

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la
Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
3 de julio de 2014 (03.07.2014)

WIPO | PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2014/102416 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G06T 5/10 (2006.01) **G06K 9/00** (2006.01)
A01B 79/00 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2013/070873

(22) Fecha de presentación internacional:
12 de diciembre de 2013 (12.12.2013)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201232054
28 de diciembre de 2012 (28.12.2012) ES

(71) Solicitante: **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)** [ES/ES];
Avenida de María Luisa, s/n, Pabellón de Perú, E-41013 Sevilla (ES).

(72) Inventores: **GARCÍA TORRES, Luis**; Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), Alameda del Obispo, s/n, E-14004 Córdoba (ES). **CABALLERO NOVELLA, Juan José**; Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), Alameda

del Obispo, s/n, E-14004 Córdoba (ES). **GÓMEZ CANDÓN, David**; Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), Alameda del Obispo, s/n, E-14004 Córdoba (ES). **PEÑA BARRAGÁN, José Manuel**; Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), Alameda del Obispo, s/n, E-14004 Córdoba (ES). **LÓPEZ GRANADOS, Francisca**; Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), Alameda del Obispo, s/n, E-14004 Córdoba (ES).

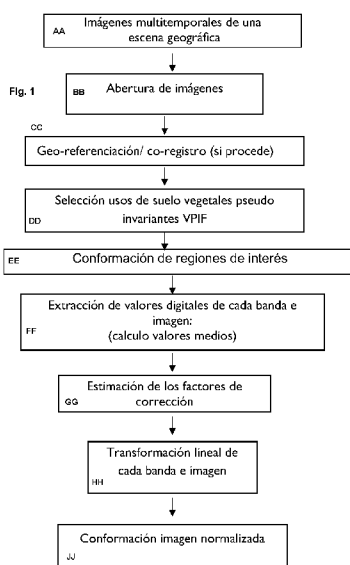
(74) Mandatario: **UNGRIA LÓPEZ, Javier**; Avenida Ramón y Cajal, 78, E-28043 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR AUTOMATIC STANDARDIZATION OF MULTITEMPORAL REMOTE IMAGES ON THE BASIS OF VEGETATIVE PSEUDO-INVARIANT SOIL USES

(54) Título : PROCEDIMIENTO PARA LA NORMALIZACION AUTOMÁTICA DE IMÁGENES REMOTAS MULTITEMPORALES EN BASE A USOS DE SUELO PSEUDO-INVARIANTES VEGETALES



AA Multitemporal images of a geographic scene
BB Opening-up of images
CC Georeferencing/coregistration (if appropriate)
DD Selection of vegetative pseudo-invariant soil uses VPIF
EE Formation of regions of interest
FF Extraction of digital values from each band and image: (mean value calculation)
GG Estimation of correction factors
HH Linear conversion of each band and image
JJ Formation of standardized image

(57) Abstract: Automatic method for the radiometric standardization of series of multitemporal remote images of one and the same geographical scene or area, on the basis of vegetative pseudo-invariant soil uses, which comprises: a) the capture of multispectral remote images corresponding to bands selected in the visible or hyperspectral spectrum, b) the digitization or georeferencing of an image, c) analysis of the images captured in a) and selection of parcels using one or two vegetative soil uses, d) the formation of parcels by means of the definition of regions of interest in an image and the transposition thereof to the rest of the image series, e) extraction/determination of the digital values of each spectral band of each image in the reference pseudo-invariant soil use, f) calculation of the correction factors of each band in each image in the series, g) linear conversion of each band of each image using the previously calculated CF, h) formation of the standardized image in its entirety by means of the composition of the bands previously converted linearly.

(57) Resumen: Procedimiento automático para la normalización radiométrica de series

[Continúa en la página siguiente]

WO 2014/102416 A1



(84) **Estados designados** (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible):

ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

de imágenes remotas multitemporales de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes que comprende: a) toma de imágenes remotas multispectrales correspondientes a bandas que se seleccionan del espectro visible o hiperespectrales, b) digitalización o geo-referenciación de una imagen, c) análisis de las imágenes tomadas en a) y selección de parcelas con usos de uno o dos usos de suelo vegetales, d) conformación de parcelas mediante delimitación de regiones de interés en una imagen y su trasposición al resto de la serie de imágenes, e) extracción/determinación de los valores digitales de cada banda espectral de cada imagen en el uso de suelo pseudo-invariante de referencia, f) cálculo de los factores de corrección de cada banda en cada imagen de la serie, g) transformación lineal de cada banda de cada imagen aplicando el antes calculado CF, h) conformación de la imagen normalizada en su conjunto mediante la composición de las bandas antes transformadas linealmente.

DESCRIPCIÓN

**PROCEDIMIENTO PARA LA NORMALIZACION AUTOMÁTICA DE IMÁGENES REMOTAS
MULTITEMPORALES EN BASE A USOS DE SUELO PSEUDO-INVARIANTES VEGETALES**

5

Sector y objeto de la invención

El sector de aplicación de la presente invención es la agricultura y el medio ambiente, más concretamente para empresas de asistencia técnica agraria o mediambiental, o bien auditorías agroambientales públicas o privadas que utilicen la teledetección como herramienta tecnológica. Estas empresas pueden realizar así el seguimiento de la evolución de los sistemas de cultivos en regiones agrícolas y forestales mediante imágenes de satélite o aviones convencionales tomadas en diferentes fechas o momentos ("multitemporales"), a fin de obtener estadísticas agrarias y de índole ambiental, así como imágenes de explotaciones agrarias, de superficies normalmente más reducidas, tomadas así mismo en diferentes fechas o a diferentes horas del día, normalmente mediante aviones no tripulados (UAV acrónimo del inglés "unmanned aerial vehicles").

El objeto de la presente invención es un procedimiento para la normalización radiométrica relativa de imágenes remotas multiespectrales e hiperespectrales mediante transformaciones lineales de cada banda de cada imagen en base a factores de corrección. Estos se estiman en usos de suelo vegetales pseudo-invariantes presentes en cada una de las imágenes, haciendo que cada banda se transforme en el valor medio que ostenta en la serie de imágenes. La instantaneidad original de cada imagen, o desigual valor radiométrico de las bandas espectrales de usos de suelo pseudo-invariantes de cada imagen se iguala, y la imagen en su conjunto se normaliza, ostentando otros usos de suelo pseudo-invariantes valores radiométricos y de índices vegetativos mucho más uniformes en la serie de imágenes. Dicha normalización de imágenes remotas permite una mejor interpretación de las mismas en Agricultura y Medioambiente.

Estado de la técnica

En teledetección es esencial conocer el comportamiento o
5 signatura espectral de cada una de las 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. Cultivos densos y sanos se
caracterizan por una elevada absorción de energía/ radiación roja y
10 una alta reflectancia de la radiación infrarroja. Con frecuencia se
combinan las lecturas radiométricas de las bandas espectrales
conformando los índices vegetativos para así resaltar las
variaciones de los usos de suelo. Hay un gran número de índices
vegetativos, tantos como operaciones matemáticas se estime oportuno
15 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, lo que permite su comparación
espacial y temporal y, 4) en ocasiones, eliminar efectos indeseados
20 de iluminación, orografía, etc. (Jackson, R. D. and Huete, A. R.
1991. Interpreting vegetation indexes. Prev. Vet. Med. 11: 185-200).
Uno de los más conocidos es el NDVI, acrónimo del inglés "Normalised
Difference Vegetation Index"). Una actividad fotosintética alta, es
decir la vegetación sana y vigorosa, implica un alto valor de NDVI,
25 debido a una alta reflectividad en la banda del infrarrojo cercano y
una alta absorción de energía en la banda roja.

Los trabajos sobre clasificación de los usos del suelo mediante
imágenes de satélite de resolución espacial media/ baja o
30 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
35 desarrollo de los cultivos de regadío en Aragón (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 9-12), y monitorizar el crecimiento de cultivos con datos biofísicos como altura de la planta, área foliar (LAI acrónimo del inglés Leaf Area Index) y biomasa (Calera A., Martínez C. and Meliá J. 2001. A
 5 procedure for obtaining green plant cover: relation to NDVI in a case study for barley. Int. J. of Remote Sensing, 22: 3357-3362; y Calera A., González-Piqueras J. and Meliá J. 2002. Remote sensing monitoring crop growth. Proceedings of Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Valencia, pp 522-529). También se están
 10 produciendo avances muy significativos en la teledetección de malas hierbas en cultivos con sensores multiespectrales (Koger, H. K., D. R. Shaw, K. N. Reddy and L. M. Bruce. 2004. Detection of pitted morning glory (*Ipomoea lacunosa*) with hyperspectral remote sensing. II Effects of vegetation ground cover and reflectance properties. Weed Sci. 52:230-235; Thorp K. R. & L. F. Tian. (2004). A review of remote sensing of weeds in agriculture. Precision Agric., 5, 477-508; y 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.
 20 Crop Sci. 45:477-485) e incluso se ha desarrollado una metodología para mapear infestaciones tardías de malas hierbas en cultivos mediante imágenes remotas de alta resolución espacial (Peña Barragán J.M., F. López-Granados, M. Jurado-Expósito and L. García-Torres. 2007. Mapping *Ridolfia segetum* patches in sunflower crop using
 25 remote sensing. Weed Research, 47: 164-172). Para llevar a cabo dicho trabajo es necesario que existan diferencias en las firmas espectrales entre el cultivo y las especies de malezas en determinados momentos del ciclo fenológico (Peña Barragán. Peña-Barragán, F. López-Granados, M. Jurado-Expósito and L. García-Torres. 2006. "Spectral discrimination of *Ridolfia segetum* and sunflower as affected by phenological stage. Weed Research, 46: 10-21).

Programas informáticos de manejo de imágenes

35

Se comercializan programas informáticos ("software") para el procesamiento e interpretación de las imágenes, entre otros ERDAS®,

MAP-INFO® y ENVI®. Éste último es un potente sistema de proceso de imágenes remotas ampliamente usado en muy diversos países del mundo y en muy diversas disciplinas científicas (EXELIS, 2012; <http://www.exelisvis.com/>). Entre las ventajas de ENVI cabe destacar
5 que combina a través de funciones interactivas los archivos de datos de las bandas del espectro electromagnético captadas por el sensor o sensores. 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. IDL (acrónimo del
10 inglés Interactive Data Language, IDL®) es el lenguaje de programación informática de ENVI. IDL es potente, sistematizado y permite un proceso de imágenes integrado. La flexibilidad de ENVI se debe en gran medida a la versatilidad de IDL.

15 *Calibración y normalización de imágenes multitemporales*

En teledetección las imágenes son instantáneas, por lo que sus valores radiométricos varían según los factores atmosféricos (temperatura, humedad, aerosoles), de inclinación o ángulo solar, y
20 de observación o lugar en que se han tomado, y del instante en que son tomadas. Además el suelo, la vegetación y el sistema vegetación-atmósfera cambia o evoluciona dinámicamente, en cada instante (Inoue Y. 2003. Synergy of Remote Sensing and Modelling for Estimating Eco-physiological Processes in Plant Production, Plant Prod. Sci., 6, 1,
25 3- 16, 2003). Así pues, los datos radiométricos de cualquier uso de suelo captados por el sensor pueden variar debido a: 1) cambios en la calibración del sensor; 2) diferencias en los ángulos de iluminación solar y observación; 3) variación de las condiciones atmosféricas; y 4) cambios en la reflectancia (Du Y., P. M. Teillet
30 and J. Cihlar. 2002. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sensing of Environment, 82, 123- 134). Así pues las correcciones radiométricas de las imágenes tienen como objetivo anular o compensar las variaciones debidas a los factores
35 antes listados (1 a 4) excepto al que se pueda atribuir a los cambios reales que se han producido en el terreno cuya reflectancia física interesa determinar (correcciones absolutas/ "absolute

correction") o bien normalizar las lecturas/ datos digitales obtenidos en diferentes condiciones a una escala común (correcciones relativas/ "relative corrections").

5 *Calibración radiométrica absoluta (CRA):* Las correcciones radiométricas absolutas convierten las lecturas digitales de la imagen en radiancia en la superficie de la Tierra, por lo que requieren disponer de coeficientes de calibración del sensor, algoritmos de correcciones atmosféricas, datos sobre la posición
10 geográfica del sensor, entre otra información (Du Y. et al. 2002, antes referido). En resumen requiere conocer las características del sensor, las condiciones atmosféricas y de adquisición de la imagen, y los algoritmos de corrección, lo cual suele manejarse mediante software/ módulos informáticos de no fácil manejo tales como el
15 FLAASH (acrónimo del inglés "Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes") del programa de manejo de imagen ENVI (Exelis. 2012. *The Environment for Visualizing Images, ENVI® 4.8 and ENVI® 5.0, 4990 Pearl East Circle, Boulder, CO 80301, USA*) ENVI Atmospheric Correction Modules: QUAC and FLAASH Users Guide,
20 ascension April 2012). Los variados factores relativos al sensor, y las variadas condiciones de la toma de cada imagen y atmosféricas, antes reseñadas, no suelen estar disponibles o son complicadas de obtener para la mayoría de las imágenes de satélite, aviones convencionales o UAV (Canty M. J., Nielsen A.A. and M. Schmidt.
25 2004. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 91, 441-451). En consecuencia, la corrección absoluta de las imágenes remotas no es un método factible en numerosas situaciones.

30 Hall et. al (1991) seleccionó usos de suelo pseudo-invariantes (PIFs) de elementos/ usos de suelo con reflectancia muy diferenciadas, muy brillantes ("bright") y muy oscuros ("dark"), llevando a cabo dicha selección mediante inspección visual de la imagen. QUAC (acrónimo del inglés "Quick Atmospheric Correction"), y
35 FLAASH son módulos o extensiones ("add-ons") de ENVI para correcciones atmosféricas absolutas (Exelis. 2012. *The Environment for Visualizing Images, ENVI® 4.8 and ENVI® 5.0, 4990 Pearl East*

Circle, Boulder, CO 80301, USA) ENVI Atmospheric Correction Modules: QUAC and FLAASH Users Guide, ascension April 2012). QUAC es un método de conversión directo y rápido ("on-the-fly method"), a tiempo real, que utiliza la información contenida en la escena
5 usando los datos espectrales de determinados píxeles. FLAASH es un método de corrección basado en el modelo atmosférico MODTRAN4, en el que el operador tiene que introducir en el software diversos parámetros físicos y atmosféricos sobre la absorción atmosférica (aerosol, visibilidad, modelo de dispersión) y la posición relativa
10 del sensor, entre otros.

Normalización radiométrica relativa (NRR): se basa en los datos radiométricos inherentes a cada una imagen de las serie de imágenes multitemporales a normalizar y es un método alternativo a la
15 calibración absoluta. La NRR se recomienda cuando no sea posible la obtención de datos de radiancia en la superficie de la Tierra, o simplemente para obviar ésta estimación, y se recomienda en estudios sobre evolución/ detección de los usos de suelo entre imágenes o para clasificación supervisada de los mismos (Canty M. et al. 2004,
20 referido anteriormente). Se han diseñado diversos métodos de NRR de imágenes multitemporales, y todos ellos se basan en la hipótesis de que las relaciones entre la radiancia registradas del sensor en dos momentos diferentes de regiones de reflectancia constante es homogénea espacialmente y puede ser aproximada mediante un funciones
25 lineales (Furby, S. L. and Campbell, N. A. (2001). Calibrating images from different dates to 'like value' digital counts. Remote Sensing of Environment, 77, p186-196; Du Y. et al., 2002). La mayor dificultad de estos métodos es determinar los usos de suelo pseudo-invariantes en los que se basa la normalización (Canty M. J. et al.
30 2004). En imágenes multitemporales la NRR es importante para detectar cambios en los usos de suelo, mosaicado, seguimiento/ evolución de índices de vegetación con el tiempo, y clasificación supervisada o no de usos de suelo, entre otros. Los datos/ referencias del terreno pseudo-invariantes (PIF acrónimo del inglés
35 Pseudo Invariante Features) se han usado en rectificaciones radiométricas de imágenes multitemporales, si bien son costosos y difíciles de obtener para la mayoría de las imágenes de satélite, y

de ahí que la selección de los PIFs sea generalmente subjetiva. Realmente los usos de suelo vegetales de reflectancia absoluta constante no existen. Por consiguiente, el concepto de PIF se adopta asumiendo que su reflectancia es constante, o sea que no varía en el
5 tiempo.

Los métodos de normalización relativa de imágenes estudiados han sido diversos. Hall (Hall F. G., D. E. Strebel, J. E. Nickeson and S. J. Goetz. (1991). Toward a common radiometric response among
10 multirate, multisensors images. Remote sensing of Environment, 35, 11-27) y Coppin (Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. International Journal of Remote Sensing, 10, 1565-1596. of Environment, 13, 207-234) desarrollaron
15 técnicas de rectificación radiométrica para detectar cambios en uso de suelo del paisaje cuya reflectancia era aproximadamente cero en el tiempo. Du Y. et al. en 2002, referido anteriormente, desarrollaron un nuevo procedimiento de normalización radiométrica entre imágenes multitemporales de la misma zona geográfica mediante
20 la selección estadística de PIF utilizando técnicas de control de calidad y de análisis de componentes principales para encontrar una relación lineal entre imágenes temporales. Otros autores proponen técnicas de "detección de la alteración multivariable" (MAD acrónimo del inglés *Multivariate Alteration Detection*), en las que el uso/
25 elemento invariante se aproxima mediante una escala lineal (Nielsen A. A. (2002). Multiset Canonical Correlations Analysis and Multispectral, Truly Multi-temporal Remote Sensing Data. IEEE Transactions on Image Processing 11(3), 293-305; Canty M. J. et al. 2004, referido anteriormente). Por lo anterior, si se usa MAD para
30 aplicaciones de detección de cambios de usos de suelo, el pre-procesado de imágenes mediante NRR lineal no es necesario. Una modificación iterativa de la transformación anterior (IR-MAD) establece un elemento fijo inalterado ("*background of no change*") sobre el que contrasta/ examina los cambios significativos (Nielsen
35 A. A. 2007. The regularized iteratively reweighed MAD method for change detection in multi- and hyper-spectral data. IEEE Transactions on Image Processing, 16 (2), 463-478. Internet

<http://www.imm.dtu.dk/pubdb/p.php?4695.>; Canty J. M. and A. A. Nielsen. 2008. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iterative re-weighted MAD transformation. Remote Sensing of Environment, 1025- 1036).

5

No obstante lo anterior, no se conocen métodos automáticos de normalización relativa de imágenes multitemporales en base a usos de suelo vegetales "pseudo-invariantes", tales como los indicados en el ejemplo de desarrollo/validación de esta solicitud de patente, ni
10 software/ extensiones/ "add-ons" de programas de manejo de imagen que los lleven a cabo automáticamente. Dicho nuevo método de normalización automática, mediante la aplicación de su software correspondiente, potencia en gran medida el uso de imágenes multitemporales y e hiperespectrales en muy diversos estudios de
15 agricultura y medio ambiente.

Problemas que presenta la metodología del estado de la técnica:

1) En imágenes multitemporales de una misma escena geográfica
20 los datos radiométricos de cualquier uso de suelo invariante o "pseudo"/casi-invariante varían con la instantaneidad de la imagen, o sea con las condiciones atmosféricas, de inclinación solar y de posicionamiento del sensor en el momento de la toma de cada imagen.

2) En estudios sobre agricultura y medioambiente tales como la
25 caracterización y/o clasificación de sistemas de cultivos, y de evolución temporal de factores bióticos y abióticos en una determina parcela, entre otros, se requiere la toma de imágenes de una misma área o zona geográfica en diferentes fechas (imágenes multitemporales), y luego el análisis e interpretación de las mismas
30 en su conjunto.

3) Para el estudio de cada imagen y su interpretación comparativa en el conjunto de una serie de imágenes multitemporales de una misma zona geográfica, un paso previo necesario es su calibración o normalización, para así compensar o equilibrar el
35 efecto de la "instantaneidad" de cada imagen antes reseñado.

4) Los métodos de calibración absoluta de imágenes son con frecuencia difíciles de implementar al requerir el conocimiento de

diversos parámetros físicos (inclinación solar, posicionamiento del sensor) y atmosféricos (aerosol, visibilidad, modelo de dispersión, entre otros), siendo algunos de estos parámetros de difícil obtención e interpretación.

5 5) Los métodos de normalización relativa de imágenes desarrollados hasta el presente se basan en usos de suelo pseudo-invariantes no-vegetales, los cuales se seleccionan mediante técnicas estadísticas complejas (análisis de componentes principales, detección de la alteración multivariable, entre otros),
10 por lo que su implementación es laboriosa y lenta.

Por todo lo anterior, para potenciar en gran medida el uso de la teledetección en estudios agroambientales a escala comarcal o de parcela agrícola mediante imágenes multitemporales de una misma
15 zona geográfica es necesario disponer de una metodología de normalización relativa que potencie la calidad de discriminación y por consiguiente de seguimiento de los cultivos y/o de los factores bióticos/ abióticos a nivel parcela, lo que se puede llevar a cabo mediante el procedimiento objeto de la presente solicitud de
20 patente.

Descripción de la invención

Descripción breve

25

El objeto de la invención es un procedimiento automático de normalización de imágenes multiespectrales de imágenes de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes, que comprende las siguientes etapas:

30

- a) Toma de imágenes multiespectrales o hiperespectrales, de una misma área geográfica, desde cualquier plataforma, en diferentes fechas o momentos (multitemporales),
- b) Geo-referenciación/ co-registro de las mismas,
- 35 c) Identificación en cada imagen de una o varias parcelas que contengan usos de suelo vegetativos pseudo-invariantes (VPIF)

tales como altas densidades de árboles maduros no caducifolios en el periodo de la toma de imágenes,

- d) Definición de la misma parcela/s de VPIF en cada imagen multitemporal mediante el registro de las coordenadas geográficas de su contorno, y su transposición automática a las restantes imágenes de la serie,
- e) Conformación de parcelas o regiones de interés
- f) Extracción de los datos de las bandas espectrales de cada parcela con la definición de diversos parámetros estadísticos, media y desviación estándar entre otros, de los valores digitales de cada banda, y su transposición a un archivo que permita su manipulación posterior.
- g) Calcular los factores de corrección (CF acrónimo del inglés "correction factor") para cada banda de la imagen,
- h) Transformación lineal de cada banda mediante dicho factor de corrección para obtener el valor transformado previamente convenido, particularmente la media del valor de la banda correspondiente en el conjunto de la serie de imágenes originales, y
- i) Composición de las imágenes completas transformadas.

El esquema de funcionamiento del procedimiento de invención se indica en la figura 1.

- Constituye otro objeto de la invención un programa para la automatización de las etapas c) a la h) del procedimiento de la invención, particularmente el software Automatic Remote Images Normalization (en adelante ARIN), que genera el archivo ARI-Results en archivos txt o Excel y las imágenes transformadas (Tabla 1 y Fig. 1).
- Este procedimiento comprende las siguientes etapas:

- a) apertura del software para la ejecución automática de ARIN,
- b) apertura de las imágenes originales a normalizar,
- c) carga del archivo de conformación de la parcela del uso pseudo-invariante seleccionado en una de ellas, y trasposición a las restantes imágenes de la serie, y

d) lectura del archivo de resultados, que expresa los datos espectrales originales, los CFs y los datos espectrales resultantes, y disposición/ manejo de la imágenes normalizadas.

5 El procedimiento objeto de la presente invención permite sentar unas bases sólidas para la normalización de imágenes multitemporales en base a usos de suelo pseudo-invariantes vegetativos; Puede ser usado en cualquier área geográfica que contenga vegetación y exhiba al menos un uso de suelo pseudo-invariantes, tal como un árbol o
10 árboles no caducifolios, o praderas o césped permanente, en el periodo de tiempo en que se han tomado las imágenes multitemporales.

En otro objeto de la invención son los datos/imágenes obtenidas por el procedimiento de la invención.

15 Otro objeto de la invención lo comprende el uso del procedimiento de la invención para la obtención de imágenes multitemporales normalizadas de cualquier escena agrícola o agro-ambiental para su uso posterior en estudios de estadísticas agrarias y seguimiento de sistemas de cultivo a nivel regional por
20 administraciones o entes agrícolas y/o el uso para posterior individualización de parcelas agrícolas, cualquiera que sea su extensión, e implementación de programas de agricultura de precisión mediante proceso de la imagen de las mismas, y así prescribir operaciones o mapas de tratamientos de cualquier input agrícola,
25 tales como fertilización, aplicación de herbicidas, diseño de riego localizado, entre otros.

Descripción detallada

La presente invención se basa en un procedimiento automático
30 óptimo y cuantitativo para la normalización de imágenes multiespectrales (bandas B (azul), G (verde), R (roja), NIR (infrarrojo cercano),) e hiperespectrales (más de 6 bandas espectrales) de imágenes de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes, tomadas en
35 diferentes momentos de un día o en diferentes fechas cualquiera que sea la hora del día en que son tomadas. El procedimiento comprende las siguientes etapas:

- a) Toma de una serie de imágenes remotas de una misma escena geográfica, desde cualquier plataforma, satélites, aviones convencionales o aviones no tripulados (UAV), multiespectrales o hiperespectrales, con una alta resolución espacial, normalmente inferior a 10 m, en diversas épocas del año agrícola, léase en diversos estados de desarrollo de un cultivo, o a diversas horas del día en el caso de los UAV,
- b) Geo-referenciación y co-registro "imagen a imagen" de la serie de imágenes a fin de que su posicionamiento geográfico sea coincidente,
- c) Análisis de las imágenes tomadas en a) y selección de parcelas con usos de uno o dos usos de suelo vegetales pseudo-invariantes (VPIFs), uniformes o aparentemente uniformes en cada una de las imágenes, y que exhiban una elevada reflectancia ó índice "de verdor", por ejemplo de NDVI $[(NIR-R)/(NIR+R)]$, en cada una de las imágenes multitemporales,
- d) Conformación de parcelas VPIF mediante delimitación de regiones de interés en una imagen y luego su trasposición al resto de la serie de imágenes.
- e) Extracción/ determinación de los valores digitales de cada banda espectral de cada imagen en el uso de suelo pseudo-invariante (VPIF) de referencia que comprende a su vez las siguientes etapas
- e.1) Apertura de datos anteriores
- e.2) los datos resultantes se archivan en un fichero de texto (txt)
- e.3) se exportan a una hoja de cálculo (fichero excel).
- e.4) se estiman los índices vegetativos tales como el NDVI y el B/G; y los estadísticos de la serie: media, rango y desviación estándar;
- f) Cálculo de los factores de corrección (CFs) de cada banda en cada imagen de la serie, donde cada CF de la banda x de la imagen i, CF_{xi} se define como el ratio x_R / x_i , en donde x_R es el valor de la imagen de referencia (RI), o valor medio de la banda G en la serie original (ORI) de imágenes multitemporales

normalmente el valor, y x_i es el valor de la banda R en la imagen i ,

- g) Cada banda de cada imagen se transformará linealmente aplicando el antes calculado CF, y
- 5 h) La imagen normalizada se conforma en su conjunto mediante la composición de las bandas antes transformadas linealmente.

El esquema de funcionamiento del procedimiento de invención se indica en la figura 1.

10

En otro objeto de la invención los pasos c) al h) antes descritos se pueden llevar a cabo automáticamente mediante un software llamado ARIN, desarrollado específicamente para el proceso de normalización de la presente invención. Se ha diseñado ARIN software como un add-
15 on/ extensión de ENVI5.0. Este procedimiento comprende las siguientes etapas:

- a) apertura del software para la ejecución automática de ARIN,
- b) apertura de las imágenes originales a normalizar,
- 20 c) carga del archivo de conformación de la parcela del uso pseudo-invariante seleccionado en una de ellas, y trasposición a las restantes imágenes de la serie, y
- d) lectura del archivo de resultados, que expresa los datos espectrales originales, los CFs y los datos espectrales
25 resultantes, y disposición/manejo de las imágenes normalizadas.

Su esquema de actuación se indica en la Figura 2. El archivo de datos Txt o Excel que genera (ARIN-Results) en el que se incluyen los valores de las bandas espectrales de la serie de imágenes
30 originales, los factores de corrección de cada banda y los valores de las bandas espectrales normalizadas se indican en la Tabla 1.

El procedimiento automático óptimo y cuantitativo para la normalización de imágenes multiespectrales e hiperespectrales de
35 imágenes de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes, objeto de esta invención sirve para normalizar radiométricamente series de imágenes multitemporales

de una misma escena o área geográfica, que contenga vegetación y exhiba al menos un uso de suelo pseudo-invariante, tal como un árbol o árboles no caducifolios, o praderas o césped permanente, en el periodo de tiempo en que se han tomado las imágenes multitemporales, lo que conlleva una gran ventaja para su posterior uso en estudios agronómicos de precisión a escala de parcela agrícola, tales como delimitación de zonas según contenido de nutrientes, rodales/infestaciones de malas hierbas, estrés hídrico, enfermedades, entre otras. Así mismo la normalización previa de imágenes mediante el procedimiento ARIN es muy útil en trabajos de clasificación a escala comarcal de sistemas de cultivos y usos de suelo en general para estadísticas agrarias y otras acciones administrativas tales como la concesión y seguimiento de subvenciones agroambientales.

En otro objeto de la invención son los datos/imágenes obtenidas por el procedimiento de la invención a) mediante manejo de imágenes convencional, y b) automáticamente mediante el software ARIN.

Otro objeto de la invención lo comprende el uso de los procedimientos de la invención para la obtención de imágenes multitemporales normalizadas de cualquier escena agrícola o agroambiental para su uso posterior en estudios de estadísticas agrarias y seguimiento de sistemas de cultivo a nivel regional por administraciones o entes agrícolas y/o el uso para posterior individualización de parcelas agrícolas, cualquiera que sea su extensión, e implementación de programas de agricultura de precisión mediante proceso de la imagen de las mismas, y así prescribir operaciones o mapas de tratamientos de cualquier input agrícola, tales como fertilización, aplicación de herbicidas, diseño de riego localizado, entre otros.

El procedimiento de normalización de imágenes multiespectrales e hiperespectrales de imágenes de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes, implementado mediante el software ARIN, tiene la gran ventaja de llevarse a cabo automáticamente, minimizando el tiempo de ejecución, normalmente de varias horas, que requiere el procesado de imágenes

clásico, y obviando los errores humanos que con dicho procesado de imágenes clásico y cálculos complementarios pueden ocurrir.

El procedimiento de normalización de imágenes multiespectrales e hiperespectrales de imágenes de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes, objeto de la presente solicitud de patente se ha mostrado comparativamente tan eficaz como los métodos de calibración absoluta ensayados FLAASH y QUAC, con la ventaja de obviar los requerimientos de estos: el FLAASH requiere complejos parámetros sobre inclinación solar y atmosféricos, con frecuencia difíciles de obtener; y el QUAC requiere la presencia de superficie brillantes y oscuras en la imagen a calibrar.

El procedimiento de normalización de imágenes multiespectrales e hiperespectrales de imágenes de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes, muestra resultados satisfactorios y reproducibles mediante el software ARIN y puede aplicarse comercialmente en imágenes satelitales, de aviones convencionales y no tripulados (UAV), por las administraciones interesadas, consultorías agroambientales, y grupos de investigación.

La eficacia del procedimiento objeto de esta solicitud de patente, se ha contrastado estadísticamente: en las imágenes originales la variabilidad (rango y desviación estándar) de los valores medios de las bandas espectrales e índices de vegetación en los usos de suelo pseudo-invariantes seleccionados en las imágenes originales es muy superior al de las imágenes transformadas/normalizadas, lo que se ha comprobado, y se describe en detalle en el ejemplo de realización de la invención.

Descripción de las figuras

Figura 1. Esquema del procedimiento de la invención.

Figura 2. Diagrama del ejecución del software ARIN.

Figura 3. Vista parcial de una imagen de satélite GeoEye-1 y conformación de parcelas del uso de suelo pseudo-invariante cítrico (cuadrados).

5

Ejemplo de la realización de la invención

Imágenes de satélite y su localización geográfica

El procedimiento de la invención se ha validado mediante un estudio llevado a cabo con seis imágenes multiespectrales y pancromáticas del satélite GeoEye-1 (GeoEye-1, 2012; Figura 3) tomadas sobre la misma área geográfica: la localidad La Ventilla (provincia de Córdoba, España), desde abril a octubre de 2010, cada escena de aproximadamente 100 km². Las coordenadas geográficas (Universe Transverse Mercator System, Zona 30 Norte) del vértice superior izquierdo de cada escena eran X = 315206 m / Y = 4186133 m. Las imágenes se tomaron el 9 de abril, 23 de Mayo, 20 de Junio, 9 de Julio, 22 de Agosto y 2 de Octubre, denominadas V1 a V6, correlativamente. La imagen pancromática tenía una resolución espacial de 0.5 m y pixel-1 la multiespectral de 2.00 m pixel-1, proporcionando valores digitales en las bandas espectrales azul (B, 450-510 nm), verde (G, 510-580 nm), rojo (R, 655-690 nm) e infra-rojo cercano (NIR, 780-920 nm). El ancho o barrido ("swath") de cada escena era de 15.2 km. El terreno era predominantemente llano, con inclinaciones medias del 2.12%. La exactitud de geo-referenciación de las imágenes GeoEye-1 se mejoró mediante puntos de control geo-referenciados en el terreno (GCPs) en una imagen y co-registro de imagen a imagen en las otras, tal como se describe en in Gomez-Candón (Gómez-Candón, D., F. López-Granados, J. J. Caballero-Novella, M. Gómez-Casero, M. Jurado-Expósito, L. García-Torres. 2011. Geo-referencing remote images for precision agriculture using artificial terrestrial targets, Precision Agriculture, DOI: 10.1007/s11119-011-9228-3; 2011, 12, 6, 876-89.1).

Usos de suelo u usos de suelo vegetativos pseudo-invariantes (VPIF).

35

En las imágenes se identificaron mediante salidas de campo y observación de imágenes 21 usos diferentes de suelo. Entre otros

suelos identificados están los siguientes suelos de cultivos: alfalfa, algodón, avena, arboles de ribera, bosque mediterráneo, colza, cítricos, girasol, guisantes, habas, maíz, olivos, patatas, girasol, y trigo. Además, se han identificado otros usos de suelo
5 no-vegetativos tales como carreteras pavimentadas, caminos de tierra, edificios, embalses de agua, ríos y suelo desnudo. En este estudio se definieron tres usos de suelo vegetativos pseudo-invariantes (VPIFs): plantaciones de cítricos adultas y de alta densidad (CIT), masas de árboles de ribera (POP), y agrupamientos de
10 árboles adultos de bosque mediterráneo (MFO). En cada VPIF se conforma un área de unos 1000 - 1500 m² mediante los menús ROI-VECTOR)/ SHAPE de ENVI, una subsiguiente trasposición a cada una de la imágenes y extracción de los valores digitales de las bandas espectrales B, G, R y NIR y cálculo posterior de los índices
15 vegetativos NDVI y G/B.

Ejemplo 1.- Normalización radiométrica de una serie de imágenes multitemporales del satélite GeoEye1 mediante el procedimiento de la invención usando un solo VPIF:

20

Para el manejo de imágenes remotas y la aplicación del procedimiento de la invención se utilizó el programa informático ENVI (Environment for Visualising Images, ENVI® 4.8 y ENVI® 5.0, Exelis- 2012), como sigue: las imágenes originales (ORI) V1 a V6 se
25 normalizaron considerando separadamente los VPIFs CIT, POP y MFO, mediante transformaciones lineales de los CFs, tal como se ha descrito anteriormente.

Se calculó la media, rango y desviación estándar de los valores
30 digitales de cada banda espectral y de los índices vegetativos de la serie de imágenes originales y transformadas. Las correcciones radiométricas resultaron más eficaces conforme menor resultó el rango y la desviación estándar de las bandas espectrales y de los índices NDVI y B/G de las series de imágenes.

35

Los valores de las bandas espectrales de la serie de imágenes GeoEye-1 originales varían considerablemente entre imágenes (Tabla 1 y 2).

- 5 Tabla 1. Salida de ARIN software (outcome "Results_ARIN", en archivos Text o Excel): se muestran los valores de las bandas espectrales del uso de suelo pseudo-invariante (VPIF) cítricos (CIT) de las imágenes originales GeoEye1 y sus correspondientes factores de corrección lineal.

10

ARIN Results

Imágenes	Azul	Verde	Rojos			
VPIF-1 Originales	(B)	(G)	(R)	NIR	NDVI	B/G
GeoEye V1	413	316	180	1131	0,73	1,31
GeoEye V2	495	407	262	1293	0,66	1,22
GeoEye V3	361	258	153	824	0,69	1,40
GeoEye V4	231	308	113	1030	0,80	0,75
GeoEye V5	316	238	142	826	0,71	1,33
GeoEye V6	196	246	82	808	0,82	0,80
Valor Medio	322	302	150	1023	0,73	1,13
Desviación típica	108	60	59	208	0,06	0,28

Factores de las bandas de corrección

GeoEye V1	0,78	0,954	0,834	0,905
GeoEye V2	0,65	0,741	0,573	0,791
GeoEye V3	0,892	1,167	0,979	1,242
GeoEye V4	1,389	0,98	1,322	0,993
GeoEye V5	1,018	1,265	1,052	1,239
GeoEye V6	1,642	1,225	1,825	1,265

Por ejemplo en CIT para la banda B los valores fueron 495 y 196 en las imágenes V2 y V6, respectivamente, y para la banda NIR para

la misma serie de imágenes originales en POP los valores fueron 997 y 722 respectivamente (Tabla 2).

VPIF1	Imágenes	Banda	Series de imágenes						Estadísticos		
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	Media	Rango	S.D.
CIT	ORIG	B	413	495	361	231	316	196	335	299	112
		G	316	407	258	308	238	246	296	169	63
		R	180	262	153	113	142	82	156	180	62
		NIR	1131	1293	824	1030	826	808	985	485	200
	POP-transf	B	328	334	308	332	318	288	318	46	18
		G	305	322	268	313	292	263	294	59	24
		R	151	172	132	166	136	115	145	57	22
		NIR	1123	1133	874	988	918	977	1002	259	106
	MFO-transf	B	333	340	309	329	318	263	315	77	28
		G	316	328	275	312	295	239	294	89	33
		R	165	179	132	151	131	97	142	82	29
		NIR	1111	1020	918	1049	1123	944	1028	205	84
POP	ORIG	B	428	504	399	237	339	231	357	273	109
		G	307	376	286	292	243	277	297	133	44
		R	186	237	181	107	163	111	164	130	49
		NIR	879	997	823	911	785	722	853	275	97
	CIT-transf	B	348	342	371	344	359	396	360	54	21
		G	287	273	327	280	301	333	300	60	25
		R	161	141	184	147	178	211	170	70	26
		NIR	766	760	984	871	937	881	866	224	90
	MFO-transf	B	346	347	342	337	341	310	339	42	14
		G	307	303	305	296	300	270	297	37	13
		R	171	162	156	142	150	132	156	45	16
		NIR	864	786	917	928	1068	844	887	282	96
MFO	ORIG	B	408	479	385	232	328	246	329	250	99
		G	297	368	278	292	240	305	297	128	38
		R	169	228	181	117	169	131	155	135	45
		NIR	899	1120	793	867	649	756	883	471	174
	CIT-transf	B	331	325	358	335	347	421	353	96	35
		G	277	267	318	281	297	366	301	99	37

R	146	135	183	160	185	248	176	113	40
NIR	784	854	948	830	775	922	852	173	71
POP-transf B	324	324	328	333	329	362	331	43	14
G	286	290	289	297	293	326	297	40	14
R	142	150	156	171	162	184	157	47	16
NIR	893	981	841	832	722	914	878	192	89

Tabla 2. Valores de las bandas espectrales de los usos de suelo pseudo-invariantes (VPIFs) cítricos (CIT), árboles de ribera (POP) y árboles de bosque mediterráneo (MFO) en las imágenes originales (ORI) y transformadas ARIN en base a los correspondientes VPIF alternativos

¹Abreviaturas: V.I. , índices vegetativos; VPIF; pseudo-invariantes vegetales; ORIG, imágenes originales no transformadas; POP, árboles de ribera; CIT, plantaciones de cítricos, MFO, arboles de bosque mediterráneo; s. d. , desviación estándar.

En consecuencia, los valores de los índices de vegetación también variaron considerablemente entre las imágenes originales para cualquiera de los VPIF estudiados (Tabla 3). Por ejemplo, los valores NDVI para CIT variaron entre 0.66 en la imagen V2 a 0.82 en la imagen V6, y para POP el NDVI varió de 0.62 en V2 a 0.79 en V4.

Tabla 3. Índices de vegetación de "pseudo-invariantes" vegetales (VPIF) en las imágenes originales y en imágenes transformadas con el procedimiento de la invención y en las calibradas mediante los módulos QUAC y FLAASH.

			Series de imágenes							Estadísticos	
VPIF1	Imágenes	V.I.	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Media	Rango	S.D.
CIT	ORIG	NDVI	0,73	0,66	0,69	0,80	0,71	0,82	0,73	0,15	0,06
		B/G	1,31	1,22	1,40	0,75	1,33	0,80	1,13	0,65	0,13
	POP+MFO-transf	NDVI	0,74	0,70	0,75	0,74	0,79	0,81	0,75	0,11	0,04

		B/G	1,06	1,04	1,13	1,06	1,08	1,10	1,08	0,09	0,03
	QUAC	NDVI	0,80	0,83	0,90	0,80	0,91	0,90	0,86	0,11	0,05
		B/G	0,46	0,24	0,44	0,52	0,42	0,39	0,41	0,28	0,10
	FLAASH	NDVI	0,79	0,73	0,77	0,78	0,80	0,81	0,78	0,08	0,03
		B/G	0,69	0,66	0,55	0,58	0,44	0,56	0,58	0,25	0,09
POP	ORIG	NDVI	0,65	0,62	0,64	0,79	0,66	0,73	0,68	0,17	0,07
		B/G	1,39	1,34	1,40	0,81	1,40	0,83	1,20	0,58	0,29
	CIT+MFO-										
	transf	NDVI	0,69	0,72	0,72	0,74	0,71	0,65	0,71	0,09	0,03
		B/G	1,15	1,18	1,07	1,16	1,13	1,12	1,13	0,11	0,04
	QUAC	NDVI	0,73	0,81	0,85	0,80	0,88	0,81	0,83	0,15	0,03
		B/G	0,60	0,33	0,63	0,68	0,58	0,64	0,61	0,49	0,16
	FLAASH	NDVI	0,76	0,71	0,75	0,77	0,75	0,67	0,74	0,10	0,04
		B/G	0,77	0,79	0,67	0,67	0,59	0,78	0,71	0,20	0,08
MFO	ORIG	NDVI	0,68	0,66	0,63	0,76	0,59	0,70	0,70	0,26	0,09
		B/G	1,37	1,30	1,38	0,79	1,37	0,81	1,11	0,61	0,30
	CIT+POP-										
	transf	NDVI	0,70	0,71	0,66	0,63	0,61	0,64	0,66	0,11	0,04
		B/G	1,18	1,16	1,19	1,17	1,17	1,16	1,17	0,03	0,01
	QUAC	NDVI	0,78	0,85	0,85	0,75	0,84	0,78	0,81	0,11	0,04
		B/G	0,51	0,26	0,55	0,61	0,51	0,63	0,53	0,40	0,13
	FLAASH	NDVI	0,76	0,73	0,73	0,72	0,69	0,62	0,71	0,14	0,05
		B/G	0,77	0,74	0,65	0,62	0,53	0,78	0,68	0,25	0,10

¹Abreviaturas: V.I. , índices vegetativos; VPIF; pseudo-invariantes vegetales; ORIG, imágenes originales no transformadas; POP, árboles de ribera; CIT, plantaciones de cítricos, MFO, arboles de bosque mediterráneo; s. d. , desviación estándar. QUAC y FLAASH son módulos de calibración.

En términos generales el rango y la desviación estándar de las bandas espectrales e índices de crecimiento en la series de imágenes transformadas mediante el procedimiento de la invención se redujeron considerablemente en comparación con las imágenes originales (Tabla 2 y 3). Por lo anterior, se puede afirmar que el proceso de

normalización fue eficiente para cualquiera de los VPIFs estudiados solos o usados consecutivamente. Debe de indicarse que para transformaciones de imágenes simples, esto es usando un solo VPIF, los valores de las bandas espectrales y de los índices de vegetación tomados como referencia, obtienen exactamente los mismos valores en cualquier imagen transformada (Tabla 4), siendo el rango y la desviación estándar despreciables. Por ejemplo, usando el CIT como referente pseudo-invariante el valor correspondiente de la banda B, NDVI and B/G del CIT después de la transformación son 335, 0.73 and 1.14, respectivamente, para cualquier imagen de la serie.

Tabla 4. Valores de bandas espectrales e índices de usos de suelo vegetales pseudo-invariantes (VPIFs) después de la normalización radiométrica usando el mismo VPIF.

[illegible]

¹Abreviaturas: V.I. , índices vegetativos; VPIF; pseudo-invariantes vegetales; ORIG, imágenes originales no transformadas; POP, árboles de ribera; CIT, plantaciones de cítricos, MFO, arboles de bosque mediterráneo; s. d. , desviación estándar.

5

La selección de un solo VPIFs, entre los tres usados, cualquiera que sea, en el proceso de normalización afecta solo ligeramente los resultados del proceso de normalización. Por ejemplo, para el CIT el rango, desviación estándar de la banda B y NIR en la serie de imágenes transformadas POP fueron 46 y 18, y 256 y 106, respectivamente, en comparación a 299 y 112, y 485 y 200, en las imágenes originales, respectivamente (Tabla 2). De forma similar, en las imágenes transformadas VPIF MFO el rango y la desviación estándar para la banda CIT R fueron 82 y 29 en comparación a 180 and 62 en las imágenes originales, respectivamente (Tabla 2).

Los CFs de los VPIFs variaron considerablemente entre bandas espectrales, cualquiera que fuera la imagen considerada (Tabla 1), y entre imágenes considerando cualquier banda espectral. Además, los coeficientes de correlación entre los CFs de cualquier banda en los VPIFs considerados, y en el conjunto de las bandas fueron superiores a 0.83 y significativos a $P \geq 0.95$. Lo que explica que el proceso de normalización resultó eficaz cualquiera que fuera el VPIF vegetal seleccionado.

Ejemplo 2.- Normalización radiométrica de una serie de imágenes multitemporales del satélite GeoEye1 mediante el procedimiento usando dos VPIFs consecutivamente.

Para el manejo de imágenes remotas y la aplicación del procedimiento de la invención se utilizó el programa informático ENVI (Environment for Visualising Images, ENVI® 4.8 y ENVI® 5.0, Exelis- 2012), como sigue: para cada VPIFs seleccionado la normalización se aplicó mediante el procedimiento usando dos VPIFs consecutivamente, según se indica en el ejemplo de desarrollo de la esta patente, tratando así de equilibrar la ligera variación fenotípica estacional que pueda ocurrir en cada VPIF.

Se calculó la media, rango y desviación estándar de los valores digitales de cada banda espectral y de los índices vegetativos de la serie de imágenes originales y transformadas. Las correcciones radiométricas resultaron más eficaces conforme menor resultó el rango y la desviación estándar de las bandas espectrales y de los índices NDVI y B/G de las series de imágenes.

Este procedimiento también resultó efectivo en la normalización de imágenes multitemporales. Por ejemplo, para CIT una vez normalizados con los pseudo-invariantes POP+MFO el rango y desviación estándar NDVI de la serie de imágenes fue 0.11 y 0.04, respectivamente, en comparación a 0.15 y 0.06 en las imágenes originales (Tabla 3). De forma similar, para la VPIF MFO la implementación de ARIN CIT+POP consecutivamente resultó en valores de rango y desviación estándar de NDVI y B/G varió de 0.11 a 0.04, en comparación a 0.26 y 0.09 en las imágenes originales. No obstante, la eficacia de implementar ARIN usando solo un VPIF es similar a la implementación de ARIN usando dos VPIFs consecutivamente (Tabla 2 y 3).

Ejemplo 3.- Normalización radiométrica de una serie de imágenes multitemporales del satélite GeoEye1. Comparación del procedimiento ARIN con correcciones absolutas mediante los software QUAC y FLAASH.

25

Para el manejo de imágenes remotas y la aplicación del procedimiento de la invención se utilizó el programa informático ENVI (Environment for Visualising Images, ENVI® 4.8 y ENVI® 5.0, Exelis- 2012), como sigue: A efectos comparativos con la normalización mediante ARIN antes descrita, las imágenes originales V1 a V6 se transformaron mediante los software QUAC® and FLAASH®. QUAC software requiere imágenes con píxeles oscuros y brillantes para implementar sus correcciones (Exelis. 2012. The Environment for Visualizing Images, ENVI® 4.8 and ENVI® 5.0, 4990 Pearl East Circle, Boulder, CO 80301, USA) ENVI Atmospheric Correction Modules: QUAC and FLAASH Users Guide, ascension April 2012). FLAASH se implemento incorporando los valores específicos del sensor GeoEye-1, así como

los datos atmosféricos del día y del área geográfica en donde se tomó la imagen; aerosol rural, elevación media del terreno 150 m, parámetro de la columna de agua ("water column retrieval parameter") 2.92, y el parámetro de visibilidad de la escena 100 km para todas las escena excepto para la V6 que fue de 140 km. Así los valores de la banda azul en cada imagen resultaron positivos, tal como se recomienda.

Se calculó la media, rango y desviación estándar de los valores digitales de cada banda espectral y de los índices vegetativos de la serie de imágenes originales y transformadas. Las correcciones radiométricas resultaron más eficaces conforme menor resultó el rango y la desviación estándar de las bandas espectrales y de los índices NDVI y B/G de las series de imágenes.

15

En términos generales, en la serie de imágenes multitemporales GeoEye-1 el método ARIN mostró tener una eficacia similar que el método FLAASH, y ligeramente más eficaz que el método QUAC, con ligeras variaciones según los VPIFs considerados. Por ejemplo, si se considera el VPIF CIT, la desviación estándar del índice NDVI de la serie de imágenes originales, y transformadas POP+MFO, QUAC y FLAASH fueron 0.06, 0.04, 0.05 y 0.03, respectivamente (Tabla 3). Considerando el VPIF POP y el mismo parámetro estadístico los resultados fueron algo mejores para la transformación ARIN CIT+MFO (0.03) Y QUAC (0.03), y muy próximos a los obtenidos mediante FLAASH (0.04), en comparación a los de las imágenes originales (s. d. 0.07; Tabla 3).

25

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento automático para la normalización radiométrica de series de imágenes remotas multitemporales de una misma área o
5 escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

- a) toma de una o varias imágenes remotas multiespectrales correspondientes a bandas que se seleccionan del espectro visible azul: B, verde: G, rojo: R; e infrarrojo cercano NIR) o
10 hiperespectrales (más de 6 bandas), con alta resolución espacial (≤ 10 metros), desde plataformas, tales como satélites, aviones convencionales y aviones no tripulados (UAV), y en diferentes fechas del año, léase estados de desarrollo de un cultivo, o en diferentes momentos de un día,
- 15 b) digitalización o geo-referenciación de una imagen, mediante GPS diferencial en los casos que sea necesario para asignar las coordenadas geográficas, en el caso de imágenes aéreas no geo-referenciadas, y co-registro "imagen a imagen" del resto de las imágenes de la serie a fin de que su posicionamiento geográfico
20 sea coincidente,
- c) análisis de las imágenes tomadas en a) y selección de parcelas con usos de uno o dos usos de suelo vegetales pseudo-invariantes (VPIFs), uniformes o aparentemente uniformes en cada una de las imágenes, y que exhiban una elevada
25 reflectancia ó índice "de verdor", en cada una de las imágenes multitemporales,
- d) conformación de parcelas VPIF mediante delimitación de regiones de interés en una imagen y su trasposición al resto de la serie de imágenes,
- 30 e) extracción/determinación de los valores digitales de cada banda espectral de cada imagen en el uso de suelo pseudo-invariante (VPIF) de referencia que comprende a su vez las siguientes etapas:
 - e.1) apertura de datos anteriores,
 - 35 e.2) archivo de los datos resultantes en un fichero de texto
 - e.3) exportación a una hoja de cálculo

e.4) estimación de los índices vegetativos tales como el NDVI y el B/G; y los estadísticos de la serie: media, rango y desviación estándar.

- 5 f) cálculo de los factores de corrección (CFs) de cada banda en cada imagen de la serie, donde cada CF de la banda x de la imagen i , CF_{xi} , se define como el ratio x_R / x_i , en donde x_R es el valor de la imagen de referencia (RI), o valor medio de la banda G en la serie original (ORI) de imágenes multitemporales normalmente el valor, y x_i es el valor de la banda R en la
- 10 imagen i ,
- g) transformación lineal de cada banda de cada imagen aplicando el antes calculado CF,
- h) conformación de la imagen normalizada en su conjunto mediante la composición de las bandas antes transformadas linealmente.

15

2.- Procedimiento para la normalización radiométrica automática de series de imágenes remotas multitemporales de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes según la reivindicación 1, caracterizado porque las

20 etapas e) a h) del procedimiento se ejecutan mediante un programa de ordenador.

3. Procedimiento para la normalización radiométrica automática de series de imágenes remotas multitemporales de una misma área o

25 escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque las escenas agroambientales multitemporales a normalizar se toman en cualquier área geográfica que contenga vegetación y exhiba al menos un uso de suelo pseudo-invariante, tal

30 como un árbol o árboles no caducifolios, o praderas o césped permanente, en el periodo de tiempo en que se han tomado las imágenes multitemporales.

4. Utilización de un procedimiento para la normalización

35 radiométrica automática de series de imágenes remotas multitemporales de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes según las

reivindicaciones 1 a la 3 para la obtención de imágenes multitemporales normalizadas de cualquier escena agrícola o agro-ambiental y su uso posterior en estudios de estadísticas agrarias y seguimiento de sistemas de cultivo.

5

5. Utilización de un procedimiento para la normalización radiométrica automática de series de imágenes remotas multitemporales de una misma área o escena geográfica, en base a usos de suelo vegetales pseudo-invariantes según las
10 reivindicaciones 1 a la 3 para posterior individualización de parcelas agrícolas, cualquiera que sea su extensión, e implementación de programas de agricultura de precisión mediante proceso de la imagen de las mismas y la prescripción de tratamientos agrícolas.

15

1/3

FIGURAS

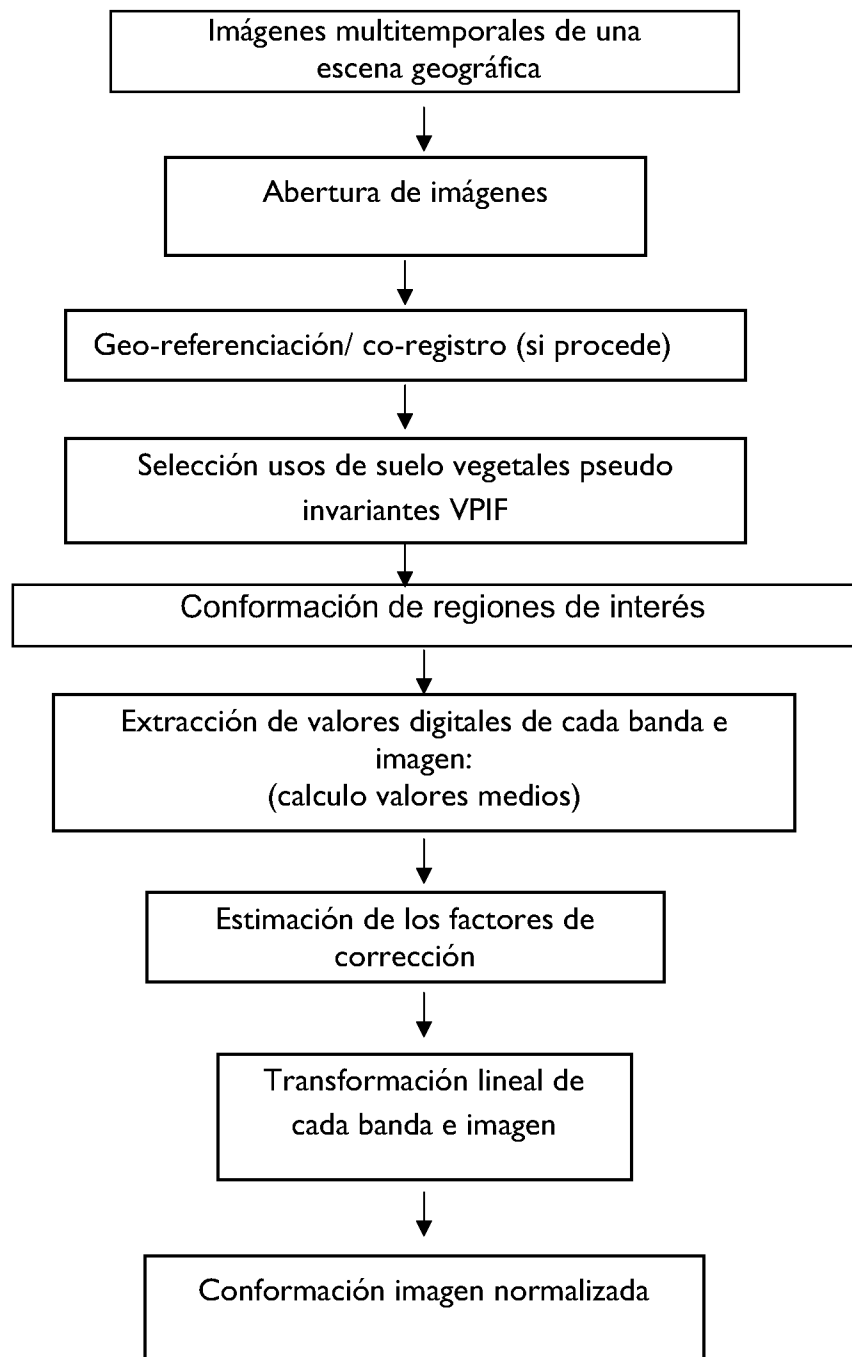


Fig. 1

2/3

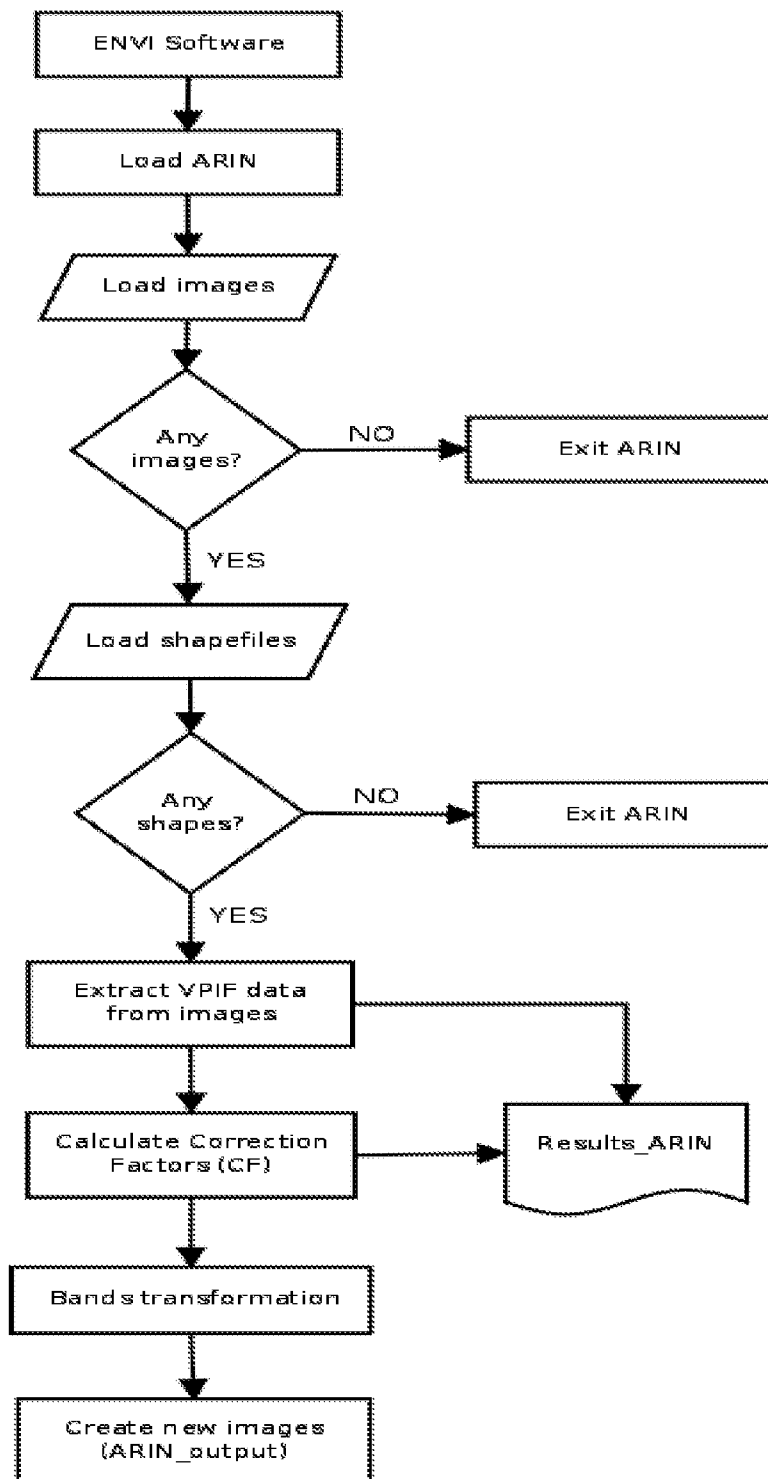


Fig. 2

3/3

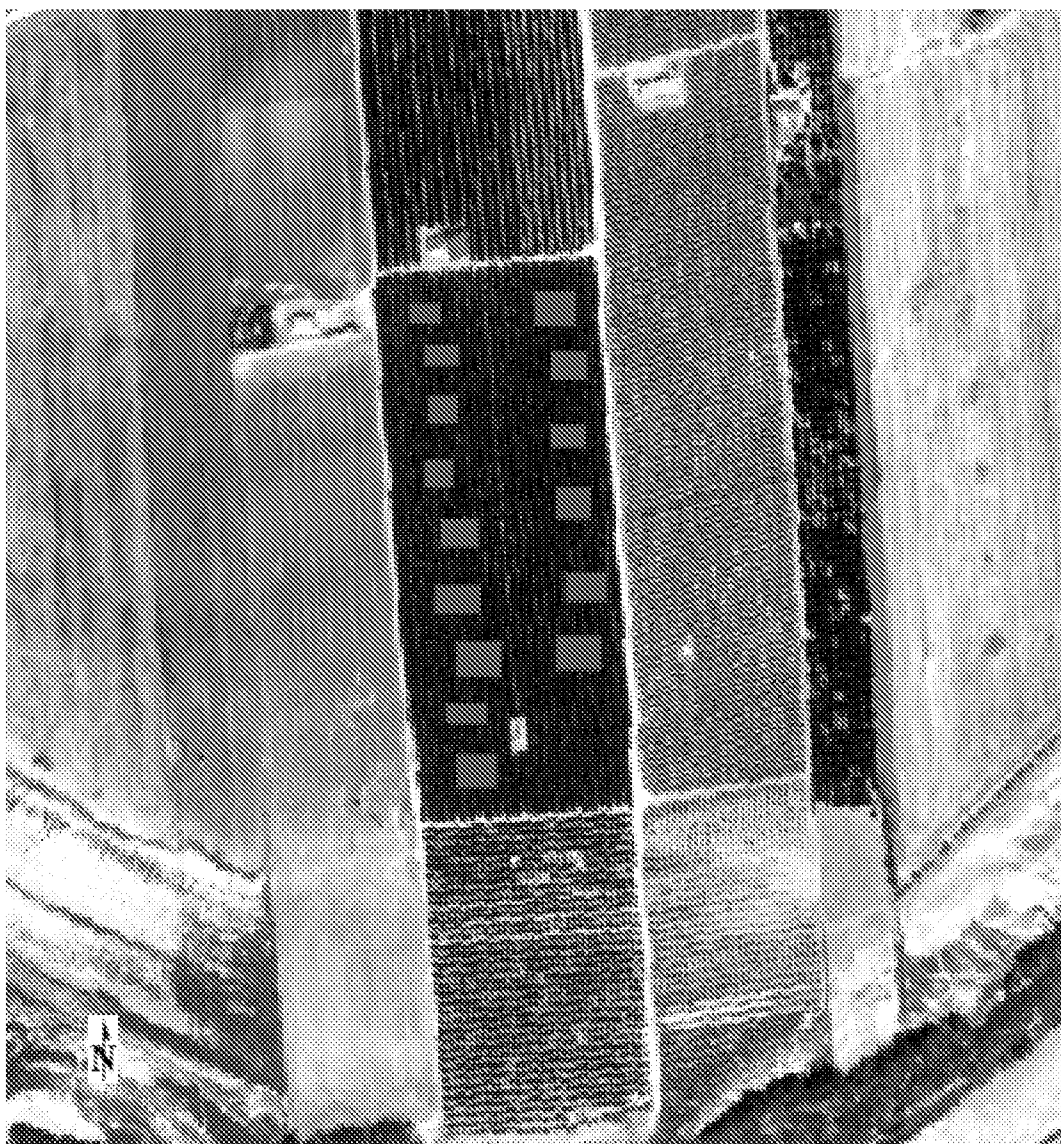


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2013/070873

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T, A01B, G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ES 2245250 A1 (CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION) 16/12/2005,	1
A	US 2004032973 A1 (ROBESON DANIEL C ET AL.) 19/02/2004,	1
A	WO 2011160159 A1 (CAMBIUM LAND & WATER MAN PTY LTD ET AL.) 29/12/2011,	1
A	US 2004034450 A1 (SEAL MICHAEL R ET AL.) 19/02/2004,	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11/03/2014Date of mailing of the international search report
(13/03/2014)

Name and mailing address of the ISA/

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04Authorized officer
M. González Vasserot

Telephone No. 91 3493087

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2013/070873

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
ES2245250 A1	16.12.2005	WO2005122744 A1	29.12.2005
-----	-----	-----	-----
US2004032973 A1	19.02.2004	JP2004073203 A	11.03.2004
-----	-----	EP1389767 A1	18.02.2004
-----	-----	-----	-----
WO2011160159 A1	29.12.2011	AU2010202655 A1	20.01.2011
-----	-----	-----	-----
US2004034450 A1	19.02.2004	US2005038568 A1	17.02.2005
-----	-----	US7184859 B2	27.02.2007
-----	-----	US2005149235 A1	07.07.2005
-----	-----	US7103451 B2	05.09.2006
-----	-----	US6813544 B2	02.11.2004
-----	-----	-----	-----

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2013/070873

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T5/10 (2006.01)

A01B79/00 (2006.01)

G06K9/00 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2013/070873

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver Hoja Adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

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

G06T, A01B, G06K

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES, WPI

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	ES 2245250 A1 (CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION) 16/12/2005,	1
A	US 2004032973 A1 (ROBESON DANIEL C ET AL.) 19/02/2004,	1
A	WO 2011160159 A1 (CAMBIUM LAND & WATER MAN PTY LTD ET AL.) 29/12/2011,	1
A	US 2004034450 A1 (SEAL MICHAEL R ET AL.) 19/02/2004,	1

☐ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
11/03/2014

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
13 de marzo de 2014 (13/03/2014)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
M. González Vasserot

Nº de teléfono 91 3493087

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2013/070873

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
ES2245250 A1	16.12.2005	WO2005122744 A1	29.12.2005
-----	-----	-----	-----
US2004032973 A1	19.02.2004	JP2004073203 A	11.03.2004
-----	-----	EP1389767 A1	18.02.2004
-----	-----	-----	-----
WO2011160159 A1	29.12.2011	AU2010202655 A1	20.01.2011
-----	-----	-----	-----
US2004034450 A1	19.02.2004	US2005038568 A1	17.02.2005
-----	-----	US7184859 B2	27.02.2007
-----	-----	US2005149235 A1	07.07.2005
-----	-----	US7103451 B2	05.09.2006
-----	-----	US6813544 B2	02.11.2004
-----	-----	-----	-----

CLASIFICACIONES DE INVENCION

G06T5/10 (2006.01)

A01B79/00 (2006.01)

G06K9/00 (2006.01)