

Mejoras metodológicas en la estimación por teledetección de la superficie en regadío en la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Irene C. Montero Sánchez⁽¹⁾, Antonio J. Rodríguez Pérez⁽¹⁾, Víctor Cifuentes⁽²⁾, Juan C. Martos Raya⁽¹⁾, Francisco Molina Ortiz⁽¹⁾, José A. Rodríguez Álvarez⁽¹⁾, Nicolás Oyonarte Gutiérrez⁽¹⁾, Antonio Muñoz Rastrero⁽¹⁾

⁽¹⁾ Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero, c/Bergantín 39, 41013 Sevilla

⁽²⁾ Oficina de Planificación Hidrológica-Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Plaza de España, Sector II, 41071 Sevilla

Resumen

La determinación de las necesidades reales de riego es vital para la administración de los recursos naturales. En este marco se propone una metodología que integra la utilización de imágenes Landsat5 TM con información temporal y espacial de los herbáceos de regadío en la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir con el objetivo de mejorar la estimación de superficies regadas. Para ello, una vez calibradas a reflectancia, las imágenes fueron normalizadas según el método de "píxeles seudo invariantes" y clasificadas con un clasificador de Máxima Verosimilitud (*Maximum Likelihood*) con parcelas patrón obtenidas a partir del parcelario catastral de herbáceos de regadío. El parcelario catastral se obtuvo a partir de las declaraciones hechas por los agricultores para las ayudas P.A.C. y Agroambiental administradas por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Las clasificaciones de las imágenes se cotejaron con el parcelario previamente seleccionado en Andalucía: de la superficie clasificada como regada en la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir durante el mes de agosto del 2004, un 82% correspondió a cultivos declarados y validados dentro del sistema P.A.C. como herbáceos de regadío. Aproximadamente un 18% de la superficie clasificada como regada corresponde a cultivos sin referencia o asignación alguna a sistemas declarativos.

1. Introducción

El uso de la teledetección para la localización de cultivos de regadío es una de las aplicaciones más útiles y directas de esta tecnología. Para este trabajo se utilizó el sensor TM a bordo del satélite Landsat 5 (L5TM) que reúne las características adecuadas para este proyecto. Las imágenes L5TM fueron adquiridas entre el 16 y el 25 de agosto del año 2004 cuando los píxeles fotosintéticamente activos corresponden a cultivos irrigados.

Estas imágenes se utilizaron para determinar la extensión y localización de cultivos herbáceos irrigados dentro de la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). La CHG gestiona aguas en unidades hidrogeológicas en las cuencas de los ríos Guadalquivir, Guadalete y Barbate en Andalucía y regiones de Extremadura, Castilla-La Mancha y Murcia (Fig.1).



Figura 1: Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (en gris) mostrando los límites internos de los sistemas de explotación en los que se divide.

2. Metodología

2.1. Procesamiento imágenes Landsat

Las imágenes fueron georeferenciadas a la proyección UTM zona 30 Norte, datum Europeo ED50. Para la conversión a reflectancia se usaron los coeficientes de calibración del instrumento Thematic Mapper del satélite Landsat 5 [1].

Las imágenes se normalizaron a la primera imagen adquirida el 16 de agosto. El método de normalización [2] se sirve de análisis de componentes principales (PCA) para encontrar píxeles que muestran poca o nula variabilidad entre

imágenes tomadas en días distintos. El análisis estadístico de estos píxeles permite obtener coeficientes de regresión con los cuales normalizar todas las imágenes a un estándar común.

Previo a la clasificación supervisada de las imágenes de reflectancia normalizadas se constituyó un mosaico que excluye zonas fuera del límite del área gestionado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. A partir del mosaico se calculó el índice de estrés hídrico (MI) [3,4] y el de NDVI [5]. El MI resalta aquellos píxeles donde plantas o suelos sufren condiciones de sequía o estrés. Este índice se basa en la pronunciada absorción causada por el agua en la región espectral de la banda 5 de L5TM de tal forma que píxeles con un bajo MI indican materia vegetal con un alto contenido de agua.

Una vez calculados estos índices se creó una sola *seudo-imagen* compuesta por las bandas de reflectancia verde, roja, infrarroja cercana e infrarrojo medio, el MI y el NDVI.

De la *seudo-imagen* se enmascararon zonas no cultivadas (ciudades y polígonos industriales, embalses y zonas húmedas, minas y vertederos, matorrales, eucaliptales y zonas de arboledas silvestres) y parcelas de cultivos leñosos (tales como olivares, frutales y choperas) en 32 subsectores para facilitar el proceso de clasificación. A los subsectores se les aplicó puntualmente máscaras adicionales de arboledas y zonas de pendiente acusada extraídas de ortofotografía digital de Andalucía.

2.2. Selección de parcelas patrón

Para llevar a cabo la clasificación supervisada se seleccionaron parcelas patrón a partir de las declaraciones de los agricultores para las ayudas P.A.C. (Política Agraria Común) y el Catastro de Riqueza Rústica de Andalucía. Se seleccionaron parcelas de entrenamiento allí donde se declaró un solo tipo de herbáceo de regadío durante el período 2003-2004, donde la relación entre la superficie de cultivo validada por la Consejería de Agricultura y Pesca y el área catastral fuera superior al 98% y en donde la superficie de cultivo validada fuera mayor a una hectárea.

El análisis espectral de los píxeles dentro de parcelas de entrenamiento de arroz, algodón y maíz (cultivos con la mayor probabilidad de ser regados en agosto) resultó en la selección de parcelas patrón definitivas. En líneas generales, la señal espectral de cultivos herbáceos de regadío se caracteriza por tener un alto NDVI y un bajo MI. También se seleccionaron parcelas patrón de girasol, remolacha y sorgo, así como zonas de secano, tierra desnuda y matorrales de río. Los cultivos hortícolas no fueron

incluidos en las parcelas patrón por no poseer información referenciada, aunque en los resultados finales de superficie estén incluidos en el caso de presentar actividad fotosintética.

2.3. Clasificación supervisada

Durante la clasificación supervisada de las imágenes L5TM se usó la Clasificación de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood) [4] con parcelas patrón. La clasificación produjo dos grupos de imágenes clasificadas con probabilidades mayores a 70% y 90%, respectivamente. Las imágenes de zonas clasificadas con probabilidad mayor al 90% como herbáceos de regadío se dividieron por Sistema de Explotación dentro de la comunidad de Andalucía.

3. Análisis de regiones clasificadas dentro de Andalucía

Es muy importante resaltar que los resultados hacen referencia al mes de agosto, fecha de la adquisición de las imágenes que han servido de base para el análisis y la estimación de la superficie de los herbáceos en riego dentro de los límites gestionados por la Confederación. Asimismo es importante recordar que cualquier cultivo herbáceo (incluidos los cultivos hortícolas) que aparezca con vigor fotosintético en agosto está necesariamente regado ya que no es posible mantener esa condición sin agua. Partiendo de este precepto, es fácil comprender que las imágenes de agosto son más fáciles de analizar porque los resultados generan menos confusión con otras clases.

Estos resultados se refieren a superficie regada o en riego sin especificar el tipo de cultivo ya que no se ha completado ningún trabajo de campo que permita calibrar el tipo de señal espectral de cada tipo de cultivo herbáceo de agosto. Como consecuencia, no podemos hacer aseveraciones con respecto que tipo de cultivo ha sido detectado como irrigado mas allá de aquellas generales derivadas del calendario de cultivo en Andalucía.

Dentro de cada sistema de explotación se ha analizado el calendario de cultivos con previo conocimiento del laboreo predominante para establecer qué cultivos tienen una alta probabilidad de haber sido regados durante las tres últimas semanas de agosto del 2004. Para estas fechas los principales cultivos que muestran un alto vigor vegetativo son algodón, arroz y maíz. El cultivo del maíz presenta peculiaridades con respecto a su calendario de cultivo ya que, como así lo hemos podido comprobar, puede estar todavía *verde* (zona oriental de Andalucía) o bien en recesión o

agostamiento, (zona occidental de Andalucía). Además, la existencia de maíz de segunda cosecha y las diferencias en laboreo de maíz forrajero se manifiestan en diferencias en desarrollo vegetativo incluso dentro de parcelas con un solo tipo de cultivo. Dependiendo de la zona climática, otros cultivos considerados "verdes" durante las últimas tres semanas de agosto del 2004 son los cultivos de hortalizas al aire libre, alfalfa, espárragos, sorgo, tomate y tubérculos, entre otros. La localización de hortalizas al aire libre depende del tipo de cultivo y su extensión. Cultivos de hortalizas no son siempre considerados para ayudas P.A.C. por lo tanto el agricultor no está siempre obligado a declararlos.

Los resultados se cotejaron con las parcelas declaradas con cultivos en el sistema P.A.C. y Agroambiental (para cultivos de arroz, principalmente). Dentro de la Comunidad de Andalucía se clasificaron como regadas en agosto 152.934 Has (90% de probabilidad). La superposición del parcelario sobre la superficie clasificada arroja que 130.038 Has. son adjudicables a parcelas P.A.C. o Agroambiental (agrupadas desde este momento como PAC). De esta superficie dentro de parcelas PAC una superficie de 126.465 Has. corresponden a cultivos declarados y validados que por su tipo y laboreo tienen altas probabilidades de estar verdes durante el período de cobertura de las imágenes de satélite. Esto implica que el 82% de la superficie clasificada corresponde a cultivos de herbáceos de agosto validados, lo cual demuestra la efectividad de este método para localizar y comprobar cultivos de regadío. Un 18% de la superficie clasificada como regada, ó 26.465 Has., se atribuyen a otros aprovechamientos que por su tamaño, ó tipo no han sido declarados ante la Consejería de Agricultura y Pesca y que merecen una mayor atención.

La muestra en la figura 2 ejemplifica el tipo de análisis realizado. La parcela resaltada en gris oscuro ocupa una superficie de 1.590,77 Has. Para el año 2004 el dueño de esta parcela ha declarado que tiene cultivos de algodón, maíz, girasol, maíz, remolacha y trigo duro en 1325.18 Has. y que ha retirado 174.93 Has. Sin embargo, sin conocimientos de donde y cuando se ha sembrado solo se puede deducir que en algún sitio dentro de la parcela hay cultivos de arroz, algodón y maíz con altas probabilidades de haber sido regados en Agosto del 2004. En esta parcela, el agricultor declaró en el 2004 574,42 Has. de cultivos de arroz, algodón y maíz. Esta cifra se aproxima a las 569.72 Has. clasificadas como regadas por teledetección. La diferencia en este caso puede ser atribuible a cierto nivel de error en la clasificación u otros tipos de

aprovechamientos tales como pequeñas parcelas de hortalizas que por no estar subscritas a algún sistema de declaración no se declaran (pero sí se riegan). La superficie regada atribuible a otros aprovechamientos sobre los cuales no se tenía previo conocimiento representan usos de agua desconocidos hasta ahora. Estos son significativos en zonas caracterizadas por abundantes pequeñas parcelas de hortalizas que reciben irrigación directa de ríos.



Figura 2: Muestra de zona clasificada como irrigada (en negro) dentro de parcela del sistema PAC. En el 2004 el agricultor declaró cultivos de arroz, maíz, trigo duro, girasol, algodón, remolacha y una superficie retirada voluntariamente. El total de la superficie validada como cultivada para efectos de ayudas P.A.C. es 1.325.18 Has., el área catastral es 1590,77 Has. y el área clasificada como irrigada es 569,72 Has.

4. Conclusiones

El cálculo de necesidades reales de riego requiere un análisis exhaustivo que incluya, entre otros, el uso de técnicas avanzadas de clasificación de imágenes por teledetección e información precisa sobre la distribución de cultivos. Factores agroclimáticos resumidos en el calendario de cultivos deben ser incluidos en el análisis e interpretación de los resultados por teledetección si

se pretende con estos estimar necesidades reales de riego.

5. Referencias

- [1] Chander, G. y Markham, B., "Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2674-2677, 2003.
- [2] Kristof, D. y Ducrot, D., "Integrated method for Long-Term Environmental Change Detection by Remote Sensing." *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology*, 5232, 303-311, 2004.
- [3] Hunt, R. y Rock, B., "Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near- and Middle Infrared Reflectances." *Remote Sensing of the Environment*, 30, 43-54, 1989.
- [4] Sims, D. y Gamon, J., "Estimation of Vegetation Water Content and Photosynthetic Tissue Area from Spectral Reflectance: A comparison of Indices Based on Liquid Water and Chlorophyll Absorption Features." *Remote Sensing of the Environment*, 84, 526-537, 2003.
- [5] Asner, G., "Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance." *Remote Sensing of the Environment*, 64, 234-253, 1998.
- [6] Schowengerdt, R. A., *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, 522 p., 1997.