

Estimación de la superficie de *Pinus radiata* D. Don, en la comarca de El Bierzo (León) mediante imágenes de satélite de resolución espacial media.

Aseño Gómez A., Álvarez Taboada F., Rodríguez Pérez J.R. y Fernández Manso AA.

Grupo de Investigación y Planificación Rural (IPR). ESTIA. Universidad de León. Avda. de Astorga, s/n. 24400. Ponferrada. León. dimjrp@unileon.es

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es obtener una metodología para la localización y cuantificación de la superficie de masas de *Pinus radiata* D. Don con imágenes de satélite de resolución espacial media. Para ello se utilizaron dos subescenas tomadas en junio y septiembre de 2000 por los satélites Landsat 5 y Landsat 7 respectivamente. Después del preprocesado se realizó una clasificación supervisada mediante la selección de áreas de entrenamiento a partir de ortofotografía y recorridos de campo. Para la clasificación se aplicaron tres clasificadores diferentes, validándolas posteriormente a través de un muestreo aleatorio estratificado. De esta forma se comprobó que los mejores resultados en la identificación de la especie se obtienen a empleando el algoritmo de máxima probabilidad sobre la imagen de junio, alcanzándose un valor del índice kappa de 0.94. Finalmente se trataron las imágenes clasificadas con un SIG para incorporar variables que mejoran la estimación de la localización de la especie. Los resultados finales han permitido estimar la superficie total de pino radiata en la Comarca de El Bierzo en 2698 ha.

1. Introducción

Las aplicaciones en el ámbito de la producción forestal de la teledetección son numerosas. Se han utilizado imágenes de satélite para detección de cortas forestales [1], delimitación de áreas afectadas por incendios forestales [2], localización y seguimiento de plagas forestales [3], [4], [5]. También existen trabajos centrados exclusivamente en pino radiata en los que se trata de estimar superficies ocupadas por la especie [6], determinación del estado fisiológico de la masa [7] y estimación de volumen de madera [8], entre otros.

En la actualidad no existen datos estadísticos fiables sobre la superficie que ocupan las masas de *Pinus radiata* D. Don en la Comarca de El Bierzo (León). Es importante disponer de estos datos ya que el sector forestal comarcal está experimentando

un gran auge y un constante cambio debido al abandono de actividades agrícolas, envejecimiento de la población, beneficios económicos de la producción de madera de calidad, etc., que ha provocado la aparición de nuevas plantaciones con especies forestales de crecimiento rápido.

En áreas ocupadas por especies como *Pinus radiata*, los cambios se suceden en cortos espacios de tiempo dado que son gestionadas con turnos cortos y cortas a hecho. Por tanto, es fundamental conocer la localización de estas masas y su evolución en el tiempo. El seguimiento de la evolución de estas masas forestales permite, además de cuantificar los cambios acaecidos, conocer sus causas y ayudar a crear nuevos modelos sobre posibles tendencias.

Son pocos los datos disponibles sobre el pino radiata en la comarca. No se cuenta con información fiable ni en las bases de datos estadísticos de la Comunidad Autónoma y su distribución espacial no aparece en los inventarios forestales nacionales; sólo se cuenta con una caracterización dasométrica de las masas. Las únicas estimaciones son las que aparecen en el Manual de Gestión Sostenible, *Pinus radiata* [9], cuantificando la superficie ocupada por esta especie en más de 10000 ha, pero sin aportar información sobre su localización espacial.

Además de la necesidad de estimar la superficie ocupada por este pino, es preciso implementar técnicas para actualizar estos datos mediante métodos sencillos, rápidos y poco costosos, puesto que se están incrementando las plantaciones de forma muy notable.

2. Objetivos

Con estos antecedentes se ha desarrollado un trabajo en el que se plantea como objetivo principal desarrollar una metodología para la localización de la conífera *Pinus radiata* y estimación de la superficie ocupada mediante imágenes de satélite multispectrales de resolución espacial media. De este objetivo principal se derivan otros como la identificación de las cubiertas más próximas

espectralmente al pino radiata, la localización de otras cubiertas forestales y obtener el patrón de extensión de la especie en la comarca.

3. Material y métodos

El trabajo se centró en la Comarca de El Bierzo, territorio situado en la zona occidental de la Provincia de León. Los 37 municipios que pertenecen a la comarca ocupan un total de 2820 km². Estructuralmente es una gran fosa tectónica rodeada por formaciones montañosas que la delimitan de forma natural. Limita al norte con Asturias y la comarca leonesa de Lacia, al noreste con el valle de Babia, a sureste con La Maragatería, al sur con La Cabrera, y al oeste con las provincias de Orense y Lugo.

El material básico para la realización de este trabajo han sido dos subescenas tomadas por los satélites Landsat 5 (TM) y Landsat 7 (ETM+) el 25 de junio de 2000 y 5 de septiembre de 2000, respectivamente. Se dispuso de ortofotografías a escala nominal 1:10000 (0.7x0.7 m de píxel), del Mapa Forestal de España (MFE) y del Modelo Digital del Terreno (25x25 m de píxel).

Como paso previo a la clasificación fue necesario, debido a la metodología utilizada, corregir geoméricamente ambas imágenes. Esto se realizó a partir de puntos de control, remuestreando la imagen mediante el método del vecino más próximo, para minimizar los cambios en los niveles digitales.

Para la clasificación de ambas imágenes se utilizaron métodos supervisados, localizándose las áreas de entrenamiento sobre las ortofotografías y transfiriéndolas por superposición a las imágenes; para la correcta identificación de las cubiertas se realizaron recorridos de campo. La clasificación se realizó empleando tres clasificadores: máxima probabilidad, mínima distancia y distancia de Mahalanobis.

Posteriormente se validaron las clasificaciones utilizando un muestreo aleatorio estratificado. En función del número de categorías, para una probabilidad de 95% y un error máximo de 5%, se estimó el mínimo número de píxeles de muestreo, en este caso 385 puntos de validación. Los puntos se seleccionaron por superposición de las ortofotografías y en función del conocimiento de la zona, evitando siempre que coincidan con zonas de las áreas de entrenamiento. Por ello, se definieron de forma simultánea las áreas de entrenamiento y los píxeles de validación.

Por último se construyó una matriz de error de la que se extrajeron cuatro parámetros para determinar la fiabilidad y validez de la clasificación:

la fiabilidad global, la fiabilidad del usuario, la fiabilidad del productor y el estadístico kappa.

4. Resultados y discusión

Se definió una leyenda compuesta por trece clases entre las que se distinguieron usos agrícolas de secano y regadío, matorral, matorral arbolado, terrenos improductivos, masas adultas de pino radiata, otras coníferas y el resto son otras especies de frondosas.

Después de corregir geoméricamente las imágenes y aplicar los métodos supervisados de clasificación se obtuvieron datos de superficie y localización de cada una de las trece cubiertas diferenciadas. Los resultados son muy dispares para cada algoritmo de clasificación. Mediante el muestreo diseñado se validó cada una observando que los mejores resultados se obtienen para las clasificaciones de la imagen de junio. Los resultados de la validación para cada clasificación son recogidos en la Tabla 1, donde se comprueba que los datos de fiabilidad más elevados se logran usando el clasificador de máxima probabilidad. Los resultados obtenidos para la imagen de junio superan las fiabilidades de las clasificaciones a partir de la imagen de septiembre. De esta forma se llega a fiabilidades altas, con un valor kappa que varía entre 0.61 y 0.81 para la clasificación de todas las coberturas.

Tabla 1. *Validación para las clasificaciones de la imagen de junio.*

Algoritmo	Fiabilidad (%)	Kappa
Máxima Probabilidad	82.71	0.8101
Distancia Mahalanobis	70.92	0.6819
Mínima Distancia	64.62	0.6106

Tabla 2. *Resultados de la validación para los píxeles de P. Radiata.*

Algoritmo	Kappa	Exactitud productor (%)	Exactitud usuario (%)
Máxima Probabilidad	0.9494	75.86	95.65
Distancia Mahalanobis	0.8958	70.11	91.04
Mínima Distancia	0.7050	60.92	74.65

En cuanto a las fiabilidades para las cubiertas de radiata (Tabla 2), se obtienen un valor de kappa muy elevado (0.94) para las masas adultas pero no

pueden identificarse las zonas repobladas recientemente. Estos resultados mejoran notablemente los obtenidos en trabajos anteriores [10].

Para llegar al resultado final de superficie y localización de pino radiata en la comarca se limita la aparición de estas masas a cotas inferiores a 900 m. Se fija este límite por ser la altitud máxima para el desarrollo óptimo de esta especie en la zona de estudio. Así mediante una máscara altitudinal se descartan todos aquellos píxeles que se han clasificado como pino radiata y se encuentran por encima de 900 m.

Además, con objeto de homogeneizar los resultados y eliminar píxeles sueltos mal clasificados, se aplicó un filtro de mayoría en matriz de 3x3.

De esta forma se llega a los resultados de fiabilidad recogidos en la Tabla 3. Los errores de omisión y comisión del radiata se deben fundamentalmente a la confusión con otras coníferas. En cuanto a la identificación de zonas de reciente repoblación, esta se ve muy dificultada por la técnica de plantación utilizada que elimina gran parte de la cobertura vegetal y provoca un alto grado de confusión con las áreas de escasa cobertura vegetal o terreno desnudo.

Tabla 3. Matriz de validación por categorías

Clase	κ	Exactitud Productor (%)	Exactitud Usuario (%)
Agua	1,00	100,00	100,00
C. Regadío	0,66	89,36	68,85
C. Secano	0,88	74,42	88,89
Castaño	0,78	94,12	80,00
Encina	0,83	65,85	84,38
Improductivo	0,86	86,49	86,49
Matorral	0,79	85,45	81,03
Otras coníferas	0,87	96,93	88,66
Pastizal	0,64	86,84	66,00
R. radiata	0,95	75,86	95,65
Repoblado	0,71	61,76	72,41
Roble	0,88	84,21	88,89
V. Ribera	0,80	72,92	81,40

La superficie final para el pino radiata, obtenida mediante cada uno de los clasificadores utilizados, se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Superficie de pino radiata (ha) por clasificadores

	Máx. Pro.	D. Mahalanobis	Mín. Dist.
Área	2698	1371	3711

Mediante el algoritmo de máxima probabilidad se obtienen 2698 ha, cifra de superficie que está por debajo de la real, pues mediante esta técnica no es posible diferenciar masas que no alcanzan el estado de monte bravo, es decir, aquellas que no alcanzan una fracción de cabida cubierta suficientemente elevada para no ser confundidas con otras cubiertas vegetales.

Para identificar las masas de reciente plantación se debe recurrir a análisis multitemporales, modelos de mezclas espectrales o recurrir a imágenes de mayor resolución espacial y/o espectral. De todos modos, en cuanto a gestión silvícola y localización de cortas, el mayor interés se concentra en las masas de pino adultas.

Finalmente, en la Figura 1, se muestra la localización de estas masas en el área de estudio.

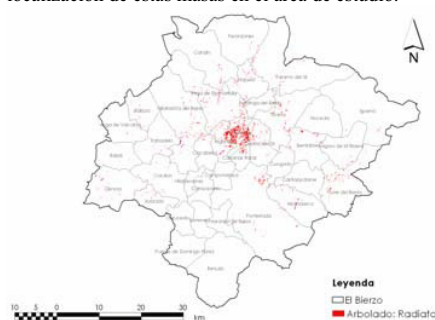


Figura 1: Área clasificadas como Pinus radiata en la Comarca de El Bierzo.

Por tanto las principales áreas de masas de repoblación con *P. radiata* se sitúan en los municipios del centro de la comarca. Entre estos destacan Cubillos del Sil, Sancedo y Arganza. Se ha verificado en campo que este proceso de repoblación con esta especie de crecimiento rápido está afectando a terrenos agrícolas abandonados y empieza a competir con los viñedos.

5. Conclusiones

La gran división de parcelas y diversidad de cubiertas del área de estudio, dificulta la clasificación digital de las masas de *Pinus radiata*. Sin embargo, se ha comprobado que es factible la localización de esta especie mediante imágenes de

satélite de resolución espacial media. Su integración en un Sistema de Información Geográfica junto con la información procedente de otros estudios dasométricos, facilita y mejora la gestión de las masas de pino radiata permitiendo una rápida actualización.

Los mejores resultados para la clasificación de las trece cubiertas ($k=0.81$) se obtienen empleando un algoritmo de máxima probabilidad sobre la imagen de junio de 2000. Las coberturas vegetales presentan una mayor homogeneidad en la imagen de septiembre y es más complicada su correcta diferenciación.

Las cubiertas espectralmente más parecidas a la especie de interés son otras coníferas y en menor medida la encina. La superficie estimada de pino radiata es cercana a las 2700 ha. En esta superficie no se incluyen las zonas de repoblación ni las masas jóvenes puesto que no se localizan con esta resolución.

Estos resultados cobran relevancia actualmente puesto que no existen datos estadísticos sobre la extensión de la especie en la comarca. Hasta que se realice un nuevo inventario de campo, la técnica propuesta ha de servir para localizar las masas adultas y optimizar la planificación del trabajo de campo para localizar estas repoblaciones con precisión.

Como extensiones del trabajo se plantean integrar nuevas variables del medio físico como criterios de clasificación, utilización de técnicas de mezclas espectrales para la identificación de masas jóvenes, avanzar en la estimación de variables dasométricas a partir de imágenes de satélite e integrar los resultados en un SIG para el seguimiento forestal de la comarca del Bierzo.

6. Referencias

- [1] Braceras López, A., De Santiago López De Uralde, M., Escudero Achiaga, J.C., and J. Orcáriz Salazar, J., *Detección de cortas forestales mediante teledetección espacial. Primer master de sistemas de información geográfica de habla hispana*, Centro de estudios ambientales de Vitoria, 1998. [URL: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=573 (acceso 01/11/2004)].
- [2] Quintano Pastor, C. and A. Fernández Manso, A., 2002. *Determination of spectral mixture analysis validity for estimating the burned area using AVHRR data and multitemporal analysis*, IV International Conference on Forest Fire Research. Coimbra, Portugal, 2004.
- [3] Álvarez Taboada, M.F., Lorenzo Cimadevilla, H., Rodríguez Pérez, J.R., Picos Martín, J., and E. Valero Gutiérrez, *Detección de áreas forestales afectadas por el ataque de insectos empleando teledetección y sistemas de información geográfica. Aplicación a las masas de eucalipto afectadas por *Goniterus scutellatus* en Galicia*. Cuadernos de la Sociedad Española de las Ciencias Forestales, 2004.
- [4] Navarro Cerrillo, R. M., Blanco Oyonarte, P. and P. Fernández Rebollo, *Aplicación de las imágenes IRS-WIFS al análisis y evaluación de daños producidos por la procesionaria del pino (*Thaumtopoea pytocampa* Den. & Schiff) en los pinares de Andalucía Oriental*, 2000. [URL: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=124 (acceso 01/11/2004)]
- [5] Wulder, M. and S. Franklin, (Editors), *Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 519p, 2003.
- [6] Wijanarto, A.B., Webster, M.J., and J.E. Osborn, *Remote Sensing of Forests: Estimation Canopy Height and Tree Stocking in Pinus Radiata Plantations*, 39th Australian Surveyors Congress, Launceston, Tasmania, 43-52, 1998
- [7] Held, A., and L.B. David, *Forest monitoring with high spectral/spatial remote sensing tools: case studies*, CSIRO Division of Water Resources, Camberra, Australia, 2004 [URL: <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/forestmo.htm> (acceso 01/11/2004)]
- [8] Wallerman, J., *Remote Sensing Aided Spatial Prediction of Forest Stem Volume*. Doctoral Tesis, Acta Univesitatis Agriculturae Sueciae, Silvestra 201. Swedish University of Agricultural Sciences, Departament of Forest Resource Management and Geomatics, Umeå, Sweden, 2003
- [9] Fernández Manso, A., Castedo Dorado, F., Álvarez Taboada, M.F., Rodríguez Pérez, J.R., Ramírez Cisneros, J., San Román, J.M., Sarmiento Maíllo, L.A. and Y. Cuevas Sierra, *El Pino Radiata (Pinus radiata). Manual de gestión sostenible*, Junta de Castilla y León, Unión Europea, Fundación Biodiversidad, 2004 [URL: <http://www3.unileon.es/personal/wwdiaafh/> (acceso 10/01/2005)].
- [10] Álvarez Taboada, M.F., *Inventariación de masas de Pinus radiata en El Bierzo (León) empleando teledetección con imágenes multiespectrales y clasificadores orientados a objetos*, Trabajo fin de Master Universitario Internacional UNIGIS de Gestión de Sistemas de Información Geográfica, Girona, 2004.