

CLASIFICACIÓN DE ENTORNOS FORESTALES MEDITERRÁNEOS MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE TEXTURAS

L.A. Ruiz Fernández, J. A. Recio Recio y A. Fernández Sarría

Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Univ. Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022-VALENCIA (España). Correo electrónico: laruiz@cgf.upv.es

Resumen

Dada la variabilidad estructural característica de numerosas superficies forestales, la información espectral es, a menudo, insuficiente para la clasificación de unidades, requiriéndose información sobre su estructura espacial, la cual puede obtenerse mediante técnicas de análisis de texturas. En este trabajo se emplean datos provenientes de ortofotografías aéreas y de satélites de alta resolución (QuickBird) para la extracción de variables de textura sobre zonas de montaña en diversos ámbitos mediterráneos (Menorca, Castellón y Valencia), se estudian y evalúan varios métodos de análisis de texturas y se comparan los resultados con los obtenidos por métodos de clasificación exclusivamente espectrales. Los métodos evaluados son diversos: estadísticos, como los basados en la matriz de coocurrencias de niveles de gris; métodos basados en filtros de energía y de Gabor; y aquellos en los que previamente se descompone la imagen mediante la transformada de *wavelets*. Los resultados muestran un gran potencial de las técnicas basadas en texturas en los problemas de clasificación forestal. Además, este tipo de variables, que proporcionan información sobre la distribución espacial y estructural de las coberturas de vegetación, empleadas de forma conjunta con las variables espectrales, muestran un incremento significativo de la fiabilidad en las clasificaciones.

Palabras clave: *Análisis de texturas, Clasificación, forestal, Alta resolución*

INTRODUCCIÓN

En el ámbito forestal, las técnicas de clasificación multispectral de imágenes ofrecen resultados coherentes cuando las clases objeto de estudio son unidades homogéneas desde los puntos de vista estructural y espectral, siempre que la respuesta espectral de cada clase sea lo suficientemente específica. Este es el caso de zonas de montaña con predominio de bosques densos, con presencia casi exclusiva de una especie y crecimiento uniforme y alternancia de praderas, tal y como ocurre en muchas zonas de montaña del norte de la península con explotaciones forestales

y ganaderas con carácter más bien intensivo. Por el contrario, los ecosistemas de montaña mediterráneos presentan mayor variedad estructural y botánica, debido a sus características climáticas, como el menor y más desigual reparto en el régimen de precipitaciones, pero también a la pérdida de masa forestal localizada, provocada por las recurrencias de incendios forestales, creando agrupaciones de árboles o pequeños bosquetes de menor densidad, con proliferación de zonas con alternancia espacial de matorral y árboles dispersos. Otro factor de variabilidad lo introducen ciertas prácticas culturales, como la creación de terrazas para aprovechamiento agrícolas (olivos,

almendros,...). En estas zonas resulta más complejo el problema de la clasificación de imágenes mediante métodos exclusivamente espectrales.

En otras ocasiones, el problema surge por la resolución espacial insuficiente de la mayoría de los sensores multispectrales. Aunque este problema se va diluyendo de forma progresiva con la nueva generación de sensores de alta resolución (Ikonos, QuickBird,...), se carece de una serie histórica suficiente para el estudio de fechas pasadas y, en ocasiones, la información espectral suministrada se limita a tres bandas del espectro visible y una del infrarrojo, resultando insuficiente para ciertos estudios. El análisis de texturas en imágenes ofrece posibilidades interesantes para resolver estas limitaciones, en especial en lo referente a la caracterización de la heterogeneidad estructural de las clases.

En este trabajo nos proponemos los siguientes objetivos:

- Evaluar diversos métodos de análisis de texturas aplicados a la clasificación de imágenes para la discriminación de unidades de vegetación forestales en tres ámbitos geográficos mediterráneos.
- Analizar el potencial de estas técnicas, aplicadas sobre datos de alta resolución espacial (fotografías aéreas e imágenes QuickBird), en la caracterización del medio forestal, identificando sus principales limitaciones.
- Comparar las clasificaciones texturales y espectrales obtenidas a partir de sensores de alta resolución espacial y estudiar la sinergia entre ambas.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE TEXTURAS

Describimos brevemente los métodos de análisis de textura empleados en este trabajo:

1- Matriz de coocurrencias de niveles de gris (MCNG): Sus elementos, $p(i,j)$, representan la frecuencia relativa con la que dos píxeles con niveles de gris "i" y "j", separados una cierta distancia y según una determinada dirección, aparecen en la imagen o vecindario. Se trata de una matriz de frecuencias simétrica, cuyos elementos pueden expresarse de la forma

$$p(i,j) = \frac{P(i,j)}{\sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i,j)}$$

donde N_g representa el número de niveles de gris. Basándose en esta matriz, HARALICK (1973) propuso una serie de descriptores estadísticos o características de textura calculados a partir de la MCNG, algunos de los cuales se han empleado en este trabajo.

2- Filtros de energía y densidad de bordes: Se basan en la aplicación de convoluciones sobre la imagen original I con una variedad de filtros g_1, g_2, \dots, g_N , generando N nuevas imágenes $J_n = I * g_n$ ($n = 1, \dots, N$), y en el cálculo posterior de la energía en un vecindario de cada píxel. Estos filtros fueron diseñados por LAWS (1985) para realzar distintas propiedades texturales en la imagen. Para reducir el error debido al "efecto frontera" entre texturas se calculó, en cada píxel de la imagen filtrada J_n , la media y la varianza de los cuatro vecindarios diagonales del píxel, eligiendo como nuevo valor el de la media del cuadrante de menor varianza (HSIAO & SAWCHUK, 1989).

El filtro de densidad de bordes se basa en la determinación del gradiente como la suma del valor absoluto de las diferencias entre píxeles vecinos, tomando como parámetro variable la distancia entre píxeles. Para una distancia d y una imagen I , en la que se define un vecindario N , esta variable de textura se obtiene mediante la expresión

$$g(i,j,d) = \sum_{(i,j) \in N} \{ |I(i,j) - I(i+d,j)| + |I(i,j) - I(i-d,j)| \\ + |I(i,j) - I(i,j+d)| + |I(i,j) - I(i,j-d)| \}$$

donde $g(i,j,d)$ representa la densidad de bordes por unidad de área en un píxel genérico (i,j) .

3- Filtros de Gabor: Un banco de filtros Gabor está formado por un conjunto de filtros gaussianos que cubren el dominio frecuencial con distintas frecuencias radiales y orientaciones. En el dominio espacial, un filtro de Gabor consiste en una función gaussiana modulada por una curva sinusoidal

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_g^2} \cdot \exp\left[-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma_g^2}\right] \cdot \exp(j2\pi F(x\cos\theta + y\sin\theta))$$

donde σ_g determina la extensión espacial del filtro. En el dominio frecuencial la función Gabor es una curva gaussiana (BODNAROVA et al., 2002). La transformada de Fourier de la función Gabor viene dada por la expresión:

$$H(u, v) = \exp[-2\pi^2 \sigma_g^2 ((u - F \cos\theta)^2 + (v - F \sin\theta)^2)]$$

Los parámetros que definen cada uno de los filtros de Gabor son: la frecuencia radial F donde está centrado el filtro en el dominio frecuencial, la desviación típica σ de la curva gaussiana y la orientación ν respecto al eje de abscisas. Por simplicidad, suponemos que la curva gaussiana es simétrica.

El banco de filtros se realizó con 6 orientaciones (0° , 30° , 60° , 90° , 120° y 150°) y tres combinaciones de frecuencia-desviación típica: $F=0.3536$ y $\sigma = 2.865$, $F=0.1768$ y $\sigma = 5.73$, $F=0.0884$ y $\sigma = 11.444$, dando lugar a un total de 18 filtros que cubren el dominio frecuencial.

4- Transformada wavelets: Este método, propuesto por vez primera para el análisis de texturas por MALLAT (1989), proporciona una metodología robusta para el análisis de texturas a diferentes escalas. La transformada de wavelets permite descomponer una señal según una serie de funciones elementales, llamadas wavelets y scaling, que se generan mediante escalados y traslaciones de una función base, llamada wavelet madre.

$$\Psi_{s,u}(x) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{x-u}{s}\right) \quad s \in \mathfrak{R}^+ \quad u \in \mathfrak{R}$$

donde s es el factor de escalado y u el de traslación. En la práctica, las wavelets equivalen a filtros paso-alto y las scaling a filtros paso-bajo. Como resultado, la transformada wavelet descompone la imagen original en una serie de subimágenes con varias escalas, denominadas tendencias y fluctuaciones, las primeras son versiones promediadas de la imagen original y las segundas contienen las altas frecuencias a diferentes escalas o niveles. Aplicando la transformada inversa a las fluctuaciones se obtienen los detalles horizontales, verticales y diagonales, que constituyen versiones reconstruidas de aquéllas. El proceso de reconstrucción, o análisis multiresolución, implica la vuelta de las imágenes a su tamaño original, lo que las hace más manejables en la práctica. A partir de las fluctuaciones o de los detalles se calcularon cuatro características de textura derivadas de la matriz de coocurrencias de niveles de gris.

ENSAYOS Y RESULTADOS

El estudio se llevó a cabo en tres zonas de trabajo:

1. Ayora: Zona situada al oeste de la provincia de Valencia, caracterizada por un clima de tipo meso-mediterráneo, donde predominan zonas de bosque (*Pinus halepensis*) y matorral (*Quercus coccifera*, *Ulex*,...) a menudo combinadas, y cultivos de montaña (*Amigdalus communis*, *Olea europaea*, *Ceratonia siliqua*). El arbolado de esta zona presenta una importante tasa de dispersión debido en parte a recurrencias de incendios forestales en los últimos años. Las clases empleadas fueron: *Arbolado alta densidad*, *arbolado media densidad*, *arbolado baja densidad*, *matorral alta densidad*, *matorral baja densidad*, *cereales*, *almendros*, *zonas de repoblación forestal*, y *cultivos en terrazas*. Para obtener una representación suficiente y manejable de las distintas clases, se creó una imagen mosaico, a partir de ortoimágenes aéreas de 1 m de resolución, compuesta por 16 sub-zonas.
2. Espadán: Se trata de la Sierra del mismo nombre localizada al sur de la provincia de Castellón, más próxima a la costa que la zona anterior y con predominio de bosques (*Pinus halepensis* y *Quercus suber*) y matorral, cultivo de olivos y roquedos. Las clases definidas fueron: *bosque denso*, *bosque de media densidad*, *bosque-matorral*, *matorral*, *suelo desnudo con árboles dispersos*, *suelo desnudo* y *matorral*, y *olivar*. Se creó un mosaico, a partir de ortoimágenes aéreas de 1 m de resolución, compuesta por 9 sub-zonas.
3. Menorca: Se trata de una zona situada en el sur de la isla de Menorca, donde el paisaje está formado por pequeñas áreas de bosque (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*), matorral mediterráneo (*Quercus coccifera*, *Ulex*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*) generalmente combinado con árboles dispersos (*Olea europaea* var. *sylvestris*), zonas de pasto extensivo, cereales, y áreas residenciales. Se definieron las siguientes clases: *Bosque denso*, *bosque-matorral*, *matorral denso*, *árboles dispersos* y *herbáceas*, *herbáceas*, *cereales* y *prados*, *agrícola sin cultivo*, *zonas residenciales* y *mar*. Se partió de

una imagen pancromática del satélite QuickBird (61 cm, aprox.) remuestreada a una resolución espacial de 2,4 m.

Antes de realizar las clasificaciones para la evaluación de los métodos se procedió a la selección de los *parámetros metodológicos* y las *variables de textura* más relevantes en cada método. Los resultados de estos ensayos previos se resumen así:

- Método basado en la MCNG: La distancia entre píxeles no afecta significativamente en los resultados, por lo que se utilizó una distancia de 1 píxel. Se obtuvieron los mejores resultados con vecindarios de 25x25 píxeles. En el caso de Menorca se optó por un vecindario de 15x15, ya que su resolución espacial era inferior. En general, aumentando del tamaño del vecindario se aumenta también la fiabilidad en las zonas centrales de las clases, sin embargo, también se incrementa el error en las zonas periféricas debido al "efecto frontera".
- Filtros de energía y densidad de bordes: Vecindario común de 7 píxeles para las tres zonas, y vecindario de post-procesado de 7, 11 y 15 píxeles para Menorca, Espadán y Ayora respectivamente. La densidad de bordes se calculó siempre con una distancia de 3 píxeles.

- Filtros de Gabor: Los parámetros fundamentales en la definición de los filtros son la desviación típica del filtro, con efecto equivalente al del vecindario de los métodos anteriores y la frecuencia. Se generaron filtros con desviaciones de 2,86 , 5,73 y 11,44 y frecuencias de 0,3536 , 0,1768 y 0,0884 , respectivamente, definidos en las 6 direcciones principales que posteriormente se promediaron para eliminar el factor de orientación.
- Método basado en la transformada *wavelets*: Se ensayaron dos tipos de familias wavelet (*Daubechies* y *Coiflet*) con dos soportes en cada una. Además, se compararon los resultados empleando las fluctuaciones y los detalles de 3 niveles. Los mejores resultados se obtuvieron con la familia Coiflet-24, empleando los detalles reconstruidos de los 3 primeros niveles (Figura 1), ya que cada nivel aporta información de texturas según escalas diferentes.

A partir de los ensayos previos con cada uno de los métodos se seleccionaron las variables que mejores resultados parciales proporcionaban. Con ellas se realizaron diversas combinaciones de variables y clasificaciones empleando las mismas muestras de aprendizaje para cada combinación, mediante el método de clasificación supervisada de máxima probabilidad. Se

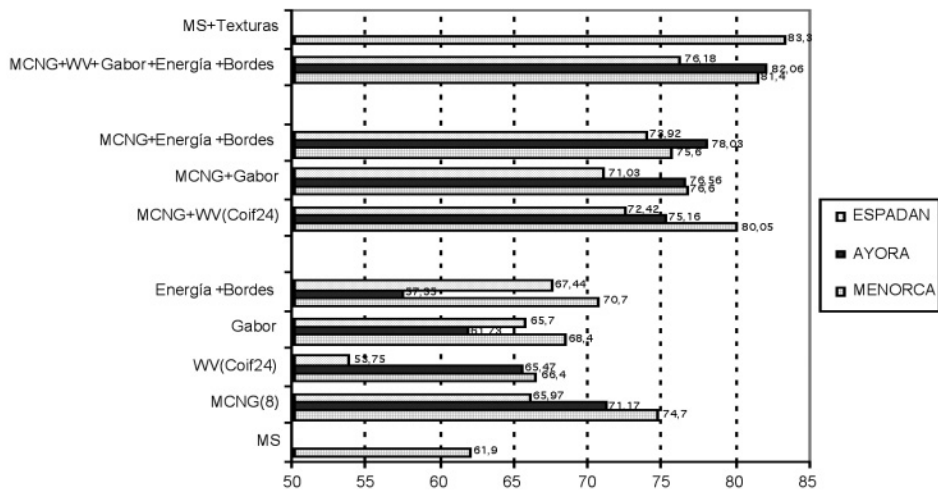


Figura 2. Resultados comparativos de la fiabilidad global en la clasificación empleando diferentes grupos de variables, para cada una de las tres zonas de estudio

obtuvieron los resultados comparativos de la figura 2.

La menor fiabilidad global se obtiene cuando se emplean únicamente bandas espectrales (caso de Menorca mediante imagen QuickBird), y va aumentando a medida que se introducen más variables de textura. Esta es una tendencia común a las tres zonas.

Por otra parte, aunque hay diferencias en función de la zona, al clasificar mediante un único método de texturas los resultados son sensiblemente superiores al emplear el método estadístico de la MCNG y globalmente inferiores al emplear únicamente el método de la transformada wavelets. Sin embargo, la combinación de variables de la MCNG junto con las obtenidas con cualquiera de los restantes métodos, filtros de energía, filtros Gabor o transformada wavelets, permite incrementar significativamente las fiabilidades, especialmente con este último. A medida que se van añadiendo las variables preseleccionadas el resultado va mejorando. Es interesante indicar que, con sólo 3 variables, los filtros Gabor permiten sintetizar una gran parte de la información de texturas. Los resultados de los métodos de textura varían en función de la zona, esto es, del tipo de clases que se definan inicialmente.

Comparando las clasificaciones espectrales con las de texturas en la zona de Menorca, se observa que ciertas clases se clasifican mejor mediante las bandas espectrales, tal es el caso de las zonas de *cereal y praderas*, o el de las *zonas agrícolas sin presencia de cultivo*. En ambos casos, la respuesta espectral es claramente específica en estos casos y diferente a la del resto de las clases. Sin embargo, su textura homogénea hace más difícil su discriminación cuando se emplean

únicamente variables de textura. Por el contrario, el uso de técnicas de texturas permite mejorar notablemente las clasificaciones en las zonas de *árboles dispersos sobre herbáceas, bosque-matorral y matorral* (tabla 1). Estas tres son clases con una alta heterogeneidad espectral. El uso conjunto de las bandas espectrales y de textura en la clasificación tiene un efecto sinérgico, mejorando las fiabilidades de ambos grupos de clases.

Es importante destacar que los resultados mostrados se refieren a las zonas interiores de las unidades de paisaje. En ensayos realizados empleando muestras de evaluación situadas en las zonas frontera la fiabilidad global se reduce hasta un 47%. En estudios anteriores se ha visto cómo el método de post-procesado empleado en el cálculo de las variables de energía permite mejorar el resultado hasta en un 27% (RUIZ *et al.*, 2001). La utilización práctica de estos métodos pasa por mejorar el problema de las zonas frontera (Figura 3).

CONCLUSIONES

- Los métodos de análisis de texturas ofrecen una alternativa a los métodos espectrales cuando se clasifican unidades forestales que presentan heterogeneidad espectral o cuando las clases están asociadas a diferencias en densidades de vegetación.
- La idoneidad del método de extracción de variables de textura empleado viene dada en función del tipo de clases con las que se trabaja, no parece existir un criterio común.
- Por ello, el uso combinado de diversos métodos de texturas permite mejorar los resulta-

CLASE	MULTIESPECTRAL		TEXTURAS		MS+TEXTURAS	
	F, productor	F, usuario	F, productor	F, usuario	F, productor	F, usuario
bosque denso	54,11	57,02	58,00	78,38	53,67	82,92
Matorral	62,26	55,39	88,46	94,76	88,90	94,21
prado-cereal	99,78	99,74	92,07	92,11	96,76	96,21
árboles disp/herb,	41,96	42,25	85,27	75,22	87,00	75,67
bosque-matorral	21,45	25,56	73,71	54,79	76,10	52,47
Herbáceo	61,80	58,56	90,36	89,70	94,78	95,65
agrícola s/c	98,69	97,42	87,34	91,02	97,13	100,00

Tabla 1. Fiabilidades marginales en la clasificación de la imagen de Menorca utilizando variables espectrales, de texturas, y combinando ambas

dos, especialmente combinando métodos estadísticos basados en la MCNG con los detalles obtenidos mediante la transformada wavelets. Los filtros de Gabor condensan en muy pocas variables la información de texturas de la imagen.

- Es importante preseleccionar los parámetros metodológicos y las variables para reducir el volumen de datos y optimizar el potencial discriminatorio de los métodos de texturas.
- Los errores en las zonas frontera entre clases es la principal limitación para su aplicación. Deben desarrollarse métodos de post-procesado para reducir este efecto.
- Los nuevos sensores de alta resolución permiten combinar bandas espectrales y de texturas en la clasificación, aprovechando su sinergia y mejorando las clasificaciones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado con los proyectos REN2003-04998 y BTE2002-04552 del MCyT, y el proyecto interdisciplinar de la UPV (20020627).

BIBLIOGRAFÍA

- HARALICK, R.M., K SHANMUGAM & DINSTEN; 1973. Texture features for image classification. *SMC-3*: 610-622.
- HSIAO, J.Y. & A.A. SAWCHUK; 1989. Unsupervised image segmentation using feature smoothing and probabilistic relaxation techniques. *Comp. Vis. Graph. Image Proc.* 48: 1-21.
- LAWS, K.I.; 1985. Goal-directed texture image segmentation. *Appl. SPIE* .548: 19-26.
- MALLAT, S.G.; 1989. A theory of multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.* 11(7): 674-693.
- RUIZ, L.A., ACOSTA, P., FDEZ.-SARRÍA, A., PORRES, M.J. Y PARDO, J.E.; 2001. Mejora de la eficiencia en la segmentación de imágenes por texturas mediante filtros de energía. En: *Teledetección: Medio Ambiente y Cambio Global. IX Cong. Nac. de Teledetección.*
- BODNAROVA, A., BENNAMOUN, M. & LATHAM, S.; 2002. Optimal Gabor filters for textile flaw detection. *Pattern Recognition* 35: 297

CLASIFICACIÓN DE ENTORNOS FORESTALES MEDITERRÁNEOS MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE TEXTURAS

L.A. Ruiz Fernández, J. A. Recio Recio y A. Fernández Sarría

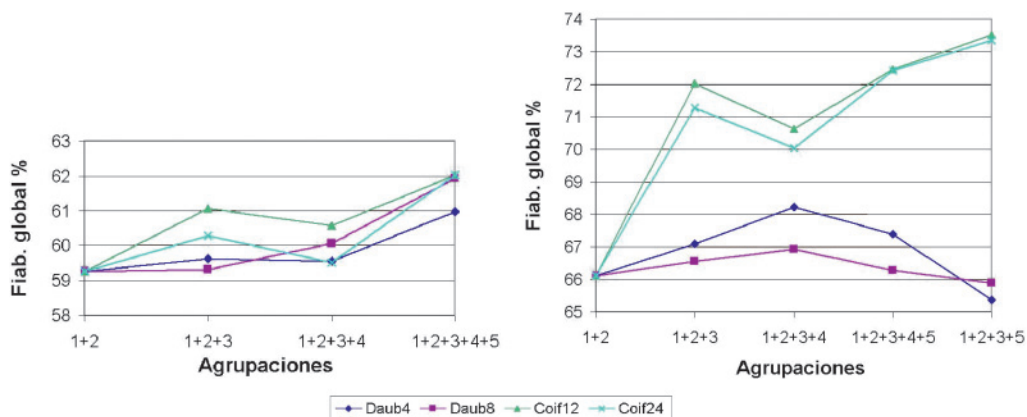


Figura 1. Resultados de los ensayos previos para la definición de los parámetros metodológicos en el método basado en la transformada wavelets (1: Imagen original; 2: Variables texturales de la imagen original; 3: Variables texturales del detalle 1; 4: Variables texturales del detalle 2; 5: Variables texturales del detalle 3)

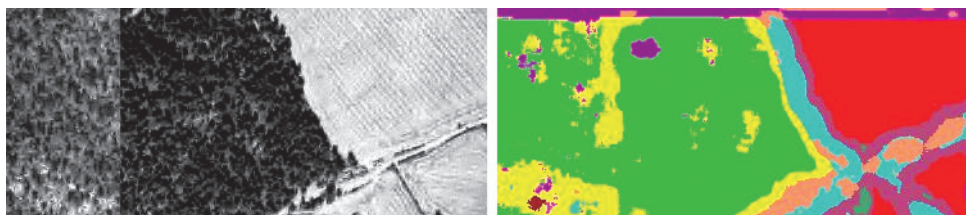


Figura 3. Detalle del efecto frontera en la clasificación por texturas