

CARACTERIZACIÓN DE ECOSISTEMAS FORESTALES DE LA SIERRA DEL TELENO (LEÓN) EN UNIDADES DE VEGETACIÓN, EMPLEANDO IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+ Y MDE

L. Álvarez de Prado ¹ y L.A. Ruiz Fernández ²

¹ Universidad de León. Avda. de Portugal 41. 24071-LEÓN (España). Correo electrónico: dimlap@unileon.es

² Universidad Politécnica de Valencia. Camí de Vera s/n. 46022-VALENCIA (España). Correo electrónico: laruiz@cgf.upv.es

Resumen

Los ecosistemas forestales de zonas montañosas son muy abundantes en la provincia de León. Su caracterización en diferentes unidades de vegetación solamente a partir de trabajos de campo y fotointerpretación supone un coste elevado, especialmente en algunas zonas de baja accesibilidad, por lo que el empleo de imágenes de satélite constituye una alternativa eficaz a la tradicional confección de mapas de ocupación forestal. En este trabajo se expone una metodología de clasificación basada en el procesado digital de imágenes de satélite multispectrales. Utilizando imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ se han realizado varias clasificaciones supervisadas para la obtención del mapa de unidades de vegetación. Por otro lado, también se ha utilizado y evaluado información extraída de un modelo digital de elevaciones (MDE), cuantificándose la mejora que supone en las clasificaciones de vegetación espontánea la integración de dichas características del relieve. Asimismo, se han introducido como variables de clasificación otras bandas auxiliares, como índices de vegetación o los resultantes de aplicar ciertos filtros sobre bandas originales de la imagen Landsat. Los resultados están basados en información de referencia obtenida mediante muestreo de campo. La evaluación se ha realizado por separado y conjuntamente (integrando la información multispectral de la imagen con la topográfica que nos ofrecen las características derivadas analíticamente del MDE y con las bandas auxiliares procedentes de índices de vegetación o filtros). El análisis de los resultados muestra cómo la introducción de otras fuentes de información topográficas o espaciales permite mejorar la clasificación obtenida mediante métodos exclusivamente espectrales.

Palabras clave: *Cartografía forestal, Clasificaciones supervisadas, Modelos digitales del terreno*

INTRODUCCIÓN

La determinación de unidades de vegetación en ecosistemas forestales de zonas de montaña de la provincia de León con el simple empleo de trabajos de campo y fotografías aéreas es una tarea por un lado costosa y por otro complicada

debido al difícil acceso de algunas zonas. Frente a estos métodos tradicionales, se presenta como alternativa a bajo coste la utilización de imágenes de satélite, que ofrecen una visión clara y amplia del territorio, así como información espectral y posibilidad de seguimiento en el tiempo.

El objetivo principal de este estudio es la definición de una metodología de clasificación de imágenes de zonas forestales en diferentes unidades de vegetación, basadas en el procesado digital de imágenes Landsat 7 ETM+. Asimismo se estudia la inclusión en las clasificaciones de información extraída del Modelo Digital de Elevaciones, así como índices de vegetación y los resultados de la aplicación de filtros sobre bandas espectrales de la imagen, para cuantificar la mejora que supone la utilización de estas características en la obtención final de mapas de ocupación. Los datos obtenidos en las diferentes clasificaciones se evaluaron con la ayuda de diversos trabajos de campo, incorporando de esta forma las metodologías tradicionales.

ZONA DE ESTUDIO

Para realizar este estudio se ha seleccionado una zona rectangular de 10,5 x 12 km, cuya esquina inferior izquierda queda definida por las coordenadas U.T.M. 719941 m, 4677757 m del huso 29. La altitud de la zona oscila entre los 1.000 y los 1.200 metros.

La Sierra del Teleno se caracteriza por poseer las únicas masas naturales de *Pinus pinaster* de la provincia de León, siendo ésta la especie principal, dada su absoluta superioridad en términos de número de individuos, existencias en volumen y superficies pobladas. Como especies secundarias se encuentran no autóctonos de la comarca como son el *Pinus sylvestris* y el *Pinus nigra*. También mantienen estos montes robledales (*Quercus pyrenaica*) de alguna extensión y amplios brezales.

MATERIAL EMPLEADO

Para la obtención de información espectral se ha empleado como dato de partida una imagen Landsat 7 ETM+, de 30 metros de resolución espacial, correspondiente a la escena 203/031 adquirida el 17 de Junio de 2000 a las 10:59:23.0 GTM. Para la extracción de la información topográfica se ha contado con un Modelo Digital de Elevaciones de 25 m de paso de malla.

Como materiales auxiliares se han utilizado diversas fotografías aéreas en color de la zona de estudio, a escala 1:10.000, realizadas en Septiembre de 2000 por la Junta de Castilla y León. También se han manejado mapas topográficos a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército de Castrocontrigo (hoja nº 230), así como a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional de Tabuyo del Monte (hoja nº 230-II) y de Castrocontrigo (hoja nº 230-IV).

METODOLOGÍA

Tratamientos Previos

Primeramente y antes de efectuar tratamiento alguno sobre la imagen, se realizaron una serie de combinaciones de bandas con objeto de sintetizar o incrementar la información espectral de la misma. Se emplearon fundamentalmente tres combinaciones de bandas; para la identificación de los puntos de control se asignó los colores azul, verde y rojo a las bandas 3-2-1 respectivamente y en la selección de los píxeles pertenecientes a las parcelas de entrenamiento se utilizaron dos combinaciones en falso color.

Seguidamente se procedió a la corrección geométrica de la imagen para su exacta georreferenciación. Para ello se emplearon 57 puntos de control repartidos uniformemente por toda la zona objeto del estudio. Dichos puntos fueron identificados tanto en la imagen como en los mapas topográficos y en las fotografías aéreas (en proyección U.T.M., huso 29). Una vez eliminados los 3 puntos que mayor error proporcionaban y utilizando un polinomio de ajuste de segundo orden, se midió la importancia de los residuales obteniéndose un error medio cuadrático alrededor del medio píxel (RMS: 0.513472). A continuación se optó por el método del vecino más próximo para efectuar la corrección ya que con el se supone una menor transformación de los niveles digitales originales.

El Modelo Digital de Elevaciones empleado se remuestreó a 30 m/píxel para equiparlo a la resolución espacial de la imagen espectral. Partiendo del MDE se obtuvieron dos imágenes de variables topográficas, que se incluirán posteriormente en las clasificaciones como bandas auxiliares. En primer lugar se generó una ima-

gen de “orientación”, en la cual se asigna a cada píxel de la misma, el resultado del cálculo del valor del ángulo entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en un punto (se tomó el plano de ajuste a los ocho vecinos más próximos a cada una de las celdas). La imagen resultante de la aplicación de este algoritmo se puede observar a continuación en la figura 1.

En segundo lugar se generó una imagen de “pendiente”, para la cual se calculó el existente entre el vector normal a la superficie en un punto y la vertical, utilizando un plano de ajuste de tamaño 3x3 en cada celda del MDE. El mapa obtenido se observa en la figura 2.

A continuación se generó otra banda auxiliar consistente en la aplicación de dos filtros de mediana de tamaño 3x3 a la banda 5 de la imagen, estos filtros suavizan la imagen eliminando el posible ruido que existiera. Por último, se obtuvo el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), con objeto de intentar mejorar la discriminación de cubiertas.

Clasificación Supervisada

El proceso de clasificación se llevó a cabo empleando el método supervisado, que parte de un conocimiento previo de la zona de estudio y

permite la selección de áreas representativas para el entrenamiento del clasificador. Teniendo en cuenta las características de la Sierra se definieron las unidades forestales siguientes: BD (Bosque denso compuesto fundamentalmente por *Pinus pinaster* que ocupan más del 75% de la superficie), MD (Matorral denso: sotobosque de brezo con especies arbóreas, similares a las anteriores ocupando pequeñas superficies), RMD (Robledal de mediana densidad, mezclada con vegetación arbustiva), MDR (Matorral denso con robles en pequeñas agrupaciones), MBD (Matorral de baja densidad, junto con vegetación herbácea), V (Vegetación herbácea), R (Zonas rocosas), U (Zonas urbanas), A (Zonas cubiertas de agua) y C (obras de infraestructura).

Para realizar las clasificaciones se tomaron diversas muestras de aprendizaje para el correcto entrenamiento del clasificador. Dicha toma se realizó siguiendo un método de muestreo sistemático estratificado no alineado e identificando con la ayuda de las fotografías aéreas en color y varias visitas de campo una serie de parcelas de entrenamiento que suponen un 2,36 % de la superficie total forestal. Todas las categorías mostraron una alta separabilidad entre clases basada en la distancia de Jeffries-Matusita, siempre por encima de 1.56 (índice reescalado



Figura 1. Mapa de Orientaciones

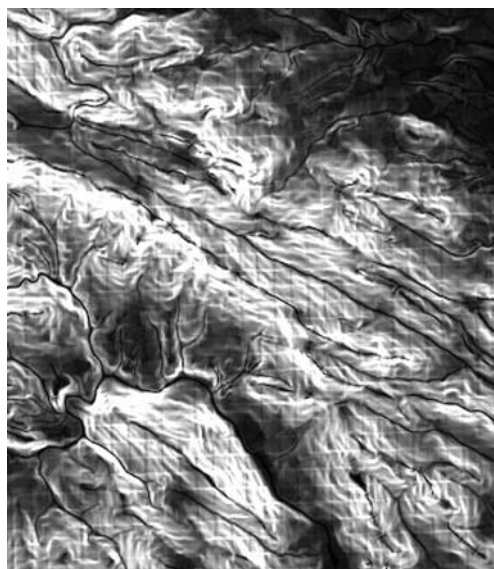


Figura 2. Mapa de Pendientes

hasta un máximo de 2.0). La fase de asignación de píxeles se realizó siguiendo el método del clasificador de máxima probabilidad, aplicación de la teoría bayesiana.

Se realizaron distintas clasificaciones con diferente número de bandas, entre las que se incluyen las 7 bandas de la imagen Landsat 7 ETM+, 2 bandas correspondientes a variables derivadas del MDE (Pendientes y orientaciones), el índice de vegetación normalizado (NDVI) y la banda 5 con filtros de mediana. Todas ellas se detallan en la tabla 1.

Verificación

Una vez realizadas las clasificaciones y con objeto de verificar los resultados se seleccionaron diversas parcelas de verificación para crear una imagen verdad-terreno, siguiendo un método de muestreo sistemático estratificado no alineado. A dichas parcelas se les asignó un verdadero uso del suelo mediante varias visitas de campo y fotointerpretando dos veces las fotografías aéreas.

Posteriormente y mediante la llamada matriz de confusión se realizó una comparación entre los resultados de la clasificación y los de la verificación. Con ella se obtuvieron el número de puntos de verificación coincidentes entre la imagen clasificada y la verdad-terreno, así como los errores de asignación por omisión o por exceso.

Análisis de Resultados

En primera instancia se analizó la fiabilidad global que indica el porcentaje de píxeles correctamente clasificados. En todas las clasificaciones

se han obtenido en general valores elevados, aunque diferentes para las distintas clasificaciones. La clasificación compuesta por las 7 bandas espectrales de la imagen obtiene una fiabilidad global aceptable (85.94%), pero esta se ve modificada por la introducción de bandas auxiliares, aunque solamente la eliminación de la banda térmica reduce la fiabilidad (en torno a un 4.4%).

La introducción de imágenes derivadas del Modelo Digital de Elevaciones eleva la fiabilidad global de la clasificación, tanto si se introducen conjuntamente las dos características de pendientes y orientaciones (87.42%), como si se introducen por separado, aunque en este segundo caso la mejora es menos notable. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) reduce ligeramente (0.37%) la fiabilidad. La generación de una banda consistente en la aplicación de filtros de mediana sobre la banda 5 de la imagen también mejora la fiabilidad llegando hasta el 87.36%. El mejor resultado en cuanto a fiabilidad global se obtiene en la clasificación que se incluyen todas las bandas auxiliares que mejoraban por separado los resultados, es decir, las siete bandas ETM, las imágenes de pendientes y orientaciones y los filtros de mediana, con un 88.79%.

Seguidamente se estudiaron las fiabilidades del productor y usuario para todas y cada una de las categorías, ya que la fiabilidad global puede esconder diferencias entre ellas. En las figuras 3 y 4 se indican las de las clasificaciones más relevantes.

Como se puede observar en ambos gráficos, en general y en casi todas las categorías las mejores fiabilidades, tanto de productor como

	CLAS.1	CLAS.2	CLAS.3	CLAS.4	CLAS.5	CLAS.6	CLAS.7	CLAS.8
ETM 1	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ETM 2	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ETM 3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ETM 4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ETM 5	Si	Si	Si	Si	Si	Si	-	-
ETM 6	Si	-	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ETM 7	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Pendientes	-	-	Si	-	Si	-	-	Si
Orientaciones	-	-	-	Si	Si	-	-	Si
NDVI	-	-	-	-	-	Si	-	-
Filtro med.b5	-	-	-	-	-	-	Si	Si

Tabla 1. Clasificaciones realizadas

de usuario, las ofrece la clasificación conjunta de bandas ETM, pendientes y orientaciones.

La figura 5 representa la imagen clasificada obtenida empleando las siete bandas del sensor y las dos variables topográficas; es decir, la que obtuvo los datos más altos de fiabilidad.

CONCLUSIONES

Las matrices de confusión muestran en general unos porcentajes de error aceptables, lo cual repercute en unos buenos índices de fiabilidad global, en todas las clasificaciones efectuadas superiores al 81 %.

Los resultados obtenidos muestran como la inclusión en las clasificaciones de bandas con características extraídas del Modelo Digital de Elevaciones, como pendientes y orientaciones, permiten caracterizar la vegetación de una forma más exacta que el tradicional y sencillo análisis de la información espectral. La utilización del índice de vegetación de diferencia normalizada aumenta los errores, bien sea porque no se ha realizado una transformación a valores de reflectividad de las bandas implicadas o porque se trata de una información redundante respecto de las bandas 3 y 4; en definitiva no resulta indicada su utilización en este caso. En cambio la aplicación de filtros de mediana sobre la banda 5 de la imagen si mejora en conjunto la clasificación, lo cual puede deberse a que aporta una cierta información sobre el vecindario, similar a la de algunas variables de textura de primer orden.

Asimismo los resultados, cuando se incluyen las características derivadas del MDE y los filtros de mediana, mejoran en todas las categorías referentes a tipos de vegetación, por lo que se considera adecuada su utilización en casos similares para poder aumentar las fiabilidades obtenidas. Las categorías referentes a zonas sin vegetación (rocas, obras de infraestructura, zonas urbanas) ofrecen resultados inferiores, pero en este caso el objetivo era clasificar la vegetación forestal, que corresponde a las categorías que ofrecen los valores más altos de las fiabilidades.

Los resultados plantean interesantes posibilidades para la continuidad del estudio de la zona. En primer lugar extender el estudio a toda la Sierra de Teleno, ya que toda ella posee el

mismo tipo de vegetación y dispone de zonas de difícil acceso, en las cuales, y dados los buenos resultados obtenidos, el mejor método de caracterizar la vegetación sería el aplicado en este estudio. Por otro lado el estudio e integración en las clasificaciones de otras características derivadas del modelo de elevaciones, así como de información espacial obtenida a partir del análisis de las fotografías aéreas.

BIBLIOGRAFÍA

- ATKINSON, P.; CUSHINIE, J.L.; TOWNSHEND, J.R.G. & WILSON, A.; 1985. Improving Thematic Mapper landcover classification using filtered data. *Int. J. Rem. Sens.* 6: 995-961.
- CHUVIECO, E.; 1996. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Ediciones Rialp. Madrid.
- CONGALTON, R. & GREEN, K.; 1993. A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric Eng. Rem. Sens.* 59(5): 641-644.
- FLORINSKY, I.V.; 1998. Combined analyse of the digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigation. *Progress in Physical Geography*. 22 (1): 33-60. London.
- JENSEN, J.R.; 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall.
- PINILLA, C.; 1995. *Elementos de Teledetección*. Ed. Ra-ma. Madrid.
- PROY, C.; TANRE, D. & DESCHAMPS, P.Y.; 1989. Evaluation of Topographic effects in remotely sensed data. *Rem. Sens. Env.* 30: 21-32.
- RUIZ, L.A.; PARDO, J.E.; PORRES DE LA HAZA, M.J. Y FERNÁNDEZ SARRÍA, A.; 1999. Relaciones entre las características de modelos digitales de elevación y texturas aplicadas al análisis de la vegetación. *En: S. Castaño y A. Quintanilla (eds.), Teledetección. Avances y Aplicaciones: 76-79*. Asociación Española de Teledetección. Albacete.
- STORY, M. & CONGALTON, R.; 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Eng. Rem. Sens.* 52: 397-399.
- WORD, J.; 1996. *The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models*. Ph.D. Thesis. University of Leicester. Leicester.

CARACTERIZACIÓN DE ECOSISTEMAS FORESTALES DE LA SIERRA DEL TELENO (LEÓN) EN UNIDADES DE VEGETACIÓN, EMPLEANDO IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+ Y MDE

L. Álvarez de Prado y L.A. Ruiz Fernández



Figura 3. Fiabilidad del Productor

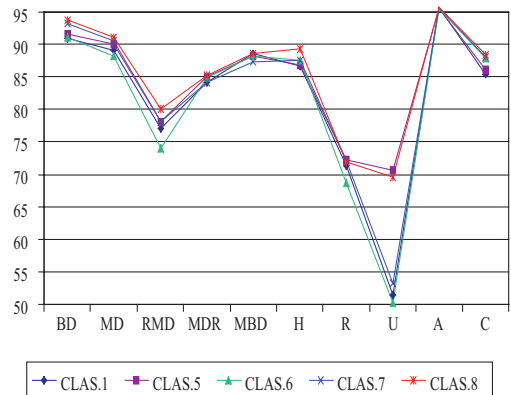


Figura 4. Fiabilidad del Usuario

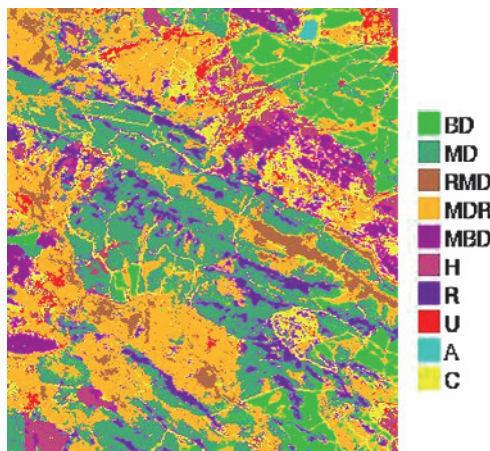


Figura 5. Clasificación definitiva