

MAPPPING

VOL. 26 • Nº 182 • MARZO-ABRIL 2017 • ISSN: 1131-9100

**3D-PORTABLE DOCUMENTATION
TECHNOLOGY FOR ANALYSIS AND
PRESERVATION OF SCHEMATIC
ROCK ART PANELS:
a case study of the Castrocontrigo
calcolithic paintings**

**MAPEADO DE INVERNADEROS
MEDIANTE TELEDETECCIÓN
ORIENTADA A OBJETOS:
entre la calidad de la
segmentación y precisión de la
clasificación**

**LOS SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
(SIG) INDUCEN
a apreciaciones, valoraciones
y conclusiones erróneas**

**APRENDIENDO GEOGRAFÍA
CON UNA IDE DIDÁCTICA
Los Geojuegos de IDEARAGON**

**PREDICTIBILIDAD
LOCACIONAL Y
PERFILAMIENTO GEOGRÁFICO
en el homicidio serial con
gvSIG. Caso Barraza**

**HISTORIA DE LA CARTOGRAFÍA
IMPERIOS DE PAPEL:
el poder de los atlas**

Sumario



Pág. 04

Mapeado de invernaderos mediante Teledetección orientada a objetos: relación entre la calidad de la segmentación y precisión de la clasificación.

Object based greenhouse mapping: relationship between segmentation quality and classification accuracy .

Abderrahim Nenmaoui, Manuel Ángel Aguilar Torres, Antonio Novelli, M^a Carmen Vicente Marín, Fernando José Aguilar Torres, Malgorzata Betlej, Piotr Cichón

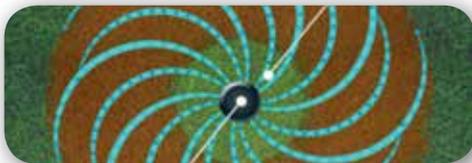


Pág. 14

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) inducen a apreciaciones, valoraciones y conclusiones erróneas.

Geographical Information Systems (GIS) indicate miscellaneous appreciations, evaluations and conclusions.

Luis Martín de Eugenio Sánchez



Pág. 26

Aprendiendo Geografía con una IDE didáctica. Los geojuegos de IDEARAGON. *Learning Geography with a teaching SDI. The geo-games from IDEARAGON.*

Rafael Martínez Cebolla, Esther Gómez Cabello, Fernando López Martín



Pág. 38

3D-portable documentation technology for analysis and preservation of schematic rock art panels: a case study of the Castrocontrigo calcolithic paintings. *Tecnología portátil de documentación 3D para el análisis y preservación de paneles rocosos de arte esquemático: un caso de estudio de las pinturas calcolíticas de Castrocontrigo.*

Tecnología portátil de documentación 3D para el análisis y preservación de paneles rocosos de arte esquemático: un caso de estudio de las pinturas calcolíticas de Castrocontrigo.

Javier Fernández Lozano, Gabriel Gutiérrez Alonso, Miguel Ángel Ruiz Tejada, Marta Criado Valdés



Pág. 52

Predictibilidad locacional y perfilamiento geográfico en el homicidio serial con gvSIG. Caso Barraza. *Locational predictability and geographic profiling in serial homicide with gvSIG. Case Barraza.*

Tonatiuh Suárez-Meaney, Alexis Jazmín Palomárez López, Luís Chías Becerril

Pág. 64

Historia de la Cartografía Imperios de papel: el poder de los atlas. *Paper empires: the power of the atlas*

M^a Carmen García Calatayud

Pág. 68

Mundo blog

Pág. 72

Mundo tecnológico

Pág. 74

Noticias

Pág. 77

Agenda

Mapeado de invernaderos mediante teledetección orientada a objetos: relación entre la calidad de la segmentación y precisión de la clasificación

REVISTA **MAPPING**
Vol. 26, 181, 4-13
marzo-abril 2017
ISSN: 1131-9100

Object based greenhouse mapping: relationship between segmentation quality and classification accuracy

Abderrahim Nenmaoui, Manuel Ángel Aguilar Torres, Antonio Novelli,
M^a Carmen Vicente Marín, Fernando José Aguilar Torres, Malgorzata Betlej, Piotr Cichón

Resumen

El análisis de imágenes basado en objetos (OBIA) se ha mostrado como la mejor opción cuando se trabaja con imágenes de satélite de muy alta resolución (VHR). El primer paso OBIA es la segmentación o delimitación de los objetos de interés. La determinación de una segmentación óptima es crucial para el éxito de la segunda etapa en OBIA, la clasificación. El objetivo principal de este trabajo es evaluar el algoritmo de segmentación de multi-resolución incluido en eCognition para delimitar invernaderos a través de ortoimágenes multispectrales de WorldView-2, y encontrar la relación entre la bondad de la segmentación y la exactitud de la clasificación supervisada. La atención se focaliza en la búsqueda de los parámetros óptimos de la segmentación multi-resolución (Escala, Forma y Compacidad) para invernaderos de plástico. La evaluación de la calidad de la segmentación se llevó a cabo mediante la Distancia Euclídea 2 (ED2). Por último, hemos demostrado que existe una clara relación entre la bondad de la segmentación en los invernaderos de plástico y la precisión de la clasificación OBIA alcanzada cuando se utilizaron las características como los índices espectrales, texturales y de vegetación. La mejor precisión global alcanzada con la mejor segmentación fue ligeramente superior al 95%.

Abstract

Object based image analysis (OBIA) approach has been proved as the best option when working with very high resolution (VHR) satellite imagery. The first step of OBIA, referred to as segmentation, is to delineate objects of interest. Determination of an optimal segmentation is crucial for a good performance of the second stage in OBIA, the classification process. The main goal of this work is to assess the multiresolution segmentation algorithm provided by eCognition software for delineating greenhouses from WorldView-2 multispectral orthoimages and to find the relationship between the goodness of the segmentation and the accuracy of the supervised classification. The focus is on finding the optimal parameters of the multiresolution segmentation approach (i.e., Scale, Shape and Compactness parameters) for plastic greenhouses. Assessment of segmentation quality was based on the Euclidean Distance 2 (ED2). Finally, we demonstrated that there was a clear relationship between the goodness of the segmentation on plastic greenhouses and the OBIA classification accuracy attained when features such as spectral, textural and vegetation indices were used. The best overall accuracy attained with the best multiresolution segmentation was slightly better than 95%.

Palabras clave: teledetección orientada a objetos (OBIA), WorldView-2, invernaderos, segmentación, clasificación supervisada, vecino más próximo, multi-resolución.

Keywords: Object Based Image Analysis (OBIA), WorldView-2, greenhouses, segmentation, supervised classification, nearest neighbour, multiresolution segmentation.

Dpto. Ingeniería, Universidad de Almería, España
an932@ual.es, maguilar@ual.es, gotaliana@hotmail.com,
faguilar@ual.es, mal.betlej@gmail.com, cichon.pio@gmail.com
Politécnico de Bari, Italia
antonio.novelli@poliba.it

Recepción 03/10/2016
Aprobación 25/04/2017

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de la última generación de satélites comerciales de muy alta resolución (Very High Resolution, VHR) que ha sido lanzada con éxito en estos últimos años (e.g., GeoEye-1, WorldView-2 y WorldView-3), capaces de tomar imágenes de la superficie terrestre con una resolución inferior a 0.5 m, hace que el concepto de teledetección basada en píxeles haya tenido que ser reconsiderado. Las imágenes de satélite VHR están siendo intensamente utilizadas para detección y clasificación de diferentes usos o coberturas de suelo (e.g., Carleer y Wolff, 2006; Stumpf y Kerle, 2011; Pu et al., 2011; Pu y Landry, 2012; Aguilar et al., 2013; Fernández et al., 2014; Heenkenda et al., 2015) incluyendo la detección de invernaderos (Aguilar et al., 2014, 2015, 2016). La mayoría de estos trabajos fueron realizados utilizando técnicas de análisis de imágenes basado en objetos o teledetección orientada a objetos (Object Based Image Analysis, OBIA).

Un proyecto de clasificación OBIA se compone de dos etapas: (i) Segmentación, formación de objetos mediante la unión de píxeles, y (ii) Clasificación, utilizando las características de los objetos generados previamente. Si la segmentación es adecuada, los objetos generados a partir de píxeles en la imagen representarán los elementos del mundo real en los que estemos interesados (e.g., árboles, edificios, balsas, parcelas agrícolas, invernaderos,...). Una vez obtenida la segmentación óptima de nuestra fuente de información (imagen) con respecto al tipo de objetos que pretendemos extraer o reconocer en ella, se pasa a la fase de clasificación. Mediante esta fase, y usando algoritmos de clasificación basados en características intrínsecas de cada objeto segmentado, estos pueden ser agrupados en clases que representan entidades del mundo real.

Dicho esto, se ha de tener en cuenta que una de las cuestiones más importantes en los análisis de clasificación de imágenes OBIA es la correcta segmentación de la imagen. De hecho, la calidad de la segmentación influirá directamente en las precisiones obtenidas posteriormente en la fase de clasificación (Liu y Xia, 2010). La segmentación de imágenes se remonta a la década de los años 70, aunque no se utilizan ampliamente en teledetección espacial hasta los años 1980 y 1990 (Blaschke, 2010). Entre los algoritmos de segmentación destaca la segmentación multi-resolución (Multiresolution Segmentation), que consiste en la agrupación de píxeles a partir de un conjunto de semillas distribuidas por la imagen en función de un criterio previo. Es uno de los más utilizados en OBIA y está implementado en el software eCognition Developer (Lucieer, 2004; Benz et al., 2004). Los detalles del algoritmo se pueden consultar en Baatz et al., (2000).

El algoritmo de segmentación multi-resolución, en un procedimiento de optimización que, para un determinado número de objetos o segmentos, minimiza la heteroge-

neidad media y maximiza su respectiva homogeneidad. El resultado de este algoritmo de segmentación es controlado por tres términos principales, tales como: (i) el criterio de homogeneidad o parámetro de escala, el cual determina la heterogeneidad máxima permitida de los objetos imagen resultantes (Escala, scale), (ii) el peso del color y los criterios de forma en el proceso de segmentación (Forma, shape), (iii) el peso de la compacidad (Compacidad, compactness) y los criterios de suavizado (i.e. cuanto mayor sea el peso de la compacidad, los objetos serán más compactos). La determinación óptima de estos tres parámetros, algo abstractos por otra parte, no es ni mucho menos trivial. Normalmente es necesaria una validación de los posibles errores sistemáticos mediante una inspección visual de la calidad de los objetos resultantes de la segmentación (i.e. ensayo y error) para establecer el valor apropiado de dichos parámetros (Mathieu et al., 2007; Tian y Chen, 2007). Por otra parte, los parámetros de configuración óptimos dependen de los objetos que queramos segmentar (e.g., Tian y Chen, 2007).

Para ayudar al usuario con la selección «objetiva» de los parámetros que dominan el algoritmo de segmentación multi-resolución, recientemente se han propuesto métodos no supervisados basados en la varianza local como las herramientas ESP y ESP2 (Estimation of Scale Parameters tool) publicadas por Dragut et al. (2010) y Dragut et al. (2014) respectivamente. También se han propuesto métodos supervisados basados en la medida de la similitud existente entre los resultados de la segmentación automática y los objetos ideales generalmente digitalizados manualmente por el usuario (e.g., Clinton et al., 2010; Liu et al., 2012). De todos los parámetros que controlan el comportamiento de este algoritmo, el conocido como parámetro de Escala es el más importante. De forma muy sintetizada se puede definir como el parámetro que controla el tamaño de los objetos, ya que funciona como umbral a la hora de permitir o no la fusión de dos objetos contiguos. Parámetros de escala bajos suelen producir objetos muy pequeños y con escasa variabilidad espectral, por el contrario, parámetros de escala altos producen objetos de mayor tamaño en los que la variabilidad espectral de los píxeles que los forman es mucho mayor.

La digitalización o extracción automática de invernaderos a partir de teledetección presenta un gran desafío para los investigadores debido a las características tan específicas de estas estructuras agrícolas. El primer trabajo publicado que usó técnicas OBIA en invernaderos (concretamente eCognition y segmentación multi-resolución) fue realizado por Tarantino y Figorito (2012), usando una ortoimagen aérea en formato RGB en Italia. La segmentación óptima (300, 0.5 y 0.8 para Escala, Forma y Compacidad respectivamente) fueron obtenidas aplicando técnicas de ensayo y error. En otros trabajos más recientes de detección de invernaderos usando imágenes de satélite (Aguilar et al., 2014; Aguilar et

al., 2015) la segmentación se realizó de forma manual, evitando tener que encontrar los parámetros óptimos en la fase de segmentación.

Este trabajo se centra en la fase de segmentación de invernaderos de plástico en entornos OBIA, intentando estimar los parámetros óptimos (i.e., Escala, Forma y Compacidad) del algoritmo de segmentación multi-resolución incluido en eCognition a partir de una ortoimagen multispectral del satélite WorldView-2. Se intentará también relacionar la bondad de la segmentación con la precisión en la fase posterior de clasificación de objetos.

2. ZONA DE ESTUDIO Y DATOS DE PARTIDA

2.1. Zona de estudio

El trabajo fue realizado en el poniente almeriense, en el lugar del mundo con mayor concentración de invernaderos conocido como «Mar de Plástico». La zona de estudio comprende un área rectangular de 8 000 ha (8 km x 10 km) centrado en coordenadas geográficas WGS84 36.7824°N y 2.6867°W (Figura 1). Comprende parte de los Términos Municipales de Vícar, El Ejido, Roquetas de Mar y La Mojenera, siendo una zona principalmente de uso agrícola, presentando parcelas con y sin invernaderos, además de algunos núcleos de población.

2.2. Imagen de satélite VHR

WorldView-2 (WV2) es un satélite VHR lanzado en Octubre de 2009. Este sensor es capaz de adquirir imágenes ópticas de la superficie terrestre con un tamaño de píxel o *Ground Sample Distance* (GSD) de 0.46 m y 1.84 m en su posición más nadiral en modo pancromático (PAN) y multispectral

(MS) respectivamente. Este satélite fue el primer sensor comercial en captar 8 bandas en su imagen MS. Estas bandas son: coastal (C, 400–450 nm), blue (B, 450–510 nm), green (G, 510–580 nm), yellow (Y, 585–625 nm), red (R, 630–690 nm), red edge (RE, 705–745 nm), near infrared-1 (NIR1, 760–895 nm) y near infrared-2 (NIR2, 860–1040 nm).

Una imagen de WV2, tomada el 30 de septiembre de 2013 sobre la zona de estudio, fue usada para este trabajo. Fue recibida en formato *Ortho Ready Standard Level-2A* (ORS2A), conteniendo las imágenes PAN y MS. Esta imagen de satélite presentó un ángulo *off-nadir* de 11.8° y un 0% de nubes. El tamaño de píxel de las imágenes PAN y MS fue de 0.4 m y 1.6 m respectivamente. El formato ORS2A de WV2 presenta correcciones radiométricas y geométricas, y ya está georreferenciada respecto a una proyección cartográfica. Incluye los correspondientes datos de coeficientes racionales para poder reproducir el modelo de cámara. El producto empleado tenía un rango dinámico de 11 bit.

A partir de las imágenes PAN y MS se obtuvo una imagen *pansharpened* o fusionada con 0.4 m GSD y conteniendo todas las bandas RGB de la imagen MS. Para tal fin se utilizó el módulo PANSHARP del *software* Geomática v. 2014 (PCI Geomatics, Richmond Hill, Canadá). Para obtener las ortoimágenes finales se emplearon las coordenadas de 7 puntos de control de campo (*ground control points*, GCPs) y 32 puntos de comprobación independientes (*independent check points*, ICPs) que fueron obtenidas mediante GPS diferencial (GPS Topcon HiPer PRO station) trabajando en modo RTK. Estos puntos de campo fueron medidos con referencia al *datum European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89) y con proyección UTM Zona 30. Una ortoimagen fusionada con tres bandas (RGB) y con 0.4 m GSD fue generada usando funciones racionales refinadas de grado cero y un modelo digital de elevaciones (MDE) con 10 m de resolución espacial y 1.34 m de error vertical de la Junta de Andalucía. La precisión planimétrica medida como error cuadrático medio (*root mean square error*, RMSE) en los 32 ICPs de esta ortoimagen resultó ser de 0.59 m.

Por otra parte, se generó también una ortoimagen MS con 1.6 m GSD con las 8 bandas originales de WV2. Se usaron los mismos 7 GCPs, el mismo modelo de sensor y MDE empleados para la obtención de la ortoimagen *pansharpened* o fusionada. Esta ortoimagen fue la empleada para los ensayos OBIA realizados en este trabajo. Por ello, la imagen MS de WV2 original fue corregida atmosféricamente aplicándole el módulo ATCOR (*atmospheric correction*) incluido en Geomatica v. 2014. Mediante esta corrección atmosférica absoluta trans-

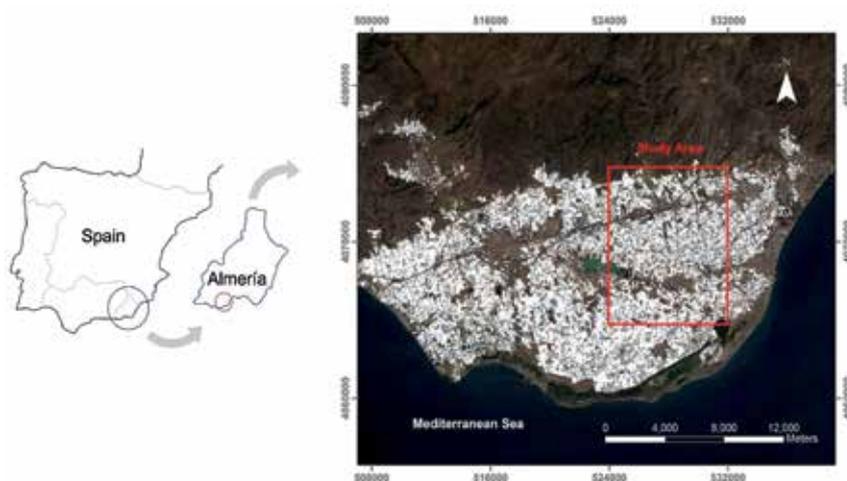


Figura 1. Situación de la zona de estudio sobre una imagen Landsat 8 de agosto de 2013. Sistema de coordenadas ETRS89 UTM Zona 30N

formamos los valores digitales a valores de reflectancia de la superficie terrestre. Finalmente, fue generada una ortoimagen MS de WV2 corregida atmosféricamente con un error planimétrico de 2.20 m.

Debido al alto coste computacional necesario para llevar a cabo todas las repeticiones y combinaciones previstas en este estudio, se decidió tomar un recorte de las ortoimágenes fusionada y MS de WV2. En el caso de la ortoimagen MS esta área de trabajo se limitó a 2 000 x 2 000 píxeles, por tanto, el tamaño aproximado de la imagen en unidades terreno es de 3 200 m x 3 200 m (Figura 2).

2.3. Verdad terreno para las clases Invernaderos y Otros

Para la estimación de la segmentación óptima, así como para la evaluación final de la clasificación OBIA realizadas, es necesario tener la verdad terreno de la zona reducida de estudio. Para ello se decidió digitalizar manualmente sobre la fuente de mayor resolución disponible, es decir, la ortoimagen fusionada con 0.4 m GSD de WV2, todos los invernaderos existentes (clase Invernadero), y por ende, también definir toda la superficie perteneciente a la clase Otros (i.e., No Invernadero). En la Figura 3 se presenta el resultado de este trabajo de digitalización que usaremos como verdad terreno a lo largo de este trabajo.

Tomando como base la Figura 3, se extrajeron 30 polígonos correspondientes a invernaderos individuales con el objeto de evaluar la bondad de las segmentaciones multi-resolución generadas variando los tres parámetros fundamentales (i.e., Escala, Forma y Compacidad). De la misma forma se extrajeron también 30 objetos correspondientes



Figura 2. Ortoimagen MS correspondiente a la zona de estudio reducida

a la clase Invernadero y otros 30 de la clase Otros para ser usados como muestras de clase conocida en el proceso de clasificación supervisado que explicaremos posteriormente.

3. METODOLOGÍA

3.1. Segmentación multi-resolución

Los procesos de segmentación multi-resolución y la posterior clasificación de esos objetos segmentados mediante el clasificador supervisado Nearest Neighbour (NN) han sido llevados a cabo mediante eCognition 8.8 (Trimble, Sunnyvale, California, United States), usando las 8 bandas de la ortoimagen MS corregida atmosféricamente de WV2 en la zona reducida como única fuente de información.

El programa comercial eCognition está considerado como uno de los *softwares* más destacados en cuanto a eficiencia de segmentación se refiere. La segmentación multi-resolución de eCognition consigue los mejores resultados generales en comparación con otros *softwares* (Neubert y Meinel, 2003). Combinando distintos valores de los parámetros de entrada del algoritmo de segmentación multi-resolución (i.e., Escala, Forma y Compacidad), se obtienen diferentes salidas de segmentación. Se han utilizado distintas combinaciones en busca de los resultados más óptimos para segmentar invernaderos. Es importante mencionar aquí que en todos los casos se computaron las distintas segmentaciones multi-resolución usando siempre las 8 bandas de la



Figura 3. Digitalización manual sobre la ortoimagen fusionada de WV2 de la zona de estudio reducida en las clases binarias Invernaderos y Otros

ortoimagen MS de WV2 con un peso de 1 para todas ellas. A partir de aquí, se han variado los valores de Escala y de Forma, mientras que el parámetro de Compacidad fue fijado a 0.5 (Liu y Xia, 2010; Dragut et al., 2014; Kavzoglu y Yildiz, 2014). La Escala varió entre 15 y 120, con intervalos de 5, excepto para el intervalo 40-60, donde el intervalo fue reducido a 1. El parámetro de forma tomó valores de 0.1, 0.3 y 0.5 para todos los parámetros de Escala ensayados. Esto nos dio un total de 114 segmentaciones diferentes en la zona de estudio reducida, que fueron exportadas a formato Shape (.SHP) para proceder a la posterior evaluación de la segmentación.

3.2. Clasificación OBIA

El proceso de clasificación OBIA de los objetos segmentados en el apartado anterior se realiza usando el clasificador supervisado *Nearest Neighbour* (NN) en entorno eCognition. Las características que van a ser utilizadas en el espacio de trabajo para clasificar son:

- (i) Un valor medio de cada una de las 8 capas de la imagen MS de WV2. Es decir, la media de los píxeles que entran dentro de cada uno de los objetos segmentados para cada una de las bandas de información.
- (ii) Un índice de vegetación muy usado como el NDVI (Rouse et al., 1973).
- (iii) Un descriptor de textura de Haralick (Haralick et al., 1973), concretamente la entropía.

Las 10 características anteriores, y especialmente NDVI y Entropía, dependerán de forma importante de que la delimitación del objeto real (por ejemplo un invernadero) sea realizada correctamente, por tanto, su calidad estará directamente relacionada con la bondad de la segmentación.

La clasificación que se va a hacer de forma binaria, diferenciando entre dos clases: Invernaderos y Otros (No Invernaderos). Por lo tanto, el siguiente paso es insertar los centroides de las muestras conocidas (ver apartado 2.3), es decir 30 de la clase Invernaderos y 30 de la clase Otros. Los 60 segmentos que se correspondan con los centroides de las muestras serán usados como muestras ejemplo de clases para entrenar al clasificador NN. El resto de objetos para cada segmentación serán clasificados mediante NN dependiendo de su cercanía en el espacio euclideo a las muestras conocidas en las clases Invernaderos y Otros. Es importante tener en cuenta que las 60 muestras (30 Invernaderos y 30 Otros) permanecen siempre constantes para todos los proyectos realizados.

Una vez realizada la clasificación binaria, pasamos a la fase de evaluación de la clasificación que se realiza mediante la matriz de confusión o de error (Congalton, 1991). Las medidas de precisión de la clasificación extraídas de las matrices de confusión fueron la precisión global (*Overall Accuracy*, OA) y el coeficiente *kappa* (*kappa*). La matriz de confusión la ob-

tenemos al comparar el resultado de la clasificación con la imagen ráster de la verdad terreno realizada manualmente (Figura 3), seleccionando la opción de computo por píxeles en eCognition (Error Matrix based on TTA Mask).

3.3. Evaluación de la segmentación

Las métricas usadas para la evaluación supervisada de la segmentación están centradas en el escenario donde los objetos de referencia (invernaderos en nuestro caso) han sido digitalizados previamente. Los resultados de la calidad de la segmentación automática generada son comparados con estos objetos de referencia para ver su similitud. En este trabajo, las salidas (archivos .SHP) de cada combinación de segmentación multi-resolución generada, fue comparada con 30 invernaderos digitalizados manualmente (ver apartado 2.3). Este número de objetos de referencia es el recomendado por Liu et al. (2012). Aunque hay muchos métodos supervisados para evaluar la calidad de la segmentación (e.g., Zhang, 1996; Clinton et al., 2010), la medida de discrepancia conocida como *Euclidean Distance 2* (ED2), recientemente propuesta por Liu et al. (2012), es la que ha demostrado un comportamiento mejor. En resumen, ED2 intenta optimizar en un espacio Euclideo 2D las discrepancias geométricas (mediante el error potencial de la segmentación, *potential segmentation error*, PSE) y la discrepancia aritmética entre los objetos de la segmentación a evaluar y los objetos de referencia (relación entre el número de segmentos, *the number-of-segmentation ratio*, NSR).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de la calidad de la segmentación

En la Figura 4 se muestran cuatro resultados de segmentaciones multi-resolución con escalas de 15, 50, 85 y 120 para las Figuras 4a, 4b, 4c y 4d respectivamente, manteniéndose constantes los parámetros de Forma (0.3) y Compacidad (0.5). Podemos ver como cuando el factor de Escala es muy pequeño (15 en la Figura 4a), los segmentos obtenidos son excesivamente pequeños. Es decir, cada invernadero estaría representado por muchos más de un objeto que sería la situación ideal. En este caso tenemos un exceso de segmentación (*over-segmentation*). En el otro extremo, la Figura 4d muestra una segmentación con Escala de 120, donde observamos que algunos segmentos contienen más de un invernadero. En este caso tenemos una segmentación demasiado baja (*under-segmentation*). Sin embargo, los dos casos intermedios (i.e., Figura 4b con una Escala de 50 y Figura 4c con una Escala de 85) resulta difícil a simple vista tomar una decisión sobre cuál de ellas es mejor, ya que ambas parecen representar de forma apropiada a los invernaderos objeto de este trabajo.

Para ayudarnos a tomar la decisión de cuál es la segmentación óptima, nos vamos a apoyar en los valores de ED2 calculados según Liu et al. (2012) y en sus índices básicos (i.e., NSR, discrepancias aritméticas y PSE, discrepancias geométricas). Los valores de NSR, PSE y ED2 para las cuatro combinaciones mostradas en la Figura 9 se pueden ver en la Tabla 1. Se puede ver que en el caso de la segmentación con Escala de 15 (Figura 4a) que presenta una gran *over-segmentation*, los principales errores que provocan un ED2 muy alto (segmentación muy mala) son los correspondientes a las discrepancias aritméticas (NSR). Los límites de cada invernadero están bien definidos (bajo valor de PSE) pero están formados por muchos segmentos (valor alto de NSR). En el caso opuesto, con una Escala de 120 y gran *under-segmentation*, el principal error es el PSE. De los otros dos casos, fijándonos en los valores de ED2 obtenidos, podemos inferir que la escala 50 conduce a una mejor segmentación que la escala 85, para la misma combinación de los parámetros Forma y Compacidad.

En la Figura 5 se muestran los valores de ED2 con respecto a la Escala elegida y para los tres valores de Forma ensayados (0.1, 0.3 y 0.5). Los valores de ED2 forman una especie de parábola con un mínimo claramente definido entre las escalas 40 y 60. Si nos fijamos en la Figura 6, donde se muestra un detalle de los valores mínimos de ED2 frente al rango óptimo de escalas para los tres valores de Forma, el valor mínimo de ED2 de 0.091 se obtuvo para Forma = 0.1 a una escala de 51. Para un parámetro de Forma de 0.3, la escala óptima resultó ser de 55 y el valor de ED2 fue de 0.108. Para un parámetro de Forma de 0.5, se calculó un valor de ED2 de 0.135 para una escala de 50. A la vista del global de los resultados, parece que los valores más adecuados para el parámetro de Forma a la hora de segmentar invernaderos a partir de una imagen MS del satélite WV2 son 0.1 y 0.3. Los resultados se corresponden bastante bien con los obtenidos por Novelli et al. (2016) y Aguilar et al. (2016), aunque estos autores se inclinan más por un factor de Forma cercanos a 0.3, concretamente entre 0.2 y 0.4.

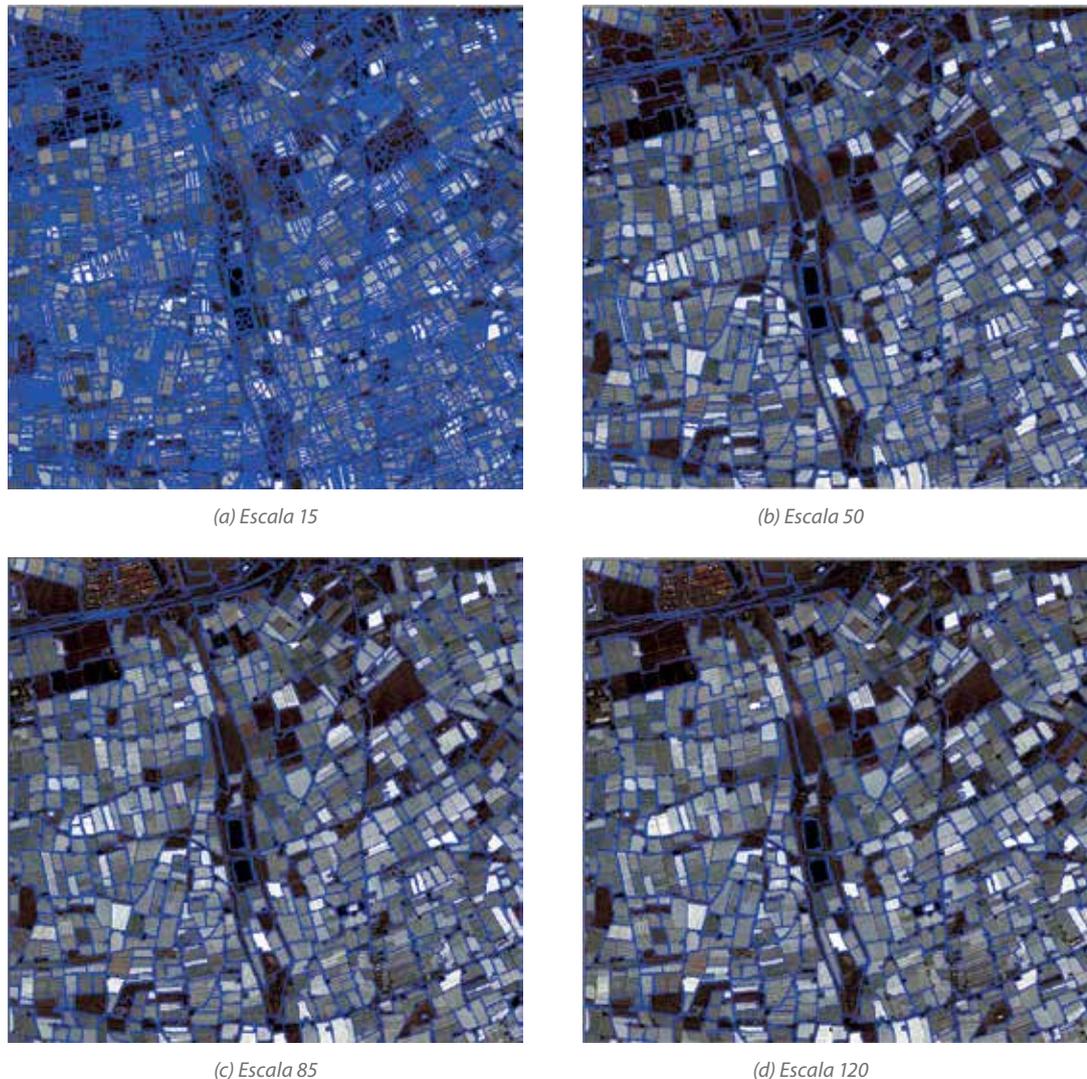


Figura 4. Resultados de segmentaciones multi-resolución para diferentes Escalas, con parámetros de Forma y Compacidad fijos en 0.3 y 0.5 respetivamente

4.2. Clasificación OBIA

Comencemos recordando que las clasificaciones OBIA llevadas a cabo en este trabajo se realizaron con el clasificador supervisado NN, usando siempre las mismas 60 muestras (30 de la clase Invernaderos y 30 de la clase Otros) para entrenar al clasificador. En la clasificación OBIA se usaron únicamente 10 características o features para clasificar la imagen MS de WV2.

En las Figuras 7 y 8 se puede observar las precisiones de las clasificaciones OBIA, *Overall Accuracy* (OA) y *Kappa*, obtenidas para cada una de las segmentaciones generadas con pará-

	Escala	Forma	Compacidad	NSR	PSE	ED2
Figura 4a	15	0.3	0.5	6.800	0.044	6.800
Figura 4b	50	0.3	0.5	0.133	0.088	0.160
Figura 4c	85	0.3	0.5	0.000	0.457	0.457
Figura 4d	120	0.3	0.5	0.000	1.238	1.238

Tabla 1. Valores de NSR, PSE y ED2 para las combinaciones mostradas en la Figura 4

metros de Forma de 0.3 y Compacidad de 0.5. La calidad de la clasificación parece estar ligada a la bondad de la segmentación, que como vimos en el apartado anterior, se producen para escalas de alrededor de 50. El mejor valor de OA es de 95.02% y se produce exactamente para una escala de 50. A esa misma escala se genera también el valor más alto del coeficiente *Kappa* (0.872). Hay que tener en cuenta que estamos empleando características, especialmente la textura, que dependerán en gran medida de que el objeto real sea o no representado de manera fiable en la segmentación. Eso explicaría que exista una clara relación entre la calidad de la segmentación y la precisión final obtenida en la clasificación. Esto había sido documentado previamente (e.g., Liu y Xia, 2010).

En la Figura 9 se muestra la comparación entre la verdad terreno digitalizada en la zona de trabajo y el resultado de la clasificación OBIA con una segmentación multi-resolución con escala de 50, Forma de 0.3 y Compacidad de 0.5. Recordemos que la OA para este caso superaba ligeramente el 95%. En la Figura 9b se puede observar en verde oscuro y en rojo oscuro los objetos mal clasificados.

5. CONCLUSIONES

En una primera parte este trabajo se ha centrado en la identificación de los parámetros óptimos del algoritmo de

segmentación multi-resolución incluido en el software comercial eCognition (i.e., Escala, Forma y Compacidad). Se ha trabajado en una zona piloto situada en los invernaderos del poniente almeriense, con una imagen MS de WV2 con 8 bandas. La selección de los parámetros óptimos del algoritmo de segmentación estudiado no es una tarea sencilla, pero que puede resultar crucial para lograr una buena clasificación en el contexto de teledetección basada en objetos (OBIA).

La métrica ED2 presentó una muy buena relación de calidad visual en las segmentaciones multi-resolución de invernaderos de plástico. ED2 estuvo muy claramente relacionado con el parámetro de Escala, y también, pero en menor medida, con el parámetro de Forma. En cuanto al parámetro de Forma, los valores ideales para segmentar invernaderos resultaron ser 0.1 y 0.3. De esta forma, los parámetros para la segmentación multi-resolución aplicados a una ortoimagen MS de WV2 con 8 bandas corregidas atmosféricamente para delinear invernaderos de plástico fueron determinados mediante ED2 (i.e., a menor valor de ED2, mejor segmentación). A efectos prácticos, se recomienda realizar una evaluación particular del parámetro Escala de la segmentación multi-resolución usando la métrica ED2 cuando se trabaje con otra imagen de invernaderos, manteniendo los parámetros de Forma y Compacidad fijos en 0.3 y 0.5 respectivamente.

Respecto a la clasificación OBIA (8 características espectrales, más un índice de vegetación (NDVI) y un descriptor

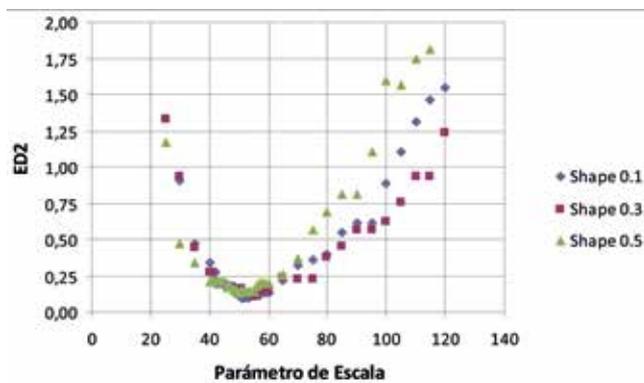


Figura 5. Representación de ED2 como métrica descriptora de la bondad de la segmentación frente a la escala elegida y para los tres valores de Forma (Shape). La Compacidad se mantuvo constante en 0.5

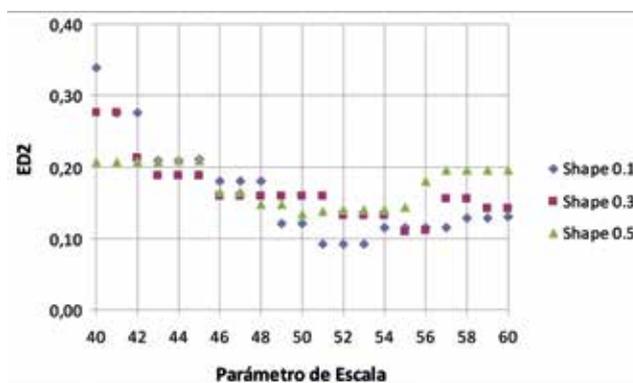


Figura 6. Detalle de los valores mínimos de ED2 frente al rango óptimo de escalas

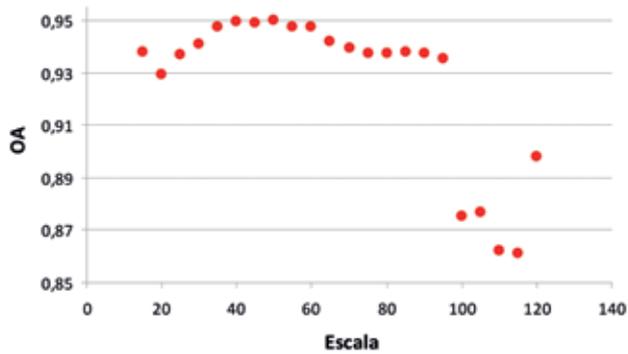


Figura 7. Valores de precisión global (Overall Accuracy, OA) en tantos por uno para cada una de las segmentaciones obtenidas con Forma = 0.3 en la clasificación OBIA

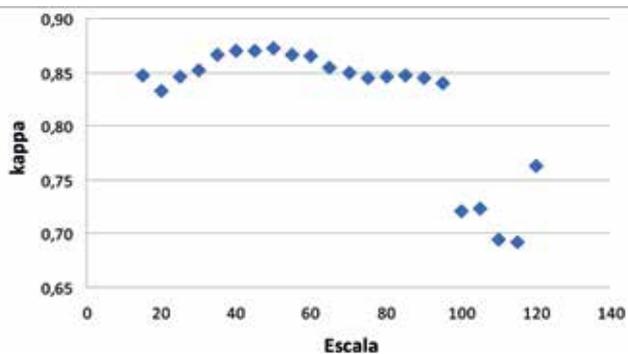


Figura 8. Valores del coeficiente Kappa para cada segmentación con Forma = 0.3

de textura de Haralick (Entropía), se observa que la calidad de la clasificación parece estar ligada a la bondad de la segmentación. De hecho, el mejor valor de OA es de 95.02% y se produce exactamente para una escala de 50, que es donde se obtuvieron las mejores segmentaciones.



Figura 9. Comparación entre: a) el ground truth digitalizado en la zona de trabajo y, b) el resultado de la clasificación OBIA con una segmentación multi-resolución con escala de 50, Forma de 0.3 y Compacidad de 0.5. En rojo la clase Invernaderos y en verde la clase Otros

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido llevar a cabo gracias al Proyecto de I+D+i con referencia AGL2014-56017-R del Programa Estatal de Investigación (RETOS DE LA SOCIEDAD), subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y la Unión Europea (Fondos FEDER). Agradecer también la colaboración del Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3).

REFERENCIAS

- Aguilar, M.A., Bianconi, F., Aguilar, F.J. y Fernández, I. (2014). Object-based greenhouse classification from GeoEye-1 and WorldView-2 stereo imagery. *Remote Sensing*, 6, 3554-3582.
- Aguilar, M.A., Nemmaoui, A., Novelli, A., Aguilar, F.J. y García Lorca, A. (2016). Object-Based Greenhouse Mapping Using Very High Resolution Satellite Data and Landsat 8 Time Series. *Remote Sensing*, 5, 513.
- Aguilar, M.A., Saldaña, M.M. y Aguilar, F.J. (2013). GeoEye-1 and WorldView-2 pan-sharpened imagery for object-based classification in urban environments. *International Journal of Remote Sensing*, 34(7), 2583-2606.
- Aguilar, M.A., Vallario, A., Aguilar, F.J., García Lorca, A. y Parente, C. (2015). Object-Based Greenhouse Horticultural Crop Identification from Multi-Temporal Satellite Imagery: A Case Study in Almeria, Spain. *Remote Sensing*, 7, 7378-7401.
- Baatz, M. y Schäpe, M. (2000). Multiresolution segmentation - An optimization approach for high quality

- multi-scale image segmentation. En J. Strobl, T. Blaschke, G. Griesebner (Eds.), *Angewandte Geographische Informations-Verarbeitung XII*. Wichmann Verlag, Karlsruhe, (pp. 12-23).
- Benz, U., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. y Heynen, M. (2004). Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, 239-258.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(2010), 2-16.
- Carleer, A.P. y Wolff, E. (2006). Urban land cover multi-level region-based classification of VHR data by selecting relevant features. *International Journal of Remote Sensing*, 27(6), 1035-1051.
- Clinton, N., Holt, A., Scarborough, J., Yan, L. y Gong, P. (2010). Accuracy assessment measures for object-based image segmentation goodness. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76 (3), 289-299.
- Congalton, R.G. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46
- Dragut, L., Csillik, O., Eisank, C. y Tiede, D. (2014). Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers. *ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing*, 88(2014), 119-127
- Dragut, L., Tiede, D. y Levick, S. (2010). ESP: a tool to estimate scale parameters for multiresolution image segmentation of remotely sensed data. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(6), 859-871.
- Fernández, I., Aguilar, F.J., Aguilar, M.A. y Álvarez, M.F. (2014). Influence of data source and training size on impervious surface areas classification using VHR Satellite and aerial imagery through an object-based approach. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(12), 4681-4691.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K. y Dinstein, I.H. (1973). Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3, 610-21.
- Heenkenda, M.K., Joyce, K.E. y Maier, S.W. (2015). Mangrove tree crown delineation from high-resolution imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 81(6), 471-479.
- Kavzoglu, T. y Yildiz, M. (2014). Parameter-Based Performance Analysis of Object-Based Image Analysis Using Aerial and QuikBird-2 Images. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-7, 31-37.
- Mathieu, R., Aryal, J. y Chong, A. K. (2007). Object-Based Classification of Ikonos Imagery for Mapping Large-Scale Vegetation Communities in Urban Areas. *Sensors*, 7, 2860-80.
- Neubert, M. y Meinel, G. (2003). Evaluation of segmentation programs for high resolution remote sensing applications. In International ISPRS Workshop "High resolution mapping from space. 6-8.
- Novelli, A., Aguilar, M.A., Nemmaoui, A., Aguilar, F.J. y Tarantino, E. (2016). Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almeria (Spain). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52(2016), 403-411.
- Liu, D. y Xia, F. (2010). Assessing object-based classification: Advantages and limitations. *Remote Sensing Letters*, 1(4), 187-194.
- Liu, Y., Biana, L., Menga, Y., Wanga, H., Zhanga, S., Yanga, Y., Shaoa, X. y Wang, B. (2012). Discrepancy measures for selecting optimal combination of parameter values in object-based image analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68(2012), 144-156.
- Lucieer, A. (2004). *Uncertainties in Segmentation and their Visualisation*. Tesis Doctoral, Universiteit Utrecht.
- Pu, R. y Landry, S. (2012). A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species. *Remote Sensing of Environment*, 124(2012), 516-533.
- Pu, R., Landry, S. y Yu, Q. (2011). Object-based urban detailed land cover classification with high spatial resolution IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 32(12), 3285-3308.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, y Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- Stumpf, A. y Kerle, N. (2011). Object-oriented mapping of landslides using Random Forests. *Remote Sensing of Environment*, 115(2011), 2564-2577.
- Tarantino, E. y Figorito, B. (2012). Mapping rural areas with widespread plastic covered vineyards using true color aerial data. *Remote Sensing*, 4, 1913-1928.
- Tian, J. y Chen, D.M. (2007). Optimization in multi-scale segmentation of high resolution satellite images for artificial feature recognition. *International Journal of Remote Sensing*, 28(20), 4625-4644.
- Zhang, Y.J. (1996). A survey on evaluation methods for image segmentation. *Pattern Recognition*, 29(8), 1335-1346.

Sobre los autores

Abderrahim Nemmaoui

Obtuvo su grado de Doctor por la Universidad de Almería, España, en el año 2011. Actualmente es PDI en la Universidad de Almería en el departamento de Ingeniería formando parte del equipo de trabajo del proyecto del Plan Estatal de Investigación AGL2014-56017-R. Sus áreas de interés están relacionadas con la ordenación del territorio, sistemas de información geográfica, teledetección e imágenes de satélites de muy alta resolución.

Manuel Ángel Aguilar Torres

Recibió los grados de Ingeniero Agrónomo y Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Córdoba, España, en 1996 y 2001 respectivamente. En 1999 comenzó su andadura como profesor de Expresión Gráfica en la Ingeniería, tras dos años en la empresa privada. Actualmente es profesor Titular de Universidad en la Universidad de Almería y pertenece al departamento de Ingeniería. En los últimos años ha liderado tres proyectos de investigación trabajando con imágenes de satélite de alta resolución (IKONOS, QuickBird, GeoEye-1 y WorldView-2/3). Actualmente es el IP del proyecto del Plan Estatal de Investigación AGL2014-56017-R. Sus áreas de interés están relacionadas con la orientación y ortorectificación de imágenes de satélites VHR, modelos digitales de elevaciones, teledetección y fotogrametría digital. Es autor de numerosas publicaciones internacionales JCR (Science Citation Index) principalmente en las categorías de Remote Sensing y Agriculture Multidisciplinary, Imaging Science & Photographic Technology y Geosciences Multidisciplinary.

María Carmen Vicente Marín

Recibió su titulación en Ingeniería Técnica Agrícola por la Universidad de Almería en el año 2010. Desde entonces, se ha dedicado al Diseño Agroindustrial en el sector privado. Ha iniciado su camino investigador recientemente durante el transcurso de la realización del Máster Oficial Interuniversitario Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura impartido por la Universidad de Almería, gracias al Proyecto de I+D+I con referencia AGL2014-56017-R del Programa Estatal de Investigación (RETOS DE LA SOCIEDAD), subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y la Unión Europea (Fondos FEDER) y desarrollado actualmente por la Universidad de Almería. Sus áreas de interés están relacionadas con la teledetección, ordenación del territorio y sistemas de información geográfica.

Antonio Novelli

Obtuvo su grado de Ingeniero Civil y Ambiental por la Universidad Politecnica di Bari, Italia en 2013. Actualmente es estudiante del programa de doctorado «Risk and environmental, territorial and building development» en la misma universidad. Como estudiante de doctorado realizó una estancia en la Universidad de Almería

para formar parte temporalmente del equipo de investigación del proyecto del Plan Estatal de Investigación AGL2014-56017-R. Sus Áreas de interés están relacionado con análisis basado en objetos (OBIA) de imágenes de satélites de alta resolución (segmentación y clasificación), orientación y ortorectificación de imágenes digitales. Es autor de publicaciones internacionales JCR (Science Citation Index) principalmente en la categoría de Remote Sensing.

Fernando José Aguilar Torres

Obtuvo su grado de Doctor Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Córdoba en 1997. Actualmente es Catedrático de la Universidad de Almería en el Departamento de Ingeniería (perfil Ingeniería Geomática y Diseño Asistido por Ordenador). Cuenta con un total de 49 publicaciones científicas en revistas con índice de calidad relativo, 41 de las cuales se recogen en el Journal Citation Reports del «Science Citation Index», con un total de más de 1100 citas en Google Scholar. Ha obtenido numerosos menciones por la calidad de contribuciones a congresos internacionales, en los que ha presentado más de 100 comunicaciones. La internacionalización de su actividad científica ha supuesto la actuación como revisor habitual de hasta 15 revistas internacionales JCR (SCI), además de la pertenencia a varios comités científicos internacionales y la colaboración, como evaluador externo, de la Italian Research and University Evaluation Agency para los periodos 2004-2010 y 2011-2014 (Evaluation of Research Quality VQR 2004-2010 y VQR 2011-2014). Por último, ha sido investigador responsable y ha participado en varios proyectos obtenidos en convocatorias públicas competitivas a nivel nacional e internacional, así como ha participado en numerosos contratos de investigación de transferencia de conocimiento al sector empresarial.

Małgorzata Betlej

Recibió su grado de Ingeniera en Geodesia y Cartografía con especialización en Geoinformática, Fotogrametría y Teledetección por la Universidad de Ciencia y Tecnología AGH en Cracovia, Polonia, en el año 2015. Hizo una práctica en la Universidad de Almería participando en el proyecto «Identificación basada en objetos de cultivos hortícolas bajo invernadero a partir de estéreo imágenes del satélite worldview-3 y series temporales de Landsat 8». Sus áreas de interés están relacionadas con los sistemas de información geográfica y análisis de imágenes de satélites.

Piotr Cichoń

Obtuvo su grado de Ingeniería Civil por la Universidad de Ciecias y Tecnologías AGH en Cracovia (Polonia), en el año 2015. Hizo una práctica en la Universidad de Almería participando en el proyecto «Identificación basada en objetos de cultivos hortícolas bajo invernadero a partir de estéreo imágenes del satélite worldview-3 y series temporales de Landsat 8». Sus áreas de interés están relacionadas con la expresión gráfica y procesamiento de escaneos 3D de escáner láser.