

SE HA DESARROLLADO UN SOFTWARE, DENOMINADO CLUAS, PARA EL PROCESADO DE IMÁGENES OBTENIDAS POR TELEDETECCIÓN

El olivar desde el cielo, su caracterización mediante teledetección

El procesado de imágenes remotas a través del software informático Cluas (Clustering Assessment) proporciona automáticamente indicadores agronómicos y ambientales de plantaciones arbóreas. En este artículo se describen algunos procedimientos y operaciones llevadas a cabo

por Cluas y se indican varios ejemplos de su uso en olivar. Cluas puede contribuir al desarrollo de la agricultura de precisión en cultivos arbóreos dado que proporciona información cuantitativa de cada árbol de la plantación, de pequeñas áreas o microparcels y/o de parcelas enteras.

L. García-Torres¹, D. Gómez-Candón¹,
J. M. Peña-Barragán¹, M. Jurado-Expósito¹,
Alfonso García-Ferrer² y Isabel Castillejo²,
F. López-Granados¹

¹ Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Córdoba.

² ETSI Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.

En la agricultura convencional, operaciones tales como la siembra, la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios y el riego de cada parcela se llevan a cabo a la misma dosis, es decir, de forma espacialmente uniforme. Dicha uniformidad ocurre aun cuando cada parcela exhiba desigualda-

des en el espacio, e incluso en parcelas de grandes dimensiones, por ejemplo de varias decenas de hectáreas. Es pues una agricultura que no tiene en cuenta la variabilidad espacial que suele ocurrir en cada parcela.

La agricultura de precisión, al contrario de la convencional, determina y maneja la variabilidad espacial de cada parcela en pequeñas zonas o subparcelas ("microparcels", por ejemplo de varios centenares de metros cuadrados). Dicha variabilidad espacial puede deberse a factores abióticos tales como la fertilidad, textura o profundidad del suelo, y/o a factores bióticos, tales como malas hierbas y/o organismos patógenos, cuya desigual distribución espacial (en rodales) es un factor importante a considerar. Y en base a lo anterior, en la agricultura de precisión se planifican operaciones agrícolas a dosis variables adaptadas a las necesidades de cada microparcels. Por ejemplo, se aplica herbicida en una microparcels solo si ocurre una infestación de malas hierbas en la misma.

La teledetección como herramienta de la agricultura moderna

En las últimas décadas la teledetección ha llegado a ser una herramienta muy importante, casi imprescindible, en muy diversas ciencias



de la tierra y del medio ambiente, tales como la meteorología y oceanografía. En la última década, el perfeccionamiento de los sensores, del proceso de imágenes y, sobre todo, la mayor resolución espacial de éstas, está posibilitando un importante número de aplicaciones de la teledetección en agricultura. Así, las imágenes con un tamaño de pixel de aproximadamente 1 m² o inferior, son esenciales para el desarrollo de la agricultura de precisión.

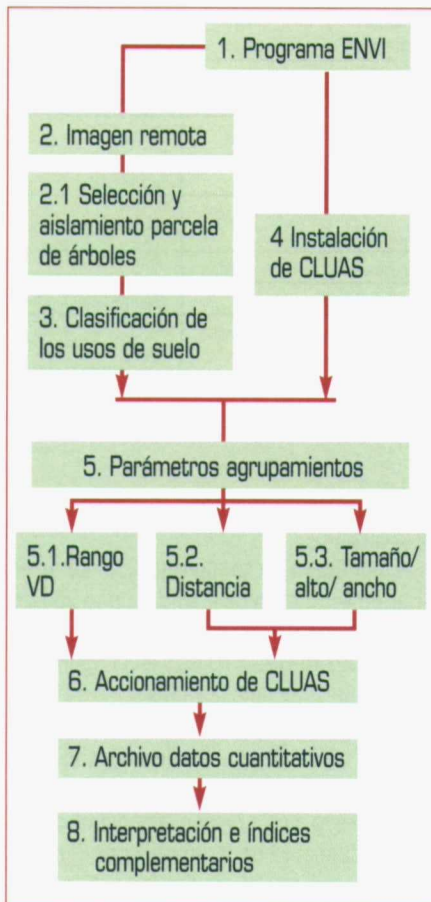
Se puede afirmar que trabajos tales como el inventario de cultivos a nivel regional, y la zonificación y mapeo de precisión en parcelas agrarias de la cosecha esperada, necesidades de riego, fertilización y aplicación de fitosanitarios se pueden llevar cabo en un gran número de supuestos mediante procesamiento de imágenes remotas. Éstas podrán ser tomadas mediante sensores transportados por satélites (a decenas de kilómetros), aviones en vuelo a cotas elevadas (1.000 ó 1.500 m sobre el suelo) y/o aviones no tripulados a baja altura (50 a 100 m). En consecuencia, las salidas al campo de los agricultores y expertos para el seguimiento de los cultivos serán cada vez menos necesarias, y se sustituirán por el procesado de imágenes remotas en el ordenador. La agricultura convencional que todavía predomina, en gran medida intuitiva y poco científica, se irá sustituyendo poco a poco por una agricultura de precisión, mucho más científica, tecnificada y medioambientalista. Y todo lo anterior basado en gran parte en la teledetección.

Teledetección agraria de precisión

Las imágenes remotas de explotaciones agrarias convenientemente procesadas pueden proporcionar una tremenda cantidad de información agroambiental de cada una de las parcelas que abarcan. Se está avanzando mucho en el procesamiento de imágenes remotas. Así, en los últimos años se han llevado a cabo numerosos trabajos sobre aplicaciones de la teledetección en la predicción de la cosecha (Bramley *et al.*, 2005; Ortega *et al.*, 2008; Domsh *et al.*, 2008), planificación de la fertilización nitrogenada (Blondot *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2008) y mapeo de rodales de malas hierbas para el uso de herbicidas (Thorp y Tian, 2004; López-Granados *et al.*, 2006; Peña-Barragán *et al.*, 2007), entre otros muchos trabajos que podrían mencionarse.

Hasta nuestros días, el seguimiento de las plantaciones de árboles mediante visitas

FIGURA 1.
Organigrama operacional del software Cluas.



al terreno ha sido lo usual, efectuando en dichas visitas observaciones visuales y en su caso toma de muestras y posterior análisis de las mismas. Dichos seguimientos requieren una elevada inversión en tiempo y dinero, y proporcionan escasa información sobre parámetros cuantitativos de cada uno de los árboles y de la plantación en su conjunto. Como

En la última década, el perfeccionamiento de los sensores, del proceso de imágenes y, sobre todo, la mayor resolución espacial de éstas, está posibilitando un importante número de aplicaciones de la teledetección en agricultura

se ha mencionado antes, para superar esta etapa convencional de visitas al terreno, un reto muy importante es procesar adecuadamente imágenes remotas. Y para lo anterior es necesario desarrollar programas informáticos/software específicos adaptados a los cultivos y a los parámetros a caracterizar. En este artículo se describe la información que proporciona un programa informático denominado Cluas (Clustering Assessment), diseñado para obtener de imágenes remotas de plantaciones de árboles diversos parámetros agroambientales de cada árbol y de la plantación en su conjunto.

Material y métodos

Cluas y su proceso de operaciones

ENVI¹ es un programa comercializado desde hace años para visualizar y procesar imágenes, escrito en lenguaje IDL². Cluas también está escrito en IDL y funciona como un menú adicional (*add-on*) de ENVI. Cluas ha sido desarrollado por el Grupo de Agricultura de Precisión del Instituto de Agricultura Sostenible del CSIC (García-Torres *et al.*, 2006 y 2007).

El organigrama del funcionamiento de Cluas se indica en la **figura 1**, y los algoritmos y procedimientos de cálculo que utiliza han sido descritos en García-Torres *et al.* (2008). Cluas opera integrando los valores digitales (VD) de píxeles vecinos, dentro de un determinado rango de valores digitales y de un número máximo de columnas y filas así mismo especificadas. Su accionamiento requiere los siguientes pasos:

1) Seleccionar la banda del espectro electromagnético o índice de vegetación de procesamiento.

2) Definir el rango de VD correspondiente al uso de suelo objeto de estudio, tales como los árboles de la plantación, la vegetación o suelo desnudo.

3) Definir el tamaño máximo de los agrupamientos, lo cual está definido por un determinado número de filas y columnas de la imagen.

En el caso de plantaciones de árboles, la determinación de los rangos de VD de los usos de suelo se lleva a cabo mediante clasificación supervisada iterativa, procedimiento en el que se contrasta estadísticamente su exactitud global (OA, overall accuracy).

En definitiva, cada árbol de una plantación o agrupamiento se caracteriza por el nú-

CUADRO I.

Parámetros proporcionados por Cluas y su significado agroambiental.

Parámetro	Abreviatura	Significado	Unidad
Superficie imagen Agrupamiento	NTP AG1/., AGi/., AGn	Número total píxeles Árbol/ árboles/vegetación /suelo desnudo	Pixel -----
Coordenadas geográficas de cada agrupamiento	X, Y	Longitud, latitud (requerido para agricultura de precisión)	m
Superficie agrupamientos Valores digitales integrados	NPAG VDAG	Número de píxeles de cada agrupamiento Medida relativa de la productividad potencial (para agrupamientos de vegetación)	Pixel VD
Ratio de productividad potencial	VDAG/NPAG	Medida relativa de la productividad potencial por unidad de superficie de vegetación	VD/pixel
Número total de agrupamientos	NTAG	Agrupamientos/estimación de la densidad	
Densidad de agrupamientos	NTAG/NTP	Densidad/espaciamento vegetación	Agrupamiento/ pixel
Valores digitales integrados de todos los agrupamientos	IVDA	Medida relativa de la productividad potencial de los agrupamientos de vegetación	DV
Valores digitales medios del agrupamiento	VDAM	Comparativa entre agrupamientos	DV

mero de píxeles que lo conforman, es decir su superficie, y por los VD integrados. Los parámetros proporcionados por Cluas y su significado agroambiental se indican en el **cuadro I**. La interpretación agrónómica de éste último parámetro varía según la imagen (banda o índice vegetativo) procesada. Cluas® además proporciona las coordenadas geográficas de cada agrupamiento, lo cual es importante para diseñar las operaciones agrícolas de precisión. A fin de ilustrar la información que proporciona Cluas® se indica a continuación el procesado de diversas imágenes remotas de plantaciones de olivo.

Cuantificación de indicadores de cada árbol

En la **figura 2a** se muestra un vista de un olivar de 0,56 ha procedente de una imagen pancromática del satélite Quick Bird, con un tamaño de pixel de 0,70 m; y en la **figuras 2b y 2c** se muestran detalles ampliados de la anterior, x4 y x12, respectivamente. Los usos del suelo del olivar son: árboles de olivo, cobertura vegetal y suelo desnudo, que coinciden con los colores negro, gris y blanco, respectivamente. El procesamiento de la imagen por Cluas se llevó a cabo con un rango de VD 0 a 70, y agrupamientos equidistantes > 3 píxeles, con un máximo de 30 columnas y 30 filas.

Caracterización de diversas zonas de un olivar

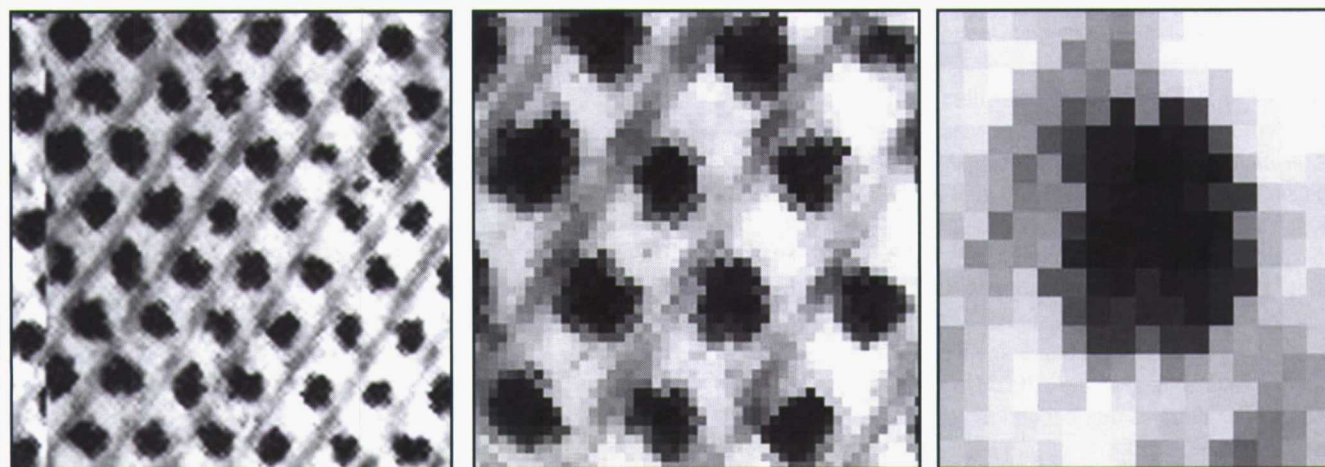
La **figura 3** corresponde a una parcela de una imagen multispectral de la Estación Experimental de Cabra (Córdoba, España, X = 373549, Y = 4151178), de 0,5 m de resolución espacial tomada a mediados de julio de 2005, en la que se muestran tres zonas de baja (B), intermedia (A), y alta (C) productividad potencial, cada una de aproximadamente 0,5 ha. Se transformó la imagen al índice vegetativo NDVI, y se procesó mediante Cluas con unos rangos de VD de 0,1-1,0; 0,015-0,099, y 0,001-0,014 para árboles de olivo, otra cobertura vegetal y suelo desnudo, respectivamente (OA= 96%).

Caracterización de diversas parcelas de olivos

La **figura 4** muestra varias parcelas adyacentes de olivar de diversas características agronómicas. Es parte de una imagen pancromática del satélite Quick Bird, con una resolución espacial de 0,7 m, tomada a mediados de julio de 2005 en un área total de 18 ha (X = 301012, Y = 4156955). Se determinaron diversos parámetros agronómicos y ambientales de cada parcela, mediante las siguientes características de procesamiento: rango de VD de 50-89, 90-125 y 126-190 para árboles de olivo, otra cobertura vegetal y suelo desnudo, respectivamente (OA= 94%), tamaño máximo de agrupamiento 14 x 14 (excepto para la parcela B que fue de 10 x 10).

FIGURA 2.

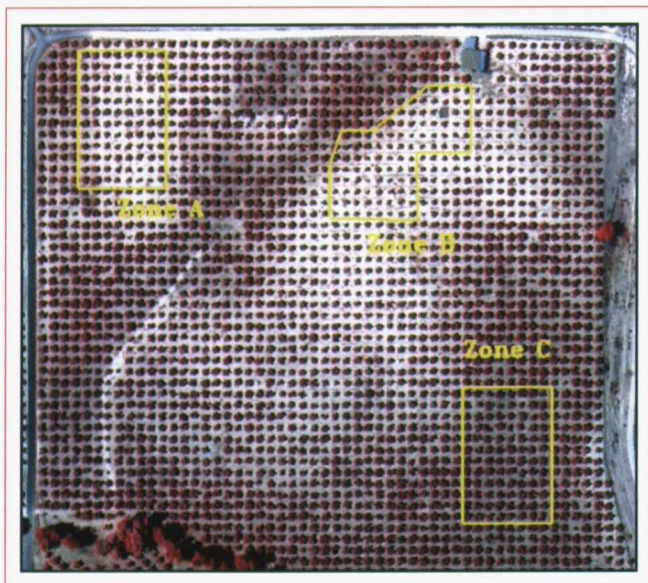
a) Vista de los usos de suelo del un olivar de 0,56 ha en una imagen pancromática del satélite Quick Bird;
b) y c) ampliaciones zoom x4 y x12, respectivamente.



Los árboles de olivo, la cobertura vegetal y el suelo desnudo coinciden con el negro, gris y blanco, respectivamente.

FIGURA 3.

Vista de una imagen multiespectral de una plantación de olivos de 12,8 ha en la que se han delimitado tres zonas de diversa productividad: A) intermedia; B) baja y C) alta.



Resultados y discusión

Cuantificación de indicadores de cada árbol

El archivo de salida ASCII/Excel generado por Cluas del procesamiento de la imagen de la parcela de olivar de 0,12 ha indicada en la **figura 2b** se muestra en el **cuadro II**. El porcentaje de superficie de árboles de olivos en relación a la superficie de la parcela fue del 25% (NTAG/NTP; 0,25). Se indica el centro geométrico de cada árbol, lo que es importante para una programación de precisión árbol a árbol, y se cuantifican independientemente los parámetros de cada árbol; así el AG4 coincide con el de mayor tamaño y mayor valores digitales integrados, 76 píxeles y 1.473, respectivamente. Sin embargo, una mayor actividad vegetal, coincidente con un menor valor del índice VDAG/NPAG en la imagen analizada, se observa en los árboles AG1 y AG4, entre otros análisis que pueden deducirse.

Caracterización de diversas zonas de un olivar

Se muestran diversos indicadores calculados por Cluas en el **cuadro III**. Cada zona descrita exhibe diferente productividad potencial. Por ejemplo, la superficie media de los árboles de olivo y la superficie total de olivar fue de 4,2 m², 16,9 m² y 31,3 m², y de 9%, 35% y 66% del área total de la parcela para las zonas de baja, intermedia y alta productividad, respectivamente.

Caracterización de diversas parcelas de olivos

Diversos indicadores agroambientales de las parcelas estudiadas se indican en el **cuadro IV**. Así el tamaño medio de los árboles de olivo fue de 5,5 m² para la zona B, correspondiendo muy posiblemente a una plantación de olivos jóvenes, y fue de 30,4 m² y

OLIVOS

UniRam®

RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO

RIEGO SUPERFICIAL EN SUPERINTENSIVO



Tel. 902 240 174
marketing@regaber.com

UniRam

Asegura el riego y fertirriego de calidad y precisión en su olivar.
Asegura la máxima rentabilidad de la inversión.



www.regaber.com



CUADRO II.

Archivo de salida ASCII/ Excel del procesamiento por Cluas de la imagen de la parcela de olivar de 0,12 ha indicada en la figura 2b.

NTP:	2450				
AG	X	Y	NPAG	VDAG	VDAG/NPAG
OLIVO1	1,47	3,68	34	618,0	18,2
OLIVO2	15,29	2,65	52	1.117,0	21,5
OLIVO3	31,79	4,62	58	1.461,0	25,2
OLIVO4	7,32	16,03	76	1.463,0	19,3
OLIVO5	37,97	17,10	40	873,0	21,8
OLIVO6	22,21	18,18	38	735,0	19,3
OLIVO7	0,93	30,22	27	647,0	24,0
OLIVO8	14,09	30,40	55	1.336,0	24,3
OLIVO9	29,36	31,09	55	1.450,0	26,4
OLIVO10	44,51	31,46	39	988,0	25,3
OLIVO11	6,14	42,68	44	891,0	20,3
OLIVO12	21,85	44,15	39	1.160,0	29,7
OLIVO13	36,50	44,80	44	978,0	22,2
NTAG:		601			
NTAG/NTP:		0,25			
IVDA:		13.717,0			
VDAM:		22,8			

* Las abreviaturas se indican en el cuadro I.

CUADRO III.

Cuantificación por Cluas de las zonas del olivar de la Estación Experimental de Cabra (Córdoba) de productividad potencial intermedia (A), baja (B) y alta (C) indicadas en la figura 3.

Zonas	Características					
	Área		Productividad potencial (IDV ²)	Productividad potencial media por árbol ³	Tamaño árbol de olivo (m ²)	
	Total (ha)	Árboles de olivo ¹			Media	Rango
A (Intermedia)	0,49	35	1.056	11,0	16,9	3,2-36,7
B (Baja)	0,83	9	419	4,2	4,2	2,0-5,0
C (Alta)	0,46	66	2.127	22,1	31,3	5,2-42,2

¹ % de la zona; ² IDV: valores digitales integrados; ³ valores digitales integrados por olivo.

CUADRO IV.

Cuantificación por Cluas de parcelas de olivar indicadas en la figura 4*.

Parcelas	Usos del suelo												
	Árboles de olivo						Cobertura vegetal					Suelo desnudo	
	Nombre	Área (ha)	Número de árboles	Área media (m ²)	Rango (m ²)	Área total (% ¹)	Productividad, potencial total (IDV ² x 10 ³)	Productividad, potencial por ha (IDV x 10 ³)	Productividad, potencial por olivar (IDV/m ²)	Área (% ¹)	Valor digital medio por m ²	Área (% ¹)	Valor digital medio por m ²
A	5,23	948	12,5	5,0-30,8	24,6%	2.059,1	393,7	156,4	50,1%	220,0	25,2	272,6	
B	4,65	556	5,5	3,0-24,1	6,7%	509,9	108,8	160,8	61,1%	226,6	32,4	272,4	
C	3,2	420	30,4	2,0-73,9	40,9%	1.987,2	621,0	148,4	54,2%	216,0	5,6	264,0	
D	0,65	97	22,2	3,0-57,3	32,2%	313,0	411,6	146,6	67,4%	215,0	0,4	254,2	
E	4,31	461	35,4	3,0-94,0	38,0%	2.493,9	74,6	148,6	47,1%	219,2	15,0	262,6	

¹ % sobre el área total de la parcela. ²IDV: valor digital integrado.

*Imagen pancromática del satélite Quick Bird, cerca de Montilla, provincia de Córdoba.

FIGURA 4.

Vista de una imagen pancromática del satélite Quick Bird de 18,2 ha (X = 351037; Y = 4156992) en la que se han delimitado cinco parcelas de olivar de muy diversas características.



35,2 m² para las zonas C y D, típicas plantaciones de olivares adultos. El porcentaje de área de árboles de olivo está altamente relacionado con la productividad potencial de cada parcela. La productividad potencial media por unidad de área de olivar varió entre 146 y 161 valores digitales integrados (IDV) por m². El porcentaje de cobertura vegetal y de suelo desnudo de cada parcela, importantes indicadores

BUENAS NOTICIAS PARA LOS AGRICULTORES

Te garantizamos

que vas a abonar tu cereal

por menos de

60 €/ha.^(*)

(Abonado de sementera)

(*) Consultar dosis y fórmulas según producciones.

"En nuestro accionariado participan más de 25.000 agricultores.

Por eso, nuestros márgenes son mínimos y
nuestros precios muy competitivos"

Empresas colaboradoras:



Siempre al lado del agricultor

Consulte a su proveedor habitual o entre en la página web www.abonarbiensucereal.com

agroambientales, variaron considerablemente entre las parcelas estudiadas.

Comentarios adicionales

El procesado de imágenes remotas de plantaciones de árboles por Cluas proporciona información agroambiental de interés para cada árbol, pequeñas áreas del terreno y para el conjunto de la plantación. Dicha información puede ser usada para el manejo de precisión de fertilizantes, fitosanitarios y riego, dado que existe una obvia relación entre tamaño del árbol y productividad potencial y las dosis de nutrientes, fitosanitarios tales como fungicidas y agua que potencialmente pueden requerir.

El uso de Cluas en imágenes de parcelas de olivar proporciona información sobre el porcentaje de superficie de árboles, de otra cubierta vegetal y de suelo desnudo. Estos indicadores pueden contribuir al seguimiento de las regulaciones agroambientales de la Unión Europea y de sus Estados miembros (García-Torres *et al.*, 2008). A fin de caracterizar plantaciones de olivar, Cluas ha mostrado ser un software eficiente en el proceso de imágenes remotas de diversas bandas e índices de vegetación espectrales, con una resolución espacial de 0,25 m a 1,5 m.

En plantaciones de olivar se ha constatado una estrecha correlación entre diversos indicadores calculados por Cluas en imágenes aéreas y datos reales tomados sobre el terreno tales como cosecha y superficie de árbol (García-Torres *et al.*, 2008). Así, el tamaño de los olivos y su productividad potencial estimadas en imágenes aéreas se correlacionaron con coeficientes de correlación que variaron

El uso de Cluas en imágenes de parcelas de olivar proporciona información sobre el porcentaje de superficie de árboles, de otra cubierta vegetal y de suelo desnudo

entre 0,62 y 0,82, significativos al 95%. La correlación entre tamaño de olivar y cosecha real fue de 0,5 en años de alta producción y de 0,30 a 0,40 en años de baja producción.

La agricultura de precisión es todavía en nuestros días muy minoritaria, si bien no se cuestionan sus ventajas económicas y medioambientales. Exige sofisticadas tecnologías y la mejora de los procedimientos para que su aplicación sea fácil y económica. Es de esperar que a medio-largo plazo sean cada vez más aceptada, conforme se vayan perfeccionando las aplicaciones de la tele-detección en agricultura. ●

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comisión de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto AGL2007-60926/AGR.

Notas:

¹ ENVI® 4.4: Research System Inc., 4990 Pearl East Circle, Boulder, CO 80301, USA.

² IDL® 6.2: Research System Inc., 4990 Pearl East Circle, Boulder, CO 80301, USA.

³ IDL.IAS.1®/ CLUAS®: Technology Transfer Office, CSIC, c/ Alfonso XII no.16, 41002-Seville, Spain.

BIBLIOGRAFÍA

Bramley, R.G. V., Proffit, A. P. B., Hinze, C. J., Pearse, B., Hamilton, R.P. 2005. Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. Proc. Europ. Congr. Precision Agricult. (ECPA), Uppsala, Sweden, 891-898.

Blondot, A., Gate, P., Poilvé H. 2005. Providing operational nitrogen recommendation to farmers using satellite imagery. Proc. Europ. Congr. Precision Agricult. (ECPA), Uppsala, Sweden, 345-352.

Domsh H, M. Heisig and K. Witzke. 2008. Estimation of yield zones using aerial images and yield data from a few tracks of a combine harvester. Precision Agriculture, 9, 321-337.

Delgado J. A., J. K. Berry and R. Khosla. 2008. New advances and practices for precision agricultura. July 20-23, Denver, Colorado, USA, 16 pages.

García-Torres, L., López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J. M. 2006. The computer program IDL.IAS.1 for clustering and integration digital values of remote imagery (in Spanish). Office for the Registration of the Intellectual Property, Regional Department of Culture, Seville, Spain, n° 200699900440900.

García-Torres, L., Peña-Barragán, J.M., López-Granados, F., Jurado-Expósito, M. 2007. Procedure to obtain automatically agri-environmental indicators of tree plantations through remote sensing (in Spanish). Spanish Office for Patents and Trademarks, Madrid, PCT/ES2008/070013.

García Torres L., J. M. Peña-Barragán, F. López-Granados, M. Jurado-Expósito, R. Fernández-Escobar. 2008a. Automatic assessment of agro-environment indicators from remotely sensed images of tree orchards and its evaluation using olive plantation. Computers and Electronic in Agriculture, 61, 179-191.

García-Torres L., J. M. Peña-Barragán, D. Gómez-Candón, F. López-Granados, M. Jurado-Expósito. 2008b. A software for managing remotely sensed imagery of orchards plantations for precision agriculture, 9th International Congress on Precision Agriculture, July 20-23, Denver, Colorado, USA, 6 pages.

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.

Ortega, R. A., L. A. Jara, A.A. Esser and A.A. Inostroza. 2008. Using multispectral imagery and directed sampling to estimate wine grape yield. July 20-23, Denver, Colorado, USA, 8 pages.

Peña-Barragán J. M., Peña-Barragán J.M., López-Granados F., Jurado-Expósito M., and García-Torres L. 2007. Mapping *Ridolfia segetum*. patches in sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop using remote sensing. Weed Research, 47, 164-172.

Thorp, K. R., Tian, L. F. 2004. A review of remote sensing of weeds in agriculture. Precision Agric. 5: 477- 508

COSECHADORAS DE OCASIÓN



www.enriquesegura.com

Polígono industrial Sector 4, nº 9
50830 Villanueva de Gállego (Zaragoza). España

Tfno.: 976 18 50 20 • Fax: 976 18 53 74

Móvil: 609 300 299 • E-mail: enrique@enriquesegura.com

