



UNIVERSIDAD DE MURCIA
FACULTAD DE INFORMÁTICA

Estudio e Implementación de Algoritmos de
Visión Artificial y Modelos de Color para la
Determinación de la Cobertura Vegetal.
Aplicación a Cultivos Hortícolas

D. José Luis Hernández Hernández

2016



UNIVERSIDAD DE MURCIA
FACULTAD DE INFORMÁTICA

DOCTORAL THESIS

STUDY AND IMPLEMENTATION OF COMPUTER VISION
ALGORITHMS AND COLOR MODELS FOR THE
SEGMENTATION OF VEGETATION COVER.
APPLICATION TO HORTICULTURAL CROPS

AUTHORED BY

D. JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

DIRECTED BY

DR. GINÉS GARCÍA MATEOS

DR. JOSÉ MIGUEL MOLINA MARTÍNEZ

MURCIA, OCTOBER 2016

A mis padres Felipe e Isabel
A María Luisa, Grissel, Luis Ángel, Daniel y Regina Ailyn
A mis hermanos Mario, Evelia, Maribel, Isabel, Felipe, Efraín y Susana

Existe una cosa muy misteriosa, pero muy cotidiana. Todo el mundo participa de ella, todo el mundo la conoce, pero muy pocos se paran a pensar en ella. Casi todos se limitan a tomarla como viene, sin hacer preguntas. **Esta cosa es el tiempo.**

Hay calendarios y relojes para medirlo, pero eso significa poco, porque todos sabemos que, a veces, una hora puede parecernos una eternidad, y otra, en cambio, pasa en un instante; depende de lo que hagamos durante esa hora.

Porque el tiempo es vida. Y la vida reside en el corazón.

Momo.
Michael Ende.

Derechos de autor ©2016 por **José Luis Hernández Hernández**. Todos los derechos reservados.

La Universidad de Murcia, España, podrá distribuir esta Tesis, solo para usos no comerciales.

El uso personal de este material está permitido. Sin embargo, el permiso para reimprimir/republishar este material con fines publicitarios o promocionales o para la creación de nuevos trabajos colectivos para la reventa o redistribución a servidores o listas, la reutilización de cualquiera de los componentes con derechos de autor de esta obra en otros trabajos se debe obtener de su autor.

Los derechos de autor y todos los derechos pertenecen al autor.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mi agradecimiento al Dr. Ginés García Mateos, a quien contacté inicialmente en el mes de julio del año 2012 y sin conocerme me ayudó con los trámites administrativos para ser aceptado en la Universidad de Murcia. Afortunadamente para mí, aceptó ser mi director de tesis del doctorado.

Recuerdo que desde los primeros contactos con Ginés vía e-mail, estuvo al pendiente del proceso de admisión. Cuando le confirmé la fecha de mi llegada a Murcia, me contactó con una inmobiliaria para conseguir piso. Todo su conocimiento y experiencia me guiaron en las actividades que se desarrollaron como parte del doctorado (aprendizaje de visión artificial, programación, procesamiento digital de imágenes, manejo de las librerías OpenCV, redacción de artículos para congresos y para revistas). Mi agradecimiento infinito para Ginés.

Agradezco al Dr. José Miguel Molina Martínez quien aceptó ser mi co-director de tesis, hacía revisiones al software desarrollado y siempre fue muy crítico. Indicaba correcciones, apoyó en el diseño de la interfaz de comunicación hombre-máquina de las aplicaciones e indicaba mejoras. Me impulsó para participar con artículos en simposios, congresos y revistas. Recuerdo que cuando había reunión de trabajo y se trataba lo referente a artículos, siempre decía “te quiero con 2 artículos”. Mi agradecimiento a José Miguel.

También mi agradecimiento a José Manuel González Esquiva y a David Escarabajal Henarejos con los cuales hice equipo de trabajo, compartiendo conocimientos, información y participando en investigaciones muy semejantes. Todo dirigido hacia la elaboración

de artículos para congresos, simposios y revistas. Les agradezco mucho su apoyo.

No podía faltar mi agradecimiento para el grupo de investigación **MOVI** (Grupo de Investigación de Computación Móvil y Visión Artificial de la Universidad de Murcia), por aceptarme como colaborador. A sus integrantes: Pedro, Félix, Óscar, Ginés, Alberto, Lorenzo y Joaquín. Gracias a todos.

A los amigos con los cuales conviví durante mi estancia en Murcia: Jesús, Domingo, José Manuel, Rafael, Mercedes, Paco, María, Elvia, Elvira, Pilar, Mario Andrés, Oscar, Josefa, Lolis, Marian, Vanessa, Mingo y otros que en este momento escapan de mi mente.

Mi agradecimiento para el **Dr. Javier Saldaña Almazán** rector de la Universidad Autónoma de Guerrero, M.C. Margarito Radilla Romero, C.P. Alejandra Vázquez Adame, M.C. Juan Carlos Medina Martínez, M.C. León Julio Cortéz Organista y M.C. Edgardo Solís Carmona funcionarios de la Universidad Autónoma de Guerrero. Gracias por su apoyo.

Para la Dirección de Superación académica, dependiente de la Secretaría de Educación Pública. Con el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP antes PROMEP) que busca profesionalizar a los Profesores de Tiempo Completo para que alcancen las capacidades de investigación-docencia. Por la beca para estudios de calidad en el extranjero con clave: UAGro-196.

No podía faltar mi agradecimiento y reconocimiento a mi hermano **Mario** y a **Severino** con los cuales nos aventuramos hasta España para seguir el sueño del doctorado en Informática.

Para alguien muy especial, mi abuelita **Esperanza** que me apoyó desde la primaria, secundaria, preparatoria y licenciatura.

Para alguien muy importante en mi vida, mi esposa **María Luisa**, quien siempre me ha apoyado en todo lo que emprendo. A mis hijos: **Grissel, Luis Ángel, y Daniel** a quienes he convencido que no hay edad cuando se quieren hacer las cosas. Los quiero mucho y saben que todo lo hago por ellos.

A todos, muchas gracias.

Producción académica

Publicaciones Científico – Técnicas

García-Mateos, G., **Hernández-Hernández, J.L.**, Escarabajal-Henarejos, D., Jaén-Terrones, S., & Molina-Martínez, J. M. (2015). Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agricultural Water Management*, 151, 158-166. ISSN: 0378-3774.

Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González-Esquiva, J. M., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J. M. (2016). Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, 124-132. ISSN: 0168-1699.

Hernández-Hernández, J.L., Ruiz-Hernández, J, García-Mateos, G., González-Esquiva, J.M., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. (2016). A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture. *Agricultural Water Management*, en impresión.

González-Esquiva, J.M., García-Mateos, G., **Hernández-Hernández, J.L.**, Ruiz-Canales, A., Escarabajal-Henarejos, D. & Molina-Martínez, J.M. (2016). Web application for analysis of digital photography in the estimation of irrigation requirements for lettuce crops. *Agricultural Water Management*, en impresión.

Carrillo-de-Gea, J.M., García-Mateos, G., Fernández-Alemán, J.L. & **Hernández-Hernández, J.L.** (2016). A computer-aided detection system for digital chest radiographs. *Journal of Healthcare Engineering*. Volume 2016 (2016), Article ID 8208923.

Comunicaciones a congresos

García-Mateos, G., Jaén-Terrones, S., Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M. & **Hernández-Hernández, J.L.** “*Estudio y comparación de modelos de color para el análisis automático de imágenes de cultivos*”. I Symposium Nacional de Ingeniería Hortícola: La Agromótica en Horticultura. Universidad Miguel Hernández, Orihuela, España, 20-22 de febrero de 2014.

García-Mateos, G., Jaén-Terrones, S., Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M. & **Hernández-Hernández, J.L.** “Segmentación automática de imágenes de cultivos: estudio comparativo de modelos de color”. *Revista electrónica: Horticultura*. Nova Ágora S.L., España, 15/4/2014.

Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González-Esquiva, J.M. & Molina-Martínez, J.M. “*Procesamiento de imágenes y visión artificial aplicados en gestión de riego en cultivos*”, I Jornadas Doctorales de la Universidad de Murcia organizado por la Escuela Internacional de Doctorado, Murcia, España, 28 y 29 de abril de 2015.

González-Esquiva, J.M., Escarabajal-Henarejos, D., García-Mateos, G., **Hernández-Hernández, J.L.**, Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. “*Procesamiento automático de fotografías digitales para la obtención de las necesidades de riego en un cultivo hortícola*”, VIII Jornadas de Introducción a la Investigación de la Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, 28 y 29 de mayo de 2015.

Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González-Esquiva, J.M. & Molina-Martínez, J.M. “*Entrenamiento y selección automática de modelos de color para la segmentación de plantas en imágenes*”

de cultivos agrícolas”, VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Retos de la nueva agricultura mediterránea, Orihuela-Algorfa España, del 1 al 3 de junio de 2015.

Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González-Esquivá, J.M., Escarabajal-Henarejos, D. & Molina-Martínez, J.M. “*Software de clasificación automática de plantas y suelo (CAPS)*”, VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Retos de la nueva agricultura mediterránea, Orihuela-Algorfa, España, del 1 al 3 de junio de 2015.

González-Esquivá, J.M., **Hernández-Hernández, J.L.**, García-Mateos, G., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. “*Estudio de la aplicación del algoritmo fuzzy C-means para la determinación de la cobertura vegetal de cultivos hortícolas*”, XIV Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Orihuela, España, del 3 al 5 de junio de 2015.

González-Esquivá, J.M., Ruiz-Peñalver, L., **Hernández-Hernández, J.L.**, García-Mateos, G., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. “*Aplicación web para la gestión de históricos de datos de lisimetría empleados en la gestión del riego*”, XIV Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Orihuela, España, del 3 al 5 de junio de 2015.

Hernández-Hernández, J.L., Ruiz-Hernández, J., García-Mateos, G., González-Esquivá, J.M., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. “*Aplicación portable para la clasificación automática de plantas y suelo en gestión de riego utilizando visión artificial*”, II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. *Automatización y TICs en Agricultura*, Almería, España, 10-12 de febrero de 2016.

Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González-Esquivá, J.M., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. “*Comparación de metodologías para el conteo de frutas, verduras y plantas en un cultivo agrícola usando visión artificial*”, II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. *Automatización y TICs en Agricultura*, Almería, España, 10-12 de febrero de 2016.

González-Esquivá, J.M., **Hernández-Hernández, J.L.**, García-Mateos, G., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. “*Estudio y comparación*

de técnicas de segmentación por color para la estimación de la fracción de cobertura vegetal", II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. *Automatización y TICs en Agricultura*, Almería, España, 10-12 de febrero de 2016.

González-Esquiva, J.M., Escarabajal-Henarejos, D., **Hernández-Hernández, J.L.**, García-Mateos, G., Ruiz-Canales, A. & Molina-Martínez, J.M. "*Supervisión y sistema de alerta por medio de fotografías digitales de un cultivo hortícola*", II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. *Automatización y TICs en Agricultura*, Almería, España, 10-12 de febrero de 2016.

Escarabajal-Henarejos, D., Fernández-Pacheco, D.G., **Hernández-Hernández, J.L.**, Molina-Martínez, J.M. & Ruiz-Canales, A. "*Precisión de los métodos de cálculo del Coeficiente de Cultivo a partir de datos de fracción de cobertura vegetal y altura del cultivo*", II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. *Automatización y TICs en Agricultura*, Almería, España, 10-12 de febrero de 2016.

Desarrollo de Software

Clasificación Automática de Plantas y Suelo (CAPS), el cual fue registrado en el Registro Territorial de la Propiedad Intelectual dependiente de la Conserjería de Educación y Universidades de la Comunidad Autónoma de la región de Murcia, España con fecha 15 de octubre de 2015. Número de depósito: MU-769-2015.

Aplicación portable para la Clasificación Automática de Plantas y Suelo (pCAPS) el cual fue registrado en el Registro Territorial de la Propiedad Intelectual dependiente de la Conserjería de Educación y Universidades de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, España con fecha 21 de marzo de 2016. Número de depósito: MU-244-2016.

Índice general

Resumen	1
Abstract	3
1. Introducción	5
2. Resumen global de los objetivos	11
3. Copia completa de los trabajos	13
3.1 Publicación 1 “Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications”	15
3.2 Publicación 2 “Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture”	17
3.3 Publicación 3 “A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture”	19
4. Conclusiones generales y vías futuras	21
4.1 Conclusiones generales	21
4.2 Vías futuras	23
Referencias	25
Apéndice I. Notificaciones de aceptación de las publicaciones	31
Apéndice II. Índices de impacto de las publicaciones	35

Resumen

En los últimos años, el procesamiento digital de imágenes y la visión artificial han demostrado ser herramientas muy potentes en el área de la agricultura. Cada vez se pueden encontrar más aplicaciones para la supervisión y gestión automática de los procesos hortícolas basadas en imágenes, cuyo objetivo es reducir los costes y aumentar la productividad de los cultivos. La visión por ordenador constituye, junto con otras disciplinas ingenieriles, la denominada agroingeniería. El objetivo principal de esta tesis es el análisis, diseño, desarrollo y validación de técnicas novedosas de análisis de imágenes y modelado de color destinadas a la estimación de la cobertura vegetal de cultivos hortícolas, con el fin último de calcular sus requerimientos hídricos.

El cumplimiento de este objetivo general queda cubierto en tres grandes hitos, plasmados en las tres publicaciones que componen la unidad temática de este compendio:

- En primer lugar, la realización de un análisis completo y exhaustivo de los espacios de color más habituales aplicados al problema de la segmentación suelo/planta de imágenes de la cubierta vegetal de los cultivos. En este primer hito se estudió la eficacia de los distintos mecanismos de modelado del color, usando una representación no paramétrica de las distribuciones de probabilidad con histogramas en distintas variantes de espacios de color, canales y dimensiones.
- En segundo lugar, partiendo de los resultados del anterior análisis, el diseño de una técnica novedosa para el entrenamiento de los modelos de color, que incluye la selección del espacio de color óptimo y su configuración de canales y tamaño. Esta técnica puede ser aplicada en otros problemas genéricos de análisis de color, produciendo unos elevados porcentajes de acierto en la clasificación.

- En tercer lugar, la creación y validación de herramientas prácticas que implementan los algoritmos previamente diseñados. Por un lado, se ha desarrollado una herramienta para PC centrada en la creación y gestión de los modelos de color a partir de una entrada parcial del usuario; y, por otro lado, se ha desarrollado una herramienta para dispositivos portátiles que permite realizar un completo análisis de imágenes sobre el terreno.

Las imágenes utilizadas para los experimentos de esta investigación corresponden a cultivos de diversas variedades de campos de Cartagena y San Javier, principalmente de lechuga y colirrábano. Se tomaron series de fotos monitorizando el crecimiento de las plantas de varias parcelas diferentes a intervalos de 4 a 7 días, durante varios ciclos de cultivo en diversos años. Las imágenes fueron tomadas con cámaras digitales compactas a alta resolución. Después fueron recortadas respecto a un patrón rectangular, situado físicamente en el suelo, con el fin de garantizar la uniformidad de la zona bajo estudio.

Las imágenes fueron segmentadas por un experto en forma supervisada, con un software comercial de análisis de imágenes. Los resultados de dicho proceso fueron tomados como la base para el entrenamiento y prueba de los algoritmos automáticos de procesamiento y modelado de color desarrollados. Para el análisis de las imágenes, se consideraron los espacios de color más utilizados en visión artificial. El método desarrollado calcula para cada color concreto de un píxel las probabilidades de pertenencia a las clases objetivo, planta (cobertura vegetal) o suelo (fondo). Esto se consigue mediante una estimación no paramétrica de las funciones de densidad de probabilidad, modeladas con histogramas normalizados en el espacio y canales de color óptimos para cada escenario.

Como conclusión, se ha desarrollado un conjunto de técnicas y herramientas que permiten obtener de forma muy precisa y eficiente el porcentaje de cobertura vegetal de las imágenes. Este parámetro está relacionado con otras variables fundamentales en agronomía como la altura de las plantas, el coeficiente de cultivo y la profundidad de las raíces, que a su vez están relacionadas con la evapotranspiración de las plantas. Así que, en última instancia, esto nos acerca a la meta final de calcular las necesidades hídricas de los cultivos a través de las imágenes.

Abstract

In recent years, digital image processing and computer vision fields have proven to be very powerful tools in the agricultural domain. Each day, new applications can be found for crop monitoring and automatic management of horticultural processes based on images, which aim to reduce costs and increase crop productivity. Computer vision constitutes, along with other engineering disciplines, the so called agro-engineering field. The main objective of this thesis is the analysis, design, development and validation of new image analysis and color modelling techniques for the estimation of the vegetation cover in horticultural images, with the ultimate aim of calculating their water requirements.

The achievement of this objective is accomplished through three major milestones, embodied in the three publications that make up the thematic unity of this compendium:

- First, the performance of a complete and comprehensive analysis of the most common color spaces applied to the problem of plant/soil segmentation of crop images. In this first milestone, the effectiveness and accuracy of different alternatives for color modeling was studied, using a non-parametric representation of color distributions with histograms in different color spaces, channels and dimensions.
- Secondly, based on the results of the previous analysis, the design of a novel technique for automating training of color models, which includes the selection of the optimum color space, channels configuration and size. This technique can be applied to other generic problems of color analysis, yielding a high accuracy in color classification.

- In third place, the development and validation of practical tools that implement the algorithms previously designed. On the one hand, a tool for PCs has been developed focused on creating and managing color models from a partial user input; and, on the other hand, an app for portable devices has been created that allows to perform a complete analysis of crop images on the field.

The images used in the experimental validation correspond to horticultural crops of different varieties in fields of Cartagena and San Javier, Spain, mainly of lettuce and Kohlrabi. Many series of photos were taken to monitor the growth of plants in different plots at intervals of 4 and 7 days, during several cropping cycles in diverse years. These images were acquired with compact digital cameras at high resolution. Then they were trimmed with respect to a rectangular pattern, physically located on the ground, in order to ensure uniformity of the area under study.

All images were segmented by a human expert, with commercial image analysis software in a supervised way. The results of this process were taken as the basis for training and testing of the developed algorithms for automatic classification and modeling of color. For image processing, the most frequent color spaces used in computer vision were considered. The proposed approach computes for each given pixel value the probabilities of belonging to the target classes, plant (vegetation cover) or soil (background). This is accomplished through a nonparametric estimate of the probability density function of colors, which are modeled using normalized histograms in the optimum color space and channels for each scenario.

In conclusion, a set of techniques and tools have been developed that allow obtaining in a very accurate and efficient way the percentage of green cover of crop images. This parameter has been related with other important variables in agronomy such as the height of the plants, the crop coefficient and the depth of the roots, which in turn are linked to plant evapotranspiration. Therefore, the proposed techniques bring us closer to the ultimate goal of calculating the water needs of crops through the images.

1. Introducción

A lo largo de la historia, los seres humanos han ideado muchas maneras de sobrevivir dando origen a la agricultura y la ganadería. Afortunadamente los métodos de la agricultura han evolucionado junto con los seres humanos y se han adaptado a las condiciones en las que vivimos.

El desarrollo de la producción agrícola en el siglo XXI resultaría imposible sin el empleo de las tecnologías de automatización, las cuales tienden a garantizar la máxima productividad, con una alta calidad y con el mínimo coste en los insumos. Además, se debe establecer un sistema productivo y métodos de organización que aseguren el correcto aprovechamiento de los medios, eleven la eficiencia y permitan su mejor explotación. Y todo esto cuando los costes de operación de los equipos agrícolas son cada vez más altos.

Una de las prioridades de los cultivos agrícolas es sin duda el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos destinados al riego, por lo que deben ser desarrolladas e implementadas nuevas tecnologías que permitan una optimización del uso del agua. En este ámbito multidisciplinar, que combina la agricultura de precisión en unión con las tecnologías de la información y las comunicaciones, se desarrolla la presente investigación doctoral.

En concreto, en esta tesis se analizan, diseñan, desarrollan y validan técnicas y herramientas novedosas para la segmentación de plantas y suelo en cultivos hortícolas, obteniendo porcentajes de cobertura vegetal y cobertura de suelo. Para los experimentos se utilizaron diversos tipos de cultivos, tomando como base plantaciones de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en cultivares de creciente interés comercial ubicados en las provincias de Murcia y Albacete. Con las técnicas aplicadas se pretende optimizar el

manejo productivo del agua de riego y el rendimiento económico del cultivo en zonas de limitada disponibilidad hídrica. La investigación ha sido llevada a cabo en colaboración con el grupo de investigación de “Computación móvil y visión artificial” de la Universidad de Murcia y el grupo de “Ingeniería agronómica y del mar” de la Universidad Politécnica de Cartagena.

El análisis automático de imágenes digitales de cultivos es un campo de investigación muy activo de la agromótica o agrótica, que se puede definir como la “automatización y TICS aplicadas al sector agroalimentario” (Cubero et al., 2011). El color es una característica esencial en muchos problemas de este dominio, aunque no toda la visión artificial se basa en el uso de color; de hecho, existe una amplia variedad de técnicas alternativas que han sido usadas en aplicaciones agromóticas, como el análisis de bordes, formas, texturas, etc. Sin embargo, el manejo de color presenta grandes ventajas en los problemas de reconocimiento de plantas por su baja dimensionalidad, alta expresividad y facilidad de procesamiento.

El color puede servir para discriminar de forma precisa y eficiente los píxeles, o zonas de una imagen, que corresponden al suelo o a vegetación. De esta forma, el resultado de la clasificación del suelo o planta puede usarse para la medición del coeficiente de cobertura vegetal o PGC (Percentage of Green Cover) (Fernández-Pacheco et al., 2014). Este parámetro tiene un papel clave en la monitorización de cultivos y es ampliamente aplicado para determinar las necesidades hídricas de los cultivos usando la metodología FAO-56 (Allen et al., 1998).

El problema de la segmentación automática planta/suelo ha sido ampliamente estudiado por diversos investigadores, como queda reflejado en dos revisiones recientes del estado del arte (Lin et al., 2013; McCarthy et al., 2010). En estos trabajos la clasificación se hace usando diversas técnicas como umbralización, discriminantes lineales, modelos gaussianos, lógica difusa, redes neuronales, y otros; pero en la mayoría de ellos el espacio de color es fijado de antemano. Esto hace evidente la falta de estudios comparativos sobre la efectividad de los diversos modelos de color en plantas. Sin embargo, es habitual encontrar ese tipo de trabajos comparativos en otros dominios. Por ejemplo, Shih y Lui (2012) evaluaron comparativamente 12 espacios de color en aplicaciones de procesamiento de caras, y llegaron a la conclusión de que los espacios óptimos son YUV y YIQ; Luszczkiewicz-Piatek (2014) estudia la elección del espacio de color óptimo para la recuperación de imágenes en grandes bases de datos; el color se representa con modelos de mezcla de

gaussianas y se analizan 11 espacios de color. Por su parte, Terrillon y Akamatsu (2000) introdujeron el espacio TSL, y compararon 9 espacios en la detección de caras por el color de piel.

En los trabajos previos, la segmentación de plantas y suelo se ha resuelto mediante análisis digital de imágenes, es decir, la clasificación de los píxeles que pertenecen a vegetación o al fondo (McCarthy et al., 2010). Con el resultado se puede estimar el valor del parámetro PGC, antes citado, definido como el porcentaje de suelo cubierto por el dosel vegetal en una vista superior del cultivo (Fernández-Pacheco et al., 2014). Diversas investigaciones han demostrado la relación existente entre el PGC y variables como el coeficiente de cultivo K_c (López-Urrea et al., 2009; Allen and Pereira, 2009), la altura de las plantas (Fernández-Pacheco et al., 2014) y la profundidad radicular (Escarabajal-Henarejos et al., 2015), a partir de los cuales se pueden estimar los requerimientos hídricos.

Por dicho motivo, el problema de la segmentación de cultivos ha sido ampliamente estudiado en investigaciones previas (Lin et al., 2013). Estos procesos deben ser capaces de resolver condiciones no triviales de captura como la aparición de sombras, el ruido de las imágenes, la saturación de píxeles (valores muy claros o muy oscuros), la escasez de luz, las diferencias entre variedades de cultivos y parámetros intrínsecos de las cámaras como el balance de blancos. Estos factores pueden ser especialmente problemáticos en condiciones de captura al aire libre.

Una de las aplicaciones que se utilizaron en trabajos previos es ENVI (ENvironment for Visualizing Images), que es un software comercial de procesamiento y análisis avanzado de imágenes geoespaciales, utilizado por analistas de imágenes, investigadores, científicos y profesionales de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) en una amplia variedad de disciplinas. Con ENVI se realizó la clasificación planta/suelo de imágenes de cultivos agrícolas supervisada por un experto, a cargo del grupo de "Ingeniería agronómica y del mar". Los resultados sirvieron como extensa y completa base de comparación con los resultados del procesamiento automático obtenidos con las aplicaciones desarrolladas como parte de la presente investigación doctoral.

Entre otros programas de análisis de imagen científica muy extendidos podemos encontrar también ADCIS, Image-Pro, y el software de código abierto ImageJ. No obstante, todas estas aplicaciones son de uso genérico y no especialmente diseñadas para su aprovechamiento en agronomía. Por ello, uno de los objetivos secundarios de esta tesis ha

sido el desarrollo de nuevas herramientas de análisis de la cobertura vegetal para uso agrícola. En concreto, una rama de especial interés es la creación de aplicaciones para móviles. Los nuevos dispositivos móviles ponen al alcance de los usuarios la capacidad de estar interconectados con tecnologías sin cables, proporcionando facilidades de movilidad y comunicación con aplicaciones en ordenadores centrales, lo cual es especialmente interesante en aplicaciones agrícolas (Bisdikian, 2001; Willig et al., 2005). Esta forma dinámica es una oportunidad para que las aplicaciones dirigidas a los campos agrícolas puedan adaptarse inteligentemente a su entorno y puedan ser utilizadas en forma centralizada y remota.

Los dispositivos móviles de nueva generación están equipados con potentes navegadores, conexión a Internet fiable, cámaras fotográficas de alta resolución, sistemas de localización GPS (Global Positioning System) específicos y propiedades únicas de los dispositivos móviles (Hemel & Visser, 2011; Wasserman, 2010). Por ello, los teléfonos inteligentes y las tabletas están facilitando el camino para el uso de software portátil, lo que permite la comunicación a nivel de campo entre los agricultores, gestores de nutrientes y otros (Delgado et al., 2013). Cada vez surgen nuevas apps avanzadas para ser utilizadas en la agricultura, las cuales tienen como fin llevar a cabo un análisis rápido y robusto sobre cierto cultivo, ofreciendo unas excelentes ventajas en el uso de las nuevas tecnologías y mejorando la comunicación con el agricultor (Dursun & Ozden, 2010). De acuerdo con Gong y Zhou (2008), en la actualidad la mayoría de las aplicaciones para el diseño agrícola y la gestión de riego funcionan bajo el sistema operativo Android. La aplicación móvil desarrollada en el contexto de esta tesis funciona también en Android, y es capaz de trasladar toda la potencia de los algoritmos de análisis propuestos a estos dispositivos de bajo coste.

Esta tesis doctoral se presenta como un compendio de tres publicaciones en revistas internacionales de alto prestigio que constituyen una unidad científica, de acuerdo al reglamento de estudios de doctorado de la Universidad de Murcia, en el problema del análisis automático de imágenes para la estimación del balance hídrico en cultivos hortícolas. Según se indica en la citada normativa, el resto de esta memoria está estructurada como se describe a continuación.

En el apartado 2 se hace un resumen global de los objetivos, los cuales se dividen en el objetivo general de la investigación doctoral y los objetivos particulares.

En el apartado 3 se presentan las tres publicaciones que componen la tesis por compendio, incluyendo cada una de ellas: (i) introducción, (ii) materiales y métodos, (iii) resultados y discusión y (iv) conclusiones. En el desarrollo de cada artículo se indica la metodología empleada, los resultados obtenidos y las aportaciones más importantes en el campo de la segmentación de plantas y suelo. A continuación se detalla cada uno de ellos:

- “*Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications*”, publicado en la revista *Agricultural Water Management*. En este artículo se hace un estudio y comparación de los espacios de color: RGB, rgb, XYZ, L*a*b*, L*u*v*, HSV, HLS, YCrCb, YUV, I1I2I3 y TSL, con el fin de buscar cuál es el mejor espacio de color en la segmentación de plantas y suelo en cultivos agrícolas. El artículo está dirigido hacia aplicaciones del manejo de riego.
- “*Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture*”, publicado en la revista *Computers and Electronics in Agriculture*. Partiendo de los resultados del anterior análisis, en este artículo se propone un nuevo algoritmo para el entrenamiento óptimo de los modelos de color a partir de una entrada dada por el usuario. El algoritmo es capaz de seleccionar el espacio y los canales óptimos para cada escenario concreto, por lo que puede ser usado en otros problemas de visión artificial que requieran uso de color.
- “*A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture*”, publicado en la revista *Agricultural Water Management*. En este trabajo se describe la creación de una nueva aplicación para dispositivos móviles llamada pCAPS (aplicación Portable para la Clasificación Automática de Plantas y Suelo) que integra y valida las técnicas de segmentación propuestas en los anteriores artículos, junto con otras técnicas auxiliares para la rectificación de imágenes y conteo de plantas.

El apartado 4 trata sobre las conclusiones y vías futuras que surgen de la investigación realizada. Se puntualizan los resultados obtenidos, las aportaciones y vías futuras utilizando algoritmos de visión artificial.

Por último se presentan los siguientes apartados:

- Referencias bibliográficas. En este apartado aparecen todas las referencias utilizadas en los artículos de esta memoria doctoral.

- Apéndice I. En este apartado se adjuntan las notificaciones vía correo electrónico que en su momento enviaron las revistas sobre la aceptación para publicación de cada artículo.
- Apéndice II. En esta apartado se adjuntan los índices de impacto de las revistas donde se publicaron los artículos, todos ellos de categoría Q1 de los índices JCR.

2. Resumen global de los objetivos

Esta investigación doctoral se centra en el procesamiento digital de imágenes para la segmentación de plantas y suelo en cultivos hortícolas con la finalidad de gestionar los recursos hídricos para el desarrollo óptimo de los cultivos.

El **objetivo general** de la tesis es el análisis, diseño, implementación y validación de técnicas novedosas de procesamiento de imágenes y visión artificial aplicados en sistemas de análisis de los requerimientos hídricos de cultivos hortícolas. En concreto, el núcleo de la investigación es el desarrollo de técnicas de análisis por color para el cálculo del porcentaje de cobertura vegetal en vistas superiores. Para ello se utilizan múltiples colecciones de fotografías de cultivos de lechugas, limones, naranjas, rábanos, uvas, plátanos, perejil y cilantro. Gran parte de este material disponible fue tomado en campos de San Javier y Cartagena, en investigaciones previas a cargo del grupo de “Ingeniería agronómica y del mar” de la UPCT.

Se pretende estudiar la aplicación de diversas técnicas de reconocimiento de patrones y modelado de color para la clasificación de las plantas, verduras y frutas. El sistema desarrollado debe conseguir los requisitos de lograr una elevada precisión en la segmentación resultante (dentro del orden de exactitud de los métodos de clasificación supervisados), bajos requerimientos computacionales (para poder ser integrado fácilmente en dispositivos móviles), y ser genérico (es decir, adaptable a otros tipos de problemas de clasificación por color dentro de otros ámbitos).

Los **objetivos particulares** de la tesis que se desprenden del citado objetivo general se describen a continuación:

1. Hacer un estudio en profundidad del estado del arte sobre las investigaciones más relevantes con respecto a la segmentación de plantas y suelo en cultivos agrícolas y problemas relacionados.
2. Analizar y comparar la efectividad de todos los espacios de color que se utilizan habitualmente en visión artificial para el problema de la segmentación de plantas y suelo.
3. Revisar en particular artículos sobre espacios de color, extrayendo información comparativa sobre: problema que trata cada artículo, espacios de color que utiliza, si usa histogramas u otros tipos de modelos, canales, tamaños, tipo de clasificador y técnicas adicionales para el manejo del color.
4. Diseñar un método probabilístico de segmentación de imágenes por color, utilizando la regla de Bayes y un modelado no paramétrico de las funciones de densidad de probabilidad mediante el uso de histogramas.
5. Diseñar un algoritmo iterativo para el entrenamiento automático de los modelos de color a partir de la entrada del usuario, incluyendo la selección del color óptimo de color y los parámetros del modelo.
6. Validar de forma completa y rigurosa de los resultados del algoritmo de entrenamiento de color, a partir de las imágenes disponibles, y análisis de su aplicabilidad a otros problemas de clasificación por color.
7. Diseñar un algoritmo robusto para la detección automática de patrones rectangulares sobre el cultivo, orientado a la rectificación de las imágenes para permitir una uniformidad en el área estudiada a lo largo de todo el ciclo de cultivo.
8. Desarrollar aplicaciones para ordenadores de oficina y para dispositivos móviles que sean capaces de tomar una foto, o un lote de fotos de un cultivo, y realizar el procesamiento automático para obtener el porcentaje de cobertura vegetal, además de otros parámetros utilizados en agronomía con respecto a requerimientos hídricos.
9. Desarrollar funcionalidades básicas para el conteo de frutas o plantas en imágenes de cultivos agrícolas utilizando diversas metodologías de visión artificial, orientado a escenas de baja complejidad.

10. Elaborar comunicaciones sobre los avances de las actividades del doctorado, para dar a conocer en congresos o simposios lo que se está trabajando en el doctorado.
11. Elaborar artículos para revistas indexadas en la categoría Q1 de JCR y de alto impacto a nivel mundial.
12. Realizar transferencia de tecnología al sector productivo, mediante la explotación del software desarrollado para empresas del sector hortofrutícola.

3. Copia completa de los trabajos

A continuación se presentan las 3 publicaciones JCR Q1 que componen la tesis, las cuales tienen la siguiente estructura: Título, autores, abstract, palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados y discusiones, conclusiones, agradecimientos y referencias. En cada uno de los artículos se puntualizan los resultados alcanzados y las aportaciones más relevantes en el campo de la segmentación de plantas y suelo en cultivos utilizando visión artificial.

Los artículos presentados son:

- Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications.
- Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture.
- A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture.

3.1 Publicación 1

“Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications”

G. García-Mateos^a, **J.L. Hernández-Hernández**^b, D. Escarabajal-Henarejos^c,
S. Jaén-Terrones^a, J.M. Molina-Martínez^c.

^a Computer Science and Systems Department, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain

^b Academic Unit of Engineering, Autonomous University of Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México

^c Food Engineering and Agricultural Equipment Department, Technical University of Cartagena 30203, Spain

Aportación del doctorando:

- Análisis del problema y estudio bibliográfico del estado del arte.
- Realización de los experimentos y análisis de los resultados.
- Preparación, redacción y revisión del artículo.

Publicación 1: Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications

Título	Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications
Autores	G. García-Mateos, J.L. Hernández-Hernández , D. Escarabajal-Henarejos, S. Jaén-Terrones, J.M. Molina-Martínez
Tipo	Revista
Revista	Agricultural Water Management
Páginas	158-166
Año	2015
Mes	Marzo
Resumen	<p>Image processing and computer vision are increasingly being used in water management applications in agriculture. Images can provide valuable information on the percentage of ground cover, which is essential in determining crop irrigation needs. Techniques based on color analysis allow classifying accurately and efficiently soil/plant regions in the images. Many color spaces have been proposed, among them: RGB, rgb, XYZ, L*a*b*, L*u*v*, HSV, HLS, YCrCb, YUV, l1l2l3 and TSL. Different possibilities to model the probability distribution of a given color class appear for each space; one of the most widespread non-parametric methods is modeling using histograms. This presents various alternatives in order to represent a color class: the number of channels, which channels to use, and the size of histograms. Using a wide and varied set of images of lettuce crops (<i>Lactuca sativa</i>)—previously classified manually in soil and plant pixels—a comprehensive analysis and comparison of the proposed color models has been conducted for the soil/plant classification problem. The experimental results demonstrate the superiority of models that separate luminance from chrominance. In particular, L*a*b* provides the best results with a* channel, producing a 99.2% of correct classification. Further processing stages improve this performance up to 99.5% accuracy, taking less than 1/3 of a second per image in a normal laptop. These results can be applied to reduce water consumption by optimizing the accuracy and efficiency of automatic image analysis of crops.</p>
DOI	http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.010
URL	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377414002492
Estado	Publicado

3.2 Publicación 2

“Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture”

J.L. Hernández-Hernández^a, G. García-Mateos^b, J.M. González-Esquivá^c, D. Escarabajal-Henarejos^c, A. Ruiz-Canales^d, J.M. Molina-Martínez^c.

^a Academic Unit of Engineering, Autonomous University of Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México

^b Computer Science and Systems Department, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain

^c Food Engineering and Agricultural Equipment Department, Technical University of Cartagena 30203, Spain

^d Engineering Department, Miguel Hernández University of Elche, Orihuela 03312, Spain

Aportación del doctorando:

- Propuesta, diseño e implementación del algoritmo de clasificación y entrenamiento de modelos.
- Preparación de pruebas y validación experimental de los algoritmos.
- Preparación, redacción y revisión del artículo.

Publicación 2: Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture

Título	Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture
Autores	J.L. Hernández-Hernández, G. García-Mateos, J.M. González-Esquiva, D. Escarabajal-Henarejos, A. Ruiz-Canales and J.M. Molina-Martínez
Tipo	Revista
Revista	Computers and Electronics in Agriculture
Páginas	124-132
Año	2016
Mes	Marzo
Resumen	<p>Color analysis techniques in agriculture should be able to deal with non-trivial capture conditions such as shadows, noise, pixel saturation, low lighting, different varieties of crops and intrinsic parameters of the cameras. Previous studies have shown the importance of selecting the optimum color space for each application domain. This paper presents a new probabilistic approach to color processing capable not only to create optimum color models for the plant/soil segmentation, but also to select the most adequate color space for each problem. The system evaluates all the possible alternatives, producing color models in the optimum space and channels. Thereby, the dependences on the kind of crop, camera and capture conditions are avoided, since the method is adapted to the training conditions. The basis of the proposal is the use of non-parametric models for the probability density functions of plant/soil colors. The proposed method has been implemented and validated in a new software tool, called ACPS (Automatic Classification of Plants and Soil), thus proving its practical feasibility. The final purpose of this system is the analysis of the vegetal ground cover, in order to obtain the PGC (percentage of green cover) parameter. The ACPS software has been developed to be used by professionals, researchers, technicians and anyone working in the agricultural area. Furthermore, the models created can be exported to a defined file format which can be used in applications in the cloud, mobile devices and compact controllers that are currently being developed.</p>
DOI	http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.020
URL	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916000259
Estado	Publicado

3.3 Publicación 3

“A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture”.

J.L. Hernández-Hernández^a, J. Ruiz-Hernández^b, G. García-Mateos^b,
J.M. González-Esquivá^c, A. Ruiz-Canales^d, J.M. Molina-Martínez^c

^aAcademic Unit of Engineering, Autonomous University of Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, Mexico

^bComputer Science and Systems Department, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain

^cFood Engineering and Agricultural Equipment Department, Technical University of Cartagena, 30203 Cartagena, Spain

^dEngineering Department, University Miguel Hernandez, 03312 Orihuela (Alicante), Spain

Aportación del doctorando:

- Propuesta y diseño de los algoritmos de procesamiento de imágenes.
- Análisis de requerimientos, diseño y validación de la aplicación desarrollada.
- Preparación, redacción y revisión del artículo.

Publicación 3: A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture

Titulo	A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture
Autores	J.L. Hernández-Hernández , J. Ruiz-Hernández, G. García-Mateos, J.M. González-Esquiva, A. Ruiz-Canales, J.M. Molina-Martínez
Tipo	Revista
Revista	Agricultural Water Management
Páginas	1-12
Año	2016
Mes	Agosto
Resumen	<p>The achievement of the objectives of precision agriculture requires not only the development of new technologies, but also the availability of portable tools that can be used in the field. This paper describes the creation of a novel application for mobile devices called pCAPS (portable classification application for plants and soil) that integrates several computer vision techniques for plant segmentation and analysis in crop pictures. This tool allows monitoring of agricultural crops in real time, providing information that can be used to automate and optimize the calculation of water needs. The three main modules of pCAPS are capture and cropping, image analysis, and historical record. First, a robust algorithm to detect rectangular markers located in the field is proposed; images are trimmed accordingly, in order to achieve a uniform analysis over long periods of time. Then color segmentation is applied using a probabilistic approach based on histograms in the optimum color space. Finally, an object counting process is performed on the binarized images, which is useful in applications that require the number of objects and their average size. Using pCAPS, the user can go with a portable device to a crop field, take a picture with the camera, automatically cut out the image, and perform on the ground an analysis of the vegetation, obtaining the percentage of green cover (PGC), number of plants, date, time, and GPS coordinates. This information can be sent by email to the central offices of the agricultural business, where appropriate decisions on fertirrigation needs would be taken. pCAPS is intuitive, user-friendly and has been developed for use by farm managers, requiring minimal skills in the use of mobile devices.</p>
DOI	http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.013
URL	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416302979
Estado	En impresión

4. Conclusiones generales y vías futuras

4.1 Conclusiones generales

La visión artificial y el procesamiento digital de imágenes, son herramientas básicas en los sistemas actuales de gestión de cultivos, seguimiento del crecimiento de las plantas y monitorización de regadíos. Uno de los problemas fundamentales que surgen es la segmentación de las plantas y del suelo, mediante el cual se pueden conocer parámetros relacionados con el cultivo, plagas, problemas de crecimiento y sus necesidades hídricas.

La mayor parte de los métodos de segmentación existentes se apoyan en el uso de información de color, como una propiedad distintiva y fácilmente procesable. Sin embargo, el espacio de color suele fijarse de antemano, sin analizar la posibilidad de usar otros espacios de color.

La principal aportación de esta tesis es el desarrollo y validación de una nueva técnica para la elección del espacio de color óptimo, así como de la forma de representar las distribuciones de probabilidad de color, como un requisito fundamental en cualquier aplicación que haga uso del color. La eficiencia, robustez y fiabilidad de esta técnica ha sido ampliamente comprobada con los experimentos descritos en los artículos. Además, los métodos propuestos pueden ser extendidos y utilizados en otras aplicaciones de análisis de color, puesto que no se apoyan en ninguna propiedad específica del dominio agrónomo.

Con los experimentos desarrollados, se puede asegurar que tanto el objetivo general como los objetivos particulares que se plantearon al inicio de la tesis han sido plenamente cubiertos durante la investigación del doctorado aquí descrita:

1. Se llevó a cabo un estudio comparativo de los espacios de color más utilizados en visión artificial, entre los que se encuentran: HLS, HSV, l1l2l3, L*a*b*, L*u*v*, rgb, RGB, TSL, XYZ, YCrCb e YUV. Considerando estos espacios de color, se realizó un proceso comparativo consistente en: leer cada imagen, convertirla al espacio de color, en cada espacio de color se obtienen histogramas por cada canal individual y con la combinación de los 3 canales, y se analiza la efectividad de cada elección para la clasificación de las imágenes de prueba. El método de clasificación desarrollado utilizó los histogramas como un modelo de las funciones de densidad de probabilidad de cada clase, se implementó la regla de Bayes y se obtuvo la máxima probabilidad.
2. Se desarrolló un nuevo algoritmo para el entrenamiento automático de los modelos de color, incluyendo la selección del espacio óptimo. Para la creación del modelo, el algoritmo parte de un conjunto de imágenes, etiquetadas manualmente por el usuario de forma general y somera. El proceso de entrenamiento constó de tres pasos, basado en un proceso de validación cruzada. El primero utilizó la mitad de las imágenes, el segundo tomó la otra mitad y el tercero obtuvo la media de ambos errores. Cada uno de los pasos consistió en calcular los histogramas por cada espacio de color y por cada posible combinación de los 3 canales, con un número de celdas del histograma previamente definido (8, 16, 32, 64, 128 o 256 celdas).

Después se obtuvo un error de precisión asociado a cada combinación (consistente en clasificar la otra mitad de imágenes y se comparó con la clasificación manual). En el tercer paso, los modelos con el menor error medio fueron seleccionados para la posterior clasificación automática de imágenes de otros cultivos. Es decir, el resultado del entrenamiento fue la selección del espacio de color óptimo, los canales óptimos y los histogramas para el color de planta y de suelo.

3. Se elaboró una aplicación para clasificar de forma automática las plantas y el suelo de un conjunto de fotografías. Dicha aplicación lleva por título "Clasificación Automática de Plantas y Suelo – CAPS". La aplicación consta de 4 módulos: módulo de configuración, módulo de recorte, módulo de entrenamiento y módulo de clasificación. La aplicación CAPS se registró como propiedad intelectual en el Registro Territorial de la Propiedad Intelectual de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia con fecha 15 de febrero de 2015.

4. Se desarrolló una app móvil denominada “Aplicación portátil para la clasificación automática de plantas y suelo – pCAPS”, la cual es capaz de realizar la segmentación por color de imágenes de cultivos. En un móvil medio, se obtuvo un tiempo de ejecución del análisis inferior a 0,5 segundos, consiguiendo una precisión cercana al 99,7%, al usar los mismos algoritmos que en la aplicación para el ordenador de escritorio. La app cuenta con un modelo de color verde genérico y puede adaptarse a otros casos añadiendo nuevos modelos. Aunque actualmente está solo disponible para el sistema operativo Android, se está trabajando en su desarrollo para otros entornos.

Esta aplicación es una fase de un proyecto de mayor envergadura cuyo objetivo es optimizar el consumo de agua destinada al riego. En la siguiente fase se integrarán los datos de la cobertura vegetal con otros datos agroclimáticos y del estado del cultivo para estimar el coeficiente de cultivo y las necesidades hídricas de las plantaciones.

Esta aplicación móvil fue registrada también como propiedad intelectual en el Registro Territorial de la Propiedad Intelectual de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, con fecha 21 de marzo de 2016.

5. Además de los trabajos de investigación llevados a cabo, se ha realizado una extensa labor de difusión y publicación en diferentes ámbitos: congresos, simposios y revistas internacionales, que han sido realizados en colaboración con el grupo de “Computación móvil y visión artificial” de la UMU y el grupo de “Ingeniería agromótica y del mar” de la UPCT.

4.2 Vías futuras

Las aportaciones de esta tesis abren, a su vez, nuevas vías de investigación futuras que será interesante explorar. Por un lado, como ya se ha mencionado, desde un punto de vista práctico, queda abierta la integración de los algoritmos de análisis de imagen propuestos en un sistema completamente automatizado de gestión de riego. La consecución de este logro, que es uno de los objetivos agronómicos e informáticos, será un paso esencial en la optimización y mejora de los sistemas agrícolas.

Por otro lado, la mejora de los algoritmos de conteo y localización de los patrones de cultivo, estudiados de forma somera en esta tesis, supondría otro avance significativo en el análisis pormenorizado de los cultivos. Se pueden realizar avances en aspectos como la detección de los bordes del cultivo, el volumen total, el tamaño medio, y la localización por componentes conexos. La determinación del patrón del cultivo y su ajuste a cada imagen permitiría localizar cada planta de forma individual, con el fin de reducir el porcentaje del error en el reconocimiento para que el conteo sea más preciso.

Queda también como una interesante vía futura la aplicación de los algoritmos de clasificación y entrenamiento propuestos en otros problemas de análisis de color, tal vez junto con la incorporación de otras características, como descriptores de textura, características invariantes, o imágenes multiespectrales. Al utilizarse un marco probabilístico, el método desarrollado puede extenderse fácilmente a problemas con múltiples clases o situaciones donde la probabilidad de pertenencia a una clase pueda resultar de utilidad.

Finalmente, y también dentro de la vía de otros problemas de interés, otra posible vía futura es tomar como base los algoritmos de reconocimiento para desarrollar aplicaciones en la búsqueda de plagas y enfermedades de las plantas de un cultivo, considerando las diversas tonalidades que se encuentren en las hojas o frutos de la parcela muestra. Lógicamente, la resolución de estos problemas requerirá una estrecha colaboración con los expertos en el dominio agrónomo para la obtención de grandes volúmenes de imágenes, de cara a la experimentación posterior.

Referencias

- Ahamed, T., Tian, L., Jiang, Y.S., Zhao, B., Liu, H., Ting, K.C., 2012. Tower remote sensing system for monitoring energy crops; image acquisition and geometric corrections. *Biosyst. Eng.* 112 (2), 93–107.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., 2009. Estimating crop coefficients from fraction of groundcover and height. *Irrig. Sci.* 28, 17–34.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration -Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, pp. 6541.
- Åstrand, B., Baerveldt, A.J., 2002. An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control. *Autonomous Robots* 13, 21–35.
- Blasco, J., Aleixos, N., Roger, J.M., Rabatel, G., Molto, E., 2002. Robotic weed control using machine vision. *Biosyst. Eng.* 83 (2), 149–157.
- Burnette, E., 2009. Hello, Android: introducing Google's mobile development platform. Pragmatic Bookshelf.
- Campos, I., Neale, C.M., Calera, A., Balbontín, C., González-Piqueras, J., 2010. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L). *Agric. Water Manage.* 98, 45–54.

- Delgado, J A., Kowalski, K., Tebbe, C., 2013. The first Nitrogen Index app for mobile devices: Using portable technology for smart agricultural management. *Computers and electronics in agriculture* 91, 121-123.
- Dobrzanski, B., Rybczynski, R., 2002. Color change of apple as a result of storage, shelf-life, and bruising. *Int. Agrophys.* 16 (4), 261–268.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M., Fernández-Pacheco, D.G., Cavas-Martínez, F., García-Mateos G., 2015a. Digital photography applied to irrigation management of Little Gem lettuce. *Agricultural Water Management* 151, 148–157.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M., Fernández-Pacheco, D.G., G. García-Mateos., 2015b. Methodology for obtaining prediction models of the root depth of lettuce for its application in irrigation automation. *Agricultural Water Management* 151, 167-173.
- Fernández-Pacheco, D.G., Escarabajal, D., Ruiz-Canales, A., Conesa, J., Molina-Martínez, J.M., 2014. A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. *Biosyst. Eng.* 117,23–34.
- García-Mateos, G., Hernández-Hernández, J. L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaén-Terrones, S., Molina-Martínez, J. M., 2015. Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agricultural Water Management* 151, 158–166.
- García-Mateos, G., Ruiz-García, A., López-de-Teruel, P.E., 2007. Human face processing with 1.5D models. *Lecture Notes in Computer Science* 4778, 220–234.
- Giacomelli, G.A., Ling, P.P., Kole, J., 1998. Determining nutrient stress in lettuce plants with machine vision technology. *HortTechnology* 8 (3), 361–365.
- Gonçalves, J.M., Muga, A.P., Horst, M.G., Pereira, L.S., 2011. Furrow irrigation design with multicriteria analysis. *Biosyst. Eng.* 109 (4), 266–275.
- Grant, O.M., Davies, M.J., Longbottom, H., Harrison-Murray, R., 2012. Evapotranspiration of container ornamental shrubs: modelling crop-

- specific factors for a diverse range of crops. *Irrigation Science* 30 (1), 1–1
- Hanson, B.R., May, D.M., 2005. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agric. Water Manage.* 81 (3), 381–399.
- Hemel, Z., Visser, E., 2011. Declaratively programming the mobile web with Mobl. *ACM SIGPLAN Notices*, 46(10), 695-712.
- Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González Esquiva, J.M., Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M., 2015. A software for automatic classification of plants and soil (CAPS), VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería, Orihuela, Alicante, 1-3 June.
- Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González-Esquiva, J.M., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A., Molina-Martínez, J.M., 2016. Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 122, 124-132.
- Howse, J., 2015. *Android application programming with OpenCV 3*. Packt Publishing.
- Intaravanne, Y., Sumriddetchkajorn, S., 2012. BaiKhao (rice leaf) app: a mobile device-based application in analyzing the color level of the rice leaf for nitrogen estimation. In *Photonics Asia*, 85580F-85580F.
- Jain, A.K., Duin, R.P.W., Mao, J., 2000. Statistical pattern recognition: a review. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 22, 4–37.
- Kakumanu, P., Makrogiannis, S., Bourbakis, N., 2007. A survey of skin-color modeling and detection methods. *Pattern recognition*, 40(3), 1106-1122.
- Ketchpel, S., García-Molina, H., Paepcke, A., Hassan, S., Cousins, S., 1996. U-PAI: A universal payment application interface. In *Second USENIX Workshop on Electronic Commerce (USE96)*, 105-121.
- Kodagali, J.A., Balaji, S., 2012. Computer vision and image analysis based techniques for automatic characterization of fruits—a review. *Int. J. Comput. Appl.* 50 (6), 6–12.

- Kumar, P., Sengupta, K., Lee, A., 2002. A comparative study of different color spaces for foreground and shadow detection for traffic monitoring system. The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 100–105.
- Lin, K., Chen, J., Si, H., Junhui, W., 2013. A review on computer vision technologies applied in greenhouse plant stress detection. *Adv. Image Graphics Technol.* 363, 192–200.
- Ling, P.P., Ruzhitsky, V.N., 1996. Machine vision techniques for measuring the canopy of tomato seedling. *J. Agric. Eng. Res.* 65, 85–95.
- Lomotey, R.K., Chai, Y., Ahmed, A.K., Deters, R., 2013. Distributed mobile application for crop farmers. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*, 135–139.
- López-Urrea, R., de Santa, Martín., Olalla, F., Montoro, A., López-Fuster, P., 2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *Agric. Water Manage.* 96, 1031–1036.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchís, J., Cubero, S., García-Navarrete, O.L., Blasco, J., 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food Bioprocess Technol.* 5 (4), 1121–11
- Luszczkiewicz-Piatek, M., 2014. Which color space should be chosen for robust color image retrieval based on mixture modeling. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 233, 55–64.
- McCarthy, C.L., Cheryl, N.H., Hancock, S.R., 2010. Applied machine vision of plants - a review with implications for field deployment in automated farming operations. *Intelligent Service Robotics* 3 (4), 209–217.
- Meyer, G.E., Mehta, T., Kocher, M.F., Mortensen, D., Samal, A., 1998. Textural imaging and discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. *Trans. ASAE* 41 (4), 1189–1197. A.
- Molina-Martínez, J.M., Jiménez, M., Ruiz-Canales, A., Fernández-Pacheco, D.G. 2011. RaGPS: A software application for determining

- extraterrestrial radiation in mobile devices with GPS. *Computers and Electronics in Agriculture*, 78(1): 116–121.
- Ohta, Y., Kanade, T., Sakai, T., 1980. Color information for region segmentation. *Comput. Graphics Image Process.* 13 (3), 222–241.
- Ortuño, M.F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D.S., Biel, C., Torrecillas, A., 2010. Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agric. Water Manage.* 97 (1), 1–11.
- Picco, G.P., Julien, C., Murphy, A.L., Musolesi, M., Roman, G.C., 2014. Software engineering for mobility: reflecting on the past, peering into the future. In *Proceedings of the on Future of Software Engineering*, 13-28.
- Qiang, C.Z., Kuek, S.C., Dymond, A., Esselaar, S., Unit, I.S., 2011. *Mobile applications for agriculture and rural development*. World Bank, Washington, DC.
- Richardson, M.D., Karcher, D.E., Purcell, L.C., 2001. Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Sci.* 41 (6), 1884–1888.
- Rogers, R., Lombardo, J., Mednieks, Z., Meike, B., 2009. *Android application development: Programming with the Google SDK*. O'Reilly Media, Inc.
- Shih, P., Liu, C., 2005. Comparative assessment of content-based face image retrieval in different color spaces. *Int. J. Patt. Recogn. Artif. Intell.* 19 (7), 873–893.
- Shiraishi, M., Sumiya, H., 1996. Plant identification from leaves using quasi-sensor fusion. *J. Manuf. Sci. Eng., Trans. ASME* 118 (3), 382–387.
- Slaughter, D.C., Giles, D.K., Downey, D., 2008. Autonomous robotic weed control systems: a review. *Comput. Electron. Agric.* 61, 63–78.
- Spitzhirn, M., Merkel, T., Bullinger, A.C., 2016. Measuring work environment factors by everyone using smartphones. *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes*, Springer, 281-299.

- Steward, B.L., Tian, L.F., Nettleton, D., Tang, L., 2004. Reduced-dimension clustering for vegetation segmentation. *Trans. ASAE* 47 (2), 609–616.
- Story, D., Kacira, M., Kubota, C., Akoglu, A., An, L.L., 2010. Lettuce calcium deficiency detection with machine vision computed plant features in controlled environments. *Comput. Electron. Agric.* 74 (2), 238–243.
- Terrillon, J.C., Akamatsu, S., 2000. Comparative performance of different chrominance spaces for color segmentation and detection of human faces in complex scene images. *International Conf. on Face and Gesture Recognition*, 54–61.
- Wasserman, A.I., 2010. Software engineering issues for mobile application development. In *Proceedings of the FSE/SDP workshop on Future of software engineering research*, 397-400.
- Willig, A., Matheus, K., Wolisz, A., 2005. Wireless technology in industrial networks. *Proceedings of the IEEE*, 93(6), 1130-1151.
- Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargaen, K., Mortensen, D.A., 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE* 38 (1), 259–269.
- Xu, X.G., Wang, J.H., Li, C.J., Song, X.U., Huang, W.J., 2010. Estimating growth height of winter wheat with remote sensing. In: *Proceedings of the SPIE 7824, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XII*.

Apéndice I

Notificaciones de aceptación de las Publicaciones

Se muestran correos electrónicos que en tiempo y forma enviaron las revistas para indicar la aceptación de la publicación de cada artículo.

Publicación 1

Article Status <Article_Status@elsevier.com> -----

Fecha: Mon, 1 Sep 2014 13:57:01 +0100

De: Elsevier - Article Status <Article_Status@elsevier.com>

Asunto: Article tracking [AGWAT_3976] - Online publication complete

Para: ginesgm@um.es

Article title: Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications

Reference: AGWAT3976

Journal title: Agricultural Water Management

Corresponding author: Dr. Gines Garcia-Mateos

First author: Dr. Gines Garcia-Mateos

Online publication complete: 1-SEP-2014

DOI information: 10.1016/j.agwat.2014.08.010

Dear Dr. Garcia-Mateos,

We are pleased to inform you that the final corrections to your proofs have been made. Further corrections are no longer possible. Your article is now published online at:

<http://authors.elsevier.com/sd/article/S0378377414002492>

Please note that access to the full text of this article will depend on your personal or institutional entitlements.

This article can already be cited using the year of online availability and the DOI as follows: Author(s), Article Title, Journal (Year), DOI. You will be automatically notified by e-mail once the full bibliographic details are available.

To track the status of your article throughout the publication process, please use our article tracking service:

http://authors.elsevier.com/TrackPaper.html?trk_article=AGWAT3976&trk_surname=Garcia-Mateos

Yours sincerely,
Elsevier Author Support

Publicación 2

De: ees.compag.6b.36b321.c3fa612a@eesmail.elsevier.com
[<mailto:ees.compag.6b.36b321.c3fa612a@eesmail.elsevier.com>] En
nombre de Nigel Hancock

Enviado el: lunes, 18 de enero de 2016 1:26
Para: ginesgm@um.es; ginesgm@gmail.com
CC: hancockn@usq.edu.au; Nigel.Hancock@usq.edu.au
Asunto: Your Submission

Ms. Ref. No.: COMPAG-D-15-00554R1
Title: Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in
agriculture Computers and Electronics in Agriculture

Dear Gines,

Thank you for your comprehensive discussion of the editor's and reviewers' comments on your initial submission and your augmentation of the manuscript including title change and abstract revision. There are no queries remaining, hence I am pleased to confirm that your paper "Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture" [has been accepted for publication](#) in Computers and Electronics in Agriculture.

When your paper is published on ScienceDirect, you want to make sure it gets the attention it deserves. To help you get your message across, Elsevier has developed a new, free service called AudioSlides: brief, webcast-style presentations that are shown (publicly available) next to your published article. This format gives you the opportunity to explain your research in your own words and attract interest. You will receive an invitation email to create an AudioSlides presentation shortly. For more information and examples, please visit <http://www.elsevier.com/audioslides>.

Thank you for submitting your work to this journal.

With kind regards,

Nigel H. Hancock, Ph.D.
Editor-in-Chief
Computers and Electronics in Agriculture

Publicación 3

Fecha: 9 Aug 2016 08:46:03 +0100

De: Agricultural Water Management <agwat@elsevier.com>

Asunto: Your Submission

Para: ginesgm@um.es, ginesgm@gmail.com

Ref.: Ms. No. AGWAT8488R1

A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture
Agricultural Water Management

Dear Dr. Garcia-Mateos,

I am pleased to tell you that your work has now been [accepted for publication](#) in Agricultural Water Management.

Your accepted manuscript will now be transferred to our production department and work will begin on creation of the proof. If we need any additional information to create the proof, we will let you know. If not, you will be contacted again in the next few days with a request to approve the proof and to complete a number of online forms that are required for publication.

I will be your contact person during the production process of the paper towards the final publication on the web (Science Direct) and on paper (in the printed-on-paper issue).

Proofs will be sent to you in due course.

If there were any comments from the Editor and/or Reviewers, they can be found below.

When your paper is published on ScienceDirect, you want to make sure it gets the attention it deserves. To help you get your message across, Elsevier has developed a new, free service called AudioSlides: brief, webcast-style presentations that are shown (publicly available) next to your published article. This format gives you the opportunity to explain your research in your own words and attract interest. You will receive an invitation email to create an AudioSlides presentation shortly. For more information and examples, please visit <http://www.elsevier.com/audioslides>.

Thank you for submitting your work to this journal.

With kind regards,

J.E. Fernández, Dr.
Agricultural Water Management
agwat@elsevier.com

Apéndice II

Índices de impacto de las publicaciones

El **factor o índice de impacto** mide la repercusión que ha tenido una revista en la literatura científica a partir del análisis de las citaciones que han recibido los artículos que se han publicado en ella. Permite comparar revistas, establecer *rankings* en función de este factor y reflejar la relevancia relativa de cada título.

A continuación se muestra el índice de impacto de las revistas donde fueron publicados los artículos, todos ellos con clasificación Q1 en las categorías de JCR.

Artículo 1: Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications

InCites™ Journal Citation Reports®
THOMSON REUTERS™

Home **Journal Profile**

AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT

ISSN: 0378-3774
 ELSEVIER SCIENCE BV
 PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS
NETHERLANDS

[Go to Journal Table of Contents](#) [Go to Ulrich's](#)

Titles
 ISO: Agric. Water Manage.
 JCR Abbrev: AGR WATER MANAGE

Categories
 AGRONOMY - SCIE;
 WATER RESOURCES - SCIE;

Languages
 ENGLISH

16 Issues/Year;

Key Indicators

Year	Total Cites	Journal Impact Factor	Impact Factor Without Journal Self Cites	5 Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-Life	Citing Half-Life	Eigenfactor Score	Article Influence Score	% Articles in Citable Items	Normalized Eigenfactor	Average JIF Percentile
	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph	Graph
2015	8,901	2.603	2.085	3.370	0.543	265	6.8	9.4	0.01394	0.837	98.11	1.58484	86.882
2014	7,509	2.286	1.866	3.017	0.464	222	6.9	9.4	0.01408	0.821	96.85	1.57697	82.947
2013	6,671	2.333	1.814	2.822	0.389	221	6.7	9.5	0.01202	0.724	98.64	1.32539	79.387
2012	5,581	2.203	1.784	2.552	0.408	184	6.3	8.8	0.01179	0.683	97.83	Not A...	81.002
2011	4,799	1.998	1.607	2.506	0.309	194	5.8	8.8	0.01185	0.647	97.94	Not A...	81.018
2010	4,038	1.782	1.255	2.391	0.616	279	5.5	8.4	0.01031	0.629	97.49	Not A...	76.811
2009	3,386	2.016	1.539	2.464	0.337	202	5.3	8.7	0.00974	0.621	96.04	Not A...	84.010
2008	2,408	1.646	1.303	1.829	0.196	138	5.4	9.6	0.00887	0.567	97.10	Not A...	75.621
2007	1,989	1.388	1.012	1.699	0.223	175	5.5	9.5	0.00728	0.507	97.14	Not A...	75.804
2006	1,551	1.122	0.801	Not A...	0.221	204	5.9	>10.0	Not A...	Not A...	99.02	Not A...	65.038
2005	1,118	0.841	0.592	Not A...	0.151	126	5.7	>10.0	Not A...	Not A...	98.41	Not A...	51.891
2004	933	0.835	0.590	Not A...	0.135	111	5.4	9.8	Not A...	Not A...	98.20	Not A...	58.955
2003	756	0.865	0.651	Not A...	0.222	90	5.2	9.8	Not A...	Not A...	98.89	Not A...	66.672
2002	662	0.672	0.488	Not A...	1.070	86	4.9	9.0	Not A...	Not A...	98.84	Not A...	59.262
2001	448	0.526	0.415	Not A...	0.098	92	7.7	>10.0	Not A...	Not A...	100.00	Not A...	49.318
2000	401	0.309	0.215	Not A...	1.012	82	6.7	>10.0	Not A...	Not A...	100.00	Not A...	23.143

Source Data

Rank

Cited Journal Data

Citing Journal Data

Box Plot

Journal Relationships

Journal Source Data

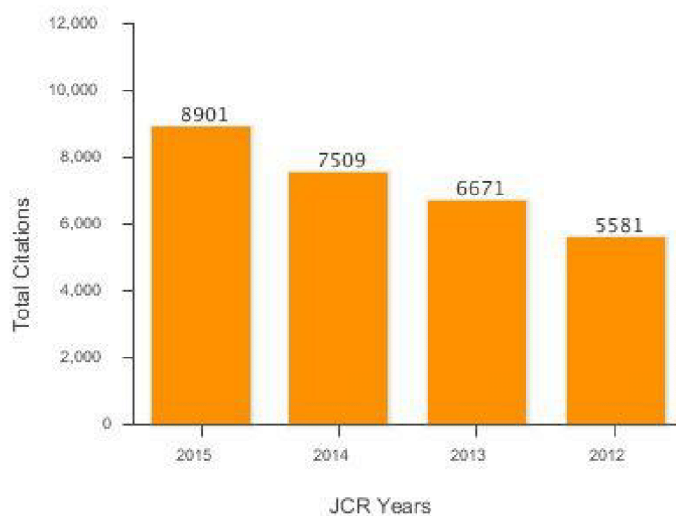
	Citable Items			Other
	Articles	Reviews	Combined	
Number in JCR Year 2015 (A)	260	5	265	6
Number of References (B)	12,388	612	13,000	77
Ratio (B/A)	47.6	122.4	49.1	12.8

Tell us what you think. Help us improve the Journal Citation Reports by providing your feedback! [Click Here](#) >

© 2015 THOMSON REUTERS [TERMS OF USE](#) [PRIVACY POLICY](#)

Journal Profile: AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT

Essential Science Indicators : Total Citations Graph

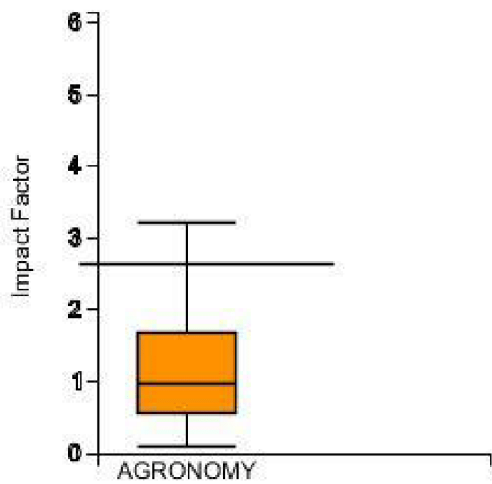


Journal Citation Report : Impact factor

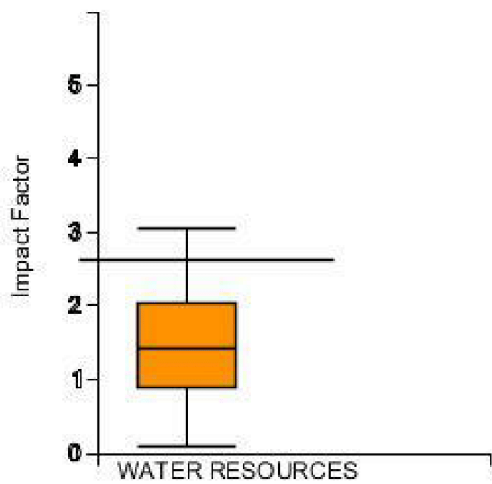
JCR Year	AGRONOMY			WATER RESOURCES			AGRICULTURE		
	Rank	Quartile	JIF Percentile	Rank	Quartile	JIF Percentile	Rank	Quartile	JIF Percentile
2015	13/83	Q1	84.940	10/85	Q1	88.824	NA	NA	NA
2014	13/81	Q1	84.568	16/83	Q1	81.325	NA	NA	NA
2013	16/79	Q1	80.380	18/81	Q1	78.395	NA	NA	NA
2012	16/78	Q1	80.128	15/80	Q1	81.875	NA	NA	NA
2011	16/80	Q1	80.625	15/78	Q1	81.410	NA	NA	NA
2010	19/75	Q2	75.333	17/76	Q1	78.289	NA	NA	NA
2009	14/61	Q1	77.869	7/66	Q1	90.152	NA	NA	NA
2008	15/49	Q2	70.408	12/60	Q1	80.833	NA	NA	NA
2007	13/49	Q2	74.490	14/59	Q1	77.119	NA	NA	NA
2006	18/49	Q2	64.286	20/57	Q2	65.789	NA	NA	NA
2005	21/48	Q2	57.292	31/57	Q3	46.491	NA	NA	NA
2004	22/50	Q2	57.000	22/55	Q2	60.909	NA	NA	NA
2003	18/53	Q2	66.981	19/55	Q2	66.364	NA	NA	NA
2002	23/55	Q2	59.091	22/53	Q2	59.434	NA	NA	NA
2001	26/55	Q2	53.636	28/50	Q3	45.000	NA	NA	NA
2000	39/57	Q3	32.456	41/47	Q4	13.830	NA	NA	NA
1999	NA	NA	NA	32/46	Q3	31.522	70/113	Q3	38.496
1998	NA	NA	NA	37/46	Q4	20.652	76/111	Q3	31.982

Journal Profile: AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT

Box Plot, Year: 2015 Edition: SCIE




Box Plot, Year: 2015 Edition: SCIE





Artículo 2: Optimal color space selection method for plant/soil segmentation in agriculture

InCites™ Journal Citation Reports®

 THOMSON REUTERS™

Home Journal Profile

COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE

ISSN: 0168-1699
 ELSEVIER SCI LTD
 THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND
ENGLAND

[Go to Journal Table of Contents](#) [Go to Ulrich's](#)

Titles
 ISO: Comput. Electron. Agric.
 JCR Abbrev: COMPUT ELECTRON AGR

Categories
 AGRICULTURE,
 MULTIDISCIPLINARY - SCIE;
 COMPUTER SCIENCE,
 INTERDISCIPLINARY
 APPLICATIONS - SCIE;

Languages
 ENGLISH

10 Issues/Year;

Key Indicators

Year ▾	Total Cites Graph	Journal Impact Factor Graph	Impact Factor Without Journal Self Cites Graph	5 Year Impact Factor Graph	Immediacy Index Graph	Citable Items Graph	Cited Half-Life Graph	Citing Half-Life Graph	Eigenfactor Score Graph	Article Influence Score Graph	% Articles in Citable Items Graph	Normalized Eigenfactor Graph	Average JIF Percentile Graph
2015	4,142	1.892	1.483	2.365	0.312	272	6.0	8.1	0.00703	0.550	96.32	0.79937	76.835
2014	3,358	1.761	1.425	2.091	0.309	181	6.0	8.0	0.00641	0.517	98.34	0.71768	79.648
2013	2,798	1.486	1.166	2.066	0.148	189	5.6	8.2	0.00719	0.577	97.88	0.79278	67.743
2012	2,535	1.766	1.412	1.998	0.223	166	5.6	8.4	0.00564	0.497	96.99	Not A...	80.803
2011	2,297	1.846	1.453	2.204	0.208	159	5.5	7.4	0.00558	0.559	98.11	Not A...	81.792
2010	1,681	1.431	1.149	1.854	0.201	149	5.7	7.7	0.00450	0.489	94.63	Not A...	71.153
2009	1,366	1.312	1.098	1.647	0.110	118	5.9	8.0	0.00360	0.421	100.00	Not A...	70.409
2008	1,280	1.273	1.041	1.765	0.212	156	6.3	8.0	0.00301	0.444	98.72	Not A...	70.403
2007	796	1.242	1.128	1.477	0.074	68	5.7	7.6	0.00385	0.545	98.53	Not A...	74.682
2006	691	0.851	0.753	Not A...	0.019	53	5.1	7.9	Not A...	Not A...	98.11	Not A...	60.716
2005	561	0.802	0.688	Not A...	0.342	79	4.8	8.3	Not A...	Not A...	94.94	Not A...	63.506
2004	428	0.863	0.752	Not A...	0.036	55	4.5	7.2	Not A...	Not A...	100.00	Not A...	70.337
2003	342	0.686	0.603	Not A...	0.039	51	3.9	7.9	Not A...	Not A...	100.00	Not A...	62.152
2002	264	0.556	0.364	Not A...	0.439	66	3.6	6.9	Not A...	Not A...	98.48	Not A...	60.134
2001	218	0.626	0.401	Not A...	0.091	55	3.6	8.1	Not A...	Not A...	94.55	Not A...	67.199
2000	195	0.379	0.231	Not A...	0.146	96	3.8	6.5	Not A...	Not A...	100.00	Not A...	47.798

Source Data

[Rank](#)

[Cited Journal Data](#)

[Citing Journal Data](#)

[Box Plot](#)

[Journal Relationships](#)

Journal Source Data ?

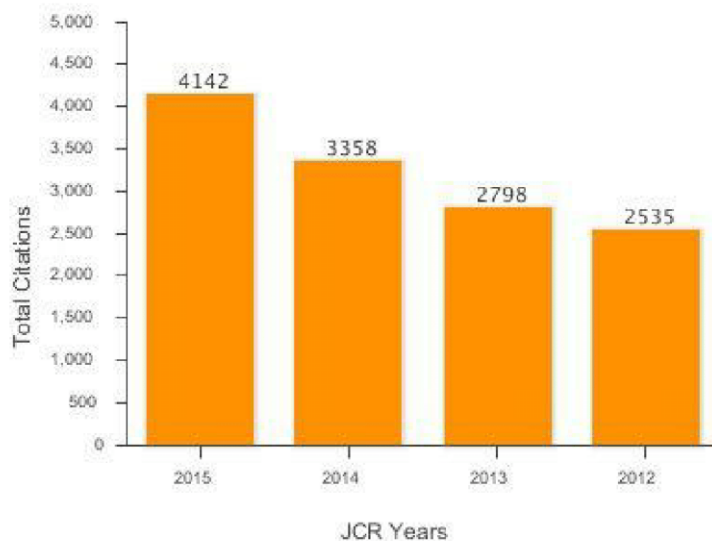
	Citable Items			Other
	Articles	Reviews	Combined	
Number in JCR Year 2015 (A)	262	10	272	2
Number of References (B)	9,076	810	9,886	1
Ratio (B/A)	34.6	81.0	36.3	0.5

Tell us what you think.
Help us improve the Journal Citation Reports by providing your feedback! [Click Here >](#)

© 2015 THOMSON REUTERS [TERMS OF USE](#) [PRIVACY POLICY](#)

Journal Profile: COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE

Essential Science Indicators : Total Citations Graph

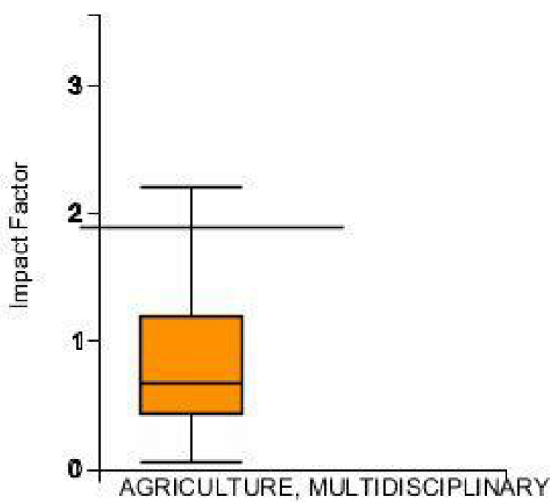


Journal Citation Report : Impact factor

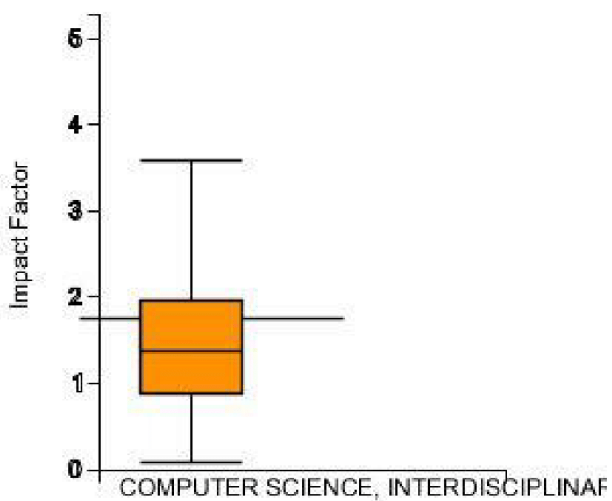
JCR Year	AGRICULTURE, MULTIDISCIPLINARY		COMPUTER SCIENCE, INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS			AGRICULTURE			
	Impact Factor	Q	Impact Factor	Q	Impact Factor	Q	Impact Factor	Q	
2015	8/57	Q1	86.842	35/104	Q2	66.827	NA	NA	NA
2014	6/56	Q1	90.179	32/102	Q2	69.118	NA	NA	NA
2013	10/56	Q1	83.036	49/102	Q2	52.451	NA	NA	NA
2012	5/57	Q1	92.105	31/100	Q2	69.500	NA	NA	NA
2011	6/57	Q1	90.351	27/99	Q2	73.232	NA	NA	NA
2010	7/55	Q1	88.182	45/97	Q2	54.124	NA	NA	NA
2009	7/45	Q1	85.556	43/95	Q2	55.263	NA	NA	NA
2008	8/35	Q1	78.571	36/94	Q2	62.234	NA	NA	NA
2007	7/35	Q1	81.429	30/92	Q2	67.935	NA	NA	NA
2006	9/31	Q2	72.581	45/87	Q3	48.851	NA	NA	NA
2005	8/31	Q2	75.806	41/83	Q2	51.205	NA	NA	NA
2004	6/29	Q1	81.034	34/83	Q2	59.639	NA	NA	NA
2003	9/29	Q2	70.690	39/83	Q2	53.614	NA	NA	NA
2002	9/28	Q2	69.643	40/80	Q2	50.625	NA	NA	NA
2001	8/28	Q2	73.214	30/76	Q2	61.184	NA	NA	NA
2000	12/28	Q2	58.929	48/75	Q3	36.667	NA	NA	NA
1999	NA	NA	NA	46/76	Q3	40.132	69/113	Q3	39.381

Journal Profile: COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE

Box Plot, Year: 2015 Edition: SCIE



Box Plot, Year: 2015 Edition: SCIE



Artículo 3: A new portable application for automatic segmentation of plants in agriculture

InCites™ Journal Citation Reports®

 THOMSON REUTERS™

Home **Journal Profile**

AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT

ISSN: 0378-3774
 ELSEVIER SCIENCE BV
 PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS
 NETHERLANDS

[Go to Journal Table of Contents](#) [Go to Ulrich's](#)

Titles
 ISO: Agric. Water Manage.
 JCR Abbrev: AGR WATER MANAG

Categories
 AGRONOMY - SCIE;
 WATER RESOURCES - SCIE;

Languages
 ENGLISH

16 Issues/Year;

Key Indicators

Year ▾	Total Cites Graph	Journal Impact Factor Graph	Impact Factor Without Journal Self Cites Graph	5 Year Impact Factor Graph	Immediacy Index Graph	Citable Items Graph	Cited Half-Life Graph	Citing Half-Life Graph	Eigenfactor Score Graph	Article Influence Score Graph	% Articles in Citable Items Graph	Normalized Eigenfactor Graph	Average JIF Percentile Graph
2015	8,901	2.603	2.085	3.370	0.543	265	6.8	9.4	0.01394	0.837	98.11	1.58484	86.882
2014	7,509	2.286	1.866	3.017	0.464	222	6.9	9.4	0.01408	0.821	96.85	1.57697	82.947
2013	6,671	2.333	1.814	2.822	0.389	221	6.7	9.5	0.01202	0.724	98.64	1.32539	79.387
2012	5,581	2.203	1.784	2.552	0.408	184	6.3	8.8	0.01179	0.683	97.83	Not A...	81.002
2011	4,799	1.998	1.607	2.506	0.309	194	5.8	8.8	0.01185	0.647	97.94	Not A...	81.018
2010	4,038	1.782	1.255	2.391	0.616	279	5.5	8.4	0.01031	0.629	97.49	Not A...	76.811
2009	3,386	2.016	1.539	2.464	0.337	202	5.3	8.7	0.00974	0.621	96.04	Not A...	84.010
2008	2,408	1.646	1.303	1.829	0.196	138	5.4	9.6	0.00887	0.567	97.10	Not A...	75.621
2007	1,989	1.388	1.012	1.699	0.223	175	5.5	9.5	0.00728	0.507	97.14	Not A...	75.804
2006	1,551	1.122	0.801	Not A...	0.221	204	5.9	>10.0	Not A...	Not A...	99.02	Not A...	65.038
2005	1,118	0.841	0.592	Not A...	0.151	126	5.7	>10.0	Not A...	Not A...	98.41	Not A...	51.891
2004	933	0.835	0.590	Not A...	0.135	111	5.4	9.8	Not A...	Not A...	98.20	Not A...	58.955
2003	756	0.865	0.651	Not A...	0.222	90	5.2	9.8	Not A...	Not A...	98.89	Not A...	66.672
2002	662	0.672	0.488	Not A...	1.070	86	4.9	9.0	Not A...	Not A...	98.84	Not A...	59.262
2001	448	0.526	0.415	Not A...	0.098	92	7.7	>10.0	Not A...	Not A...	100.00	Not A...	49.318
2000	401	0.309	0.215	Not A...	1.012	82	6.7	>10.0	Not A...	Not A...	100.00	Not A...	23.143

Source Data

[Rank](#)

[Cited Journal Data](#)

[Citing Journal Data](#)

[Box Plot](#)

[Journal Relationships](#)

Journal Source Data

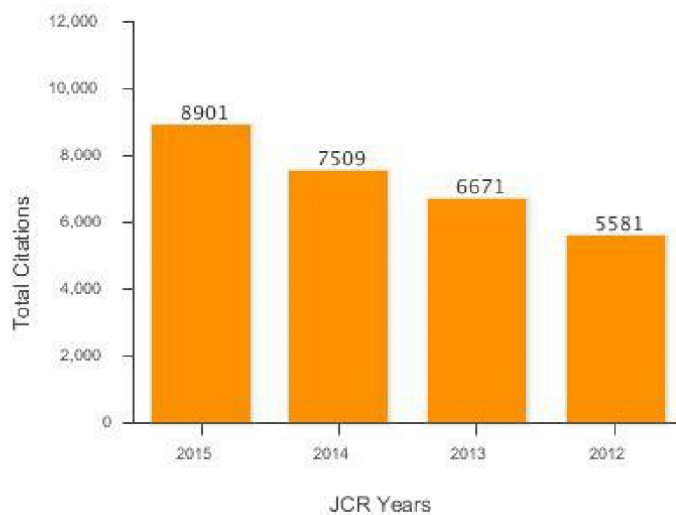
	Citable Items			Other
	Articles	Reviews	Combined	
Number in JCR Year 2015 (A)	260	5	265	6
Number of References (B)	12,388	612	13,000	77
Ratio (B/A)	47.6	122.4	49.1	12.8

Tell us what you think. Help us improve the Journal Citation Reports by providing your feedback! [Click Here >](#)

© 2015 THOMSON REUTERS [TERMS OF USE](#) [PRIVACY POLICY](#)

Journal Profile: AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT

Essential Science Indicators : Total Citations Graph

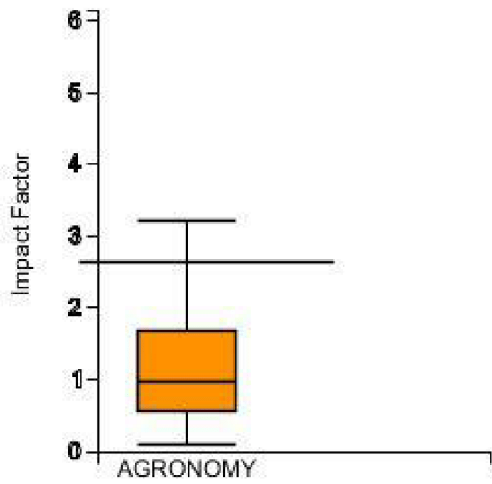


Journal Citation Report : Impact factor

JCR Year	AGRONOMY			WATER RESOURCES			AGRICULTURE		
	Rank	Quartile	JIF Percentile	Rank	Quartile	JIF Percentile	Rank	Quartile	JIF Percentile
2015	13/83	Q1	84.940	10/85	Q1	88.824	NA	NA	NA
2014	13/81	Q1	84.568	16/83	Q1	81.325	NA	NA	NA
2013	16/79	Q1	80.380	18/81	Q1	78.395	NA	NA	NA
2012	16/78	Q1	80.128	15/80	Q1	81.875	NA	NA	NA
2011	16/80	Q1	80.625	15/78	Q1	81.410	NA	NA	NA
2010	19/75	Q2	75.333	17/76	Q1	78.289	NA	NA	NA
2009	14/61	Q1	77.669	7/66	Q1	90.152	NA	NA	NA
2008	15/49	Q2	70.408	12/60	Q1	80.833	NA	NA	NA
2007	13/49	Q2	74.490	14/59	Q1	77.119	NA	NA	NA
2006	18/49	Q2	64.286	20/57	Q2	65.789	NA	NA	NA
2005	21/48	Q2	57.292	31/57	Q3	46.491	NA	NA	NA
2004	22/50	Q2	57.000	22/55	Q2	60.909	NA	NA	NA
2003	18/53	Q2	66.981	19/55	Q2	66.364	NA	NA	NA
2002	23/55	Q2	59.091	22/53	Q2	59.434	NA	NA	NA
2001	26/55	Q2	53.636	28/50	Q3	45.000	NA	NA	NA
2000	39/57	Q3	32.456	41/47	Q4	13.830	NA	NA	NA
1999	NA	NA	NA	32/46	Q3	31.522	70/113	Q3	38.496
1998	NA	NA	NA	37/46	Q4	20.652	76/111	Q3	31.982

Journal Profile: AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT

Box Plot, Year: 2015 Edition: SCIE



Box Plot, Year: 2015 Edition: SCIE

