

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

E. ROMERO DE LOS REYES, R. M^a NAVARRO CERRILLO, A. GARCÍA-FERRER PORRAS

El objetivo de este trabajo fue estudiar la aplicación de ortofotos digitales para evaluar la pérdida de arbolado de encina en dehesas del Andévalo (Huelva), asociado a procesos de decaimiento. Se trata de una de las zonas que presenta uno de los mayores niveles de daños por decaimiento forestal en Andalucía, pudiéndose observar numerosos rodales e individuos muertos. El trabajo se realizó a partir de las ortofotos de 1997 y 2002 mediante un proceso de binarización de las coberturas digitales. La pérdida de arbolado estimado en número de pies para ocho municipios fue de 93.608 individuos, con una pérdida media de fracción de cabida cubierta por término municipal del 7,2%.

E. ROMERO DE LOS REYES, R. M^a NAVARRO CERRILLO. Departamento de Ingeniería Forestal-Universidad de Córdoba. Apartado de correos 3048 (14080 Córdoba-España). E-mail: irlnacer@uco.es

A. GARCÍA-FERRER PORRAS. Departamento de Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica.

Palabras clave: ortofotos digitales, evaluación de daños, *seca*.

INTRODUCCIÓN

La dehesa es un sistema agrosilvopastoral de uso múltiple, fundamentalmente dedicado a la ganadería extensiva, donde destaca la presencia de un arbolado disperso, principalmente de especies del género *Quercus* (SAN MIGUEL, 1994). Según los datos ofrecidos por la RED NATURA 2000 la dehesa ocupa 12,5 millones de hectáreas en España, lo que supone el 23,4% de la superficie nacional. En Andalucía, cubre 780.000 ha, siendo el paisaje más característico de muchas comarcas.

El momento crítico que atraviesa en estos momentos la dehesa se debe en gran medida al mal estado selvícola de las masas de *Quercus* y a la presencia de procesos de decaimiento o *secas* (NAVARRO *et al.*, 2004).

El análisis de las características de los focos y la identificación de los agentes bióticos presentes en cada provincia (NAVARRO *et al.*, 2004) supuso el punto de partida para una primera biogeografía de la *seca* en Andalucía, caracterizando cuatro grandes áreas que responden a situaciones bien diferenciadas. La biogeografía facilita el diagnóstico de *seca* en Andalucía ya que permite diferenciar, con razonable seguridad, los agentes bióticos y abióticos más relevantes en cada provincia o comarca. En Andalucía occidental el patrón de daños se caracteriza por focos de tamaño pequeño, con un porcentaje medio de pies afectados, con patrones de distribución al azar en el terreno, y dominancia de muertes progresivas. Los daños han sido relacionados claramente con la presencia de *Phytophthora cinnamomi* Rands, a partir de

un muestreo realizado en 28 explotaciones en la comarca (SÁNCHEZ *et al.*, 2003).

Los síntomas de esta enfermedad radical se manifiestan por la presencia de grandes grupos o focos de árboles sintomáticos, situados preferentemente en valles o depresiones topográficas, o en zonas estacionalmente encharcadizas, aunque también se detecta en zonas alteradas, como márgenes de caminos o áreas que soportan altas cargas ganaderas (SÁNCHEZ *et al.*, 2000; 2002). Los síntomas aéreos de la enfermedad (clorosis y marchitez foliar, defoliación, puntisecado de ramas) se corresponden con los síntomas radicales de muerte y/o ausencia de raicillas absorbentes (SÁNCHEZ *et al.*, 2000).

En estas circunstancias, la detección y el seguimiento del fenómeno de la *seca* en un área tan extensa como es Andalucía no tiene una fácil solución. Los medios que aportan la teledetección (fotografía aérea e imágenes de satélite) son capaces de dar una representación cartográfica precisa de procesos asociados a ecosistemas forestales. La fotografía aérea, considerada como una parte de la teledetección, puede salvar algunos de los inconvenientes que presenta la inventariación en campo, siempre que sean usados de una forma correcta (AVERY, 1977; LÓPEZ, 1996). La teledetección es una técnica cada vez más aplicada para los estudios de vegetación, al reducir el coste y el tiempo invertido en la interpretación de cubiertas forestales (HOLMGREN y THURESSON, 1998). Así por ejemplo, son muchos los estudios que revelan la utilidad imágenes de diferentes sensores en la evaluación de daños en ecosistemas forestales (HOLMGREN y THURESSON, 1998; CANO *et al.*, 2005).

En los últimos años, el desarrollo de sensores de alta resolución, y nuevos productos fotogramétricos, como las ortofotografías digitales, ha aumentado el ámbito de aplicaciones forestales de este tipo de productos, pero también plantea la necesidad de experimentar y corroborar la validez y viabilidad de estas nuevas fuentes de información antes de generalizar su uso, tanto cuantitativos (RUIZ DE LA TORRE, 1990; PHILIPSON, 1997), como

cuantitativos (MUCHONEY y HAACK, 1994; HAARA y NEVALAINEN, 2002). En concreto, el uso de emulsiones de infrarrojo (falso color) ha permitido estudiar el grado de vigor del arbolado y la afección de plagas y enfermedades (FERNÁNDEZ, 2000). Esto se debe a que la vegetación sana o vigorosa posee una reducida reflectividad en las bandas visibles, con un máximo relativo en la porción verde del espectro y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano. Esta elevada reflectividad de la vegetación en la banda del infrarrojo cercano se ha asociado tradicionalmente al estado de vigor de la planta, la proporción de cobertura verde y su buen estado foliar. Esta información aportada por las imágenes de satélites hace que en un futuro sean los soportes adecuados para realizar nuevos estudios del estado de la vegetación. La ortofotografía es, como resultado de una serie de tratamientos, un producto cartográfico georreferenciado y corregido de deformaciones, manteniendo toda la información de la fotografía aérea, lo que permite medir a escala tanto distancias como superficies, garantizando el ajuste con mapas existentes a la misma escala. La fotogrametría y la fotointerpretación han sido y siguen siendo herramientas muy útiles en tareas de gestión forestal (LÓPEZ 1996; FERNÁNDEZ, 2000). No sólo no han sido desplazadas por nuevas técnicas o nuevos sensores sino que se han mejorado mediante la implantación de nuevos productos o por las nuevas posibilidades de aplicación derivadas de la informática (WULDER *et al.*, 2006).

El objetivo de este trabajo es estudiar las posibilidades de la fotointerpretación digital para evaluar la reducción de la fracción de cubida cubierta y del número de individuos en encinares adhesados de la comarca del Andévalo occidental (Huelva) a partir de una secuencia de ortofotos correspondientes a 1997 y 2002.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

La comarca del Andévalo occidental se corresponde con una penillanura ondulada, de

pequeña altitud, en las que las zonas más accidentadas se localizan al suroeste de la misma, con 613 m en el cerro Cabezo Gordo. En esta zona se suceden, en dirección noroeste-sureste, las sierras Madroñera, Aguaría, Tres Piedras, Vaca, Granado y Tallisca, con alturas inferiores a los 300 m. Más hacia el sur cabe destacar las sierras de la Estrella y del Águila, ubicándose en esta última el alto de su mismo nombre en el que se alcanzan los 385 m de altitud. La gran mayoría de los suelos de la comarca pertenecen al orden Inceptisol. Se trata de suelos, en general, pobres, ácidos, y de texturas normalmente gruesas. Constituyen, por tanto, terrenos de baja fertilidad para los cultivos, a excepción de las zonas con posiciones fisiográficas más favorecidas, estando ocupadas gran parte de ellas por dehesas.

En el Andévalo occidental la superficie forestal supone el 86% de la superficie comarcal, correspondiendo a aquellas zonas que debido a las limitaciones fisiográficas no son aptas para el laboreo, o éste se da de forma esporádica para el mantenimiento de pastos y monte (Fig. 1). La superficie forestal arbolada es la más abundante, con más de 133.000 ha. Las coníferas ocupan una superficie algo mayor de 2700 ha, estando constituidas principalmente por pino negral (*Pinus pinaster* Aiton.) y piñonero (*Pinus pinea* L.). Los *Quercus* presentes son fundamentalmente encina (*Q. ilex* L. subs. *ballota* (Desf.) Samp.) y alcornoque (*Q. suber* L.), que conforman las dehesas de la zona. En los últimos años se han realizado numerosas repoblaciones en el Andévalo,

como parte del programa de forestación de tierras agrarias, lo que ha supuesto un contribución muy notable a la creación de nuevas dehesas, con una superficie total establecida de 53.543 ha. Por último, existen 155.500 ha de matorral, que ocupan un 67% de la comarca. La composición de matorral es muy variable en función de la altitud, la calidad de los suelos, la proximidad del mar, o la pluviometría, aunque predominan las formaciones de *Cistaceas* (*Cistus ladanifer* L., *Cistus crispus* L., *Cistus monspeliensis* L.) y retamares (*Retama monosperma* (L.) Boiss., *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss.).

Ortofotografías utilizadas

El nivel de información ofrecido por la fotografía aérea es limitado y depende de su escala y la emulsión fotográfica a la que corresponde. Las ortofotografías que han servido de apoyo para la realización de este estudio son en blanco y negro, en formato digital, correspondientes a los dos vuelos más recientes disponibles de la zona de estudio (Cuadro 1).

Metodología

Revisión de la cobertura inicial de dehesa

La zona objeto de estudio se restringió a los términos municipales de Cabezas Rubias, El Cerro del Andévalo, Paymogo, Sanlúcar de Guadiana, San Silvestre de Guzmán, Villanueva de las Cruces, Alosno, y El Granado (Fig.1).

El concepto de dehesa que se ha empleado en la elaboración de la cartografía inicial

Cuadro 1. Características de las ortofotos utilizadas en este estudio.

Año de vuelo	Formato	Origen	Sistema de referencia	Sistema de proyección	Escala
1997-1998	.ecw	MAPA SIG oleícola	European Datum 1950	Universal Transverse Marcador. Huso 30	1:20.000
2001-2002	.ecw Resolución geométrica 0,5 m Resolución radiométrica 8 bits	CMA-Junta de Andalucía	European Datum 1950	Universal Transverse Marcador. Huso 30	1:20.000

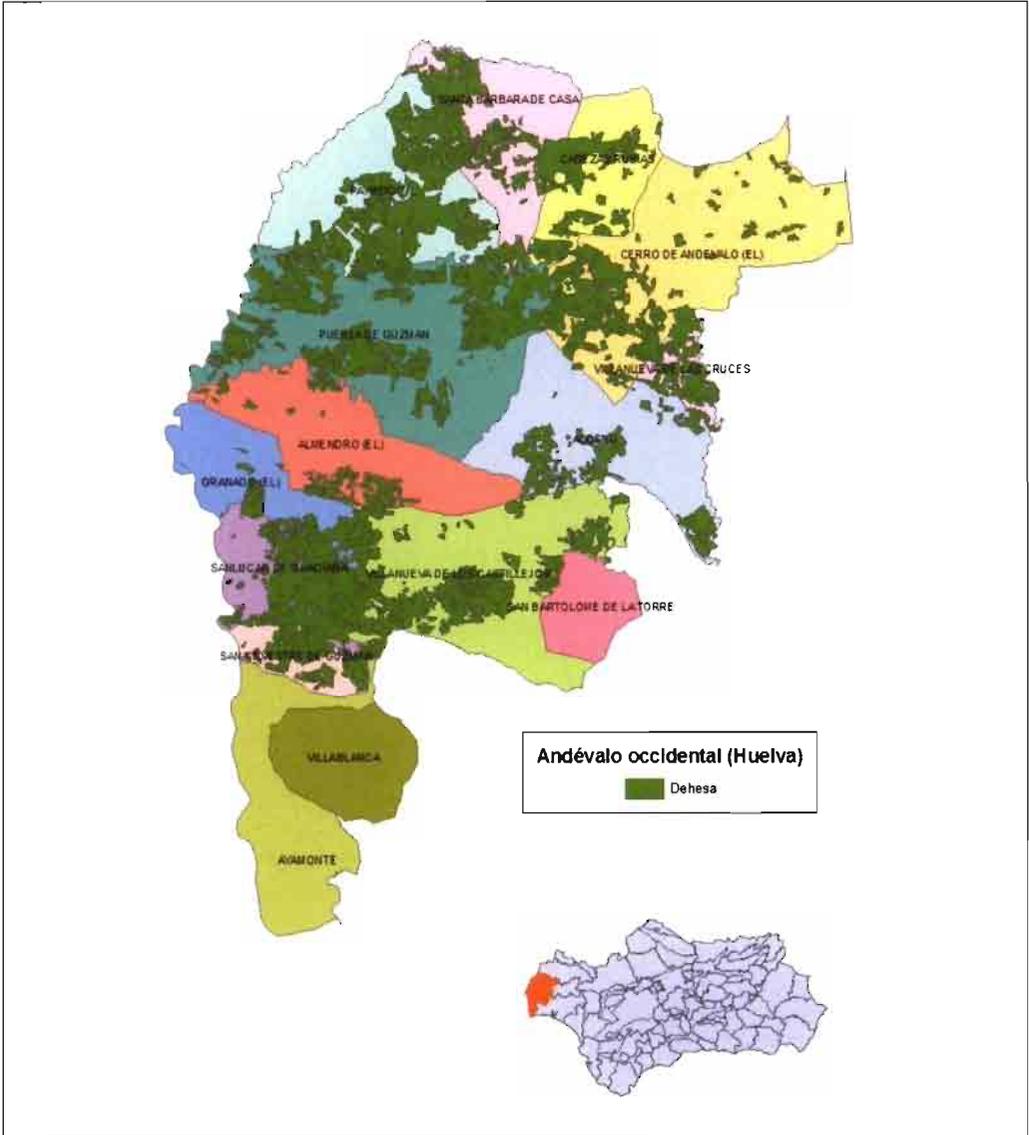


Figura 1. Distribución de la dehesa en la comarca del Andévalo occidental.

correspondió a todo el monte de encinas con fracción de cabida cubierta (fcc) superior al 5% e inferiores del 50%. La determinación de la cobertura inicial de dehesa se hizo utilizando la Cartografía de dehesa de Andalucía (CMA-EGMASA, 2005), seleccionando aquellos tipos de coberturas que a priori

corresponden a los valores de fcc seleccionados. Por otro lado, se eliminaron la dehesa que en la leyenda previa presentaban un subpiso de matorral, en las que la fotointerpretación no discrimina las copas de las encinas entre la vegetación que cubre el suelo. Se realizó un proceso de verificación, compro-

bando en las fotos que la cobertura seleccionada correspondía a encinares adherados de acuerdo a los criterios previos, y mediante el contraste tonal, la textura, la apariencia de copas, y la sombra (FERNÁNDEZ, 2000). Algunas de las teselas se eliminaron al comprobar visualmente sobre las ortofotos que representaban zonas de dehesa con excesivo matorral en el subpiso y que, por lo tanto, dificultarían el proceso de binarización.

Generación de cobertura binaria de la dehesa

Una vez generada la cobertura inicial de dehesa, se procedió a un proceso de *binarización* de las ortofotos. Dicho proceso consiste en cambiar la apariencia de la ortofoto, de modo que para cada píxel de la imagen, los diferentes valores de reflectancia se agrupan en dos rangos, a los que se les asignará el valor 0 y 1 respectivamente, según correspondan a la copa de una encina o a otro tipo de cubierta (suelo, pasto, etc.). Las ortofotos de los años 1997-1998 y 2001-2002 presentan diferentes características que se aprecia en la visualización de las mismas. Las características espectrales de los píxeles que corresponden a las encinas varían de unas a otras, ya que también cambia el nivel de resolución de cada una. Así se establecieron dos rangos diferentes de reflectancia distintos para cada vuelo (Cuadro 2).

El resultado obtenido es una imagen en la que aparecen solamente dos colores, cada uno de ellos asignado a uno de los grupos de reflectancia definidos. Así se obtiene por una parte la copa de las encinas y la sombra proyectada por el árbol y, por otro, el resto de elementos de la imagen de partida. El proce-

so de trabajo seguido para generar la cobertura binaria fue el siguiente:

Generación de una cobertura raster de cada ortofoto por separado para simplificar el proceso.

Intersección de las ortofotos en formato raster 1997-1998 con las Hojas de Andalucía a escala 1:10.000 (ICA, 1992), por lo que cada ortofoto quedó dividida en 16 secciones de escala 1:10.000 cada una. Las ortofotos del período 2001-2002 ya venían divididas según las hojas 1:10.000.

Reclasificación de los valores de reflectancia de la ortofoto en dos grupos según se tratase de las imágenes antiguas o las más recientes. La modificación afectó sólo a los píxeles que pertenecían a las zonas de dehesa en cada cobertura de las ortofotos (Fig. 1).

Aplicación en dos ocasiones de un filtro de media, para borrar las pequeñas unidades que no se correspondían con las copas de los árboles tras la binarización.

Conversión del formato raster de partida a un formato shp., para facilitar el trabajo posterior.

Intersección de las coberturas shp. de dehesa con las hojas 1:10.000, para eliminar el solape de las mismas debido al sesgo que tienen las ortofotos.

Eliminar de la imagen aquellas estructuras de superficie mayor y menor que el rango asignado a la superficie de la copa de las encinas. Se consideró un tamaño mínimo de copa de 12 m², que se corresponde con una copa de radio 1,95 m. Este dato se apoya en los trabajos de campo realizados, en los que se determinó este valor de radio a partir de cual se podía considerar que se trataba de

Cuadro 2. Intervalos de reflectancia utilizados en cada ortofoto para el proceso de binarización de la cobertura de dehesa.

Año de vuelo	Copa de encina	Otras superficies
1997-1998	0-105 Negro hasta diferentes tonos de grises	105-255 Resto de escala de grises hasta blanco
2001-2002	0-120 Negro hasta diferentes tonos de grises	120-255 Resto de escala de grises hasta blanco

una encina de porte arbóreo y no vegetación arbustiva, o encinas de porte arbustivo.

Generación de una máscara en cada ortofoto para eliminar del estudio las zonas de dehesa *matorralizada* y elementos de distorsión, como por ejemplo embalses, edificaciones, carreteras y caminos.

Cálculo de la superficie de encinar según los términos municipales para el intervalo 1997-1998 y para 2001-2002. El resultado obtenido es la suma de la superficie real de la copa más la proyección de la sombra, ya que en el proceso de binarización no se discrimina entre copa y sombra proyectada por la misma.

Obtención de un factor de corrección de sombra para cada año de vuelo de las ortofotos, para obtener la superficie definitiva que representase sólo la superficie de la copa de la encina. Para el cálculo de este factor se emplearon los datos obtenidos a partir de las parcelas de campo.

Parcelas de campo

Con el objetivo de apoyar en campo la interpretación de las ortofotos se establecieron un total de 24 parcelas en campo. El criterio de elección de estas parcelas fue:

Situárlas en aquellas zonas tipificadas como dehesa.

Facilidad de acceso y cercanía a las vías de comunicación.

Posibilidad de identificar visualmente en la ortofoto los ejemplares de encina de modo que fuese sencillo establecer la parcela en el monte.

Evitar, en lo posible, aquellas parcelas situadas en zonas de densidad elevada, en las que hubiese tangencia de copas que dificultase el cálculo de superficie ocupada por la copa de cada pie.

Una vez seleccionados los puntos de muestreo se establecieron parcelas cuadradas de 30x30 m. El tamaño permitió un replanteo rápido y sencillo de las mismas, así como su identificación en las ortofotos del año 2002 ampliadas a escala 1:3000. En cada parcela se tomaron los diámetros cruzados de la proyección de la copa, y el diámetro

normal. También se tomó una foto de cada parcela como prueba del estado fisiológico en el que se encuentran los ejemplares.

Generación del modelo de sombra

A partir de los datos de campo se estableció una relación numérica entre el valor real de la proyección de la copa respecto a lo observado en cada ortofoto, obteniéndose los factores de corrección para calcular el valor definitivo de fracción de cabida cubierta:

Factor de corrección 2002 0,779

Factor de corrección 1997 0,762

Los valores de las áreas procedentes de las ortofotos binarizadas se corrigieron por el factor correspondiente según el año de vuelo de cada imagen.

Generación de cartografía de cambio

Se crearon tablas para cada uno de los municipios estudiados para evaluar la pérdida de arbolado en el periodo objeto de estudio, expresado en número de pies y fracción de cabida cubierta. Las bases de datos asociadas a la binarización se pasaron a una hoja de cálculo donde de manera sencilla se calcularon los valores totales.

RESULTADOS

Binarización

El primer paso metodológico fue el proceso de binarización, que produjo una imagen en dos colores que representan los dos grupos de valores de reflectancia de los píxeles de la ortofotografía (Figura 2). En esa figura se puede observarse la discriminación entre los polígonos de vegetación (copas y rodales continuos de árboles y/o matorral) y el suelo desnudo.

La aparición de pequeños grupos de píxeles en la imagen (Fig. 2), hizo recomendable el paso de un filtro de media. El resultado del proceso del filtrado redujo el número de polígonos pequeños, y mejoró la definición de las copas asignadas inicialmente a árboles. La cobertura se convirtió a un formato shp. de ArcGIS donde cada polígono quedó registrado de forma vectorial (Fig. 3).

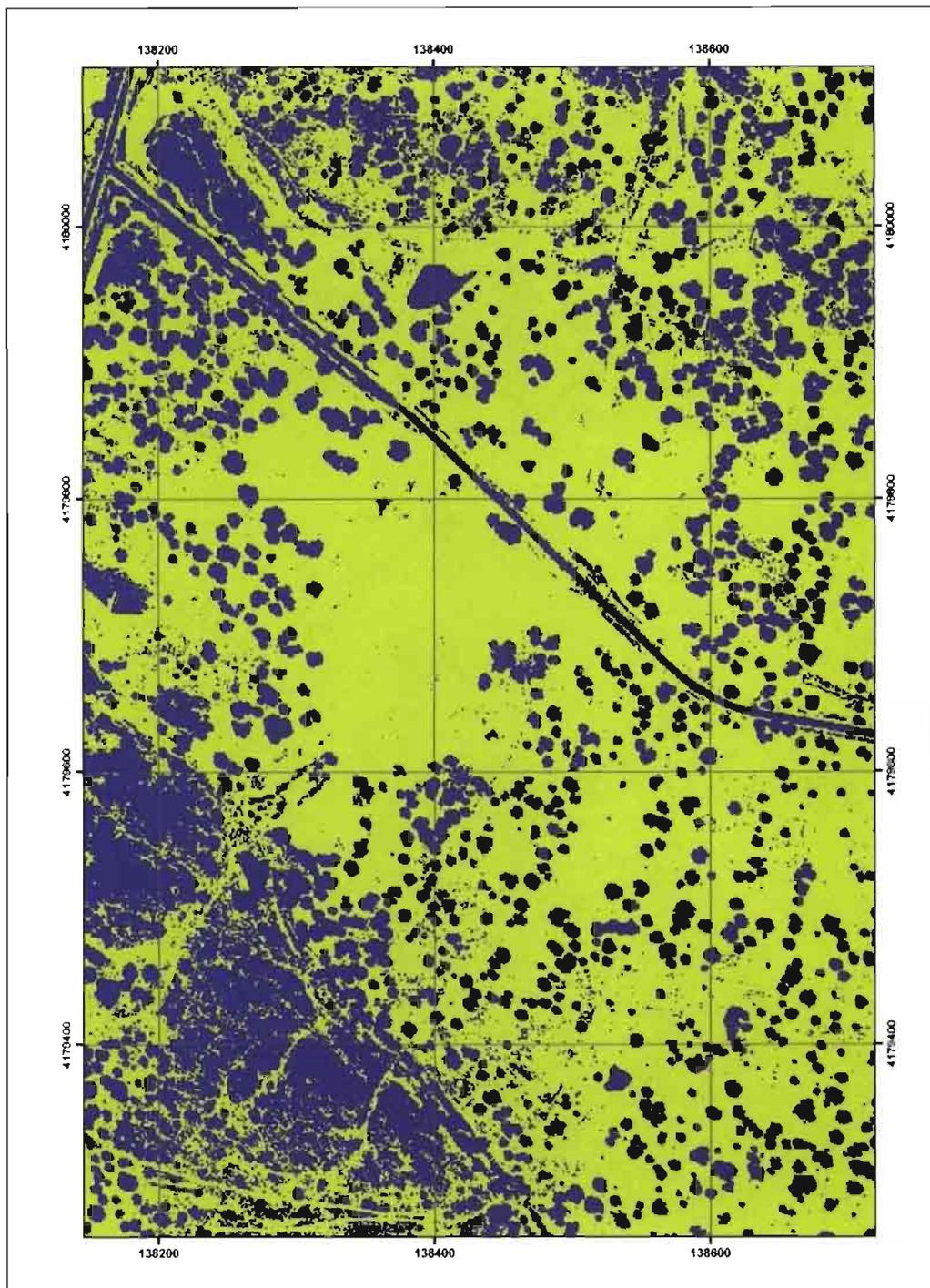


Figura 2. Ejemplo de cobertura de dehesa tras realizar el proceso de binarización.
(Proyección ED 1950 UTM, Zona 30 N).

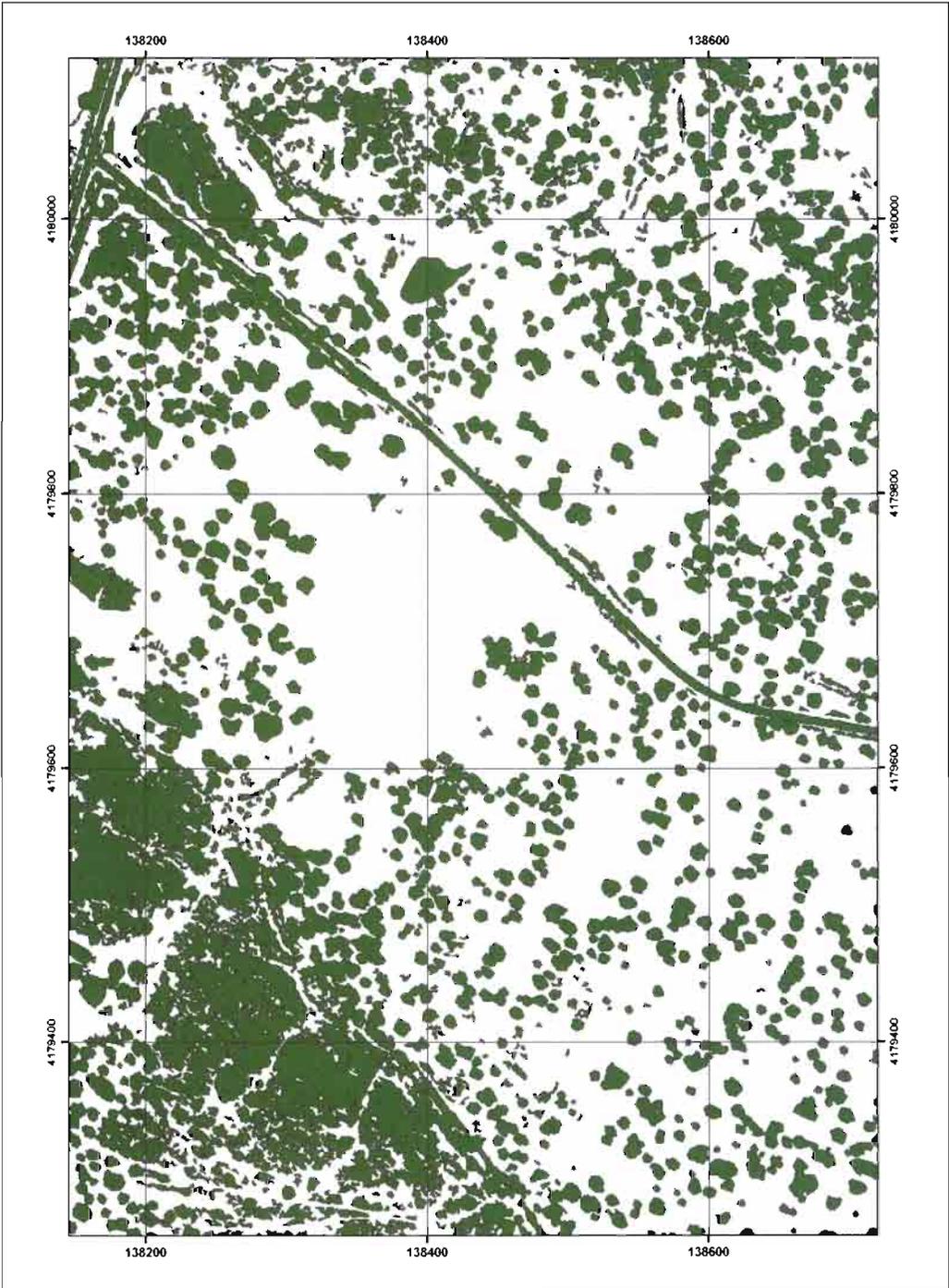


Figura 3. Cobertura en formato shp. (ArcGis9.0) de los polígonos correspondientes a la cobertura de dehesa (Proyección ED 1950 UTM, Zona 30 N)

Cuadro 3. Superficie de los términos municipales estudiados y porcentaje de superficie ocupado por dehesa.

Término Municipal	Superficie TM (ha)	Superficie dehesa (ha)	Dehesa %
Alosno	19.238,91	3.573,06	18,57
Cabezas Rubias	10.868,73	3.351,59	30,83
Cerro del Andévalo (El)	28.675,08	6.353,71	22,15
Granado (El)	9.837,13	1.709,65	17,37
Paymogo	21.392,87	9.928,81	46,41
San Silvestre de Guzmán	4.908,87	2.641,71	53,81
Sanlúcar de Gadiana	9.694,24	5.662,04	58,40
Villanueva de las Cruces	3.434,72	2.316,39	67,44

Cobertura corregida de dehesa

Con el fin de reducir las fuentes de error se consideró adecuado eliminar aquellos polígonos que con seguridad no correspondían a formaciones de encinar como cursos de agua (y su vegetación asociada), carreteras y manchas de matorral arbustivo. El proceso se realizó mediante la creación de una máscara que eliminó las zonas de confusión (Fig. 4a). El resultado final fue una cobertura de dehesa corregida para poder realizar la cuantificación de la cobertura y el número de individuos de encina (Fig. 4b).

Cambios en la cobertura de dehesa

La superficie de dehesa de cada municipio, y el porcentaje que representa respecto al total de la superficie municipal se muestra en el cuadro 3.

Mediante la comparación de las superficies de dehesa a través de las variables cobertura y número de individuos es posible evaluar los cambios experimentados por la cubierta de dehesa en el período 1997-2002. Las tablas de datos asociadas a las imágenes de ArcGIS se exportaron a hojas de cálculo y se generó un campo asociado a los valores de fracción de cabida cubierta y el número de individuos (número de polígonos). De este modo se obtuvieron los resultados del número de encinas en cada municipio para cada año de estudio.

En el cuadro 4 se incluyen los valores correspondientes a los cambios en número de individuos y de fracción de cabida cubierta en el período 1997-2002. En los 8 municipios estudiados se perdieron un total de 93.608 pies de encina. El término municipal

Cuadro 4. Evolución del número de pies y de la fracción de cabida cubierta media en los ocho términos municipales estudiados en el período 1997-2002.

Municipios	Numero de pies año 1997	Numero de pies año 2002	Diferencia (individuos)	Fcc (%) 1997	Fcc (%) 2002	Diferencia (%)
Alosno	69.405	63.040	6365	26,1	19,2	6,9
Cabezas Rubias	61.594	59.685	1909	16,1	13,0	3,1
Cerro (El)	97.115	96.304	811	19,2	16,7	2,5
Granado (El)	25.843	22.962	2881	14,5	10,3	4,2
Paymogo	121.512	86.970	34.542	28,8	10,9	17,9
Sanlúcar	138.626	108.446	30.180	18,9	10,8	8,1
San Silvestre	34.390	22.863	11.527	14,8	7,5	7,3
Villanueva de las Cruces	46.136	40.743	5393	21,9	13,7	8,2

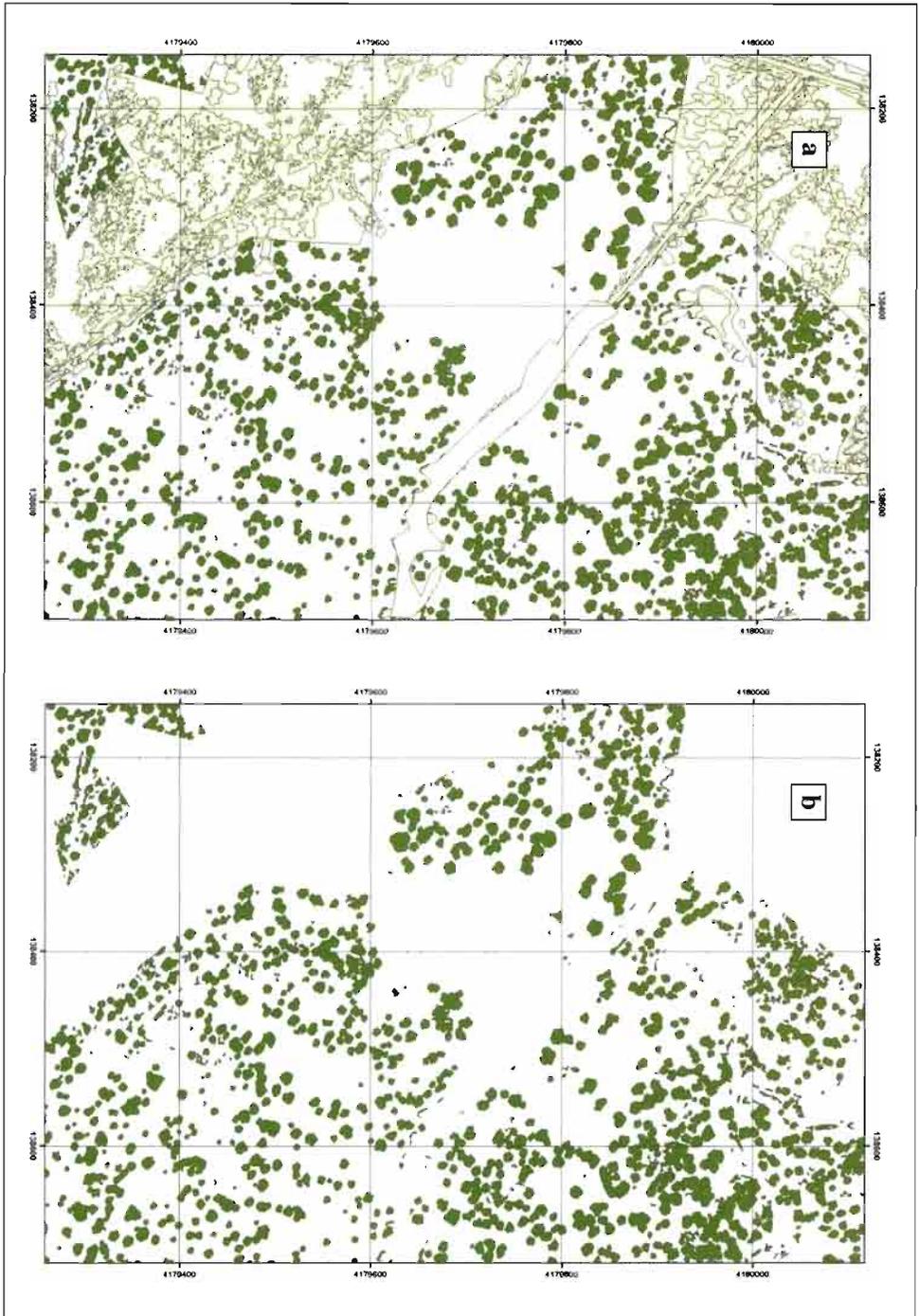


Figura 4. Ejemplo de máscara creada para eliminar la superficie de dehesa con presencia de matorral (a) y cobertura final utilizada en el proceso de evaluación de pérdida de arbolado y fracción de cabida cubierta (b). (Proyección ED 1950 UTM, Zona 30 N).

más afectado fue Paymogo (perdida de 34.542 pies) seguido de Sanlúcar (30.180 pies), y San Silvestre de Guzmán con un valor próximo de 11.527 pies. La pérdida de individuos llevó asociada una pérdida de la fracción de cabida cubierta, que mantiene un patrón territorial análogo al de la pérdida de individuos, con un valor medio para el conjunto de los términos municipales incluidos en este estudio del 7,2%.

DISCUSIÓN

El presente estudio se ha aplicado al Andévalo occidental de Huelva, debido a la gran incidencia de la *seca* en la zona, lo que promovió la realización de estudios que localizaron numerosos focos de *seca* en esa comarca (NAVARRO *et al.*, 2004). La dehesa es la principal formación que define el paisaje de la comarca, con una superficie de 67.292 has. Ambas comarcas del Andévalo de Huelva han sufrido un importante proceso de pérdida de arbolado en las últimas décadas, lo que ha motivado el interés de las personas y organismos afectados por conocer las causas y las posibles alternativas de solución. Esto motivó que se creara un convenio entre la Universidad de Córdoba y la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para generar la primera biogeografía de la *seca* en Andalucía (NAVARRO *et al.*, 2004).

En el sector occidental de Andalucía el patrón de daños se caracteriza por focos de tamaño pequeño, con un porcentaje de pies afectados medio, con patrones de distribución al azar en el terreno, y dominancia de muertes progresivas. En un muestreo realizado en el año 2002, en 28 explotaciones de la comarca, se identificó el hongo *Phytophthora cinnamomi* como causante de los daños (SÁNCHEZ *et al.*, 2002). No hay información anterior documentada de los daños producidos por esta enfermedad, pero sí se ha constatado la pérdida de individuos en numerosas explotaciones en los últimos años.

La metodología seguida en este proyecto ha permitido caracterizar las coberturas de

dehesa de encina a partir de ortofotos, y evaluar los procesos de cambio de cubierta (número de pies y fracción de cabida cubierta) para una secuencia temporal entre 1997 y 2002 en la comarca del Andévalo occidental. En el momento actual, en que están disponibles imágenes adquiridas por sensores remotos de diferente tipo (fotografías convencionales, fotografías digitales, imágenes en satélites, etc.) y métodos específicos para el manejo de la información asociadas a las mismas; la fotografía aérea y la fotointerpretación, siguen estando vigentes (HAARA y NEVALAINEN, 2002).

Los medios para obtener información sobre las masas forestales de un territorio son básicamente tres: los inventarios de campo, la fotografía aérea y las imágenes satélites. Los inventarios han sido la técnica más utilizada en dasometría y selvicultura, y consiste en la medición de los recursos forestales mediante medidas directas en campo, siendo su fin último proporcionar la situación actual y pasada del monte, así como su más probable evolución. Las ventajas principales son la fiabilidad y la calidad de la información. La fotografía aérea permite salvar algunos de los inconvenientes que presenta la inventariación en campo, siempre que sean usados de forma correcta, utilizando fotogramas a escala adecuada y georreferenciados (LÓPEZ, 1996; FERNÁNDEZ, 2000). Por todo lo anterior, se desprende que las características que presentan las ortofotos las convierten en elementos útiles para evaluar daños en ecosistemas forestales. La aparición de las ortofotografías digitales georreferenciadas ha permitido ampliar el ámbito de aplicación forestal de este tipo de productos fotogramétricos (PHILIPSON, 1997). Fuera de las aplicaciones métricas, la fotografía aérea también ha adquirido, de forma precoz un elevado interés en la evaluación cualitativa de las masas forestales, propia de la fotointerpretación.

La metodología que se propone en este estudio aporta una serie de ventajas para el análisis de los cambios de cobertura en formaciones de dehesa:

Es un procedimiento automatizado, que aplicado a la escala adecuada, resulta sencillo y rápido en la obtención de imágenes de la dehesa lista para el análisis que se requiera. Para el análisis de zonas a grandes escalas este formato sigue siendo imprescindible, ya que las imágenes de satélite se están consolidando como útiles para los estudios a pequeña escala y para el análisis de la vegetación en ciclos temporales cortos.

Permite el seguimiento de la masa forestal en secuencias temporales largas, ya que es posible comparar las ortofotos actuales con otras de años anteriores

Es posible establecer la pérdida o incremento (por procesos de regeneración natural o repoblación artificial) en el número de ejemplares por superposición de las coberturas (shp.) generadas.

Se puede calcular de manera fiable la espesura del arbolado y el grado de cobertura de una explotación (fcc).

Permite visualizar e identificar los ejemplares, pudiendo incluso estudiar el estado fisiológico de los mismos, a través del análisis de la copa, según la densidad y espesura efectiva del arbolado

En este estudio, el método que se propone ha contado con una serie de problemas que han dificultado su aplicación. Hay una serie de factores que condicionan el proceso inicial de binarización, el ángulo de elevación solar modifica la cantidad de sombra proyectada, y las características del soporte que toma las imágenes influyen en el nivel de grises de la imagen en formato raster. Los valores de reflectancia de cada píxel de la imagen dependen de estos elementos, por lo que el rango de binarización debe ser ajustado para cada grupo de imágenes. Por el contrario, el resultado final del proceso está influido en gran medida por la resolución y calidad de las imágenes de partida. El año de vuelo está relacionado con el nivel de precisión que tiene las imágenes obtenidas, por lo que en este estudio las imágenes del 2002 tienen una mayor precisión que las del año 1997, este hecho es determinante en el caso de la identificación de *visu* de las encinas en las imágenes binarizadas.

La aplicación de la binarización exige que la zona de estudio esté libre de vegetación arbustiva de gran porte o pequeños árboles de otras especies que puedan confundirse con pies de encinas. Este aspecto ha sido importante en el estudio de las dehesas del Andévalo, ya que esta comarca es rica en vegetación arbustiva. Algunas especies abundantes en esta categoría son la jara (*Cistus ladanifer*) y la coscoja (*Quercus coccifera*), especies asociadas a la encina que pueden alcanzar una talla elevada. En las ortofotos aéreas, esta vegetación adquiere tonos de grises similares a los de la vegetación arbórea, pudiéndose confundir con pies de encinas. La diferenciación se realizó mediante interpretación de las imágenes basándose en los atributos que presenta la encina: apariencia de las copas, forma, aspecto del borde y tamaño.

El proceso de generación de máscaras de las imágenes es bastante largo y exige un nivel de detalle elevado para que el resultado obtenido sea el deseado. En este trabajo se crearon máscaras para eliminar del estudio aquellas fuentes de error, como son caminos, embalses, zonas de dehesa muy matorralizada, etc. Las formaciones de matorral ocupan en la comarca 155.500 ha, por lo que la generación de una cobertura para enmascararlas ha sido un paso obligado en la metodología propuesta.

En la evaluación realizada a partir de la metodología propuesta en este trabajo se ha estimado una pérdida de 93.608 pies de encina en toda la comarca, en un total de 8 términos estudiados. Los términos municipales más afectados han sido Paymogo con 34.542 encinas y Sanlúcar con 30.180 encinas. La pérdida de arbolado tiene asociada una importante pérdida de fracción de cabida cubierta, que representó para toda la comarca una pérdida media por término municipal del 7,2% de la cobertura inicial.

La metodología que se propone en este estudio ofrece una nueva propuesta en el campo de aplicación de las ortofotografías digitales georreferenciadas, haciendo posible la evaluación de los procesos de cambio de cubierta en una secuencia temporal determina-

da. La aplicación de este método proporciona una herramienta nueva para analizar la pérdida de arbolado asociada a procesos de decaimiento forestal de dehesas de encina en grandes superficies. El diagnóstico en campo de los agentes bióticos asociados (enfermedades y plagas), podría ayudar a conocer los patrones temporales y espaciales de dichos agentes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo del Servicio de Ordenación de los

Recursos Forestales 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, y Selección de individuos resistentes a procesos de decaimiento* financiado por la Fundación Caja el Monte, así como el proyecto AGL2002-00530 *Bases biológicas, epidemiológicas y selvícolas para el control de las principales enfermedades asociadas a la seca de los Quercus en Andalucía*.

ABSTRACT

ROMERO DE LOS REYES E., R. M^a NAVARRO CERRILLO, A. GARCÍA-FERRER PORRAS. 2007. Applicability of digital orthophotos data for damage evaluation of forest decline process of *Quercus ilex* dehesas. *Bol. San. Veg. Plagas*, **33**: 121-134.

The aim of this project was to investigate the applicability of digital orthophotos data for different damage evaluation of forest decline process of *Quercus ilex* dehesas. The test site selected was Andevalo (Huelva), one of the most severely damaged parts in Andalusia, cover with pure Holm oak stands. Today these stands show a variety of forest decline ranking from almost no injuries to more severe damages like total defoliation symptoms. The number of trees death estimated was 93,608 on the period 1997-2002, with an average cover reduction of 7.2%. From the results of the orthophotos evaluation it can be deduce that a distinctive as well as an extensive mapping of forest damage can be elaborated by remote sensing data.

Key words: digital orthophotos, pattern recognition, forest decline.

REFERENCIAS

- AVERY, T. E. 1977. Interpretation of Aerial Photographs. Burgess Publishing Company. Minneapolis.
- CANO GONZÁLEZ, F.; NAVARRO CERRILLO, R. M.; GARCÍA PORRAS, A.; SÁNCHEZ DE LA ORDEN, M. 2005. Evaluación de la defoliación mediante imágenes IKONOS en masas de *Quercus suber* L. en el sur de España. *Invest Agrar: Sist Recur For* **14**(2): 242-252.
- CMA-EGMASA, 2005. Mapa de dehesas de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente-EGMASA, Sevilla. Documento inédito.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. 2000. Introducción a la fotointerpretación. Ed. Ariel Geográfica. Barcelona.
- HAARA, A. NEVALAINEN, S. 2002. Detection of dead or defoliated spruces using digital aerial data. *Forest Ecology and Management*, **160**: 97-107.
- HOLMGREN, P., THURESSON, T. 1998. Satellite remote sensing for forestry planning- a review. *Scandinavian Journal of Forest Research*, **13** (1): 90-110.
- LOPEZ CUERVO ESTÉVEZ, S., 1996. Topografía. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- MUCHONEY, D. M. HAACK, B. N. 1994. Change detection for monitoring forest defoliation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **60**: 1243-1251.
- NAVARRO CERRILLO, R. M., FERNÁNDEZ REBOLLO, P., TRAPERO, A., CAETANO, P., ROMERO, M. A., SÁNCHEZ, M. E., FERNÁNDEZ CANCIO, A., SÁNCHEZ, I., LÓPEZ PANTOJA, G. 2004. Los procesos de decaimiento de encinas y alcornoques. Consejería de Medio Ambiente-Universidad de Córdoba. Junta de Andalucía.
- PHILIPSON, W. R. 1997. Manual of Photographic Interpretation. 2nd ed. Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- SAN MIGUEL AYANZ, A. 1994. La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- SÁNCHEZ, M. E., NAVARRO, R. M., TRAPERO, A., FERNÁNDEZ, P. 2000. La seca de encinas y alcornoques: una visión histórica. *Montes*, **62**: 29-39.
- SÁNCHEZ, M. E., CAETANO, P., FERRAZ, J., TRAPERO, A. 2002. Phytophthora disease of *Quercus ilex* in southwestern Spain. *For. Path.*, **32**: 5-18.

SÁNCHEZ, M. E., SÁNCHEZ, J. E., NAVARRO, R. M., FERNÁNDEZ, P., TRAPERO, A. 2003. Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía. *Bol. San. Veg. Plagas*, **29** (1): 87-108.

RUIZ DE LA TORRE, J. (Coord.). 1990. Mapa Forestal de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

WULDER, M. A., DYMOND, C. C., WHITE, J. C., LECKIE, D. G., CARROLL, A. L. 2006. Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*, **221**: 27-41.

(Recepción: 29 octubre 2006)

(Aceptación: 18 enero 2007)