



Teledetección

para una Agricultura Sostenible en la era del Big Data

EDITORES

Luis Ángel Ruiz Fernández
Javier Estornell Cremades

María González de Audicana Amenábar
Jesús Álvarez Mozos

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Contribución de la teledetección a la revalorización de agroecosistemas de ribera deteriorados en Teruel

Mónica Guillén⁽¹⁾, Rosa Gómez-Báguena⁽¹⁾, Raquel Salvador^(1,2), Pablo Martínez⁽³⁾, Antonio Montealegre^(4,5), M^a Auxiliadora Casterad⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Avda. Montañana 930, 50059-Zaragoza, España.

mguillenc@cita-aragon.es, rgomezba@cita-aragon.es, rsalvadore@cita-aragon.es, acasterad@cita-aragon.es

⁽²⁾Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, España.

⁽³⁾Investigador independiente. pabломartinez92@hotmail.com

⁽⁴⁾Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza, Academia General Militar, Ctra. de Huesca s/n, 50090 Zaragoza, España.

⁽⁵⁾GEOFOREST-IUCA, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España. monteale@unizar.es

Resumen: Una de las grandes problemáticas a las que se enfrenta la provincia de Teruel es la despoblación que conlleva el abandono de la actividad agraria en los regadíos tradicionales de ribera. Para poder llevar a cabo actuaciones encaminadas a recuperar las tierras abandonadas en estos regadíos se necesita información de calidad sobre las parcelas abandonadas y sus características. En este trabajo se muestra el potencial de la teledetección para identificar, caracterizar y cartografiar los regadíos tradicionales de ribera. Mediante técnicas de fotointerpretación y digitalización, empleando ortofotografías del PNOA, así como otras capas de información digital, se ha delimitado el territorio que ocupa dicho regadío. Además, se han identificado las parcelas que no tienen un manejo productivo a partir de un modelo de clasificación supervisada basado en el algoritmo *Support Vector Machine-Radial* y reglas de decisión. También se ha generado una cartografía de alta resolución de los usos del suelo del espacio de ribera y de plantaciones de *Populus* sp. empleando ortofotografías PNOA y datos LiDAR. Los resultados obtenidos demuestran la utilidad y beneficios de la información óptica multispectral (imágenes satelitales y fotografías aéreas) y datos LiDAR (nubes de puntos) para caracterizar estructural y espacialmente los ecosistemas agroforestales de ribera.

Palabras clave: parcelas abandonadas, regadíos de ribera, Sentinel-2, PNOA, LiDAR

Contribution of remote sensing to the revaluation of deteriorated riparian agroecosystems in Teruel

Abstract: One of the major problems facing the province of Teruel is the depopulation caused by the abandonment of agricultural activity in traditional riverside irrigated lands. Quality information on the abandoned plots, and their characteristics, is needed to carry out actions aimed at recovering the abandoned lands in these irrigated areas. This work shows the potential of remote sensing to identify, characterize and map traditional riverside irrigated lands. The boundaries of the territory dedicated to traditional irrigated land have been defined by photointerpretation and digitalization techniques using PNOA orthophotographs, as well as other layers of digital information. In addition, the plots without productive use have been identified from a supervised classification model based on the Support Vector Machine-Radial algorithm and decision rules. High-resolution mapping of the land uses of the riparian space and *Populus* sp. plantations have also been generated using PNOA orthophotographs and LiDAR data. The results obtained demonstrate the usefulness and benefits of multispectral optical information (satellite images and aerial photographs) and LiDAR data (point clouds) to characterize riparian agroforestry ecosystems structurally and spatially.

Keywords: abandoned plots, riverbank irrigation, Sentinel-2, PNOA, LiDAR

1. INTRODUCCIÓN

Los regadíos tradicionales corresponden a zonas regables aledañas a las riberas de los ríos y que presentan una notoria antigüedad, siendo todos ellos previos a las grandes transformaciones de regadíos de la segunda mitad del siglo XX. Las parcelas de estas zonas regables presentan unas características comunes, entre las que se encuentra la gran atomización de la propiedad, que dificulta las

tareas agrícolas mecanizadas, relega estas zonas a cultivos marginales o zonas de huerta. Además, la dispersión de la propiedad y el arraigo familiar dificultan la concentración parcelaria y la modernización de regadío que harían estas zonas más competitivas dentro del mercado agrícola.

La provincia de Teruel sufre una fuerte regresión demográfica, que repercute en un abandono del manejo productivo de parcelas en sus regadíos tradicionales de

ribera, con consecuencias tanto económicas como sociales y medioambientales. Además, la paulatina desaparición del paisaje agrícola y los agroecosistemas de ribera suponen una pérdida de biodiversidad y una percepción visual y social negativa.

La teledetección, junto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y otros datos secundarios, pueden ser de gran utilidad para obtener información actualizada sobre las parcelas abandonadas y sus características y así poder plantear actuaciones frente al deterioro de estos regadíos.

El objetivo de este trabajo es mostrar el potencial de la teledetección para identificar, caracterizar y cartografiar los regadíos tradicionales de ribera y su entorno, generando información actualmente no disponible y que resulta imprescindible en la toma de decisiones para su revalorización. Se presentan 4 casos en los que la teledetección ha contribuido a alcanzar el principal objetivo del proyecto RegATeA, proporcionar alternativas productivas y/o medioambientales al abandono de parcelas de regadío en la ribera turolense que contribuyan a dinamizar la economía local y a poner en valor los agroecosistemas de estas zonas. (<https://regatea.cita-aragon.es/>).

2. DELIMITACIÓN DEL REGADÍO TRADICIONAL DE RIBERA

Para poder llevar a cabo cualquier actuación en el regadío de ribera se debe conocer cuál es exactamente el territorio que ocupa. Esta información, aparentemente obvia, no siempre está disponible en formato digital, ni con la precisión y calidad necesaria. Contar con una buena delimitación digital de los regadíos de ribera era esencial.

Área de estudio: Provincia de Teruel.

Materiales utilizados:

- Imágenes: Ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de 2018 y Vuelo americano (Serie B, años 1956-1957) en algunas zonas como apoyo.
- Datos SIG: Parcelario SIGPAC de 2018, cartografía catastral; capa de hidrología y curvas de nivel BTN25 del Instituto Geográfico Nacional (IGN); capas de regadío de 2004, y 2019 y canales de la Confederación Hidrográfica del Ebro, y capas de regadíos del 2009 al 2015 de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- Software: QGIS.

Técnica empleada: Fotointerpretación y digitalización.

Pasos seguidos:

1. Elección de subcuencas y selección de los cauces con cursos agua naturales permanentes a partir de la capa Hidrología del IGN.
2. Identificación del regadío tradicional mediante interpretación visual de la ortofoto PNOA y el apoyo de las capas SIG.
3. Digitalización del límite del regadío siguiendo el trazado de las acequias y caminos que discurren por la zona limitrofe con apoyo de las curvas de nivel.
4. Generación de una máscara del regadío tradicional de ribera.

Producto obtenido: Máscara (Figura 1) de los regadíos tradicionales de ribera de la provincia de Teruel en formato vectorial (*shapefile*). Información de libre acceso disponible en el repositorio institucional citaREA.

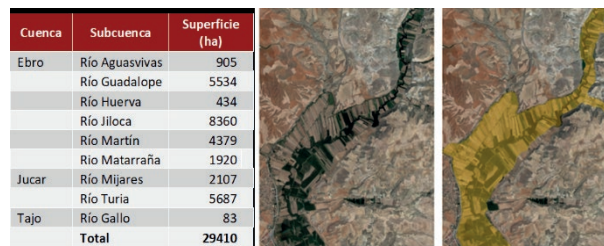


Figura 1. Superficie del Regadío Tradicional de Ribera, y detalle de la máscara generada.

3. IDENTIFICACIÓN DE PARCELAS SIN MANEJO PRODUCTIVO

La propuesta de alternativas productivas y/o medioambientales a las parcelas que actualmente no tienen un manejo productivo, requiere saber cuáles son estas parcelas, dónde se localizan y qué superficie suponen. Esta información se puede conseguir mediante trabajo de campo, sin embargo, sería un proceso muy largo y tedioso dado el gran número de parcelas a visitar (más de 115 000 parcelas catastrales), la amplia extensión de estos regadíos y la dificultad de acceso a algunas de sus zonas. La utilidad de las imágenes de satélite para la identificación de superficies abandonadas se ha puesto de manifiesto en diferentes trabajos (Vidal-Macua, et al., 2018; Morell-Monzó, et al., 2021; Portalés-Juliá, et al., 2021). Por este motivo, se decidió apostar por la teledetección para identificar las parcelas que no presentan un manejo productivo, desarrollando una metodología propia ajustada a las características de este tipo de regadíos tradicionales de ribera.

Área de estudio: Regadíos tradicionales de ribera de Teruel

Materiales utilizados:

- Imágenes: Sentinel-2 de los años 2017, 2018 y 2019 (total de 1089 imágenes de los tiles TXK, TXL, TYL y TYK); ortofotografías del PNOA de 2015 y 2018.
- Datos SIG y bases de datos: Parcelario SIGPAC de 2018 y datos de la Política Agraria Común (PAC) de los años 2017, 2018 y 2019, máscara regadíos tradicionales generada previamente.
- Software: QGIS, RStudio, Google Earth Engine.

Técnica empleada: Machine learning con el algoritmo de clasificación *Support Vector Machine-Radial*.

Procedimiento seguido:

1. Obtención de parcelas de referencia en las riberas de los ríos Guadalope y Martín. Se eligieron aleatoriamente el 5% de los recintos agroforestales (1423 parcelas). Las parcelas declaradas en la PAC de 2018 se consideraron con manejo productivo y el resto de las parcelas sin manejo productivo, previa comprobación por fotointerpretación de las ortofotografías del PNOA 2015 y 2018.

- Creación de un modelo para la clasificación de parcelas con y sin manejo productivo. Se consideraron 60 variables explicativas para la clasificación basadas en Índices de diferencia normalizada de vegetación (NDVI), de Humedad (NDMI), de textura (NDTI) y características texturales generadas utilizando el método de matriz de co-ocurrencia en niveles de grises. Concretamente, valores máximos mensuales y valores anuales de media, máximo, mínimo y desviación estándar para los índices; para cada variable textural la media y desviación estándar anual. De los tres algoritmos de clasificación supervisada ensayados con las parcelas de referencia, *Random Forest*, *Support Vector Machine Polinomial* y *Support Vector Machine Radial*, se consideró mejor este último con un índice Kappa del 75% y exactitud del 88%. Los umbrales aplicados para asignar una parcela a cada categoría se establecieron con las predicciones hechas en las parcelas de referencia: a partir del 3^{er} cuartil de probabilidad para sin manejo y por debajo del 1^{er} cuartil para con manejo. Las parcelas con probabilidades (P) fuera del umbral establecido se dejaron sin asignar en esta fase.
- Cartografía e inventario de parcelas sin manejo productivo en los regadíos tradicionales de ribera. Se aplicó el modelo de clasificación anterior en tres años consecutivos, 2017, 2018 y 2019, para identificar las parcelas sin manejo productivo conforme a la siguiente regla: los 3 años sin manejo productivo, 2 sin manejo y 1 sin asignar, 2 sin manejo y 1 con manejo, 1 sin manejo y 2 sin asignar, 3 años sin asignar con $P > 0,5$ los 3 años y cada año distinto con $P > 0,5$ los 3 años.

Producto obtenido: Inventario digital (formato ASCII) de parcelas de regadío en riberas turolenses “sin manejo productivo identificado”. Dicho inventario proporciona la superficie de cada parcela rústica catastral con manejo productivo, sin manejo productivo y con otros usos si es el caso. Es la información base del software de ayuda a la elección de alternativas desarrollado en el proyecto. Esta información está disponible en acceso libre en el repositorio institucional citaREA. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de información derivada del inventario.

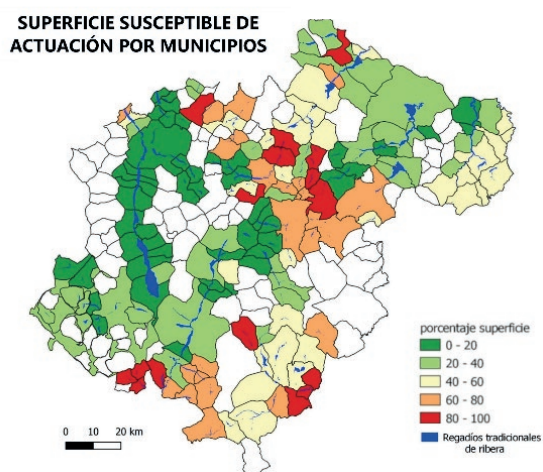


Figura 2. Clasificación de los municipios de las riberas de los ríos de Teruel según la superficie sin manejo productivo.

4. CARTOGRAFÍA DE USOS DE SUELO DEL ESPACIO DE RIBERA

El regadío tradicional está dividido en dos espacios diferenciados: la vega, donde se encuentra el regadío tradicional, y la ribera, donde se localizan los bosques riparios. La caracterización de la ribera es compleja y requiere de intenso trabajo de campo, por lo que se hace necesario desarrollar metodologías más automáticas y eficientes que proporcionen a los gestores de estos ecosistemas una cartografía temática de calidad, imprescindible para cualquier actuación futura en estos espacios.

Área de estudio: Dos zonas de los Regadíos tradicionales de ribera del río Guadalope (1373 ha) en Mas de las Matas y del río Martín (2669 ha) entre Castelnou y Oliete, en Teruel.

Materiales utilizados:

- Imágenes: Ortofotografías PNOA-RGB año 2018.
- Datos SIG: Datos LiDAR-PNOA de 2016 para la zona del río Martín y de 2018 para la del Guadalope.
- Software: ArcMap, QGIS, RStudio, LAStools.

Técnica empleada: *Machine learning* con el algoritmo de clasificación *Random Forest*.

Procedimiento seguido:

- Generación de capas de información. Se obtuvieron índices de vegetación y suelo a partir de PNOA-RGB y de la nube de puntos LiDAR-PNOA, así como modelos digitales de terreno y métricas descriptivas de la distribución de las alturas de los retornos láser (FCC-fracción de cabida cubierta a 1 m, 5 m y superiores a 5 m, y desviación estándar de la altura de retornos) con la nube de puntos LiDAR.
- Creación de un modelo para la clasificación de las diferentes cubiertas. Con todos los datos obtenidos se realizó un proceso de clasificación supervisada con el algoritmo *Random Forest* para identificar agua, bosques de ribera, pastizal-matorral (engloba formaciones herbáceas, matorrales y campos de cultivo con vegetación), sombras y suelo desnudo (Martínez-Ubide, 2020). Se probaron diferentes combinaciones de las variables, analizando su contribución en el modelo. El índice Kappa fue del 98% para la zona del río Guadalope y del 96% para la del río Martín.
- Obtención de la cartografía temática de las riberas. A partir del modelo de clasificación elegido se elaboraron los correspondientes mapas digitales, incluyendo mapas de fracción de cabida cubierta a diferentes alturas: FCC global (1 m), FCC matorral (5 m), FCC arbolada (más de 5 m).

Producto obtenido: Cartografía de cubiertas en dos zonas de ribera de los ríos Martín y Guadalope con las clases: agua, bosques de ribera, pastizal-matorral, sombras y suelo desnudo en formato ráster. La cubierta pastizal-matorral es la más extensa con valores de entre 58-59% en ambas zonas; seguido de suelo desnudo con un 26% en el río Guadalope y un 24% para el río Martín. El bosque de ribera ocupa mayor porcentaje de superficie en el río Martín (17%) que en el río Guadalope (13%). La identificación del bosque de ribera permitirá afinar la delimitación de “riberas estimadas” que actualmente existe y

ayudará a delimitar el territorio que corresponde a la vega y el que es ribera propiamente dicha.

5. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE MASAS DE CHOPO

Gran parte de las riberas estimadas están ocupadas por plantaciones de chopo (*Populus* sp.), algunas de ellas abandonadas. Son una posible alternativa económica, bien para la producción de biomasa o bien para la producción de madera para desarrollo. La cartografía y caracterización de estas plantaciones es una información relevante para su aprovechamiento y conservación.

Área de estudio: 6 plantaciones de chopos en las riberas de los ríos Guadalope y Martín.

Materiales utilizados:

- Datos SIG: Datos LiDAR-PNOA de 2016 para la zona del río Martín y de 2018 para la del Guadalope. Modelo digital de superficies normalizadas (MDSn).
- Software: QGIS.

Técnica empleada: Segmentación con Watershed

Procedimiento seguido:

1. Identificación de cada árbol. Con los modelos digitales de superficies normalizadas (MDSn) se identificaron automáticamente los centroides de las copas arbóreas aplicando el algoritmo de segmentación Watershed (Band, 1986) implementado en QGIS (Martínez-Ubide, 2020).
2. Caracterización estructural de la chopera. A partir de los árboles identificados y conforme a una cuadrícula de 10m × 10m se determinó para cada tesela la densidad de plantación (núm. pies), la altura media en m (Figura 3) y el FCC en porcentaje según adaptación a la clasificación propuesta por Arozena y Molina (2000).

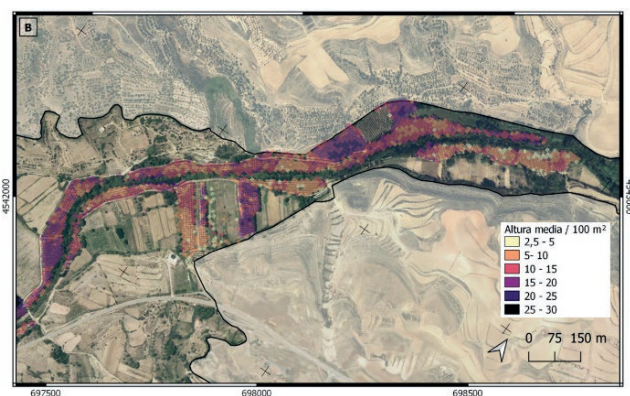


Figura 3. Representación cuadrícula de altura media de los puntos arbolados de plantación 2 río Martín.

Producto obtenido: Cartografía por parcela de la densidad, altura media y FCC. Se han identificado más de 20 000 pies del género *Populus* sp. en las masas seleccionadas. La densidad promedio en las 6 plantaciones fue de 2,22 pies/área, la altura media de 11,16 m y la FCC de 31%.

6. CONCLUSIONES

La presente comunicación muestra la utilidad que la teledetección tiene en la obtención de información actualizada de los regadíos tradicionales de ribera. La metodología aplicada y los resultados obtenidos se han mostrado imprescindibles en el planteamiento y elección de alternativas productivas y/ o medioambientales y son replicables en otros regadíos de ribera.

La experiencia adquirida en los regadíos de ribera de Teruel pone de manifiesto que hay margen de mejora en la calidad de los productos si se ajustan las metodologías propuestas y exploran nuevos servicios de teledetección.

7. AGRADECIMIENTOS

El proyecto FITE-RegATeA ha sido financiado por el Gobierno de Aragón, a través del fondo de inversiones de Teruel (años 2019-2020), con participación del Gobierno de España (Ministerio de Hacienda). Agradecemos la colaboración a RemOT Technologies en el Apartado 3.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Arozena, M.E, Molina, P. 2000. Estructura de la vegetación. En *Metodología y práctica de la Biogeografía*. pp 77-146. Maeza *et al.* (Ed). Ediciones del Serbal, España.
- Band, L.E. 1986. Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 22(1), 15-24.
- Martínez-Ubide, P. 2020. *Estimación y caracterización estructural del bosque de ribera y de las plantaciones de chopo de los ríos Martín y Guadalope mediante datos LiDAR de baja densidad y ortofotografías PNOA*. Trabajo Fin de Máster, Universidad de Zaragoza, España. 65 pp. <http://zaguan.unizar.es>
- Morell-Monzó, S., Sebastián-Frasquet, M.T., Estornell, J. 2021. Land Use Classification of VHR Images for Mapping Small-Sized Abandoned Citrus Plots by Using Spectral and Textural Information. *Remote Sensing*, 13(4), 681.
- Portalés-Julià, E., Campos-Taberner, M., García-Haro, F.J., Gilabert, M.A. 2021. Assessing the Sentinel-2 Capabilities to Identify Abandoned Crops Using Deep Learning. *Agronomy*, 11, 654.
- Vidal-Macua, J.J., Ninyerola, M., Zabala, A., Domingo-Marimon, C., Gonzalez-Guerrero, O., Pons, X. 2018. Environmental and socioeconomic factors of abandonment of rainfed and irrigated crops in northeast Spain. *Applied Geography*, 90, 155-174.