

Extracción automática de información de imágenes de alta resolución para el cálculo de necesidades hídricas en parcelas de cultivos arbóreos

J. A. Recio¹, L. A. Ruiz¹, M. Erena², D. S. Intrigliolo³, T. Hermosilla², P. Pérez³, M. A. Jiménez³ y J.L. Gil-Yepes¹

¹ Grupo de Cartografía Geoambiental y Teledetección (CGAT). Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia (España). Correo electrónico: jrecio@cgf.upv.es

² Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario (IMIDA). 30150 La Alberca (Murcia, España).

³ Instituto Valenciano de Investigación Agraria (IVIA). Apartado Oficial 46113, Moncada (Valencia, España)

RESUMEN

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto Telerieg (SOE1/P2/E082), sobre el uso de la teledetección para la recomendación y seguimiento de las prácticas de riego en el espacio SUDOE, y en él se presentan una serie de métodos para la extracción automática de parámetros útiles para el cálculo de las necesidades hídricas de cultivos arbóreos empleando imágenes multispectrales de alta resolución espacial mediante técnicas de análisis por parcela. Así, tras clasificar cada parcela según su tipología, se extraen automáticamente el número de árboles por parcela y su posición, las dimensiones del marco de plantación y la superficie sombreada. El proceso es automático, tomando como datos de entrada las ortoimágenes y el parcelario de una base de datos cartográfica. La metodología presentada resulta consistente mostrando un alto nivel de fiabilidad en cítricos jóvenes e independientes, y medio en el caso de árboles alineados.

Palabras clave: Eficiencia de riego, coeficiente de sombreadamiento, análisis de imágenes orientado a objetos, detección de árboles, imágenes de alta resolución, Telerieg.

ABSTRACT

This work is part of the Telerieg project (SOE1/P2/E082) and analyses the use of remote sensing for irrigation management in SUDOE space. A set of methods for extracting useful parameters for estimating water needs in tree crops are presented. These methods are based on parcel-based image analysis of high resolution multispectral images. Firstly, each parcel is classified in a crop typology. Secondly, the amount of trees and their location are automatically extracted, jointly with the sizes of planting patterns and the shadowing area. These automatic processes use orthoimages and a vectorial cartography of agricultural parcels as input data. The proposed methodology is solid and consistent, showing a high accuracy level for young and isolated trees, and a medium performance in the case of aligned citrus orchards.

Keywords: Irrigation efficiency, shadowing coefficient, object-based image analysis, tree detection, high resolution images, Telerieg.

INTRODUCCIÓN

El manejo eficiente del riego es un aspecto clave para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos. La teledetección permite estimar de forma generalizada determinados parámetros a partir de imágenes de baja y media resolución, como por ejemplo, la evapotranspiración potencial. En algunos cultivos arbóreos, como es el caso de los olivos (García Torres, et al., 2008) o los cítricos, se viene incorporando el coeficiente de sombreadamiento para el cálculo de

las necesidades hídricas, normalmente estimado en función de la edad y el tipo de plantación. En este trabajo se presentan una serie de métodos para la extracción automática de parámetros útiles para el cálculo de las necesidades hídricas de cultivos arbóreos empleando imágenes multispectrales de alta resolución espacial (0,5 metros/píxel) mediante técnicas de análisis por parcela. Tras clasificar cada parcela según su tipología, se extraen el número de árboles por parcela y su posición, el marco de plantación y la superficie sombreada.

ZONA DE ESTUDIO Y DATOS DE PARTIDA

Se ha trabajado utilizando datos adquiridos en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Se emplearon ortofotos digitales adquiridas en el año 2006 con una resolución espacial de 0,5 m/píxel, y tres bandas espectrales (IR, R, G). Los datos LiDAR fueron adquiridos en agosto del 2009 con una densidad de 0,5 puntos/m².

A efectos de clasificación y evaluación, se han definido tres tipologías de parcelas cítrícolas en el término municipal de Lliria (Valencia): Árboles independientes, árboles jóvenes y árboles alineados; estando cada tipología representada por 84, 89 y 87 parcelas respectivamente, ocupando una superficie de 226 ha.

METODOLOGÍA

Clasificación de parcelas cítrícolas por tipologías de cultivos

Se ha seguido una metodología de clasificación orientada a objeto. En primer lugar, se segmentó la imagen según los límites de las parcelas contenidos en la cartografía catastral. A continuación se procedió a la extracción de características espectrales, de textura, estructurales y de altura, empleando el software de extracción de características agrícolas FETEX 2.0 (Ruiz et al., 2011). La clasificación de las parcelas se realizó empleando árboles de decisión generados con el algoritmo C5.0. Para aumentar la precisión de las clasificaciones se ha empleado el método multclasificador *boosting*.

Extracción de parámetros

En la Figura 1 se muestra la metodología desarrollada. En primer lugar, se genera una máscara de la superficie cubierta por árboles tras la clasificación no supervisada en las clases *árbol* y *no árbol*, a partir de muestras de aprendizaje adquiridas automáticamente para cada parcela, según se describe en Recio et al. (2009). Como resultado se obtiene la **superficie sombreada** por vegetación arbórea.

A partir de la imagen binaria resultante de la segmentación y mediante operaciones morfológicas, se individualizan los árboles existentes en la parcela y se obtienen sus centroides con los que se realizan las operaciones de detección, localización y conteo de árboles.

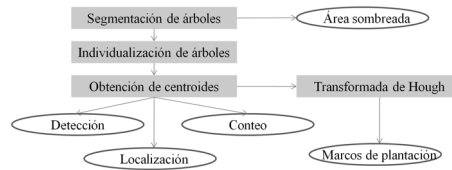


Figura 1: Procedimiento metodológico

El término **detección** hace referencia a la fiabilidad del método en encontrar los árboles reales. La evaluación de la detección de los árboles se ha realizado calculando el factor de exceso y el factor de defecto (Ecuaciones 1 y 2). Para el cálculo de estos parámetros se utilizan los valores: positivo verdadero (TP), árboles reales que son automáticamente detectados; falso positivo (FP), árboles automáticamente detectados pero que no lo son; y falso negativo (FN), árboles reales que no son detectados. Por otra parte, el factor de exceso (FE) constituye una medida del error por exceso, esto es, se detectan incorrectamente árboles que no lo son, mientras que el factor de defecto (FD) indica el error de omisión cometido, esto es, aquellos árboles que no son detectados como tales:

$$FE = \frac{FP}{TP} \quad (1) \quad FD = \frac{FN}{TP} \quad (2)$$

Por su parte, el término **localización** hace referencia a la precisión del método en ubicar correctamente los árboles en su posición real. Para cada árbol delineado manualmente se obtuvo la distancia al árbol detectado más próximo siempre que esta distancia sea inferior a un umbral. El valor asignado a cada parcela es la distancia media de los árboles delineados que contiene.

El error en el **conteo** de árboles se obtuvo calculando la diferencia entre el número de árboles estimados automáticamente y el de referencia (determinado mediante fotointerpretación), dividido entre el número de referencia (Ecuación 3):

$$Tasa\ de\ error = 100 \cdot \frac{N_{estimado} - N_{referencia}}{N_{referencia}} \quad (3)$$

Las dimensiones de los **marcos de plantación** se calcularon aplicando la transformada de Hough sobre los centroides de los árboles detectados. Se transforman las coordenadas de la imagen desde el sistema cartesiano a un sistema de coordenadas polares en el que se hallan las direcciones más frecuentes y las distancias entre

las rectas en esas direcciones (Figura 2) que corresponden con el tamaño del marco de plantación.

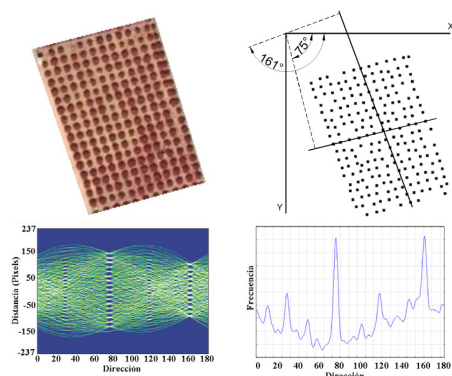


Figura 2: Obtención de las direcciones principales del marco de plantación (Fuente: Ruiz et al., en prensa).

En la evaluación de las zonas sombreadas, además del factor de exceso y de defecto se han utilizado otros índices: el porcentaje de detección (PD) denota el porcentaje de superficie de árboles reales correctamente detectado (Ecuación 4), mientras que el porcentaje de calidad (PC) informa sobre la calidad global de la detección y localización (Ecuación 5). Se trata de la medida más estricta, puesto que para la obtención de un 100% de calidad, el algoritmo debería detectar correctamente toda superficie sombreada (FN = 0), sin incluir ningún pixel que no pertenezca a esta clase (FP = 0):

$$PD = 100 \frac{TP}{TP + FN} \quad (4) \quad PC = 100 \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (5)$$

RESULTADOS

Clasificación de parcelas cítricas por tipologías de cultivos

La evaluación de la clasificación se realizó mediante validación cruzada, realizando tantas iteraciones como muestras disponibles y utilizando en cada iteración una única muestra como conjunto de evaluación y el resto como muestras de entrenamiento.

Las parcelas se clasificaron con una fiabilidad global del 96,5% (ver Tabla 1), mientras que las fiabilidades de usuario y productor fueron en todos los casos superiores al 92%. La confusión

principal entre clases se produjo entre los árboles independientes y los árboles alineados.

Extracción de parámetros

Los valores de evaluación de la **detección** de árboles individuales (Tabla 2) indican que los mejores resultados se producen para la clase de árboles independientes, que presenta un ligero factor de exceso. Un factor de exceso similar presenta la clase árboles alineados, que presenta el mayor de los factores de defecto medio. El caso contrario se produce para la clase árboles jóvenes, con un factor de exceso alto y un factor de defecto muy bajo.

		Referencia			
		Árboles jóvenes	Árboles indepen.	Árboles alineados	Fiab. Usuar.
Clasificación	Árboles jóvenes	87	2		97,7
	Árboles indepen.	2	78	1	96,3
	Árboles alineados		4	86	95,5
	Fiab. Produc.	97,7	92,8	98,8	96,5

Tabla 1: Matriz de confusión de la clasificación en tipologías de cultivos cítricos.

	F. exceso	F. defecto
Árboles indepen.	0,050	0,007
Árboles alineados	0,055	0,198
Árboles jóvenes	0,172	0,026

Tabla 2: Resultados estadísticos globales de la detección de los árboles para las distintas tipologías de cultivo consideradas.

Los errores en la **localización** de árboles se muestran en la Tabla 3. Las parcelas de árboles independientes y árboles jóvenes presentan unos errores en torno a medio metro, que coincide con la resolución espacial de la imagen empleada. La clase árboles alineados presenta un error medio y una desviación típica superiores a las demás.

	$\mu(m)$	$\sigma(m)$
Árboles jóvenes	0,51	0,31
Árboles indepen.	0,52	0,29
Árboles alineados	0,71	0,44

Tabla 3: Errores en la localización de árboles para las distintas tipologías de cultivo consideradas (expresados en metros).

Los resultados de la evaluación del **conteo** de árboles se presentan en la Figura 3. En la gráfica se observa cómo la mayor parte de las parcelas de la tipología árboles independientes tiene un error de sobre-detección inferior al 5%. Por su parte,

los árboles jóvenes y los alineados presentan errores mayores por exceso y por defecto, respectivamente.

En la Tabla 4 se presentan los errores en la estimación del **marco de plantación** según las dos direcciones principales en función del tipo de parcela analizada.

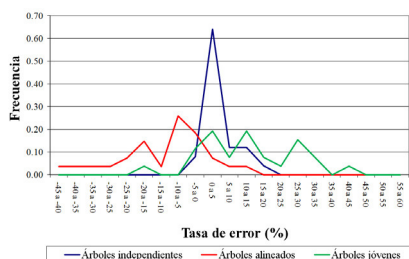


Figura 3. Resultados globales del conteo de número de árboles para las tres tipologías de cultivo consideradas.

El error se obtuvo calculando la diferencia entre la distancia media obtenida por fotointerpretación para cada una de las direcciones y la distancia obtenida automáticamente. En la mayor parte de los casos, los errores en ambas direcciones se encuentran por debajo de 0,5 m, siendo éste el tamaño del píxel de las imágenes utilizadas. Generalmente, estos errores presentan un signo positivo, lo que indica que existe una ligera subestimación del tamaño del marco de plantación.

	1ª Dirección		2ª Dirección	
	μ (m)	σ (m)	μ (m)	σ (m)
A. Jóvenes	0,29	0,23	0,29	0,22
A. Indepen.	0,24	0,18	0,14	0,09
A. Alineados	0,31	0,34	0,25	0,27

Tabla 4. Errores en la determinación de las dimensiones del marco de plantación para las tipologías de cultivo consideradas.

La Tabla 5 muestra los resultados relativos a la evaluación de la detección de la **superficie de sombreado**. Los mejores resultados se obtienen para los árboles alineados, cuyo porcentaje de calidad medio es superior al 90%, con una baja desviación típica. Los árboles independientes presentan también una alta tasa de aciertos, pero con una sobre-detección mayor, lo que reduce el porcentaje de calidad. La precisión en el caso de árboles jóvenes es menor, con un factor de exceso muy superior al resto de clases. Esto se debe a que el error en el perímetro de los

árboles con relación a su superficie es mayor, por el menor tamaño de los árboles de esta clase.

	Árboles independ.		Árboles jóvenes		Árboles alineados	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
FE	0,15	0,10	0,29	0,19	0,06	0,04
FD	0,01	0,02	0,06	0,05	0,03	0,03
PD(%)	98,9	1,5	94,8	4,1	96,6	3,0
PC(%)	86,2	5,9	75,0	11,2	91,5	3,4

Tabla 5: Resultados estadísticos globales de la detección de la área sombreada.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra el potencial del análisis de imágenes de alta resolución para determinar parámetros agronómicos útiles para la gestión eficiente del riego. La metodología presentada resulta consistente, mostrando un alto nivel de fiabilidad en árboles jóvenes e independientes, y medio en el caso de árboles alineados.

BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA TORRES, L., PEÑA BARRAGÁN, J.M., LÓPEZ-GRANADOS, F., JURADO-EXPOSITO, M., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., 2008. *Automatic assesment of agro-environmental indicators from remotely sensed images of tree orchards and its evaluation using olive plantations*. Computers and Electronics in Agriculture, 61, 179-191

RECIO, J.A., RUIZ, L.A., FERNÁNDEZ, A., HERMOSILLA, T., 2009. *Extracción de características estructurales en un sistema de clasificación de imágenes basado en parcelas*. XIII Congreso Nacional de la AET, 23-26 septiembre 2009, Calatayud, pp.577-580.

RUIZ, L.A., RECIO, J.A., FERNÁNDEZ-SARRÍA, A., HERMOSILLA, T., 2011. *A feature extraction software tool for agricultural object-based image analysis*. Computers and Electronics in Agriculture, 76(2), 284-296.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del programa SUDOE en el marco del Proyecto Telerieg SOE1/P2/E082.