptal que vegeta en la parte Sur de la Loma de la Puerca con una extensión de 12 ha. La delimitación del perímetro de la tesela se resuelve a través de delimitar en el fotograma la superficie homogénea observada. En su incorporación como cobertura de eucaliptal se recurre a información de la gestión llevada a cabo en la finca. La superficie liberada por la tala del eucaliptal aparece ocupada en el mapa de vegetación del año 1998 por pastizal.

DISCUSIÓN

El nivel tecnológico actual ha posibilitado la puesta a punto de nuevas técnicas para la obtención de datos de mayor detalle de la superficie terrestre (hasta llegar a los satélites de alta resolución como es el caso del satélite IKONOS o del QuickBird, de 1 y 0,60 metros de resolución espacial, respectivamente). De la misma manera las aplicaciones de la fotografía aérea se han ido ampliando, de forma paralela al progreso técnico de las cámaras fotográficas, películas y filtros, y al uso de nuevas emulsiones. De ello, se ha derivado una mejora en la calidad y cantidad de los datos proporcionados por la fotografía, que ha permitido un importante desarrollo en el campo de la fotogrametría y la fotointerpretación.

El nuevo desarrollo de la teledetección espacial y las imágenes de alta resolución espacial debe entenderse como una fuente de información complementaria a la fotogrametría, pues si las imágenes obtenidas por sensores espaciales, se están consolidando como la fuente principal de información para los estudios a pequeña escala y para el análisis de la dinámica de fenómenos de ciclo temporal corto (CHUVIECO 1996; MICHENER y HOUHOU-LIS 1997), la fotografía aérea convencional, además de para estudios de evolución histórica, continúa siendo imprescindible para el análisis de todo tipo de fenómenos que requieran el manejo de escalas mayores (FERNÁNDEZ GARCÍA 2000).

En el ámbito forestal, la aplicación más importante derivada del uso de la fotografía aérea, ha sido y es el estudio de la vegetación de una determinada zona, ya que se reduce considerablemente la cantidad de trabajo de campo necesario para obtener una fiabilidad similar a la conseguida mediante métodos inventariales clásicos. Esta aplicación quedó consolidada en la década de los 90 mediante la confección del Mapa Forestal de España (RUIZ DE LA TORRE 1990) basado en la interpretación de fotogramas aéreos, generando una cartografía forestal para todo el territorio nacional.

Pese a la clara potencialidad que presenta el uso de la fotografía aérea en el estudio del estado de la vegetación forestal, existen muy pocos antecedentes que traten específicamente esta aplicación. De ellos destaca el trabajo de CALZADO, 2000 que se concreta en una guía práctica de fotointerpretación de los principales tipos de vegetación presentes en Andalucía. El estudio detallado de la apariencia que presentan las masas forestales en los fotogramas, a través de características como la textura, el tono, las formas, el tamaños, etc., permite la discriminación de las cubiertas vegetales y la elaboración de los correspondientes mapas de coberturas de vegetación. Por otro lado, el seguimiento de la dinámica en las coberturas de vegetación a través de la fotointerpretación de los fondos fotográficos nacionales ha sido abordado en diversos estudios (FERNÁNDEZ GARCÍA 2000). Sin embargo, es importante desarrollar estudios específicos de cambios en la cubierta vegetal, en particular asociados a procesos de decaimiento generalizado de la vegetación, como ocurre con la *seca* sobre encinares y alcornoques.

En este trabajo, el uso de un conjunto de fotografías aéreas de fechas comprendidas entre 1977 y 1998 ha permitido evaluar los cambios sufridos por la vegetación en la finca «la Alcaldesa», tanto en el ámbito de unidades de vegetación como de fcc para el caso del alcornoque. El uso de una imagen IKONOS, de alta resolución espacial, ha permitido una reclasificación de las teselas de vegetación, mejorando la identificación visual de algunos tipos de ve-

getación. El cambio de las superficies de cada cubierta forestal, dificulta la comparación temporal en el periodo 1998-2000, pero analizando los cambios entre categorías parece confirmarse una tendencia a un deterioro progresivo del monte alcornocal en esta zona.

Los resultados de este trabajo muestran un descenso de la superficie del alcornocal de un 1,74% (22,15 ha) respecto al primer año considerado. Las causas que justifican dicha variación podrían ser muy diversas, desde cambios de uso del suelo, influencia del pastoreo, etc. Sin embargo, nosotros nos inclinamos a justificar dicha reducción como consecuencia del proceso de decaimiento en monte alcornocal. El proceso de «ahuecamiento» y «matorralización» de alcornoques de densidad defectiva es una característica típica de los procesos de daños por decaimiento forestal (NAVARRO y FERNÁNDEZ 2000). Los inventarios de campo han puesto en evidencia un importante proceso de deterioro de la masa (figura 1), con una clara pérdida de vigor del árbolado, y la presencia de numerosos agentes bióticos (*Diplodia sp.*; *Platypus cylindrus*), que están produciendo daños importantes en el alcornocal. Por otro lado, esta bien documentada la pérdida de existencias de alcornoque en los montes de San Roque y Los Barrios (SÁNCHEZ 2000), que se traduce en una reducción de las producciones de corcho.

Los daños producidos por los procesos de decaimiento suelen presentar un patrón poco definido, siendo escasos los casos en los cuales se producen muertes masivas y continuas del árbolado, en particular en el caso de la *seca* de *Quercus* (SÁNCHEZ *et al.* 2000). Las masas afectadas suelen sufrir un progresivo «ahuecamiento», mediante la pérdida progresiva de árbolado, lo cual conduce a una reducción de la fcc. La metodología adoptada en este trabajo para la estimación de la fcc se basa en la comparación de la estructura de la masa con respecto a distintos patrones de distribución de pies, fijados sobre plantillas transparentes, confirmando su utilidad como herramienta adicional en el proceso de fotointerpretación. Los resultados obtenidos confirman el proceso

antes mencionado, con una brusca caída de la superficie de dehesas huecas (oquedales) de alcornoque durante el periodo 1977-1992, tendencia, que aunque muy lentamente se mantiene durante el periodo 1992-1998.

A modo de conclusión, la información recogida mediante sensores remotos (fotografía aérea e imagen de satélite de alta resolución) es útil en el seguimiento de la dinámica de ecosistemas forestales mediterráneos frente a grandes perturbaciones. La incorporación de esta información a un SIG se muestra de especial interés ya que permite evaluar cambios producidos en la cubierta forestal. Los procesos de decaimiento forestal, como un tipo cada vez más frecuente de perturbación en ecosistemas forestales, pueden ser evaluados a través de los medios que aporta la teledetección. Debe buscarse una adecuada complementariedad entre las distintas fuentes de información actuales, tanto las que incorporan información procedente del terreno (inventarios de campo, censo de daños, mapas de usos de suelo, etc.) como las que proceden de sensores remotos (fotografía aérea, nuevos sensores satélites de alta resolución), con el objetivo de conseguir un sistema eficaz, fiable y económico para la detección y seguimiento de los daños ocasionados por la *seca* de *Quercus* en la región mediterránea. La información procedente de teledetección permite

evaluar cambios globales de las cubiertas forestales, y un análisis sobre el terreno puede ayudar a identificar el origen de esos cambios. En el estudio realizado en el monte «la Alcaidesa» a partir de las fotografías aéreas para el periodo 1977-1998 se ha podido estimar que la masa de *Quercus suber* en el área de estudio está en retroceso, disminuyendo un 6,2% la superficie total con respecto al año de partida. El diagnóstico de campo, y los estudios de evolución temporal de las producciones de corcho parecen indicar que la *seca* es la causa principal de esta merma del alcornocal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado bajo la supervisión del Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales y el Departamento de Plagas y Enfermedades de la Dirección General de Gestión del Medio Natural de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía a través del Convenio *Seguimiento de los daños de seca sobre masas de Quercus en Andalucía. Propuesta de soluciones*.

El trabajo forma parte de las conclusiones del proyecto FEDER (1FD97-0911-C03-03), *Causas del decaimiento y seca de las masas de Quercus L. mediterráneas. Técnicas de amortiguamiento*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDRICH, R.C. 1975. Detecting disturbances in a forest environment. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 41: 39-48.
- AVERY, T.E., 1977. *Interpretation of Aerial Photographs*. Burgess Publishing Company. Minneapolis.
- CALZADO MARTÍNEZ, C. 2000. Discriminación por fotointerpretación de las principales masas forestales de Andalucía. Proyecto Fin de Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba. España.
- CANO, F., NAVARRO, R.M. & GARCÍA, A. 2003. Clasificación de la vegetación en un monte alcornocal mediante imágenes IKONOS. *Revista de la Asociación Española de Teledetección* (en prensa).
- CHUVIECO SALINERO, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rialp. Madrid, España.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. 2000. *Introducción a la fotointerpretación*. Ariel. Barcelona.
- GRANICA, K., KAHABKA, H., CARNEBOLLA, S. & HÄUSLER, T. 1999. Assessment of Defoliation in Spruce, Pine and Broad-leaved Forest with IRS-1c and Landsat TM; case studies in SEMEFOR.GAF. Arnulfstr. 197, 80634 Munich, Germany.

- LÓPEZ CADENAS, F. & GARCÍA BÁRDENAS, V. 1968. Aplicación de la fotografía aérea en los proyectos de restauración hidrológico-forestal. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca fluvial; Instituto Forestal de Investigación y Experiencias. Madrid.
- LÓPEZ CUERVO & ESTÉVEZ, S. 1996. Topografía. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- MANION, P.D. & LACHANCE, D. (eds). 1992. Forest decline concepts. Am. Phytopathol. Soc., St. Paul.
- MICHENER, W.K. & HOUHOULIS, P. 1997. Identification and assessment of natural disturbances in forested ecosystems: the role of GIS and Remote Sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 63: 1363-1347.
- MUCHONEY, D.M. & HAACK, B.N. 1994. Change detection for monitoring forest defoliation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 60(10): 1243-1251.
- NAVARRO, R.M. & FERNÁNDEZ, P. 2000. El síndrome de la seca del encinar. Propuesta de solución para el Valle de los Pedroches (Córdoba). Fundación Ricardo Delgado Vizcaíno.
- NAVARRO, R.M., FERNÁNDEZ, P. & RUIZ, J. 2000. Manual de Campo para el Inventario de Daños Sobre Masas de *Quercus* afectadas de daños de *seca*. Manuscrito no publicado.
- PAINE, D.P. 1981. *Aerial Photography and Image Interpretation for Resource Management*. John Wiley & Sons, Inc., New York City, NY. 571 pp.
- PARENT, P. 1991. Digital orthophotography provides a new tool for GIS database integration. *GIS World* 4(11): 48-49.
- PHILIPSON, W.R. 1997. *Manual of photographic interpretation*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. New York.
- RUIZ DE LA TORRE, J.R. 1990. Mapa Forestal de España e 1:200.000. ICONA. Madrid.
- SÁNCHEZ GARCÍA, J.M. 2000. Manejo histórico, viabilidad de las masas actuales, regeneración natural y repoblación artificial de los alcornocales gaditanos. Manuscrito no publicado.
- SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, E., NAVARRO CERRILLO, R.M.^a, TRAPERO CASAS, A.J. 2000. La «seca» de encinas y alcornoques: Una visión histórica. *Montes* 62: (29-40).