Seguimiento administrativo de medidas agroambientales **por teledetección**

*L. García Torres**
*F. López Granados**
*JM Peña-Barragán**
*M. Jurado-Expósito**
*A.García-Ferrer***
*M. Sánchez de la Orden***

Introducción

Hacia un equilibrio entre la agricultura productivista y el medioambiente

Durante milenios la agricultura ha tenido una orientación exclusiva o predominantemente productivista, cuyo casi único objetivo ha sido maximizar o conseguir altos rendimientos en los cultivos. Durante esta larga etapa se le prestaba escasa atención a la conservación de los recursos naturales sobre los que se sustenta la agricultura (suelo/ materia orgánica, agua, atmósfera, biodiversidad). En las últimas décadas han ido creciendo considerablemente los conocimientos y la sensibilización sobre el medioambiente en muy diversas áreas, y también en lo relativo a la agricultura. Actualmente, en ésta área se está en una fase de compensación o de búsqueda de un equilibrio entre la tendencia productivista anterior y la medioambiental que de nuevo se exige.



Distintos estados fenológicos de las cubiertas vegetales de gramíneas en olivar: a) cubiertas vegetales en pleno desarrollo (abril); y b) cubiertas vegetales secas (julio)

Ecocondicionalidad y medidas agroambientales actuales

En la UE las primeras medidas agroambientales se diseñaron a través del Reglamentos 2078/ 1992, 1257/ 1999 y 1260/1999, que se pueden calificar de disposiciones administrativas muy generalistas y poco definitorias. En España dichos reglamentos comunitarios se fueron desarrollando en los RD 51/ 1995 de 20 de enero y RD 1471/ 2000 de 4 de Agosto (sobre girasol), y algo más tarde en el RD 4/ 2001 de 13 de Enero (**www.mapya.es/es/desarrollorural**), en vigor hasta 2006. Dichas disposiciones a nivel nacional pueden considerarse como incipientes, dispersas y en términos generales poco eficaces para la protección de los recursos naturales agrarios. Responden a una etapa de escasa información y sensibilización agroambiental en ámbitos administrativos, en la que se ha considerado que las ayudas agroambientales deben de ser "otras ayudas más" de la política agraria comunitaria (PAC), sin analizar y premiar su eficacia en la preservación de los recursos naturales.

Así, la actual ecocondicionalidad (ECO), o requisitos técnicos minimos exigibles para percibir los pagos compensatorios o ayudas por superficie de la PAC, y las actuales buenas prácticas agrícolas (BPA), o requisitos técnicos mínimos para percibir las ayudas de las medidas medioambientales (MMA), que consisten esencialmente en la no quema de rastrojos y en el no laboreo o no labrar en sentido de la máxima pendiente se pueden considerar como disposiciones administrativas de muy bajo nivel de exigencia agroambiental. De hecho, la ECO y las BPA actuales son acciones obviamente positivas, si bien en modo

*Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Apartado 4084, 14080- Córdoba
**Departamento de Ingeniería Gráfica, Universidad de Córdoba, España

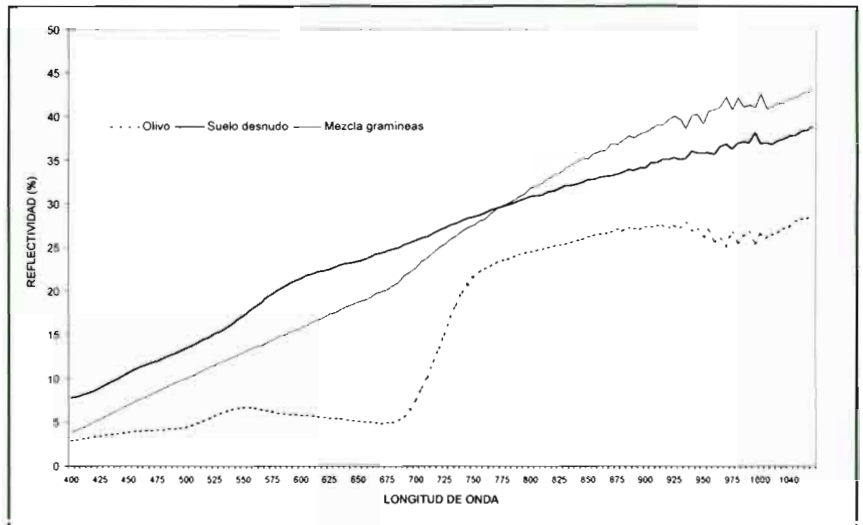


Figura 1. Firma espectral del olivar, suelo desnudo y cubierta vegetal de gramíneas (mezcla de: Lolium rigidum, Hordeum vulgare y Bromus spp).a mediados de mayo (Finca Matallana, Espejo, Córdoba).

alguno garantizan por sí solas la preservación de los recursos naturales. De forma similar, la mayor parte de las medidas medioambientales (MMA) actualmente en vigor, por ejemplo la Medida 1-Extensificación y la Medida 3.4 Agricultura Ecológica, son poco efectivas en la preservación de los recursos naturales, además de estar en muchos casos ambiguamente definidas y algunas de ellas ser de difícil seguimiento administrativo.

Simplificación de las medidas agroambientales: el suelo como recurso natural "madre"

En los últimos años se ha ido creando un conjunto de conocimientos sobre cuáles son los problemas agro-ambientales más importantes y cómo resolverlos. Y si bien pueden listarse de forma individualizada, a saber, la erosión del suelo, la contaminación de las aguas superficiales, el descenso del contenido de la materia orgánica y de la biodiversidad de los suelos laboreados/ labrados, y la emisión de CO_2 del suelo a la atmósfera, entre otros, se sabe que todos ellos están estrechamente relacionados. De tal forma que si ocurre algún problema agroambiental, normalmente ocurren también otros varios, y por el contrario, si se maneja bien el suelo, esto es, si no se altera su perfil mediante las labores y se deja su superficie permanentemente protegida por cubiertas vegetales vivas, la erosión se elimina o reduce en gran medida, no se contaminan las aguas superficiales, se aumenta la biodiversidad y el contenido de materia orgánica, y no se emite innecesariamente CO_2 a la atmósfera, entre otros aspectos ambientales positivos.

La no alteración del perfil del suelo mediante las labores elimina o reduce en gran medida la erosión

En definitiva, existe una gran sinergia en la resolución de los problemas agroambientales, tratar bien el suelo, que realmente se comporta como el recurso natural "madre" que alberga y gobierna a los otros (materia orgánica, biodiversidad, CO_2 de la "atmósfera" del suelo). De ahí que la agricultura de conservación, que consiste en alterar el perfil del suelo lo menos posible, dejando a éste permanentemente protegido por cubiertas vegetales vivas o desecadas (rastrojo), tenga a este respecto mucho más que decir que otras modalidades de la agricultura asimismo positivas, tales como la agricultura integrada, tendente sobre todo a un uso racional de fitosanitarios y fertilizantes, y la agricultura ecológica u orgánica, que prescribe el no uso de fertilizantes o fitosanitarios de síntesis.

Por otro lado, el conjunto de conocimientos sobre agromedioambiente está más próximo a ser considerado en ámbitos administrativos. Así, el desarrollo en estos dos últimos años por la DG Medioambiente de la UE de la "Estrategia Temática de Protección del Suelo" (Comunicación UE 2002/ 179 Final, y próximo reglamento o directiva en esta materia) es bien expresiva en relación al problema de degradación del suelo, y puede ser el inicio de una actualización o enfoque bien diferente en materia agroambiental.

En las nuevas medidas agroambientales que se diseñen, un factor esencial para su aplicación será la protección del suelo, o sea el mantenimiento de la cubierta vegetal protectora sobre éste. De ahí que la detección y cuantificación del manejo del suelo, esto es de su cobertura en determinados periodos, será asimismo un factor administrativo esencial para el seguimiento administrativo general de las medidas agroambientales. El objetivo de este artículo es avanzar diversos trabajos de teledetección a escala comarcal para la discriminación, separación y cuantificación casi-automática de cultivos y de la cobertura del suelo agrario, entre otras medidas agroambientales relevantes.

Teledetección y agricultura

Conceptos básicos e imágenes aéreas disponibles

La teledetección consiste en captar información de los objetos o accidentes de la superficie terrestre o de la atmósfera desde grandes distancias. Se basa

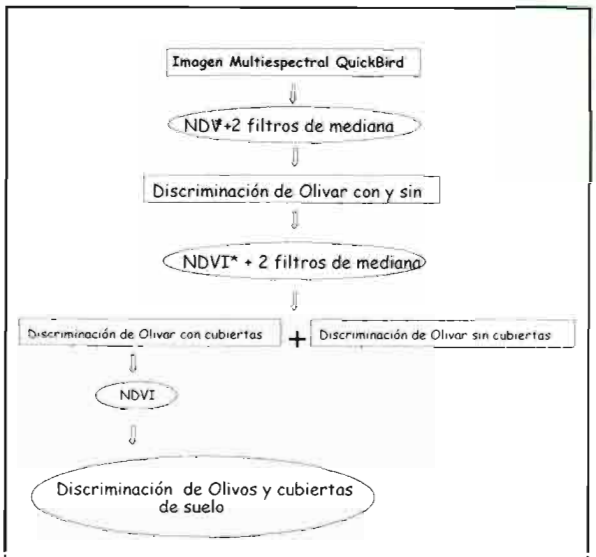


Figura 2. Proceso discriminatorio del olivar llevado a cabo en una imagen Quick Bird de la zona Montilla- Espejo (provincia de Córdoba), de unos 80 km^2, tomada a mediados de mayo y mediante el proceso NDVI + Azul/Verde + NDVI.

en la medida y registro de la energía electromagnética reflejada por la superficie terrestre y/ o atmósfera, normalmente procedente del sol, y en su posterior gestión e interpretación. La captura de la energía reflejada se lleva a cabo mediante sensores remotos instalados en plataformas aerospaciales (satélites y aviones), los cuales registran la reflectividad a diversas frecuencias del espectro electromagnético, desde las ondas de radio de baja frecuencia pasando por el espectro visible (bandas azul, verde y roja) hasta los rayos X, gamma e incluso cósmicos. Cada cuerpo o cubierta terrestre presenta una forma peculiar de reflejar o emitir energía que se conoce como signatura o firma espectral.

La teledetección ha progresado enormemente en las últimas décadas, principalmente en lo que se refiere a nuevos sensores remotos y satélites disponible **(Tabla 1)**, así como a programas informáticos ("software") para el procesamiento e interpretación de las imágenes. La resolución espacial de las imágenes que se captan cada vez es mayor, lo que a su vez posibilita discriminar superficies cada vez menores. Así, las imágenes del satélite Ikonos tiene una resolución espacial de 1 m en pancromática, (zona visible del espectro, de 450-900 nm) y 4 m en multiespectral (compuesta de la banda azul: 450-520 nm, verde: 520-600 nm, roja: 630-690 nm, e infrarroja cercana: 760-900 nm) **(Tabla1)**. Las imágenes del Quick Bird tienen una resolución de 0.6 m en pancromática y 2.8 m en multiespectral. Ambas imágenes, conjuntamente con la fotografía aérea analógica, están posibilitando el desarrollo de la teledetección agraria de precisión. Por otro lado, los precios de las imágenes de satélite y las fotografías analógicas aéreas tienen una clara tendencia a decrecer. Se puede pues afirmar que estamos a las puertas de ofrecer al sector agrario una agricultura de precisión a precios competitivos usando la herramienta de la teledetección agraria de alta resolución espacial.

En teledetección agraria es esencial conocer la signatura espectral de los usos de suelo o cultivos en las diversas épocas del año o en las diversas fases de desarrollo de un cultivo. A modo de ejemplo, se indica en la **figura 1** las firmas espectrales del olivar, suelo desnudo y cubierta vegetal del olivar a mediados de primavera.

Discriminación y clasificación automática de cultivos

La clasificación digital de una imagen aérea es una alternativa complementaria a su interpretación visual, tiene una base científico- técnica y se puede estimar su eficacia o exactitud estadistica discriminatoria. Consiste en agrupar las zonas de la imagen que se asemejen bajo distintos aspectos de similitud, según exhiban o condensen de forma simi-

Tabla 1. Algunos satélites e imágenes aéreas disponibles para usos agrarios

Satélites	Diversas características
Lansad ETM	Lanzado en 1972. Altitud 705 Km.; superficie captada 175x185 km^2. Resolución espacial 30 m; escala aprox.. 1: 250.000 a 1:100.000. Espectro: falso color e infrarrojo.
Lansad 7 ETM	Lanzado en abril de 1999; escala aproximada 1:100.000/ 1:25.000. Espectro multiespectral color y pancromático. Resolución espacial 15 en color y 10 m en pancromático.
IRS-1C y IRS-1D	Desde 1995 y 1997 respectivamente. Escenas de 70 x 70 ó 140 x 140; sub-escenas de 23 x 23 Km.; resolución 23 m en multiespectral y 5.8 en pancromática
Spot 4	Lanzado en 1998. sensores VI y HRV. Este último proporciona una resolución en multiespectral de 20 m y en pancromática de 10 m.
Ikonos	Septiembre 1999 (comercializado 2000). Espectro: 4 m en multiespectral (color) y 1 m en pancromática. Fue el primer satélite de alta resolución espacial.
Quick Bird	Comercial desde 2001; Superficie captada de 61 a 80 km^2; Resolución espacial 60 cm pancromático y 2.8 m en multiespectral color. Escala aprox. 1:2.500. Precio aproximado 2000 euros por imagen (< 1 euros por hectárea), según tipo de encargo.
Fotografías aéreas	Disponibles desde hace décadas. Altitud de vuelo normal: 1000 a 1500 m. Diversas; escalas y resoluciones (de 0.3 a 1.0 m). según proceso de digitalización); con diversos sensores en multiespectral color, infrarrojo color y pancromático. Precio aproximado: de 200 a 400 euros por negativo analógico de unas 60- 80 hectáreas. Requieren mayores costes de procesamiento (digitalización y georeferenciación)

lar la información digital contenida en las distintas bandas espectrales que conforman la imagen original. En definitiva, cada nivel o rango digital no es más que un indicador de la categoría o clase del punto correspondiente según los criterios que se hayan preestablecido. La imagen resultante se puede describir como un mapa temático, en la que cada clase o tema está estadísticamente caracterizada por unos determinados valores o clases espectrales.

Los programas de proceso de imagen ofrecen diversos métodos de clasificación de usos de suelo, que en términos generales pueden clasificarse como supervisados o no supervisados. Los no supervisados requieren la intervención del operador para la interpretación de los resultados, y detectan y localizan las agrupaciones naturales de niveles digitales (ND) en una imagen sin usar más información que la de la propia imagen o el resultado de aplicarles alguna transformación. Luego, el usuario debe identificar las agrupaciones y decidir a qué clase informacional las asigna. Las agrupaciones se basan en medidas de similitud de los ND o de los grupos de ND; existen numerosos diversos algoritmos para definir la similitud de los ND o grupos de ND. Si las muestras son seleccionadas cuidadosamente, el algoritmo funcionará posiblemente de forma efectiva.

Cuando se procesan imágenes de grandes superficies para usos agrarios, como son las del satélite Quick Bird, de unos 60 a 80 km^2, es importante en primer lugar discriminar y clasificar los principales usos de suelo de las mismas (tipos de cultivos, suelo desnudo, suelo urbano, entre otros) mediante procesado la imagen. Dicho proceso de discriminación requiere normalmente las siguientes fases o etapas:

- Conocimiento de la firma espectral de los cultivos/ usos de suelo (reflectancia vs. longitudes de onda de la luz incidente).
- Definición de las bandas o índices de vegetación apropiados para la discriminación de usos de suelo.
- Selección de índices de vegetación y establecimiento de valores digitales frontera (VDF) de dichos índices a efectos discriminatorios y de la exactitud estadística del proceso.
- Ejecución del proceso de separación mediante enmascaramiento o eliminación de los otros usos de suelo no seleccionados.
- Estimación de las superficies de cada cultivo/ uso de suelo aislado resultante y de la exactitud estadística del proceso discriminatorio.

La separación de los usos de suelo que se establezcan se lleva a cabo mediante programas informáticos específicos, y una vez establecida una secuencia de órdenes apropiada, ésta puede implementarse de forma automática o casi automática. Por otro lado, el proceso discriminatorio de usos de suelo varía muy considerablemente de unas regiones a otras y de unas épocas de año a otras. No obstante, para cada región, una vez que se conozca con detalle su agricultura (tipos y características de sus cultivos), es posible definir diversas



Porción de imagen Quick Bird resultado de aplicar el índice A/V + filtro de mediana. Las parcelas en negro son zonas de rastrojo de trigo; el resto de la imagen son parcelas de olivar con y sin cubiertas vegetales.

Algunos conceptos básicos en teledetección

- **Resolución espectral:** número y anchura de las bandas espectrales de energía reflejada captadas por el sensor. Éste es más idóneo o específico o de mayor poder de discriminación, cuanto mayor número de bandas proporciona, lo que posibilita la caracterización espectral de un mayor número de cubiertas terrestres.
- **Resolución espacial:** dimensión del objeto más pequeño que puede ser distinguido en la imagen (p.e. 0.6x0.6 m y 1x1 m en pancromática en los satélites Ikonos y Quick Bird, respectivamente).
- **Resolución radiométrica:** sensibilidad del sensor, o capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En un sensor óptico electrónico, la radiación recibida se transforma a valores digitales (nivel digital o"pixel value").
- **Resolución temporal:** es el intervalo de tiempo con el que se realiza la toma de datos sobre una misma zona ("ciclo" o "revisita").
- **Filtros Digitales:** son transformaciones de la imagen para acentuar o atenuar determinados valores o rangos radiométricos. Se llevan a cabo modificando su matriz de datos numéricos mediante algoritmos matemáticos/ operadores locales, bien para aproximar o diferenciar los valores digitales de un píxel con la de los vecinos. Existen diversos filtros de convolución: de paso alto, de paso bajo, de mediana, direccionales y laplacianos.
- **Índices de vegetación:** son parámetros calculados en una imagen a partir de operaciones matemáticas entre bandas (o valores digitales concretos en el caso de imágenes hiperespectrales) de la imagen a distintas longitudes de onda. Su finalidad es extraer la información que se persigue y se utilizan principalmente en dos escenarios: 1) para mejorar la discriminación entre dos cubiertas con comportamiento reflectivo muy distinto en esas dos bandas, y 2) para reducir el efecto del relieve en la caracterización espectral de las distintas cubiertas. Existen numerosos índices de vegetación utilizados en aplicaciones agronómicas.

épocas a lo largo del año agrícola, quizás sólo dos ó tres, en los que se pueda efectuar una clasificación/ mapeo digital de los tipos de cultivos/ usos de suelo, estableciendo para cada una de ellas la secuencia de órdenes discriminatoria antes comentada.

Es obvio que el aislamiento de un determinado uso de suelo permite efectuar sobre el mismo posteriores trabajos sin las interferencias que se producirían con otros usos del suelo. Además se puede verificar y analizar estadísticamente los resultados de la clasificación digital como sigue: a) mediante visitas de campo y observaciones "in situ", consistentes en la georreferenciación de puntos de control de los usos de suelo que se definan, lo que permite establecer los "mapas verdad terreno"; b) la caracterización espectrorradiométrica de los usos de suelos en épocas de año cercanas a la toma de la imagen; y c) interpretación visual y radiométrico de la imagen y contraste estadístico de los resultados de clasificación. Para cada uso de suelo se estima el porcentaje de "aciertos" entre áreas "verdad- terreno" y "clasificadas correctamente o no" como tales. Dichos porcentajes de aciertos se expresan en la denominada "matriz de confusión".

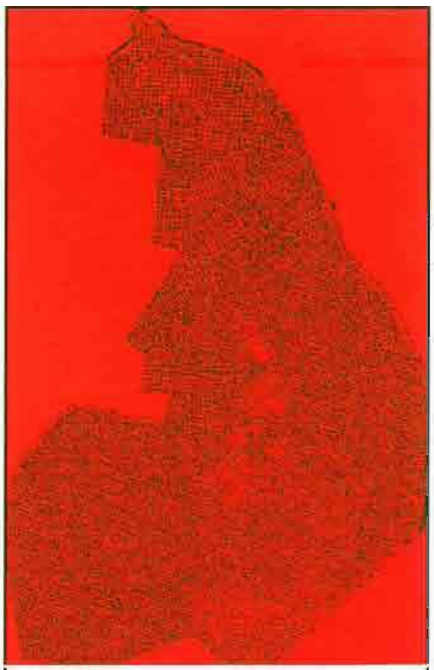


Imagen resultado de aplicar el índice NDVI* + filtro de paso largo sobre una de las parcelas de olivar discriminadas en la Figura 4. En verde se representan los árboles de olivo presentes en la parcela y en rojo todo lo que no es olivo. (*NDVI= Infrarrojo-Rojo / Infrarrojo + Rojo).

A modo de ejemplo, en la figura 2 se indica el proceso discriminatorio del olivar llevado a cabo en una imagen Quick Bird de la zona Montilla-Espejo (provincia de Córdoba), tomada a mediados de primavera. En dicha zona, a través de dicho proceso, para un total de unas 5.000 hectáreas, se estimó casi automáticamente la superficie de los principales usos de suelo, a saber: olivar (2.109,5 ha), cultivos herbáceos y viña (1.088,1 has), suelo urbano y suelo desnudo (1.063 has) y rastrojo (704,5 has), con una exactitud variable entre 80-90% para cada uso de suelo, lo que puede considerarse como satisfactorio.

El seguimiento mediante teledetección del manejo del suelo en una determinada parcela permitirá estimar la evolución de los indicadores agroambientales

Cuantificación de cubiertas vegetales en olivar/cultivos arbóreos

La implantación de cubiertas vegetales entre hileras de árboles, por ejemplo en el olivar, es una técnica con probadas ventajas agroambientales y económicas. De hecho ya es una medida agroambiental reconocida a nivel nacional y subvencionada por diversas administraciones autonómicas. Su cuantificación en cultivos arbóreos es pues un paso muy importante para su seguimiento administrativo a escala finca o explotación particular y a escala comarcal, y puede llevarse a cabo mediante fotografía aérea, para abarcar superficies de unas 250 ó 300 hectáreas, o a través de imágenes de satélite, con las que se pueden cubrir decenas de kilómetros por imagen. Si se manejan imágenes de satélite, un paso previo obligado, antes comentado, es la discriminación y aislamiento de las parcelas de olivar del resto de los usos del suelo.

La cuantificación o estimación de la superficie de cubierta vegetal en una finca directamente en campo ("in situ") es prácticamente inviable desde un punto de vista técnico y económico. Por el contrario, el uso de las técnicas de teledetección para dicho fin resulta muy adecuado; entre otros por los siguientes motivos: 1) se registra en la imagen o fotografía aérea lo que hay en campo de forma objetiva y permanente; 2) el procedimiento de análisis de la imagen obtenida es rápido una vez se ha puesto a punto su metodología; 3) permiten trabajar de forma secuencial, 4) se evitan los viajes y muestreos en campo, que son particularmente costosos; y 5) permite planificar la toma de imágenes en el momento oportuno y retrasar su análisis el tiempo necesario, sin perder por ello información.

El procesamiento las fotografías aéreas comprende las siguientes etapas: a) toma de fotografía aérea color, posterior digitalización y análisis de imagen; b) georreferenciación mediante GPS diferencial para asignar las coordenadas a las fotografías aéreas; c) separación de bandas del espectro visible (azul: A, verde: V y rojo: R) a partir de los valores digitales asignados a cada píxel; d) cálculo de índices de vegetación basados en las tres bandas separadas en el punto c); e) definición, mediante un proceso iterativo, de los niveles digitales frontera que caracterizan cada uso de suelo; f) clasificación de la imagen por separación de clases, basada en los niveles digitales frontera definidos en el punto e); g) posterior selección de los índices de vegetación calculados en d) que proporcionan mayor precisión en la clasifica-

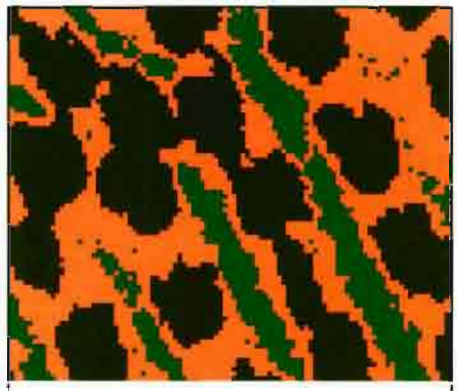
ción (porcentaje de píxeles correctamente clasificados), obtenida a partir de las matrices de confusión verificación de la exactitud de la clasificación mediante un mapa-verdad-terreno; h) determinación de la superficie total y el porcentaje de cada uno de los usos del suelo.

Cuando se usan imágenes de satélite de grandes superficies, el procedimiento a seguir consiste en discriminar en primer lugar las fincas de cultivos arbóreos (olivar, almendros u otros), con y sin cubiertas vegetales, y luego, una vez aisladas de los restantes usos del suelo, se cuantifican el porcentaje de superficie ocupado por éstas.

De forma similar a la determinación de cubiertas en cultivos arbóreos mediante teledetección, en cultivos anuales se puede determinar en determinados momentos del año agrícola, a escala finca o comarca, la presencia de restos de cultivos o rastrojos, la quema de rastrojo y el laboreo de inversión del suelo. El mantenimiento del rastrojo sobre el suelo es una práctica medioambiental reconocida, obligatoria en algunas situaciones y subvencionada o subvencionable en otras; por el contrario, la quema del rastrojo es contraria a las medidas de econdicionalidad y buenas practicas agrícolas, y el laboreo del suelo, en particular de inversión, no es aconsejable y previsiblemente será un obstáculo para recibir determinadas ayudas medioambientales.

Es obvio que la estimación de la presencia y porcentaje de cobertura vegetal de una finca o comarca está directamente relacionada con la disminución del riesgo de erosión que puede presentar una zona agrícola en la que se han implantado cubiertas vegetales en comparación con otra en la que no se ha seguido esta técnica agronómica.

En el caso de cubiertas vegetales en el olivar, los índices de vegetación seleccionados para fotografías aéreas tomadas en verano proporcionado una capacidad discriminatoria superior al 90%.



Detalle de la imagen transformada mediante el índice de vegetación A/(A+V+R), en la que el rojo indica suelo desnudo, el marrón oscuro los árboles, y el verde la cubierta vegetal.

Comentarios finales

Los procedimientos de discriminación y separación digital de cultivos y otros usos de suelo mediante técnicas de teledetección, antes reseñados, permiten de forma automática o casi automática, su mapeo y cuantificación, siendo mucho más eficaces y económicos que los métodos de inventariado clásico de cultivos llevados a cabo mediante encuestas, muestreos y visitas de campo. Además, pueden ser una herramienta de alta precisión para el seguimiento de importantes medidas administrativas e indicadores agroambientales relacionados con la cobertura/ manejo del suelo, y por consiguiente muy útiles para determinar el derecho o no a la percepción de ayudas administrativas de índole agroambiental.

Es bien conocido el papel esencial del suelo como recurso natural "madre", estrechamente relacionado con otros recursos naturales esenciales; asimismo se conoce la importancia del sistema de manejo suelo en indicadores agroambientales tales como el contenido de materia orgánica, biomasa/ biodiversidad, emisiones de CO_2 del suelo a la atmósfera y arrastre de sedimentos (tasa de erosión y consiguiente contaminación de las aguas). Por todo lo anterior, el seguimiento continuado a lo largo de los años mediante teledetección del manejo del suelo en una determinada parcela, explotación o comarca, permitirá disponer de información básica para estimar la evolución de los indicadores agroambientales mencionados.

Bibliografía

García- Torres L., F. López-Granados, J. García- Pulido, J. M Peña- Barragán, M Jurado Expósito, , A. García-Ferrer, M. Sánchez de la Orden. 2005. Remote sensing classification of Mediterranean agriculture cropping systems using satellite images of Quick Bird (enviada a publicación)

García Torres L (editor). 2001 Agricultura de Conservación en el Olivar: Cubiertas Vegetales, Asociación Española Agricultura de conservación/Suelos Vivos, Córdoba, España, 36 páginas.

García Torres L (editor). 2000 Conservation Agricultural in Europe: Environmental, Economic and EU Policy Perspectives, European Conservation Agricultural Federation (ECAF), Brussels, Belgium, p. 23.

García- Torres L.*, A. Martínez- Vilela*+, E. González- Sánchez+ y A. Holgado- Cabrera. 2003. Protección del suelo, modalidades de agricultura y medidas administrativas agroambientales, Agricultura, Madrid, 848-854.

García- Torres L., J. Benites, A. Martínez- Vilela & A. Holgado- Cabrera. 2003. Conservation Agriculture, a world-wide challenge, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherland, 516 pages.

López Granados Francisca, Luis García Torres, José Manuel Peña Barragán y Montserrat Jurado Expósito. 2004. Titulo de la invención: "Procedimiento para la discriminación de usos de suelo y la cuantificación de cubierta vegetal mediante teledetección con fotografía aérea", Solicitud 200401438, Oficina Española de Patentes y Marcas, Madrid.

López Granados Francisca, Luis García Torres, José Manuel Peña Barragán y Montserrat Jurado Expósito. 2004. Titulo de la invención: "Procedimiento para la discriminación y cuantificación de olivar con cubiertas vegetales mediante teledetección en imágenes de satélite de alta resolución espacial ", Solicitud 200401840, Oficina Española de Patentes y Marcas, Madrid.

Peña- Barragán J.M., M Jurado Expósito, F. López- Granados, S. Atenciano, M., Sánchez de la Orden, A. García- Ferrer, L. García Torres. 2004. Assessing land-use in olive groves from aerial photographs, Agricultural, Ecosystems and Environment, 103, 117-122.