

**Proyecto PALMERA:  
Teledetección de cultivos de palmera datilera en Souss Massa Drâa (Marruecos)**

Manuel Arbelo <sup>1</sup>  
Mauricio Labrador-García <sup>2</sup>  
Alfonso Alonso-Benito <sup>1</sup>  
Pedro A. Hernández Leal <sup>1</sup>  
Soufiane Idbraim <sup>3</sup>  
José A. Guerra García <sup>2</sup>  
Moulid Oudra <sup>3</sup>  
Driss Mammass <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA), Universidad de La Laguna  
38206 La Laguna, Islas Canarias, España  
{marbelo, aaloben, pealhdez}@ull.es

<sup>2</sup> Gestión del Medio Rural de Canarias (GMR Canarias)  
38110 Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias, España  
{mauriciolg, joseagg}@gmrcanarias.com

<sup>3</sup> Laboratoire Image et Reconnaissance de Formes – Systèmes Intelligents et Communicants  
(IRF – SIC), Université Ibn Zohr  
80000 Agadir, Marruecos  
{s.idbraim, moudra, mammass}@uiz.ac.ma

**Resumen.** Los cultivos de palmera datilera forman parte del agro-ecosistema más importante de la región Souss Massa Drâa, (Sur de Marruecos). Sin embargo, el desarrollo actual de la zona, con un aumento de la movilidad interregional de semillas y plantas, favorece el riesgo de propagación de plagas y enfermedades potencialmente letales para las palmeras, por lo que un seguimiento de estas plantaciones resulta fundamental. El proyecto de cooperación PALMERA, entre Canarias (España) y Souss Massa-Draa (Marruecos), tiene por objeto cartografiar estas palmeras y detectar posibles enfermedades por medio de imágenes de satélite. En este primer trabajo, se utilizó una imagen WorldView-2 adquirida el 13 de abril de 2012 del Palmeral Mezguita. La imagen se corrigió del efecto de la atmósfera y posteriormente se clasificó. Se aplicaron dos algoritmos: clasificación de mínima distancia y una clasificación contextual basada en el algoritmo de modo iterativo condicional. Se consideraron siete clases (palmeras, sombras, cultivos herbáceos, tierras cultivables, caminos, suelo desnudo y agua). Con objeto de extraer correctamente las áreas de entrenamiento y validación, se utilizó una imagen multiespectral fusionada de 0,50 m/píxel. Según los datos de referencia, la exactitud de usuario de la clase palmera fue del 67% para el algoritmo de mínima distancia y superior al 82% para el método contextual. Los dos clasificadores sobrestiman la clase palmeras. La principal razón podría ser que las palmeras y los cultivos herbáceos no pueden ser diferenciados espectralmente en todos los casos, debido a la resolución espacial y a la variabilidad espectral intrínseca de cada palmera.

**Palabras clave:** Palmera datilera, cartografiado, WorldView-2, Marruecos.

## **1. Introducción**

La palmera datilera (*Phoenix dactylifera*) es una especie que caracteriza a los ecosistemas agrícolas de Marruecos, no sólo por su valor natural y paisajístico, sino también porque, a lo largo de cientos de años, ha permitido crear un entorno favorable que el hombre ha utilizado para cultivar, aprovechando el microclima y la protección que ofrece en un ambiente tan árido.

El proceso actual de desarrollo de las provincias de la región de Souss Massa Draa, al sur de Marruecos, está aumentando la movilidad interregional de personas y materiales (incluidas especies vegetales). Esto provoca un aumento del riesgo de propagación de plagas y enfermedades potencialmente letales para estas palmeras, por lo que un seguimiento y control fitosanitario de esta especie se hace imprescindible dada su importancia socio-económica.

En el contexto del proyecto de cooperación transfronteriza PALMERA, entre las Islas Canarias y Marruecos, se pretende hacer un seguimiento intensivo de algunas plantaciones de palmera datilera en las provincias de Agadir, Ouarzazate y Zagora. Para ello se hará uso de la teledetección desde satélites y los sistemas de información geográfica.

Uno de los objetivos de este proyecto es el cartografiado de palmeras en áreas piloto y la detección de posibles enfermedades por medio de imágenes de satélite de muy alta resolución espacial y medidas de campo. En noviembre de 2012 se ha planificado la primera campaña experimental para la caracterización de diferentes parcelas de estudio (válidas para el proceso de clasificación y validación) por medio de georeferenciación y medidas de firmas espectrales de ejemplares sanos y otros con diferentes grados de afección. Así mismo, se evaluarán y aplicarán diferentes técnicas de clasificación (basadas en píxeles y objetos) para el cartografiado, y se analizarán diferentes índices de vegetación para la detección de posibles síntomas.

En el presente trabajo sólo se estudia el potencial de las imágenes de satélite de muy alta resolución espacial para el cartografiado de un palmeral, mientras que el resto de actividades se encuentran en proceso de desarrollo. En primer lugar se describirán las principales características de la zona de estudio y los datos de satélites utilizados. En la siguiente sección se plantean los métodos de clasificación utilizados. Finalmente, se comentan los resultados preliminares así como las primeras conclusiones generales del estudio.

## **2. Zona de estudio y datos**

### **2.1 Palmeral de Mezquita**

El área de estudio se corresponde con una parte del Palmeral de Mezquita, en el valle del río Drâa, Marruecos (Figura 1). Tiene una extensión de 44 km<sup>2</sup>. La altitud media es de 900 m sobre el nivel del mar. La zona se caracteriza por el predominio de la pequeña propiedad. Alrededor del 86% de las explotaciones tienen una superficie de menos de 2 ha y sólo el 5,3% tienen una superficie superior a 5 ha. En esta zona tan parcelada, las palmeras datileras coexisten con otros cultivos en tres niveles de vegetación: palmeras, árboles frutales y cultivos bajos. Estos últimos suelen ser cereales, legumbres, forrajes y hortalizas (Keddal, 2006).

### **2.2 Imagen WorldView-2**

Se dispuso de una imagen del satélite WorldView-2 (WV2) de 9 x 4,9 km del Palmeral de Mezquita (Figura 1), adquirida el 13 de abril de 2012 a las 11:39 UTM. La captura se realizó con un ángulo de elevación del satélite de 83,2°. La imagen se suministró a la resolución

espacial nominal de 0,50 m/píxel y 2 m/píxel para las bandas pancromática y multiespectrales respectivamente. El rango espectral de cada banda Worldview-2 se muestra en la Figura 2.

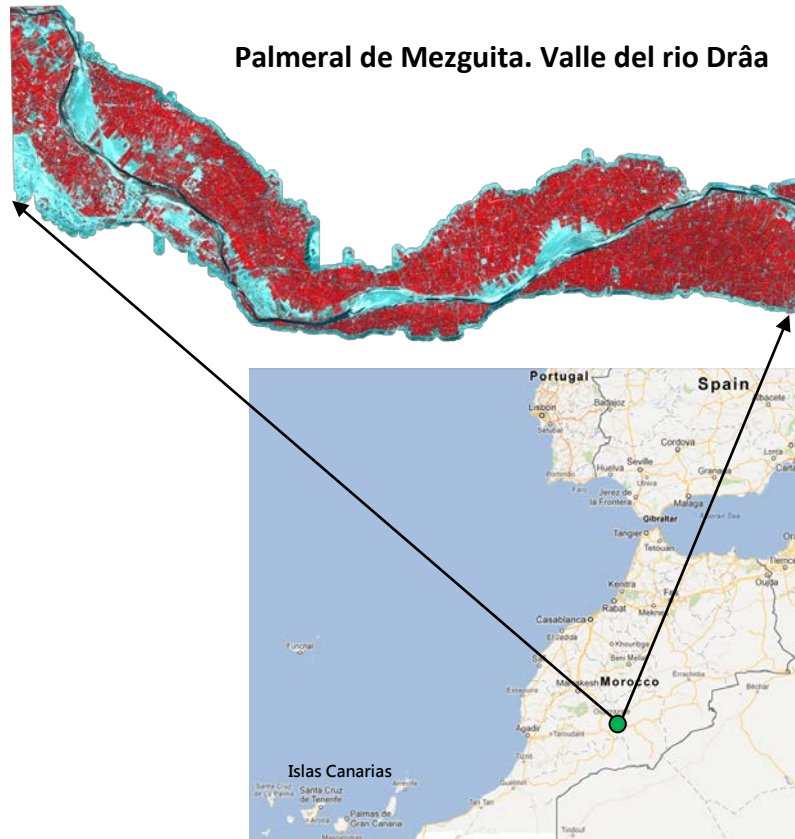


Figura 1. Localización del área de estudio en Marruecos (circulo verde) y composición en falso color de la imagen WV2 utilizada.

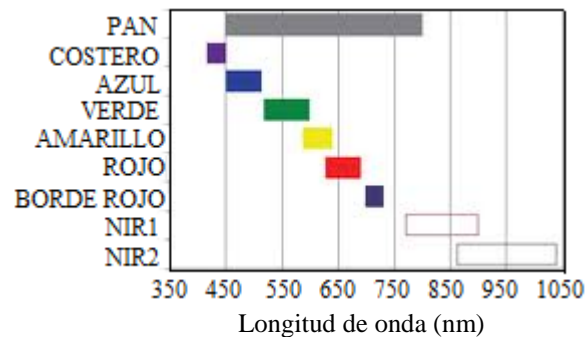


Figura 2. Bandas espectrales del sensor WorldView-2. (Adaptada de Digital Globe, 2010).

### 3. Metodología

Se aplicaron dos algoritmos para el cartografiado del área de estudio, clasificación de mínima distancia (CMD) y una clasificación contextual utilizando el modo iterativo condicional (MIC). El MIC ya se ha aplicado con éxito en el contexto de la teledetección (Solberg, 1996; Mohn, 1987; Hubert-Moy, 2001; Idbraim et al, 2009).

La imagen WV2 original se convirtió a valores de radiancia espectral en lo alto de la atmósfera utilizando el procedimiento descrito por Updike y Comps, (2010). La resultante fue corregida atmosféricamente para obtener reflectancias de superficie por medio de FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) (Matthew, 2000).

Para la selección de las mejores zonas de prueba (entrenamiento y validación) y debido a la dificultad de definir las en la imagen multispectral (2 m/píxel), las siete clases consideradas (palmeras, sombras, cultivos herbáceos, tierras de cultivo, caminos, suelo desnudo y agua) se identificaron mediante interpretación visual en una imagen fusionada (0,5 m/píxel). Esta imagen fue creada por medio del método de Gram-Schmidt, empleando para el proceso la imagen pancromática y las bandas multispectrales.

El área de interés cubre sólo el cinturón agrícola entorno al curso del río, por lo que se aplicó una máscara para eliminar las áreas no agrícolas, reduciendo el número de píxeles originales de 11.860.310 a 3.597.515 (aproximadamente 14,4 km<sup>2</sup>).

#### 3.1 Clasificación de mínima distancia

El CMD es un algoritmo ampliamente utilizado en estudios de teledetección y eficiente computacionalmente. Utiliza vectores media de cada área de entrenamiento y calcula la distancia euclidiana de cada píxel desconocido al vector media de cada clase. En este estudio, se utilizaron un total de 1.235 píxeles para zonas de entrenamiento y 1.171 como datos de validación.

#### 3.2 Clasificación contextual

En las clasificaciones de la cubierta terrestre, los píxeles vecinos tienen más probabilidades de provenir de la misma clase que de diferentes clases. Esta propiedad implica que la misma clase es más probable que ocurra en regiones conectadas que en píxeles aislados. El modelado del mecanismo de formación de las regiones de una imagen a través de un proceso contextual Markoviano hace que sea posible restringir esta dependencia a los píxeles vecinos. De esta forma, además de los valores espectrales para cada píxel, también se evalúa la información de los píxeles vecinos. En este sentido, se aplicó un nuevo algoritmo de clasificación basado en el modelo de regiones de Markov utilizando un MIC (Idbraim et al., 2009). El mismo conjunto de datos de referencia usado para validación en el caso del algoritmo CMD fue usado con esta metodología.

Se evaluó la exactitud de ambos clasificadores prestando especial atención a los resultados de la clase *palmeras*, ya que su detección es uno de los principales objetivos de este trabajo.

### 4. Resultados y discusión

Para el algoritmo de mínima distancia, el 67,4% de los píxeles clasificados como palmeras corresponden a esa clase de acuerdo con los datos de validación. En el caso del algoritmo contextual la exactitud se incrementa hasta el 82,5%. Sin embargo, esta clase, la palmera datilera, fue sobrestimada en ambos casos. Una interpretación visual de las imágenes clasificadas (Figura 3) muestra este resultado. También se observa como las palmeras y los cultivos herbáceos pueden ser distinguidos espectralmente en cierta medida, pero las

diferencias no parecen ser lo suficientemente claras como para realizar una clasificación precisa de ambas clases. La resolución espacial de la imagen multiespectral genera una gran cantidad de píxeles mixtos en los bordes de las palmeras, por lo que, en muchos casos, la resolución parece ser demasiado baja para identificar eficientemente los límites entre palmeras y cultivos herbáceos.

Resulta interesante destacar que la clase *sombras* puede ser discriminada perfectamente del resto de las clases. Eso significa que las sombras proyectadas por las palmeras podrían utilizarse en un análisis orientado a objetos para discriminar estos árboles de cultivos herbáceos. El agua, como era de esperar, fue clasificada perfectamente, con 100% de exactitud. El resto de clases (tierras de cultivo, caminos y suelo desnudo) mostraron cierta mezcla entre ellos, pero no se encontró confusión alguna con la clase de interés, las palmeras.

En las imágenes clasificadas (Figura 3) se contabilizan 1.005.456 y 1.305.851 píxeles como palmeras para la CMD y la contextual respectivamente, lo que equivale a superficies de 402,18 y 522,34 hectáreas. Considerando un diámetro de copa promedio de la palmera datilera de 8 m, el número de ejemplares en el área de estudio varía entre 20.000 y 26.000, dependiendo del algoritmo de clasificación aplicado. Sin embargo, esta cuenta sólo se puede considerar como un dato preliminar, resultando imprescindible un intenso trabajo de campo para recoger datos sobre el terreno y mejorar los procesos de clasificación. Entre el 1 y 3 de noviembre de 2012 se realizará la primera campaña experimental en la zona de estudio. No se disponen resultados de la misma en el momento de redacción de este trabajo.

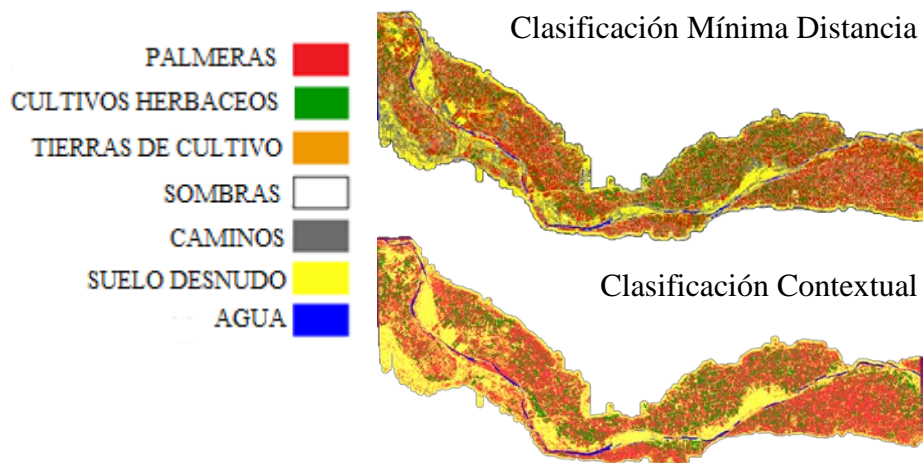


Figura 3. Mapas de clasificación y clases definidas.

## 5. Conclusiones

Se ha analizado el potencial de las bandas multiespectrales del WorldView-2 para el cartografiado de palmeras datileras en el Palmeral de Mezquita (Marruecos). Se aplicaron dos algoritmos de clasificación basados en píxeles. El mejor resultado, con un 82% de exactitud del usuario, se logró mediante la clasificación contextual. La clase *palmeras* fue sobrestimada por los dos clasificadores. Palmeras y cultivos herbáceos no se pueden distinguir espectralmente en muchos casos.

De acuerdo con la experiencia adquirida, la resolución espacial de la imagen multiespectral parece ser demasiado baja como para poder identificar eficientemente los

límites entre palmeras y cultivos herbáceos, así que una buena opción para resolver este problema podría ser trabajar con imágenes fusionadas a 0,5 m/pixel.

Antes de extraer conclusiones definitivas, resulta esencial una caracterización in situ de las áreas de entrenamiento y validación para llevar a cabo una clasificación más precisa y una mejor evaluación de los resultados.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto PALMERA incluido en el Programa POCTEFEX 2008-2013 y financiado con Fondos FEDER.

### **Referencias**

Solberg, A. H. S., Taxt, T., Jain, A. K. 1996. A Markov random field model for classification of multisource satellite imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 34, pp. 100-113.

Digital Globe, 2010, The benefits of the 8 spectral bands of WorldView2, White Paper, London.  
[http://worldview2.digitalglobe.com/docs/WorldView-2\\_8-Band\\_Applications\\_Whitepaper.pdf](http://worldview2.digitalglobe.com/docs/WorldView-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf) (acceso 5 Octubre 2012).

Mohn, E., Hjort, N. L., Storvik, G. O. 1987. A simulation study of some contextual classification methods for remotely sensed data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 25, n. 6, pp. 796-804.

Keddal, H., 2006. National study on date palm irrigation and associated crops in the Kingdom of Morocco, Food & Agriculture Organisation.

Hubert-Moy, L., Cotonnec, A., L., Chardin, Le Du A., Pérez, P. 2001. A comparison of parametric classification procedures of remotely sensed data applied on different landscape units, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 75, n. 2, pp 174-187.

Matthew, M. W., S. M. Adler-Golden, A. Berk, S. C. Richtsmeier, R. Y. Levine, L. S. Bernstein, P. K. Acharya, G. P. Anderson, G. W. Felde, M. P. Hoke, A. Ratkowski, H.-H. Burke, R. D. Kaiser and D. P. Miller, 2000. Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm. In: *SPIE Proceedings, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral and Ultraspectral Imagery VI*. Vol. 4049, pp. 199-207.

Idbraim, S., Ducrot, D., Mammass, D., Aboutajdine, D. 2009. An unsupervised classification using a novel ICM method with constraints for land cover mapping from remote sensing imagery, *International Review on Computers and Software*, Vol.04, n. 2, p.p. 165-176.

Udike, T. and Comp, C., 2010. Radiometric Use of WorldView-2 Imagery, Technical Note, Revision 1, Longmont, Colorado, USA.