



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 332 567**

② Número de solicitud: 200801932

⑤ Int. Cl.:  
**G06K 9/00** (2006.01)  
**A01C 21/00** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **27.06.2008**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **08.02.2010**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**08.02.2010**

⑦ Solicitante/s: **Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)**  
**c/ Serrano, 117**  
**28006 Madrid, ES**

⑦ Inventor/es: **García Torres, Luis;**  
**López Granados, Francisca;**  
**Jurado Expósito, Montserrat;**  
**Peña Barragán, José Manuel y**  
**Caballero Novelda, Juan José**

⑦ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

⑤ Título: **Procedimiento automático para seccionar imágenes remotas y caracterizar indicadores agronómicos y ambientales en las mismas.**

⑤ Resumen:

Procedimiento automático para seccionar imágenes remotas y caracterizar indicadores agronómicos y ambientales en las mismas.

El objeto de la presente invención es un procedimiento que permite seccionar/dividir automáticamente imágenes remotas en otras rectangulares de tamaño reducido (microimágenes/microparcels), y obtener indicadores agronómicos y ambientales en cada una de ellas y en el conjunto de la parcela. Se basa en el procesado de imágenes remotas de alta resolución espacial mediante el programa informático SARI® y genera para cada microparcels indicadores tales como su centro geográfico, superficie, productividad potencial y presencia de factores bióticos tales como rodales de especies de malas hierbas, y/o abióticos, tales como niveles de nutrientes/fertilidad. Por tanto tiene aplicación en Agricultura, Medioambiente, y Teledetección, y en particular en Agricultura de Precisión.

ES 2 332 567 A1

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento automático para seccionar imágenes remotas y caracterizar indicadores agronómicos y ambientales en las mismas.

## Sector de la técnica

Primer sector: AGRICULTURA, MEDIOAMBIENTE y TELEDETECCIÓN. Segundo sector EMPRESAS DE ASISTENCIA TÉCNICA AGRARIA, MEDIOAMBIENTAL, y de TELEDETECCIÓN, y en particular las especializadas en AGRICULTURA DE PRECISIÓN, sean públicas (Administraciones Públicas) o privadas. El segundo sector se refiere a empresas que utilizando imágenes remotas como fuente de información primaria planifiquen actividades o operaciones de explotaciones agrarias en las que se utilicen tecnologías de precisión, con objeto de alcanzar los beneficios económicos y medioambientales propios de la misma, tales como la aplicación localizada y a dosis variable de fertilizantes y fitosanitarios, efectuando dichas aplicaciones no de forma extensiva y uniforme en toda la superficie de parcela agrícola, sino adaptada a las necesidades de cada pequeña parcela o “microparcela”, cuyo seccionamiento, caracterización agro-ambiental y mapeo geográfico de tratamientos agrarios es el objeto de esta patente.

## Estado de la técnica

*Teledetección, conceptos básicos*

La teledetección es una tecnología que consiste en captar información de los objetos o accidentes que ocurren en la superficie terrestre o en la atmósfera sin entrar en contacto físico con ellos. Comprende la medida y el registro de la energía electromagnética reflejada o emitida por éstos, y conlleva la interpretación y relación de esta información con la naturaleza y propiedades de éstos. La captura de la energía reflejada se lleva a cabo mediante sensores remotos instalados en plataformas aerospaciales (satélites y aviones) que registran la energía reflejada correspondiente a diversas frecuencias del espectro electromagnético, que van 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 (Chuvieco, 2002). En las últimas décadas las tecnologías en las que se basa la teledetección y sus aplicaciones se han desarrollado enormemente. Hoy día la teledetección es una herramienta muy importante en muy diversas áreas tales como meteorología, oceanografía, climatología, ciencias militares, ciencias de la tierra, y protección civil, entre otras.

*Aplicaciones de la teledetección a la agricultura*

En teledetección es esencial conocer el comportamiento o signatura espectral de cada una de las diversas superficies o usos de suelo a las diferentes longitudes de onda. La energía reflejada por la vegetación y el suelo desnudo en las longitudes de onda roja e infrarroja varía muy considerablemente (Cloutis *et al.*, 1996). Cultivos densos y sanos se caracterizan por una elevada absorción de energía/radiación roja y una alta reflectancia de la radiación infrarroja. Con frecuencia es conveniente combinar estas medidas (y otras en otras bandas) en un solo índice que resalte la sensibilidad a las variaciones en el cultivo. Dichas combinaciones son conocidas como índices de vegetación. Hay un gran número de ellos, tantos como operaciones matemáticas se estime oportuno definir. Sus ventajas son: 1) aumentar las diferencias relativas entre los valores digitales que caracterizan cada uso del suelo, 2) reducir el número de datos obtenidos a un solo valor característico, 3) obtener valores adimensionales que permiten su comparación espacial y temporal y, 4) en ocasiones, eliminar efectos indeseados de iluminación, orografía, etc. (Jackson y Huete, 1991). Uno de los más conocidos es el NDVI (“*Normalised Difference Vegetation Index*”). Una actividad fotosintética alta, es decir una vegetación sana y vigorosa, implica un alto valor de NDVI debido a una alta reflectividad en la banda del infrarrojo cercano y una alta absorción de energía en la banda roja. Por tanto, NVDI, calculado con medidas en tierra (Kanemasu 1990), imágenes de satélite (Anderson *et al.*, 1993) o fotografías aéreas (Denison *et al.*, 1996) presenta una alta correlación con la producción final del cultivo.

Los trabajos sobre clasificación de los usos del suelo mediante imágenes de satélite de resolución espacial media/baja o fotografías aéreas utilizando índices de vegetación se pueden considerar como clásicos en teledetección y se han llevado a cabo en áreas muy diversas: costeras, parques naturales, masas forestales, zonas agrícolas, entre otras muchas. También se han llevado a cabo trabajos para detectar de forma sistemática las anomalías en el desarrollo de los cultivos de regadío en Aragón (López-Lozano y Casterad, 2003), y monitorizar el crecimiento de cultivos con datos biofísicos como altura de la planta, el área foliar (LAI) y biomasa (Calera *et al.*, 2001; 2002), o para estimar el efecto a largo plazo de los cambios en los usos de suelo sobre la evapotranspiración de los cultivos utilizando imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ de 1982 a 2000 (Lanjeri *et al.*, 2001; 2002) en la zona de Castilla-La Mancha. También se están produciendo avances muy significativos en la teledetección de malas hierbas en cultivos con sensores aerotransportados multiespectrales (Goel *et al.*, 2002; Schmidt & Skidmore, 2003; Koger *et al.* 2004; Smith & Blackshaw, 2003; Girma *et al.* 2005; Felton *et al.* (2002), Radhakrishnan *et al.* (2002) y Thorp & Tian (2004) e incluso se ha desarrollado una metodología para mapear infestaciones tardías de malas hierbas en cultivos mediante imágenes remotas de alta resolución espacial (López-Granados *et al.* 2006; Peña-Barragán *et al.*, 2007). Para llevar a cabo dicho trabajos es necesario que existan diferencias en las firmas espectrales entre el cultivo y las especies de malezas en determinados momentos del ciclo fenológico (Everitt *et al.* 1994; Everitt & Deloach 1990; Lass & Callihan 1997; Peña-Barragán *et al.* 2006).

Existen diversos trabajos cuyo objetivo es caracterizar grandes áreas de vegetación/bosques mediante imágenes remotas de baja resolución espacial, de 30 a 100 metros de pixel, o incluso superior (Kokaly *et al.* 2003; Schmidt and Skidmore. 2003). Peña-Barragán *et al.* (2005) ha desarrollado una metodología para caracterizar la cubierta vegetal en olivar mediante fotografías aéreas de baja resolución espacial. García-Torres *et al.* (2007 y 2008) han desarrollado un procedimiento para la caracterización automática de indicadores agronómicos y ambientales de plantaciones de árboles en imágenes remotas de alta resolución espacial mediante el subprograma informático “*Clustering Assessment IDL.IAS.1*® , CLUAS”).

#### Agricultura de precisión

La agricultura de precisión determina la variabilidad espacial de factores bióticos tales como la densidad de malas hierbas y patógenos, y de factores abióticos tales como el contenido de nutrientes o agua del suelo, a fin de fundamentar la aplicación a dosis variables de fertilizantes, fitosanitarios, agua de riego, entre otras variables (“inputs”), ajustando las dosis de éstos a las necesidades de cada pequeña área o “microparcela” (Blackmore, 1996; Kropff *et al.* 1997). Conlleva pues una reducción de las dosis de inputs en comparación con la agricultura tradicional, en la que los inputs se aplican a dosis uniforme en toda la parcela. Las ventajas medioambientales y económicas de la agricultura de precisión son ampliamente aceptadas (Timmermann *et al.*, 2003). Así por ejemplo, la distribución espacial de las malas hierbas no es uniforme, sino que en cada parcela forman agrupamientos o rodales (Jurado-Expósito *et al.* 2003). Sin embargo, en la agricultura convencional los fitosanitarios herbicidas se aplican normalmente en cada parcela a una dosis única. Para reducir la cantidad de fitosanitarios herbicida aplicado, o sea para aplicar herbicida solo donde ocurren rodales de malas hierbas es para lo que es necesario desarrollar las técnicas de precisión. Éstas consisten en determinar la densidad de la mala hierba, el contenido de nutrientes, o de otro inputs, en cada microparcela, así como su efecto económico en la reducción del cultivo (“*competition/economic threshold*”); de esta forma se aplica el fitosanitario herbicida o el fertilizante sólo en las microparcels que realmente lo necesitan por estar infestadas de malas hierbas o tener un contenido de nutrientes bajo (Heisel *et al.* 1996; Jurado-Expósito *et al.* 2003; Barroso *et al.* 2004). Mediante las técnicas de agricultura de precisión se consigue reducir el volumen de fitosanitarios o fertilizantes aplicados, el tiempo de aplicación de éstos y el no aplicarlos donde no es necesario (Medlin *et al.* 2000).

#### Programas informáticos de manejo de imágenes remotas

ENVI®: Actualmente existen diversos programas informáticos (“*software*”) comercializados para el procesamiento e interpretación de las imágenes, entre otros ILWIS®, ERDAS® y ENVI®. En particular, el programa informático ENVI (“*the Environment for Visualizing Images*”; ENVI®) es un potente sistema de proceso de imágenes remotas ampliamente usado en muy diversos países del mundo y en muy diversas disciplinas científicas. Permite un manejo muy diverso de las matrices de datos captadas por los sensores remotes y su visualización de forma coherente y comprensiva. ENVI ha sido desarrollado y está registrado por *Research Systems International (RSI) Global Services* (<http://www.rsinc.com/>).

Las matrices de datos soporte de cada imagen se componen de filas y columnas de unidades espaciales ó píxeles. La dimensión del pixel coincide con el área de su resolución espacial. Para cada banda espectral, cada pixel está definido por un valor digital. Entre las ventajas de ENVI cabe destacar las siguientes: a) combina a través de funciones interactivas los archivos de datos de las bandas del espectro electromagnético captadas por el sensor/es. En cada archivo, los datos de cada banda se archivan de forma independiente y se tiene acceso a los mismos de forma individualizada o simultánea mediante funciones. Si se abren varios archivos, se pueden procesar los datos de diversos tipos de bandas se pueden procesar como si pertenecieran a un mismo grupo o imagen; b) ordena los datos de cada banda en ventanas de 8- ó 24- bit; c) desarrolla diversas ventanas o pantallas (interfaz, “*display*”) conocidas por el nombre de Image, Zoom, y Scroll, pudiendo ajustarse el tamaño de cada una de ellas. El usuario de ENVI dispone de muchas posibilidades de análisis interactivo ENVI, visualizando cada una de dichas ventanas; d) permite diversas formas de solapamiento de imágenes en diversas ventanas para su estudio comparativo espacial y espectral, lo que es especialmente útil en imágenes multibandas y multiespectrales; e) proporciona diversas herramientas interactivas para visualizar y analizar vectores y atributos GIS (Sistemas de Información Geográfica), entre otras el aumento del rango de la matriz de datos (“*contrast stretching*”) y los gráficos de dispersión en dos dimensiones (“*two-dimensional scatter plots*”); f) proporciona una extensa lista de funciones/algoritmos para el procesamiento de imágenes de forma fácil e inmediata, tales como transformaciones, filtros, clasificaciones, registro y correcciones geométricas, y análisis espectral.

IDL: ENVI está escrito en IDL (*Interactive Data Language*, IDL®), un lenguaje de programación informática potente y sistematizado que permite un proceso de imágenes integrado. La flexibilidad de ENVI se debe en gran medida a la versatilidad de IDL. Para el funcionamiento de ENVI se requiere pues la instalación de IDL, bien en una versión básica (“*runtime version of IDL*”) o en una versión completa (“*full version of IDL*”) que permite incluir las propias funciones/comando/funciones del usuario. Los usuarios de ENVI pueden usar todas las funciones de ENVI, pero no escribir sus rutinas o comandos (“*custom routines*”). Los manuales de ENVI y IDL contienen extensa información sobre los mismos (“*Using IDL and the IDL Reference Guide and IDL Help*”).

El programa *IDL.IAS.1/CLUAS*® (“*Clustering Assessment*”) fue desarrollado como un “*add-on*”/“*plug-in*” de ENVI (García-Torres, L. *et al.* 2006) y fue registrado en el Registro de la Propiedad Intelectual (N° 200699900440900). CLUAS consiste en la agrupación e integración de los valores digitales de píxeles contiguos según un rango de valores digitales (VD, máximo  $VD_{max}$  y mínimo  $VD_{min}$ ), unas dimensiones espaciales definidas, (número máximo de columnas

$C_{\max}$  y de filas  $F_{\max}$ ) y una convergencia/aunamiento de agrupamientos formados muy próximos (equidistantes solo 1 ó 2 píxeles, "neighbouring pixels 4 ó 8"). El programa CLUAS opera sistemáticamente procesando en primer lugar las filas, de arriba (fila 1) hacia abajo (fila  $F_{\max}$ , siendo  $F_{\max}$  el número máximo de filas de la imagen), integrando los valores de los píxeles contiguos en el pixel situado en la derecha de la fila correspondiente. Luego, de forma similar, procesa o integra los píxeles contiguos por columnas, de izquierda (columna 1) a derecha (columna  $C_{\max}$ , siendo  $C_{\max}$  el número máximo de columnas de la imagen). Además CLUAS integra los agrupamientos formados en la proximidad, cuyo centro equidista solo 1 ó 2 píxeles ("neighbouring pixels"). El programa IDL.IAS.1/CLUAS genera un informe con los resultados en formato ASCII, que contiene los siguientes parámetros de la imagen procesada en su conjunto: a) Número total de píxeles de la imagen (NTP); b) Numero total de agrupamientos (NTAG); c) Ratio NTAG/NTP; d) Integración de valores digitales acumulados (IVDA); e) Valor digital acumulado medio (VDAM); y para cada agrupamiento resultante: f) Coordenadas geográficas de su baricentro; g) Número de píxeles del grupo (NPAG); h) Valor digital integrado de los píxeles del grupo (VDAG); i) Ratio VDAG/NPAG. El informe se genera con tabuladores para la separación de columnas y de esta forma hacer que sea compatible con EXCEL.

Las imágenes remotas abarcan grandes superficies de terreno. Así, las tomadas desde aviones a una altura de vuelo de unos 1500 m normalmente cubren unas 300 ó 400 ha; y cada escenario de imágenes de satélites de alta resolución espacial, tales como las del Quick Bird, abarca unos 70 u 80 km<sup>2</sup>. Cualquiera de estas imágenes contiene normalmente un número muy elevado de espacios naturales, explotaciones agrarias y forestales, y otros usos del suelo de superficies muy variables, por ejemplo desde 0.5 ó 2 ha a 40 ó 60 ha, susceptibles de ser individualizados. Esta situación hace necesario la existencia de un procedimiento que permita seccionar dichas imágenes.

Igualmente, la aplicación de las técnicas de agricultura de precisión en una parcela agraria cualquiera que sea su tamaño requiere seccionar dicha parcela en subparcelas o parcelas elementales de mucho menor tamaño (en adelante llamadas microparcels), habitualmente su tamaño es de varios centenares de metros cuadrados (m<sup>2</sup>). Así, por ejemplo considerando microparcels de 20 m x 10 m en una parcela de 8 ha (80.000, m<sup>2</sup>) resultarán 400 microparcels.

El procedimiento objeto de la presente invención, que incluye la implementación del programa informático SARI, permite seccionar la imagen remota objeto de estudio en micro-imágenes o micro-parcelas rectangulares de dimensiones flexibles, pudiendo ser su longitud y anchura múltiplo de la del pixel de la imagen.

Además, en las técnicas de agricultura de precisión, se requiere analizar/procesar cada una de las micro-imágenes correspondientes a cada microparcels a fin de interpretar la variable o variables agronómica o medioambiental objeto de estudio.

Conviene recordar que las técnicas de teledetección son muy adecuadas para caracterizar la variabilidad espacial en la que se basa la agricultura de precisión, por los siguientes motivos: a) el sensor utilizado (satélite o fotografía aérea) registra lo que hay en campo (objetividad), b) el procedimiento de análisis de la imagen obtenida es rápido una vez se ha puesto el método a punto, c) permiten trabajar de forma secuencial, d) se maneja grandes extensiones de terreno y se evita en gran medida los muestreos en campo; y e) posibilitan la planificación de la toma de imágenes en el momento oportuno y el retraso de su análisis, en caso de que fuese necesario, sin perder por ello información.

El procedimiento objeto de la presente invención implementa el programa SARI<sup>®</sup> en el proceso de análisis de la imagen remota seleccionada, y proporciona automáticamente su seccionamiento en microimágenes correspondientes a microparcels individuales, proporcionando además de forma automática una valiosa información individualizada para cada microparcels, lo cual basándose en estudios previos permite tomar decisiones sobre operaciones agrícolas tales como la aplicación de fertilizantes o de fitosanitarios.

La presente invención permite sentar unas bases sólidas para el desarrollo de la agricultura de precisión en cualquier parcela agrícola basándose en imágenes aéreas.

## Descripción de la invención

### Descripción breve

El objeto de la presente invención es un procedimiento automático para el seccionamiento de imágenes remotas en microimágenes correspondientes a microparcels de terreno y para la obtención cuantitativa de indicadores agronómicos y ambientales de las mismas, que comprende las siguientes etapas:

- a) Toma de la imagen remota (imagen de satélite, fotografía aérea hiperespectral, multiespectral o pancromática, de alta resolución espacial)
- b) Digitalización y georreferenciación
- c) Análisis primario de la imagen tomada en a) que permite la obtención de imágenes simples formadas por una sola banda ó índice de vegetación. Asimismo se definen los valores digitales frontera (VDF) de cada uso de suelo.
- d) Definición de los parámetros del seccionamiento de la imagen, (por ejemplo el tamaño de las microparcels)

- e) Definición, para un uso de suelo seleccionado, del criterio que permitirá la toma de decisión para cada microparcela de la aplicación o no de un determinado tratamiento.
- f) Activación del programa informático *Splitting and Assessment of Remote Images* (SARI®) en ENVI e implementación de la imagen simple obtenida en c) en SARI®. El programa informático SARI® ha sido desarrollado como un “add-on”/“plug-in” de ENVI y está registrado en el Registro de la Propiedad Intelectual (García-Torres, L. *et al.* 2008; N° Registro 200899900226820). Se introducen en este software los parámetros de agrupamientos y de formación de microimágenes/microparcels definidos en los puntos anteriores c, d y e. El programa los procesa y da como resultado los indicadores agronómicos y ambientales para cada microparcela, así como los mapas de tratamiento.

Entre los indicadores agronómicos y ambientales que proporciona el procedimiento objeto de la presente invención pueden citarse, entre otros, el porcentaje de cultivo infestado de una determinada especie de mala hierba, patógeno o con déficit/carencia nutricional, esto es con un contenido de un nutriente por debajo de un determinado nivel, lo que permite estimar el descenso de la producción o cosecha potencial y el porcentaje de superficie en el que es recomendable o no la aplicación de fitosanitarios y/o fertilizantes. Asimismo, el procedimiento de la invención proporciona para cada microparcela sus coordenadas geográficas, valores digitales integrados o productividad potencial equivalente, número y % de píxeles con valores digitales entre el rango definido y clasificación de la microparcela en relación con estos parámetros.

Este procedimiento es susceptible de ser usado en cualquier tipo de terreno porque las parcelas de terreno a procesar pueden sustentar cualquier especie vegetal, espacio natural, agrícola o forestal, tener cualquier especificidad orográfica o topográfica, sin limitación de su superficie.

Otro objeto de la presente invención lo constituye la utilización del procedimiento descrito anteriormente para la obtención de indicadores agronómicos y ambientales de cada microparcela, así como de mapas de tratamiento o prescripción, de fertilizantes, fitosanitarios o cualquier otro input. Igualmente el procedimiento objeto de la presente invención puede ser utilizado en los programas de agricultura de precisión.

### Descripción de las figuras

Figura 1.a) *Vista de una imagen simple de una parcela de trigo de aproximadamente 2 ha con zonas infestadas de avena loca (*Avena sterilis* spp *sterilis*) y b) aislamiento de los rodales avena loca en dicha imagen.* En a) Las zonas en negro o gris corresponden al cultivo de trigo sin infestaciones de esta mala hierba. La parcela ha sido extraída de una imagen multiespectral tomada sobre La Florida II (Utrera, Sevilla; X = 242061, Y = 4124807, pixel = 1 m; previamente transformada mediante el índice NDVI; los valores digitales frontera para el trigo fueron 0.0-0.55, y para la avena loca 0.56-0.79; en b) en blanco se destacan los rodales de avena loca con VD = 0.56-0.79 y las zonas de cultivo no infestadas se indican en negro (VD = 0).

Figura 2.- *Seccionamiento por el programa SARI® de la imagen mostrada en la Figura 1.b. en microparcels de 50 m x 20 m y mapa de prescripción según la clasificación de éstas.* En blanco, infestaciones de *Avena sterilis* débiles (Clase 1, % píxeles < 20); en gris, Clase 2, % pix 20-40%; en negro, clases 3 y 4, > 40% píxeles infestados. Las características de procesamiento fueron: VDF 0-0.79, agrupamientos máximos de 50x20, sin convergencia en los agrupamientos (Merg. Dist. = 0) y sin limitación de tamaño (Min. Pix. = 1); clasificación según % de píxeles ≠ 0; las microparcels en las que se aplica fertilizante se muestran en negro.

Figura 3.a) *Vista general de una imagen simple de una parcela de maíz (*Zea maíz* L.) de aproximadamente 0.7 ha con zonas de crecimiento deficitario por bajo contenido de nitrógeno. b) Seccionamiento de la localizados.* a) La imagen del satélite QB fue tomada el 05 de Mayo de 2005 en la zona Posadas (Córdoba; X = 314934, Y = 4184426, 1 pixel en multiespectral = 2.8 m). La parcela fue transformada al índice NDVI; la zona deficitaria de nitrógeno corresponde a valores digitales menores a 0.275; b) tamaño de las microparcels 9 x 4 píxeles (25 m x 11.2 m = 282 m<sup>2</sup>); el criterio aplicación de fertilizante en microparcels fue: % de píxeles deficitarios en Nitrógeno > 30%. Foto Zoom x 4; las microparcels en las que se aplica fertilizante se muestran en negro.

Figura 4.a) *Vista general de una imagen simple de una parcela de guisantes (*Pisum sativum* L.) de aproximadamente 0.7 ha parcialmente parasitada por *Orobanche crenata* Forsk. b) Vista de la misma parcela en la que se han aislado los rodales de *Orobanche crenata*; c) Mapa de prescripción o de tratamientos localizados resultante de la implementación de SARI.* a) La imagen fue transformada mediante el índice NDVI; Las zonas en gris y negro corresponden al cultivo de guisante no parasitadas y si parasitadas, respectivamente. La parcela ha sido extraída de una imagen multiespectral tomada el 26. Abril. 2006 en la campiña de Córdoba (X = 311807, Y = 4161192, pixel = 1 m; en la imagen b) los valores digitales frontera para el guisante fueron 0.62 a 0.74, y para *Orobanche* 0.21 a 0.62; en la imagen c). el tamaño de las microparcels fue de 19 x 10 m; y el criterio de aplicación de fitosanitario fue de parcelas con un porcentaje de píxeles infestados superior al 30%.

## Descripción detallada

El objeto de la presente invención es un procedimiento con el que es posible seccionar de forma óptima imágenes remotas, que abarcan grandes áreas de terreno, en microimágenes correspondientes a parcelas de dimensiones reducidas (microparcels), y a la vez caracterizar y cuantificar indicadores agronómicos y ambientales de éstas, basándose en teledetección y en el procesado de las correspondientes imágenes mediante el programa informático SARI® Software (*Splitting and Assessment of Remote Images*, en adelante SARI).

Dicho procedimiento de la invención comprende las siguientes etapas:

a) Toma de imágenes remotas de satélite o fotografía aérea hiperespectral, multiespectral o pancromática, con variable resolución espacial, de uno ó varios metros, o incluso inferior,.

b) Digitalización de imágenes en el caso de fotografías aéreas no digitalizadas, y georreferenciación de precisión, mediante toma de datos con GPS diferencial, de precisión submétrica, para asignar las coordenadas geográficas a imágenes aéreas desprovistas de coordenadas geográficas o con errores de georreferenciación inaceptables para agricultura de precisión, por ejemplo superiores 2 m.

c) Análisis primario de la imagen que comprende a su vez las siguientes etapas:

c.1) Recorte o aislamiento de la imagen correspondiente a la parcela objeto de estudio

c.2) Transformación/obtención de imágenes simples constituidas por una sola banda del espectro visible (azul: B, verde: G, rojo: R; e infrarrojo cercano NIR), pancromática, o cualquier otra banda en el caso de imágenes hiperespectrales, o de cualquier índice de vegetación que se defina mediante un algoritmo entre cualquiera de las bandas antes mencionadas, según las características de resolución espacial de la imagen en proceso y el objetivo del estudio en curso,

c.3) Definición de regiones representativas (“regiones de interés”) de los principales usos en la imagen simple o imágenes simples seleccionadas, que puede implicar el manejo de puntos “verdad-terreno” previamente tomados

c.4) Definición de valores digitales frontera (VDF) de cada uso de suelo y clasificación/separación de los mismos en la imagen simple seleccionada, mediante un proceso iterativo de selección de VDF contrastado estadísticamente,

d) Definición de los parámetros del seccionamiento de la imagen, entre otros el tamaño de las microparcels

e) Definición, para un uso de suelo seleccionado, del criterio (% píxeles y valores digitales integrados) que motiva para cada microparcela la aplicación o no de un determinado tratamiento

f) Activación del programa informático *Splitting and Assessment of Remote Images* (SARI®) en ENVI e implementación de la imagen simple obtenida en c), en SARI®, que comprende a su vez las siguientes etapas:

f.1) Introducción en SARI® de los parámetros de agrupamientos y de formación de microimágenes/microparcels (ROIs) seleccionados en los puntos anteriores c.3, c.4, d y e

f.2) Procesado y obtención por SARI® de los indicadores agronómicos y ambientales de acuerdo con los parámetros introducidos para cada microparcela y previamente indicados, así como de la obtención de los mapas de tratamiento.

f.3) Estudio y visualización de la información generada automáticamente por SARI®.

El programa informático SARI® (*Splitting and Assessment of Remote Images*) ha sido desarrollado como un “add-on”/“plug-in” de ENVI. SARI lleva a cabo diversas tareas originales para la interpretación de imágenes remotas, tales como: a) Define regiones/zonas (ROIs) en el centro geométrico de las agrupaciones conformadas; b) Las visualiza en la imagen original; c) Determina características cuantitativas de cada una de las ROIs/microimágenes/microparcels diseñadas; d) Haciendo coincidir el tamaño de las ROIs formadas y el de los agrupamientos, la imagen original se secciona en microimágenes rectangulares; e) La definición del tamaño de éstas es flexible y su caracterización cuantitativa se expresa en un fichero de datos ASCII, que así mismo se maneja de forma flexible. En definitiva, SARI Software puede ser usado para la interpretación cuantitativa y visualización de los agrupamientos formados, para la definición y visualización de regiones de interés arbitrariamente diseñadas, y para la segmentación de las imágenes remotas de gran tamaño (elevado número de píxeles) en imágenes de tamaño reducido, varias decenas, centenares o miles de píxeles (“micro-imágenes”) y evaluación individualizada y automática de las mismas.

SARI define los agrupamientos de píxeles a través de los siguientes parámetros: a) Rango de valores digitales (VD): mínimo (*Min. VD*) y máximo (*Max. VD*); b) Distancia de aunamiento o de convergencia de agrupamientos próximos

## ES 2 332 567 A1

(*Merging dist*); se define un número de píxeles o distancia entre agrupamientos de forma discrecional/variable/flexible, por debajo de la cual los agrupamientos próximos se aúnan/convergen; c) Tamaño mínimo de los agrupamientos (*Min. Pixels*), por debajo del cual no se considera un determinado agrupamiento; y d) Tamaño máximo de los agrupamientos (*Clustering Size, Width, Height*).

SARI define el centro geométrico de las agrupaciones formadas según las dimensiones que se introduzcan en la interfaz: número de columnas ("*Width*") y número de filas ("*Height*"); y así mismo define los criterios de clasificación de las ROIs: a) % de píxeles con  $VD \neq 0$  sobre el total de píxeles de cada ROI; y/o b) % de valores digitales integrados (VDAG) sobre un máximo ( $VDAG_{max}$ ).

En cada microimagen SARI cuantifica, una vez implementados los adecuados índices de vegetación, el número total de píxeles, número de píxeles cuyos valores digitales estén comprendidos entre el rango que se establezca y la integral de los mismos. Estos parámetros tendrán un significado diferente según el contenido de la imagen de que se trate y deberán también interpretarse en base a trabajos de campo previos ("verdad-terreno").

En definitiva, el programa informático SARI determina para cada microimagen/microparcela el % de píxeles o integral de valores digitales, parámetros susceptibles de ser relacionados con grado de la variable biótica objeto de estudio, por ejemplo el contenido de nutrientes/densidad de infestaciones de maleza.

El procedimiento de la presente invención discrimina y cuantifica mediante teledetección los usos de suelo que se definan en imágenes simples de una sola banda o índice vegetativo, secciona la imagen en microimágenes/microparcelas, y estima para cada una de ellas, entre otros indicadores, los siguientes: su centro geográfico, sus coordenadas geográficas, superficie o número de píxeles integrados (NP), valores digitales integrados en cada agrupamiento (VDAG) y VDGA/NP ó productividad potencial, clasificación automática de cada microparcela según el porcentaje de píxeles y/o valores digitales integrados de las mismas.

Esta información cuantitativa SARI® la genera en cualquier formato ASCII (Excel, Txt., etc), caracterizando cada microparcela individualmente y la imagen/parcela agrícola procesada en su conjunto, calculando entre otros indicadores la superficie o el porcentaje de zonas afectadas por diversos factores bióticos tales como la distribución espacial de especies de malas hierbas, incidencia de una enfermedad o de un insecto-plaga, o abióticos, tales como contenido de un nutriente/nivel de fertilidad.

El procedimiento objeto de esta invención sirve de base para el diseño e implementación de programas/operaciones de agricultura de precisión en parcelas agrarias, configurando el mapa de tratamientos de inputs/variables agronómicas tales como la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios. Así, por ejemplo, cuando las imágenes recogen una parcela agrícola con diverso grado de crecimiento atribuible a diverso contenido de nutrientes y/o a agrupaciones/rodales de malas hierbas en el cultivo, se puedan determinar las microparcelas del cultivo de diverso contenido de nutrientes y por consiguiente susceptibles de recibir dosis mayores de fertilizante; o alternativamente se pueden determinar las microparcelas infestadas de malas hierbas y por consiguiente susceptibles de ser tratadas con fitosanitarios herbicidas.

SARI® se puede utilizar para contribuir a la agricultura precisión, que requiere se genere una información detallada de las desigualdades de un terreno atribuibles a factores bióticos y abióticos, y así mismo, para determinar a efectos comparativos la productividad potencial de determinadas zonas de una parcela o entre parcelas agrícolas. Tiene aplicación en Agricultura y Medioambiente, y más concretamente en Empresas de Asistencia Técnica Agraria o Medioambiental. El procedimiento objeto de esta patente permitirá que dichas empresas planifiquen las estrategias de aplicación de fertilizantes y fitosanitarios con precisión, esto es en pequeñas parcelas/microparcelas, estimando previamente la productividad potencial e indicadores agroambientales de éstas.

Así, basándose en estudios agronómicos previos sobre el efecto del contenido de nutrientes y/o la competición de las malas hierbas en la cosecha/producción del cultivo, se relacionarán los parámetros anteriores con el tratamiento de fertilizantes o fitosanitarios herbicidas correspondientes, respectivamente, y se elaborará mapas de tratamientos fertilizantes y/de fitosanitarios herbicidas de dosis variables ó de precisión para el conjunto de la parcela.

### Ejemplos de la realización de la invención

#### Ejemplo 1

##### *Procesamiento de imágenes de una parcela de trigo infestada de avena loca (Avena sterilis)*

Se ha procesado mediante el procedimiento de la invención imágenes correspondientes a una parcela de trigo (Figura 1a y 2b) infestada con rodales/agregados de avena loca (*Avena sterilis* sp. *sterilis*) tomadas el 08 Mayo 2004 sobre la finca La Florida II, Utrera, Sevilla ( $X = 242061$ ,  $Y = 4124807$ ), de 1,8 ha (18.000, m<sup>2</sup>). La imagen multispectral original se transformó previamente al índice de vegetación NDVI.

Mediante el procedimiento de la invención se ha seccionado la imagen de la parcela original en microimágenes/microparcelas de 50 m x 20 m. y 25 m x 10 m, cuyos resultados se indican en las Tablas 1 y 2, respectivamente. SARI proporciona diversos índices agro-medioambientales de cada microparcela, entre otros los siguientes: Número de agrupamientos, coordenadas geográficas, número de píxeles agrupados (NPAG); valores digitales integrados

## ES 2 332 567 A1

(VDAG); valor digital medio por pixel (VDAM), y número y % píxeles con  $VD \neq 0$ . Y basándose en este último índice o en el índice VDAG clasificación las microparcelsas en clases (de 1 a 4).

5 El seccionamiento y la clasificación o mapa de prescripción de tratamientos de la imagen original obtenida por el procedimiento de la invención, se puede visualizar en imágenes (Figura 2) de acuerdo con el criterio definido.

### Ejemplo 2

10 *Procesamiento de imágenes de una parcela de maíz con zonas deficitarias de nitrógeno*

Se han procesado imágenes correspondientes a una parcela de maíz (*Zea mais* L.) de aproximadamente 0.7 ha con zonas de crecimiento deficitario por bajo contenido de nitrógeno. Las imágenes procesadas se tomaron de una escena del satélite QUICK BIRD tomada el 05 de Mayo de 2005 en la zona Posadas (Córdoba; X = 314934, Y = 4184426, 15 1 pixel en multiespectral = 2.8 m). La imagen de la parcela fue transformada al índice NDVI; la zona deficitaria de nitrógeno corresponde a valores digitales menores a 0.275.

SARI se implementó para seccionar la imagen en 25 microparcelsas de 9 x 4 píxeles (25 m x 11.2 m = 282 m<sup>2</sup>). El mapa de prescripción o de tratamientos localizados por la implementación en SARI se indica en la Figura 3b. El 20 criterio de aplicación de fertilizante en microparcelsas fue: % de píxeles deficitarios en Nitrógeno > 30%. La tabla 3 y las figuras 4a) y 4b) son las correspondientes a este ejemplo.

### Ejemplo 3

25 *Procesamiento de imágenes de un cultivo de guisante parcialmente atacado por la especie parásita Orobanche crenata*

Se ha procesado una imagen multiespectral correspondientes a una parcela guisantes (*Pisum sativum* L.) de aproximadamente 0.7 ha, parcialmente parasitada por *Orobanche crenate* Forsk. Dicha imagen fue tomada el 26. Abril. 30 2006 en la campiña de Córdoba (X = 311807, Y = 4161192, pixel = 1 m; b). Se transformó mediante el índice NDVI; las zonas en gris-blanco pálido y negro corresponden al cultivo de guisante no parasitadas y si parasitadas, respectivamente (Figura 4). Los valores digitales frontera para el guisante fueron 0.62 a 0.74, y para *Orobanche* 0.21 a 0.62. La implementación de SARI seccionó la imagen original en microparcelsas 19 m x 10 m y la clasificó con el criterio de aplicar fitosanitario sólo en microparcelsas con un porcentaje de píxeles infestados superior al 30%. La tabla 4 y la 35 Figura 4 muestran los resultados correspondientes a este ejemplo.

40 (Tabla pasa a página siguiente)

45

50

55

60

65



Tabla 1. Resultados cuantitativos del seccionamiento de la imagen correspondiente a la parcela de trigo mostrada en la Figura 1.b., en microimágenes de 50 m x 20 m y clasificación de éstas por el programa SAR1®. Las características de procesamiento fueron: VDF 0-0.79, agrupamientos máximos de 50x20, sin convergencia en los agrupamientos (Merg. Dist.=0) y sin limitación de tamaño (Min. Pix. =1; clasificación según % de píxeles #0.

NTP: 18000

AG	X	Y	NPAG	VDAG	VDAG/NPAG	Píxeles VD #0		Clase
						No.	%	
AG1	242086,45	4124799,75	1000	115,8	0,12	196	19,6	1
AG2	242136,33	4124803,25	1000	389,5	0,39	632	63,2	5
AG3	242186,2	4124806,75	1000	208,4	0,21	330	33	2
AG4	242236,09	4124810,25	1000	162	0,16	261	26,1	2
AG5	242285,97	4124813,75	1000	168,8	0,17	268	26,8	2
AG6	242335,84	4124817,25	1000	43,6	0,04	74	7,4	1
AG7	242087,84	4124779,75	1000	423,4	0,42	692	69,2	5
AG8	242137,73	4124783,25	1000	570,2	0,57	895	89,5	5
AG9	242187,61	4124786,75	1000	357,5	0,36	581	58,1	5
AG10	242237,48	4124790,25	1000	280,3	0,28	452	45,2	5
AG11	242287,36	4124793,75	1000	366,3	0,37	575	57,5	5
AG12	242337,23	4124797,25	1000	253	0,25	410	41	5
AG13	242089,25	4124760	1000	521,7	0,52	841	84,1	5
AG14	242139,13	4124763,25	1000	392,2	0,39	641	64,1	5
AG15	242189	4124766,75	1000	122,1	0,12	201	20,1	2
AG16	242238,88	4124770,25	1000	192,6	0,19	316	31,6	2

AG17	242288,75	4124773,75	1000	273,7	0,27	446	44,6	5
AG18	242338,64	4124777,25	1000	245,9	0,25	409	40,9	2

NTAG: 18000      NTAG/NTP: 1  
 VDAM: 0,3      IVDA: 5087,1

1 Abreviaturas: NTP, número total de píxeles de la imagen procesada; AG, agrupamientos; x e y, coordenadas geográficas; NPAG, número de píxeles agrupados; VDAG, valores digitales integrados; NTAG, número total de píxeles del conjunto ; IVDA, valores digitales integrados; VDAM, valor digital medio por pixel No. y % píxeles VD ≠0; Class: clasificación según % píxeles VD ≠0.

Tabla 2. Resultados cuantitativos del seccionamiento de la imagen correspondiente a la parcela de trigo mostrada en la Figura 1.b., en microimágenes de 25 m x 10 m y clasificación de éstas por el programa SARI®. Las características de procesamiento fueron: VDF 0-0.79, agrupamientos máximos de 25x10, sin convergencia en los agrupamientos (Merg. Dist.=0) y sin limitación de tamaño (Min. Pix. =1); clasificación según % de píxeles ≠0 (se muestran solo datos de las 8 primeras y últimas microparcelas).

NTP*:	18000								
	AG	X	Y	NPAG	VDAG	VDAG/NPAG	No.	%	Clase
AG1	242073,64		4124804	250	2,9	0,01	5	2	1
AG2	242088,58		4124805,75	250	2,3	0,01	4	1,6	1

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65

AG3	242123,52	4124807,5	250	64,3	0,26	110	44	5
AG4	242148,45	4124809,25	250	53,7	0,21	91	36,4	2
AG5	242173,39	4124811	250	4,6	0,02	8	3,2	1
AG6	242198,33	4124812,5	250	5,5	0,02	9	3,6	1
AG7	242223,27	4124814,25	250	0	0,00	0	0	1
AG8	242248,2	4124816	250	41,2	0,16	65	26	2
AG65	242176,88	4124761	250	32,1	0,13	52	20,8	1
AG66	242201,81	4124762,75	250	20,5	0,08	35	14	1
AG67	242226,75	4124764,5	250	25,9	0,10	44	17,6	1
AG68	242251,7	4124766,25	250	77,1	0,31	123	49,2	5
AG69	242276,64	4124768	250	107,8	0,43	170	68	5
AG70	242301,58	4124769,75	250	70,3	0,28	117	46,8	5
AG71	242326,52	4124771,5	250	103,2	0,41	171	68,4	5
AG72	242351,45	4124773,25	250	79,8	0,32	131	52,4	5

NTAG: 18000 NTAG/NTP: 1  
VDAM: 0,3 IVDA: 5087,1

\*Abreviaturas: ver tabla 1

Tabla 3. Resultados cuantitativos del seccionamiento de la imagen de maíz de 0.7 ha (Figura 3a) en microparcelas de 9 x 4 pixeles y caracterización de las microparcelas deficitarias en nitrógeno (VDF NDVI 0.20 a 0.27). Se consideró el criterio de fertilizar las microparcelas con >40% pixeles con déficit de nitrógeno

ES 2 332 567 A1

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65

NTP*	900	X	Y	NPAG	VDAG	VDAG/NPAG	No.	%	Clase
AG									
AG1	314946.22	4184426.25	4184426.25	36	7.82	0.22	30	83.33	5
AG2	314970.19	4184434.00	4184434.00	36	9.15	0.25	36	100.00	5
AG3	314994.16	4184441.75	4184441.75	36	3.36	0.09	13	36.11	1
AG4	315018.13	4184449.50	4184449.50	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG5	315042.09	4184457.50	4184457.50	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG6	314949.69	4184415.50	4184415.50	36	7.32	0.20	29	80.56	5
AG7	314973.66	4184423.25	4184423.25	36	8.84	0.25	36	100.00	5
AG8	314997.59	4184431.25	4184431.25	36	1.83	0.05	7	19.44	1
AG9	315021.56	4184439.00	4184439.00	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG10	315045.53	4184446.75	4184446.75	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG11	314953.13	4184405.00	4184405.00	36	8.00	0.22	33	91.67	5
AG12	314977.09	4184412.75	4184412.75	36	8.36	0.23	34	94.44	5
AG13	315001.06	4184420.50	4184420.50	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG14	315025.03	4184428.25	4184428.25	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG15	315049.00	4184436.00	4184436.00	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG16	314956.59	4184394.25	4184394.25	36	8.25	0.23	36	100.00	5
AG17	314980.56	4184402.00	4184402.00	36	4.98	0.14	20	55.56	5
AG18	315004.53	4184409.75	4184409.75	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG19	315028.50	4184417.75	4184417.75	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG20	315052.47	4184425.50	4184425.50	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG21	314960.06	4184383.50	4184383.50	36	8.45	0.23	36	100.00	5
AG22	314984.03	4184391.50	4184391.50	36	1.04	0.03	4	11.11	1
AG23	315008.00	4184399.25	4184399.25	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG24	315031.97	4184407.00	4184407.00	36	0.00	0.00	0	0.00	1
AG25	315055.94	4184414.75	4184414.75	36	0.78	0.02	3	8.33	1
NTAG:	900				IVDA:			78.1	
NTAG/NTP:	1				VDAMI:			0.09	

\*Abreviaturas: ver tabla 1

Tabla 4. Resultados cuantitativos del seccionamiento de la imagen de guisantes (Figura 4, de 0.7 ha), en microparcelas de 19 m x 10 m, caracterización de éstas según el porcentaje de píxeles infestados por *Orobancha crenata* (NDVI VDF 0 a 0,619), y clasificación de las microparcelas. Criterio de aplicar fitosanitarios solo en infestaciones > 25% (clases 2 a 5).

NTP		5225		VDAG/		VDAG/		VDAG/		VDAG/		VDAG/		VDAG/	
AG	X	Y	NPAG	VDAG	NPAG	VDAG	NPAG	VDAG	NPAG	VDAG	No.	%	Clase		
AG1	341839.47	4161179.50	190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	1		
AG2	341858.47	4161179.50	190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	1		
AG3	341877.47	4161179.50	190	1.23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2	1.05	1		
AG4	341896.47	4161179.50	190	4.91	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	8	4.21	1		
AG5	341915.47	4161179.50	190	6.61	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	11	5.79	1		
AG6	341839.47	4161169.50	190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	1		
AG7	341858.47	4161169.50	190	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.53	1		
AG8	341877.47	4161169.50	190	26.52	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	46	24.21	1		
AG9	341896.47	4161169.50	190	36.45	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	62	32.83	5		
AG10	341915.47	4161169.50	190	65.63	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	117	61.58	5		
AG11	341839.47	4161159.50	190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	1		
AG12	341858.47	4161159.50	190	8.38	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	14	7.37	1		
AG13	341877.47	4161159.50	190	32.34	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	54	28.42	5		
AG14	341896.47	4161159.50	190	51.82	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	89	46.84	5		
AG15	341915.47	4161159.50	190	87.06	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	190	100.00	5		
AG16	341839.47	4161149.50	190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	1		
AG17	341858.47	4161149.50	190	29.28	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	50	26.32	5		
AG18	341877.47	4161149.50	190	40.41	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	68	35.79	5		
AG19	341896.47	4161149.50	190	66.74	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	137	72.11	5		
AG20	341915.47	4161149.50	190	66.21	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	190	100.00	5		
AG21	341839.47	4161139.50	190	1.23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2	1.05	1		

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65

AG22	341858.47	4161139.50	190	9.08	0.05	15	7.89	1
AG23	341877.47	4161139.50	190	14.33	0.08	24	12.63	1
AG24	341896.47	4161139.50	190	74.75	0.39	174	91.58	5
AG25	341915.47	4161139.50	190	64.70	0.34	188	98.95	5
AG26	341839.47	4161132.00	95	0.00	0.00	2	1.05	1
AG27	341858.47	4161132.00	95	6.60	0.07	15	7.89	1
AG28	341877.47	4161132.00	95	19.52	0.21	38	20.00	1
AG29	341896.47	4161132.00	95	37.29	0.39	122	64.21	5
AG30	341915.47	4161132.00	95	35.54	0.37	133	70.00	5

NTAG:	5225	IVDA:	787.22
NTAG/NTP:	1.00	VDAM:	0.15

\*Abreviaturas: ver tabla 1

## Referencias

- 5 -- **Barroso, J., C. Fernández-Quintanilla, P. Ruiz, P. Hernáiz** and L. J. **Rew**. 2004. Spatial stability of *Avena sterilis* ssp. Ludoviciana populations under annual applications of low rates of imazamethabenz. *Weed Res.* 44:178-186.
- 10 -- **Blackmore, S.** 1996. An information system for precision farming. *Brighton Conference on Pests and Diseases*, Brighton, Reino Unido, vol.: 3: 1207-1214.
- 15 -- **Anderson G. L., J. H. Everitt, A. J. Richardson,** and D. E. **Escobar**. 1993. Using satellite data to map false broomweed infestations in South Texas rangeland, *Weed Technology*, 7: 865-871.
- **Calera A., Martínez C. and Meliá J.** 2001. A procedure for obtaining green plant cover: relation to NDVI in a case study for barley. *Int. J. of Remote Sensing*, 22: 3357-3362.
- 20 -- **Calera A., González-Piqueras J. and Meliá J.** 2002. Remote sensing monitoring crop growth. *In Proceedings of Recent Advances in Quantitative Semote Sensing*, Valencia, pp 522-529.
- **Cloutis, E. A., Connery, D. R. Major, D. J. and Dover, F. J.** 1996. Airborne multispectral monitoring of agricultural crop status: effect of time of year, crop type and crop condition parameter. *Intern. Journal of Remote Sensing*, 17: 2579-2601.
- 25 -- **Chuvieco, E.** (2002) *Teledetección Ambiental*. Editorial Ariel, Madrid. 568 páginas.
- **Denison, R. F., Miller, R. O., Bryant, D., Abshahi, A. & Wildman, W. E.** 1996. Crop management goes high tech. *California Agriculture*, May-June 1996.
- 30 -- **Everitt, J. H. and C. J. Deloach.** 1990. Remote sensing of Chinese tamarisk (*Tamarix chinensis*) and associated vegetation. *Weed Sci.* 38:273-278.
- **Everitt, J. H., J. V. Richerson, M. A. Alaniz, D. E. Escobar** and M. R. **Davis**. 1994. Light reflectance characteristics and remote sensing of big bend loco (*Astragalus mollissimus* var. *earlei*) and wooton loco (*Astragalus wootonii*). *Weed Sci.* 42:115-122.
- 35 -- **Felton, W. L., C. L. Alston, C. B. M. Haigh, P. G. Nash, G. A. Wicks** and G. E. **Hanson**. 2002. Using reflectance sensors in agronomy and weed science. *Weed Technol.* 16:520-527.
- 40 -- **García-Torres, Luis; José Manuel Peña Barragán; Juan Jose Caballero Novella; Montserrat Jurado Expósito** y Francisca **López-Granados**. 2008. El programa informático SARI para la interpretación de imágenes remotas: formación de agrupamientos de píxeles, delineación de regiones de interés, segmentación de las mismas en “micro-imágenes” y evaluación individualizada y automática de las misma. Registro de la Propiedad Intelectual, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Sevilla, Número de Registro 200899900226820, Marzo 2008, 28 páginas.
- 45 -- **García-Torres, Luis; José Manuel Peña Barragán; Francisca López-Granados;** y Montserrat **Jurado Expósito**. 2007. Procedimiento para la caracterización automática de indicadores agronómicos y ambientales de plantaciones de árboles en imágenes remotas de alta resolución espacial mediante el subprograma informático “Clustering Assessment” IDL.IAS.1® (CLUAS). Solicitud de Patente 200700256, 38 páginas, 31 Enero 2007.
- 50 -- **García Torres L., J. M. Peña-Barragán, F. López-Granados, M. Jurado-Expósito, R. Fernández-Escobar.** 2008. Automatic assessment of agro-environmental indicators from remotely sensed images of tree orchards and its evaluation using olive plantations. *Computers and Electronic in Agriculture*, 61, 179-191.
- 55 -- **Girma, K., J. Mosali, W.R. Raun, K. W. Freeman, K. L. Martín, J. B. Solie** and M. L. **Stone**. 2005. Identification of optical spectral signature for detecting cheat and ryegrass in winter wheat. *Crop Sci.* 45:477-485.
- 60 -- **Goel P. K., S. O. Prasher, R. M. Patel, D. L. Smith, A. DiTommaso.** 2002. Use of airborne multispectral imagery for weed detection in crops., *Transactions of ASAE*, 45: 443-449.
- **Heisel, T., C. Andreasen** and A. K. **Ersboll**. 1996. Annual weed distributions can be mapped with kriging. *Weed Res.* 36:325-337.
- 65 -- **Jackson, R. D. and Huete, A. R.** 1991. Interpreting vegetation indexes. *Prev. Vet. Med.* 11: 185-200.

- **Jurado-Expósito M., López-Granados F. García-Torres L., García-Ferrer A., Sánchez de la Orden M. and Atenciano S.** 2003. Multi-species weed spatial variability and site-specific management maps in cultivated sunflower. *Weed Science*, 51, 319- : 328.
- 5 -- **Kanemasu, E. T., Demetriades-shah, T. H. & Su, H.** 1990. Estimating grassland biomass using remotely sensed data. In. *Application of Remote Sensing* ed. M.D. Steven and J.A. Clark. p.185-199.
- **Koger, H. K., D. R. Shaw, K. N. Reddy and L. M. Bruce.** 2004. Detection of pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*) with hyperspectral remote sensing. II Effects of vegetation ground cover and reflectance properties. *Weed*  
10 *Sci.* 52:230-235.
- **Kokaly, R. F., Despain, D. G., Clark, R. N. and Livo, K. R.** 2003. Mapping vegetation in Yellowstone National Park using spectral feature analysis of AVIRIS data, *Remote Sensing of Environment*, 84: 437-456.
- 15 -- **Kropff, M. J., Wallinga, J. & Lotz, L. A. P.** 1997. Modelling for precision weed management. In Precision Agriculture: Spatial and temporal variability of environmental quality. L.J. Ciba Foundation 1997, Bock G.R. and Goode J.A. (ed.), 182-204. *John Wiley and Sons Ltd.*
- **Lass, L. W. and R. H. Callihan.** 1997. The effect of phenological stage on detectability of yellow hawkweed  
20 (*Hieracium pratense*) and oxeye daisy (*Chrysanthemum leucanthemum*) with remote multispectral digital imagery. *Weed Technol.* 11:248-256.
- **Lanjeri S., Meliá, J. and Segarra D.** 2001. A multitemporal masking classification method for vineyard monitoring in central Spain. *Intern. Journal of Remote Sensing*, 22: 3167-3186.
- 25 -- **Lanjeri S., Segarra D. Calera A and Meliá J.** 2002. Study of the land use changes effects on the evapotranspiration in central Spain using remote sensing techniques. *Proceedings of Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, Valencia, pp 530-536.
- 30 -- **López-Granados López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J. M., García-Torres, L.** 2006. Using remote sensing for identification of late-season grass weed patches in wheat. *Weed Sci.*, 54, 346-353.
- **López-Lozano R. and Casterad M.A.** 2003. Una aplicación SIG para seguimiento en parcela mediante NDVI de irregularidades en el desarrollo del cultivo. *Proceedings del X Congreso Nacional de Teledetección*, Cáceres, pp 9-  
35 12.
- **Medlin, C. R., D. R. Shaw, P. D. Gerard and F. E. Lamastus.** 2000. Using remote sensing to detect weed infestations in *Glycine max.* *Weed Sci.* 48:393-398.
- 40 -- **Peña Barragán J. M., F. López Granados, S. Atenciano, M. Jurado Exposito, M. Sánchez de la Orden, A. García-Ferrer & L. García-Torres.** (2004). Assessment of soil uses in olive groves from aerial photographs, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103, 117-122.
- **Peña-Barragán J. M., F. López-Granados, M. Jurado-Expósito, and L. García-Torres.** 2007. Mapping Riddellia segetum patches in sunflower crop using remote sensing. *Weed Research*, 17: 164-172.
- 45 -- **Radhakrishnan, J, S Liang, J. R. Teasdale and C. J. Shuey.** 2002. Remote sensing of weed canopies. In: *From laboratory spectroscopy to remotely sensed spectra of terrestrial ecosystems* (eds Ranjan S. Muttiah), 175-202. *Kluwer Academic Publishers.*
- 50 -- **Schmidt, K. S. and A. K. Skidmore.** 2003. Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sensing Environ.* 85:92-108.
- **Smith, A. M. & R. E. Blackshaw.** 2003. Weed-Crop discrimination using remote sensing: a detached leaf  
55 experiment. *Weed Technol.* 17:811-820.
- **Thorp K. R. & L. F. Tian.** (2004). A review of remote sensing of weeds in agriculture. *Precision Agric.*, 5, 477-508.
- 60 -- **Timmermann, C., Gerhards, R., Kühbauch, W.** 2003. The economic impact of site-specific weed control. *Precision Agric.*, 4: 249-260.
- 65



# ES 2 332 567 A1

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento automático para seccionar una imagen remota en imágenes rectangulares de menor tamaño (microimágenes/microparcels), que comprende las siguientes etapas:

a) Toma de imagen de satélite o fotografía aérea hiperespectral, multiespectral o pancromática, de alta resolución espacial

b) Digitalización y georreferenciación, en los casos que sea necesario (por ejemplo fotografías aéreas no digitalizadas ni georreferenciadas).

c) Análisis primario de la imagen tomada en a) que comprende a su vez las siguientes etapas:

c.1) Recorte o aislamiento de la imagen correspondiente a la parcela objeto de estudio

c.2) Obtención de imágenes simples formadas por una sola banda ó índice de vegetación,

c.3) Definición de regiones representativas (“regiones de interés”) de los principales usos de suelo en la imagen simple o imágenes simples seleccionadas,

c.4) Definición de valores digitales frontera (VDF) de cada uso de suelo y clasificación/separación de los mismos en la imagen simple seleccionada, mediante un proceso iterativo de selección de VDF contrastado estadísticamente,

d) Definición de los parámetros del seccionamiento de la imagen, entre otros el tamaño de las microparcels

e) Definición, para un uso de suelo seleccionado, del criterio (% píxeles y valores digitales integrados) que motiva para cada microparcels la aplicación o no de un determinado tratamiento

f) Activación del programa informático *Splitting and Assessment of Remote Images* (SARI®) en ENVI e implementación de la imagen simple obtenida en c) en SARI®, que comprende a su vez las siguientes etapas:

f.1) Introducción en SARI® de los parámetros de agrupamientos y de formación de microimágenes/microparcels (ROIs) seleccionados en los puntos anteriores c.3, c.4, d y e

f.2) Procesado y obtención por SARI® de los indicadores agronómicos y ambientales de acuerdo con los parámetros introducidos para cada microparcels y previamente indicados, así como de la obtención de los mapas de tratamiento.

f.3) Estudio y visualización de la información generada automáticamente por SARI®.

2. Procedimiento para seccionar una imagen remota según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la resolución espacial de dicha imagen remota puede variar desde imágenes con píxeles inferiores a 1 m a centenares de metros.

3. Procedimiento para seccionar una imagen remota según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la imagen simple obtenida en c.2) está formada por una sola banda o índice del espectro visible (azul: B, verde: G, rojo: R; e infrarrojo cercano NIR), pancromática, o cualquier otra banda en el caso de imágenes hiperespectrales, o de cualquier índice de vegetación que se defina mediante un algoritmo entre cualquiera de las bandas antes mencionadas.

4. Procedimiento para seccionar una imagen remota según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se define el tamaño de las microparcels en rectángulos cuya longitud y anchura sea múltiplo del pixel de la imagen según el objetivo del estudio en curso.

5. Procedimiento para seccionar una imagen remota según la reivindicación 4, **caracterizado** porque la longitud y altura de las microparcels rectangulares obtenidas por el seccionamiento se determina con flexibilidad desde un pixel a cualquier múltiplo de éste.

6. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque los indicadores obtenidos en el punto f.2), además de su centro expresado en coordenadas geográficas, superficie o número de píxeles integrados (NP), valores digitales integrados en cada agrupamiento (VDAG) y VDGA/NP ó productividad potencial, y clasificación automática de cada microparcels según el porcentaje de píxeles y/o valores digitales integrados de las mismas, pueden directamente interpretarse diversos indicadores agronómicos y ambientales, entre otros, según el contenido o temática de la imagen primaria analizada y la interpretación de los datos cuantitativos antes indicados de cada microparcels, el porcentaje de cultivo infestado de una determinada especie de mala hierba, patógeno o con déficit/carencia nutricional, esto es contenido de un nutriente por debajo de un determinado nivel, lo que permite estimar el descenso de la producción o cosecha potencial y el porcentaje de superficie en el que es recomendable o no la aplicación de fitosanitarios y/o fertilizantes.

## ES 2 332 567 A1

7. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque las imágenes remotas se toman preferentemente en la primavera o verano en climas templados, y/o cuando sea posible diferenciar espectro-radiométricamente las variaciones en el desarrollo de la vegetación o cualquier uso de suelo, por ejemplo distintas especies vegetales, cultivos agrarios, árboles y animales, etc.
- 5 8. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque las parcelas de terreno a procesar pueden sustentar cualquier especie vegetal, espacio natural, agrícola o forestal, tener cualquier especificidad orográfica o topográfica, sin limitación de su superficie.
- 10 9. Utilización de un procedimiento según las reivindicaciones de la 1 a la 8 para la obtención automática de indicadores agronómicos y ambientales de cada microparcela obtenida por seccionamiento.
- 15 10. Utilización de un procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque los indicadores que se obtienen son entre otros, su centro expresado en coordenadas geográficas, superficie o número de píxeles integrados (NP), valores digitales integrados en cada agrupamiento (VDAG) y VDGA/NP ó productividad potencial, clasificación automática de cada microparcela según el porcentaje de píxeles y/o valores digitales integrados de las mismas, cuya directa interpretación agro-ambiental, según la temática de la imagen analizada, puede ser, entre otros, el porcentaje de cultivo infestado de una determinada especie de mala hierba, patógeno o con déficit/carencia nutricional, el descenso de la producción o cosecha potencial y el porcentaje de superficie en el que es recomendable o no la aplicación de fitosanitarios y/o fertilizantes.
- 20 11. Utilización de un procedimiento según las reivindicaciones de la 1 a la 8 para la elaboración de mapas, georreferenciados, de tratamientos de prescripción de fertilizantes, fitosanitarios u otros inputs, basándose en los indicadores obtenidos para cada microparcela.
- 25 12. Utilización de un procedimiento según las reivindicaciones 1 a 8, para discriminar los usos de suelo que se definan en imágenes simples de una sola banda o índice vegetativo, y seguidamente seccionar automáticamente en microparcelas y cuantificar o integrar los valores digitales (VDAG), en cada una de éstas los indicadores objeto de estudio, en todas y cada una de las microparcelas.
- 30 13. Utilización de un procedimiento según las reivindicaciones 1 a 8 para diseñar e implementar un programa de agricultura de precisión que utiliza un mapa georreferenciado de aplicación de inputs en cada microparcela.
- 35 14. Utilización de un procedimiento según la reivindicación 13 **caracterizado** porque el programa de agricultura de precisión es relativo a la aplicación de fertilizantes y/o fitosanitarios para contrarrestar zonas nutricionales deficitarias, ataque de organismos patógenos/enfermedades, o a insectos-plagas y/o rodales de malas hierbas, susceptibles de corregirse mediante tratamientos fitosanitarios.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

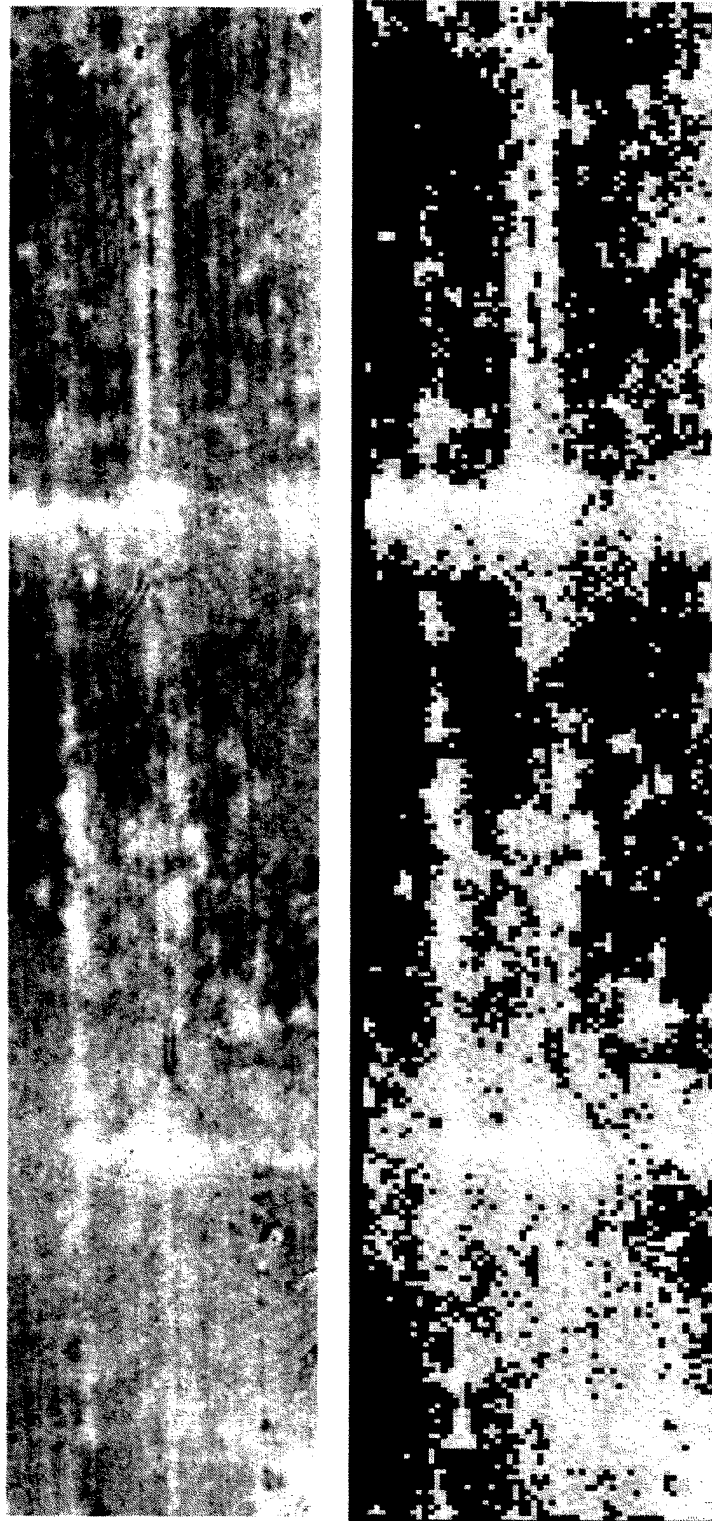


Figura 1.

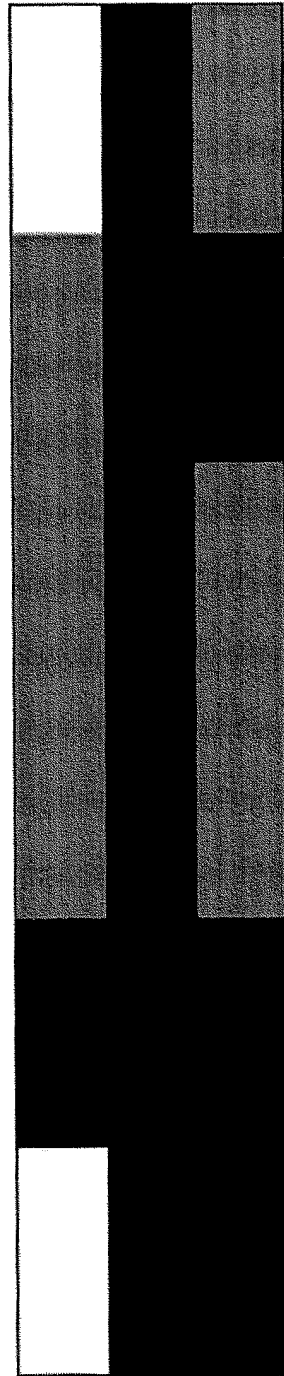


Figura 2.™

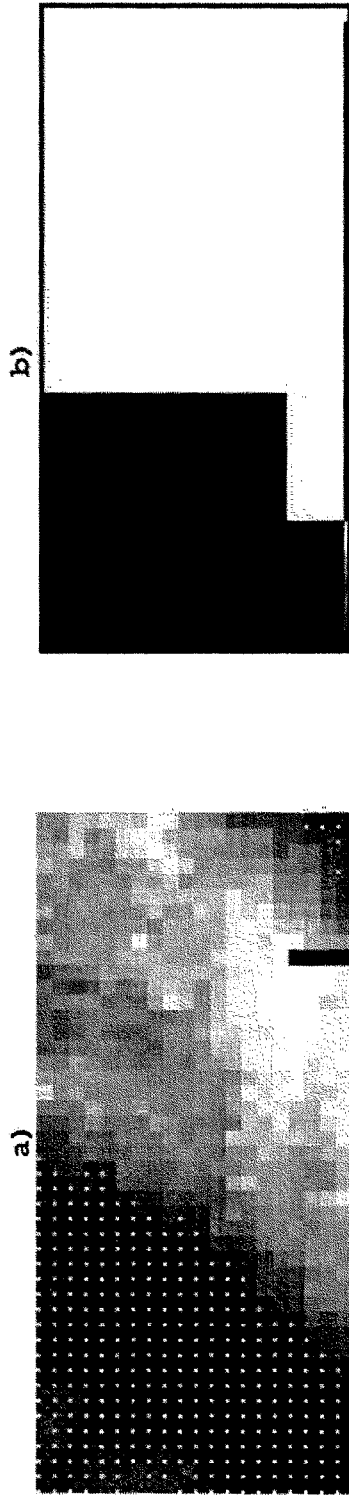
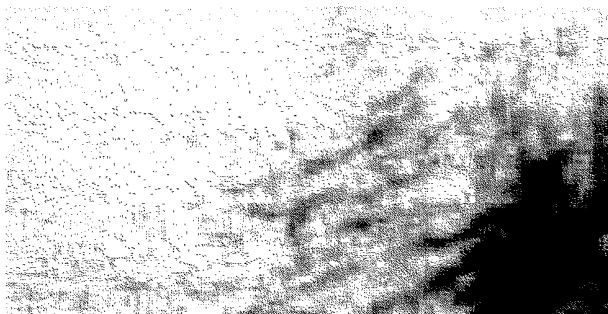


Figura 3.

Figura 4.

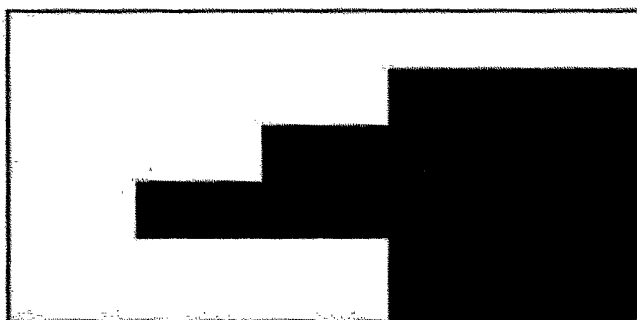
a)



b)



c)





OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 332 567

② Nº de solicitud: 200801932

③ Fecha de presentación de la solicitud: 27.06.2008

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **G06K 9/00** (2006.01)  
**A01C 21/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	PATERSON, LUCAS y CHISHOLM, Univ. de New South Wales (Sydney), Wales y Wollongong; "Differentiation of selected Australian Woodland species using CASI data"; IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Sydney (Australia) 13.07.2001; ISBN 978-0-7803-7031-9 ; ISBN 0-7803-7031-7.	1-14
Y	WO 0133505 A2 (MONSANTO CO; MCGUIRE JOHN DENNIS; PEARSON RANDALL SCOTT) 10.05.2001, página 2, líneas 18-36; página 3 - página 5, líneas 1-7; página 10, líneas 20-24; página 12, líneas 5-19; página 13, líneas 20-36; página 14, líneas 18-28; página 15, líneas 4-38; página 16 línea 1 - página 17, línea 2; página 20, líneas 29-35; página 21, líneas 5-34; reivindicaciones; dibujos.	1-14

**Categoría de los documentos citados**

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

**Fecha de realización del informe**  
25.01.2010

**Examinador**  
B. Pérez García

**Página**  
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G06K, A01C

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC



Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 25.01.2010

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-14	<b>SÍ</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SÍ</b>
	Reivindicaciones 1-14	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión:**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

**1. Documentos considerados:**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	Paterson, Lucas y Chisholm	13-07-2001
D02	WO 0133505	10-05-2001

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la invención.

El documento D01 presenta un informe sobre cómo realizar la diferenciación de especies dentro de los bosques, partiendo de una imagen hiperespectral. Mediante imágenes aéreas con una resolución espacial de 1 metro, se crean subunidades de muestreo más pequeñas dentro de la imagen -equivalentes a las microimágenes de la solicitud-. Cada subunidad de muestreo es analizada para localizar los árboles con determinadas características -tamaño de la copa, altura, etc. Empleando un sistema de información geográfica, se obtiene la localización de cada árbol dentro de cada subunidad y utilizando un programa de software se puede ver datos obtenidos y visualizar su distribución en perspectiva. También es capaz de dar datos estadísticos de la separación de las plantas, las clases, etc.

El objeto de la solicitud se refiere a un procedimiento para seccionar una imagen remota en microimágenes de las que se obtenga, de forma automática, indicadores agronómicos y ambientales de plantaciones de árboles mediante teledetección. Este procedimiento tiene como característica principal, el seccionamiento de la imagen inicial en imágenes más pequeñas (microimágenes) para obtener así los datos agronómicos de cada una de esas microimágenes. Dichos datos se obtendrán al analizar cada microimagen y en base a los indicadores previamente introducidos en el software utilizado.

En base al análisis de ambos documentos podemos observar que tienen muchas características en común:

- utilizan una imagen hiperespectral
- hacen la digitalización y georreferenciación para poder llevar a cabo el resto del procedimiento
- dividen la imagen inicial en subimágenes para analizarlas
- proporcionan información en base al análisis de cada microimagen.

Existe sin embargo, una diferencia entre D01 y la solicitud: D01 no da información de datos agronómicos, aunque sí da información sobre el tipo de árboles y las características de su tamaño o su localización.

El problema técnico objetivo de esta nueva aportación, es que con la solicitud se obtiene mayor información que con D01; por ejemplo, D01 únicamente indicará la densidad de vegetación en un bosque de pinos, pero la solicitud es capaz de dar más información sobre si existen otras especies, fertilizantes a utilizar, la existencia de malas hierbas...

No obstante, el documento D02 divulga un modelo multivariable para identificar zonas de cosecha en un campo mediante teledetección. Se describe un método implementado en un ordenador para definir áreas de un campo en los cuales un cultivo u otra vegetación se cultivan en función de su capacidad selectiva para obtener esa vegetación durante una determinada estación o un corto periodo de tiempo preseleccionado. El procedimiento incluye realizar un determinado número de medidas en intervalos de tiempo separados sobre una imagen aérea de un campo, se obtiene un índice vegetativo, agrupar e identificar zonas que tienen valores similares y clasificar las zonas para buscar un máximo rendimiento en las cosechas de las mismas.

Este documento, sí permite crear datos agronómicos de un campo en base al análisis de una imagen utilizando teledetección. Proporciona la información agronómica aunque no hace la segmentación expresada en la solicitud.

A la vista de lo que se conoce de los documentos D01 y D02 no se considera que requiera ningún esfuerzo inventivo para un experto en la materia desarrollar un procedimiento para la segmentación de una imagen -como el divulgado en D02-, con el objetivo de obtener para cada una de las partes de esa imagen, y de forma automática, indicadores agronómicos y ambientales de cultivos mediante teledetección -con un proceso similar al descrito en D01-. Por consiguiente, la invención reivindicada no implica actividad inventiva para la primera reivindicación. (Artículo 8 de LEP).

Hoja adicional

Las reivindicaciones 2-8 definen únicamente detalles de diseño, por ejemplo el hecho de que las microimágenes sean rectangulares o el tipo de indicadores agronómicos a obtener. Estos detalles no aportan actividad inventiva a la invención y se consideran únicamente cuestiones de diseño.

Las reivindicaciones 9-14 definen usos del procedimiento descrito en la reivindicación 1. Como se ha indicado, el procedimiento carece de actividad inventiva y las utilizaciones descritas en dichas reivindicaciones son los usos para los que el procedimiento fue implementado. Por tanto, tampoco tienen actividad inventiva.

Concluyendo, la combinación de D01 y D02 anula la actividad inventiva de la solicitud para todas las reivindicaciones. (Artículo 8 de la Ley Española de de Patentes).