

## CLASIFICACIÓN DEL VIÑEDO DE LA ZONA DE TOMELLOSO (ALBACETE)

E. RUBIO (\*), M. M. ARTIGAO (\*\*), V. CASELLES (\*), C. COLL (\*), y E. VALOR (\*)

Eva.M.Rubio@uv.es

(\*) Dept. de Termodinámica. C/ Dr. Moliner 50. Burjassot (Valencia)

(\*\*) Dept. de Física Aplicada. Avda España s/n. Albacete

**RESUMEN:** La clasificación del viñedo de la zona de Tomelloso presenta la dificultad de que es éste un cultivo ralo de escasa altura y cobertura vegetal, fácilmente confundible con el olivo o zonas en barbecho. En este caso es conveniente acudir a una clasificación multitemporal basada en la distinta evolución fenológica de los cultivos en la zona de estudio. En este trabajo proponemos una técnica para incrementar la precisión en la clasificación del viñedo usando una única imagen TM de la zona. Consiste ésta en identificar aquellas combinaciones de bandas que optimizan la separabilidad espectral de uno o más usos de suelo. Con cada una de estas combinaciones de bandas TM se procederá a efectuar una clasificación supervisada de aquellos usos de suelo que sí son distinguibles. La clasificación final será resultado de las anteriores, buscando siempre el aumentar la precisión.

**ABSTRACT:** Mapping vineyards in the area of Tomelloso is difficult because of the small height and green cover of the vines, being easily mistaken for olive trees or fallow. Then, it could be convenient to perform a multi-temporal classification based on the different stages of the crop development. This work is concerned with a strategy to improve the accuracy of the vine mapping using one Landsat-TM image alone. This methodology relies on the selection of the most appropriate channel combinations to discriminate one or several land cover uses. With each channel combination an unsupervised classification will be done to mapping the discernible land uses. The definitive land mapping will be generated from the previous ones in order to increasing its accuracy.

**Palabras clave:** Teledetección, clasificación, Landsat-TM, usos de suelo

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es identificar las parcelas de viñedo presentes en la zona de Tomelloso en junio de 1994. En esta zona el cultivo mayoritario es la vid, aunque también abundan los cereales (cebada) y en menor proporción el olivo, pudiendo llegar a ser considerable la extensión de las parcelas en barbecho. Entre los años 1991 y 1997 parte del viñedo fue reemplazado por otros cultivos de tipo herbáceo. Precisamente una de las dificultades con que nos encontramos, al efectuar un estudio retrospectivo como éste, es la falta de un inventario válido del viñedo. Otra de las dificultades y condicionantes de este trabajo fue el hecho de que disponíamos de una única imagen Landsat 5-TM.

Por suerte en el mes de junio el avanzado estado fenológico del cereal en contraste con la poco desarrollada vid *airen* ha facilitado la labor de clasificación. Además en 1994 la zona de Tomelloso se contaba entre las zonas de estudio del proyecto EFEDA II, motivo por el cual hemos dispuesto de información verdad-terreno

sobre los cultivos en una treintena de parcelas. Esta información ha sido contrastada con el mapa de usos de suelos de la zona para el año 1991 y con visitas de reconocimiento de la zona de estudio en verano de 1997. Gracias pues a esta información ha sido posible efectuar una clasificación de tipo supervisada y su correspondiente validación.

### METODOLOGÍA

Debido a la escasa área que cubre la cepa *airen* en relación al suelo desnudo, es fácil confundir estos campos con terrenos en barbecho o con olivos. Pese a ello, no hemos querido obtener su superficie como un producto residual tras clasificar el resto de usos de suelo. Por el contrario, la metodología que presentamos busca en todo momento favorecer la clasificación del viñedo incluso en detrimento del resto de usos de suelo.

Para seleccionar las bandas TM más adecuadas para la clasificación del viñedo es necesario previamente establecer las categorías o clases informacionales a consi-

derar en una clasificación supervisada. Una forma de asegurarnos una total correspondencia entre estas clases y las posibles clases espectrales es definiendo las clases espectrales de la clasificación supervisada a partir de las obtenidas en una clasificación no supervisada. Ahora bien, al proceder de este modo podemos entrar en conflicto, dado que la definición de estas categorías está a su vez supeditada a las bandas espectrales usadas en la clasificación no supervisada.

### SELECCIÓN DE BANDAS TM

Procedemos en primer lugar a la identificación y caracterización espectral de las categorías informacionales y una vez definidas buscaremos optimizar la discriminación y posterior identificación de la clase *Vid*.

Efectuamos una clasificación no supervisada usando el conjunto de las 6 bandas del TM, y un total de 14 clases espectrales. Una vez generada esta clasificación procedemos a identificar cada una de estas clases espectrales como usos de suelo, agua o nubes. Este punto va a ser determinante para la consecución de nuestro objetivo. El primer paso es el reconocimiento de las parcelas atendiendo a su forma y ubicación. Establecemos una correspondencia entre las clases espectrales resultantes y el correspondiente uso del suelo, a partir del mapa de usos de suelo y de la información verdad-terreno de varias parcelas, las cuales también se usarán en la fase de entrenamiento. Comprobamos que en algunos casos, un mismo uso de suelo se corresponde con más de una categoría espectral, resultado de variaciones en el grado de humedad, brillo o composición del sustrato. Lo cual nos lleva a definir varias "subcategorías" para cada uso de suelo. En la Tabla 1 se muestran las categorías espectrales que hemos distinguido. Como veremos esto introducirá un esquema hierático en las posteriores clasificaciones supervisadas que incluirá categorías detalladas que finalmente serán agrupadas en clases más generales. De esta forma conseguiremos aumentar la precisión de la clasificación definitiva, lo cual está de acuerdo con el esquema de clasificación propuesto por Congalton (1991). Al llegar a este punto hemos resuelto el conflicto de la definición de las clases espectrales y ya nos apoyamos en la información verdad-terreno. Es decir, hemos identificado parcelas que sabemos corresponden a un tipo dado de uso de suelo, y son estas parcelas las que usaremos primero en la selección de las bandas, y después en la fase de entrenamiento.

Una vez identificadas y ubicadas en la imagen cada una de las categorías a usar en la clasificación procedemos a su definición espectral, para ello usamos un muestreo en "clusters". De este modo, las muestras no son independientes sino que existe una autocorrelación

espacial y por lo tanto la información que contienen es menor que si se hubiesen elegido de forma aleatoria. Por esta razón, preferimos trazar varias áreas piloto de pequeño tamaño para no infravalorar la variabilidad de cada categoría. Además el número de muestras es, en todos los casos suficiente para poder completar una matriz de error de forma adecuada. La Tabla 2 muestra el número de píxeles elegidos para cada clase espectral.

| Categorías informacionales | Categorías espectrales |
|----------------------------|------------------------|
| <i>Barbecho</i>            | Bar1<br>Bar2           |
| <i>Cereal</i>              | Cer1<br>Cer2<br>Cer3   |
| <i>Olivo</i>               | Oli1                   |
| <i>Vid</i>                 | Vid1<br>Vid2           |

Tabla 1. Relación entre clases espectrales y clases informacionales.

| Categoría | Nº píxeles | Categoría | Nº píxeles |
|-----------|------------|-----------|------------|
| Bar1      | 468        | Cer1      | 166        |
| Bar2      | 106        | Ce1       | 245        |
| Vid1      | 576        | Cer1      | 171        |
| Vid2      | 362        | Oli1      | 470        |

Tabla 2. Número de píxeles total de las áreas piloto.

De cada categoría generamos su signatura espectral para todas las bandas del Landsat-TM. El criterio que seguimos para seleccionar las combinaciones de bandas más adecuadas es escoger aquellas combinaciones para las cuales la categoría genérica *Vid* presenta la máxima separabilidad con respecto a las demás. Para ello usamos la distancia de Bhattacharrya (Richards, 1986) para cada par de clases y cada par de bandas y calculamos el valor medio (Tabla 3) y el mínimo. Esta distancia puede tomar valores entre 0 y 2, donde un 0 indicaría que las dos clases están completamente solapadas y un 2 indicaría una separación completa.

| TM \ TM | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2       | 1,3 |     |     |     |     |
| 3       | 1,4 | 1,3 |     |     |     |
| 4       | 1,4 | 1,5 | 1,6 |     |     |
| 5       | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,4 |     |
| 7       | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,4 |

**Tabla 3.** Valores promedio de la distancia de Bhattacharyya entre la media de las clases espectrales Vid1 y Vid2 y el resto de clases para las posibles combinaciones bicanales del TM.

Comprobamos qué categoría presentaba la mínima separabilidad con respecto a la Vid. Vimos que para las bandas 1, 3 y 4 el olivo es la clase que más se confunde con la Vid, por lo que decidimos eliminar el olivo del esquema de clasificación. Con esto conseguimos, no sólo aumentar la separabilidad mínima en un 16 %, sino que también aumento la separabilidad media de la Vid con respecto a las demás clases en un 11 % (Tabla 4).

| TM \ TM | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2       | 1,4 |     |     |     |     |
| 3       | 1,5 | 1,4 |     |     |     |
| 4       | 1,5 | 1,6 | 1,7 |     |     |
| 5       | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,5 |     |
| 7       | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,4 |

**Tabla 4.** Valores promedio de la distancia de Bhattacharyya entre la media de las clases espectrales Vid1 y Vid2 y el resto de clases para las posibles combinaciones bicanales del TM.

A la vista de estos resultados la combinación 3-4 se revela como la más apropiada. Si analizamos estas distancias a nivel de categorías en lugar de como distancias medias comprobamos que los valores más elevados de separabilidad para las categorías Cer1, Vid2 y Oli1 se dan para los canales 3, 4 y 5. Mientras que para las categorías Bar1, Bar2, Cer2, Cer3 y Vid1 son las bandas 1, 3 y 4 las que presentan los valores más elevados. A la vista de estos valores, podemos concluir que la combinación 1-3-4, por un lado, y la combinación 3-4-5 son una buena elección para hacer la clasificación.

### CLASIFICACIÓN

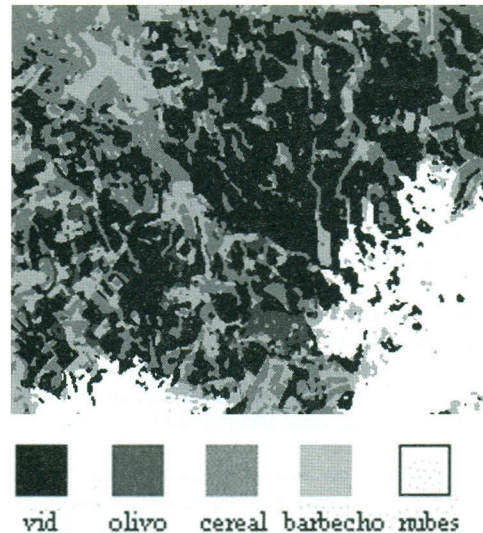
Con cada una de estas dos combinaciones de canales elegidas efectuamos una clasificación supervisada usando un clasificador de máxima probabilidad "fuzzy". Consideramos el total de las categorías de la Tabla 1, más las correspondientes a nubes y agua, no incluidas

en la discusión anterior por no presentar problemas. Además, para la combinación 1-3-4 no consideramos la categoría Oli1.

En la fase de entrenamiento usamos las mismas parcelas de entrenamiento que en la selección de las bandas. La clasificación final se obtuvo a partir de las dos anteriores tomando como base la imagen clasificada de la combinación 1-3-4 y superponiendo a ésta las parcelas clasificadas como Cer1, Oli1 y Vid2 en la clasificación con las bandas 3-4-5. La Figura 1 muestra la clasificación final.

### VALIDACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN

En la fase de validación usamos las restantes parcelas verdad-terreno no usadas en la fase de entrenamiento. Generamos las matrices de confusión tanto para las dos combinaciones utilizadas como para la clasificación global con el fin de evaluar su precisión. En estas matrices, las filas representan los datos de referencia mientras que las columnas representan la clasificación generada.



**Figura 1.** Clasificación del viñedo en la zona de Tomelloso en junio de 1994.

En la Tabla 5 presentamos la matriz de confusión normalizada al número para las áreas de validación, así como los errores de omisión y los de comisión los cuales se refieren a una definición imperfecta de la categoría o a una delimitación excesivamente amplia (Chuvieco 1990). Estos errores se pueden expresar en forma de la

precisión del productor,  $F_{pi}$ , que indica la probabilidad de que un píxel esté correctamente clasificado; y de la precisión del usuario,  $F_{ui}$ , que indica la probabilidad de que un píxel clasificado en la imagen corresponda realmente a dicha clase sobre el terreno (Congalton, 1991). Las filas y columnas marginales de la Tabla 5 corresponden a  $F_{pi}$  y  $F_{ui}$ . Por ejemplo, estos resultados nos indican que, para la clasificación final y la clase *Vid*, un 94% de las áreas de entrenamiento han sido correctamente clasificadas, mientras que un 91% corresponde realmente a *Vid*.

|              | <i>Bar</i> | <i>Cer</i> | <i>Oli</i> | <i>Vid</i> | $F_{pi}(\%)$ |
|--------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <i>Bar</i>   | 0,160      | 0,040      | 0,005      | 0,004      | 75           |
| <i>Cer</i>   | 0,015      | 0,240      | 0          | 0,030      | 83           |
| <i>Oli</i>   | 0,011      | 0,004      | 0,016      | 0,007      | 42           |
| <i>Vid</i>   | 0          | 0,026      | 0,001      | 0,400      | 94           |
| $F_{ui}(\%)$ | 86         | 76         | 75         | 91         |              |

**Tabla 5.** Matriz de confusión normalizada para las áreas de validación y la clasificación final

De igual modo, hemos evaluado la precisión de la clasificación a partir del coeficiente Kappa ( $\kappa$ ), el cual estima la diferencia entre la concordancia imagen clasificada-realidad observada y la que cabría esperar simplemente por azar. De esta forma, se calcula el grado de ajuste debido únicamente a la exactitud de la clasificación. Este coeficiente se puede calcular para la imagen total o para cada una de las clases. Por analogía con las precisiones definidas anteriormente, distinguimos entre el coeficiente kappa del productor para la clase  $i$ ,  $\kappa_{pi}$ , y el coeficiente kappa del usuario para la clase  $i$ ,  $\kappa_{ui}$ , (Stehman, 1997). El coeficiente  $\kappa_{pi}$  nos va a permitir evaluar la fase de entrenamiento (selección de bandas y de categorías); mientras que el coeficiente  $\kappa_{ui}$  nos indicará la validez de la clasificación de cara a los usuarios. La Tabla 6 contiene estos coeficientes. Así pues, el proceso de clasificación con las bandas 1-3-4 se ha realizado con un 80% y un 60% de fiabilidad para las clases *Vid1* y *Vid2* respectivamente, siendo esta fiabilidad de un 70% para ambas clases para el caso de la combinación 3-4-5.

| Clase $i$   | TM 1-3-4      |               | TM 3-4-5      |               |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|             | $\kappa_{pi}$ | $\kappa_{ui}$ | $\kappa_{pi}$ | $\kappa_{ui}$ |
| <i>Bar1</i> | 0,8           | 0,5           | 0,7           | 0,5           |
| <i>Bar2</i> | 0,8           | 0,5           | 0,5           | 0,6           |
| <i>Cer1</i> | 0,4           | 0,9           | 0,5           | 0,3           |
| <i>Cer2</i> | 0,9           | 0,6           | 0,9           | 0,7           |
| <i>Cer3</i> | 0,9           | 0,8           | 0,7           | 0,8           |
| <i>Oli1</i> | -             | -             | 0,9           | 0,5           |
| <i>Vid1</i> | 0,8           | 0,6           | 0,7           | 0,5           |
| <i>Vid2</i> | 0,6           | 0,2           | 0,7           | 0,7           |

**Tabla 6.** Coeficientes  $\kappa_{pi}$  y  $\kappa_{ui}$  para cada una de las categorías consideradas en las clasificaciones intermedia con las combinaciones TM 1-3-4 y 3-4-5.

Estos resultados nos permiten agrupar las clases espectrales adecuadamente para que coincidan con las clases informacionales con el error más pequeño posible, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 7.

| Clase $i$ | $\kappa_{pi}$ | $\kappa_{ui}$ |
|-----------|---------------|---------------|
| Barbecho  | 0,7           | 0,8           |
| Cereal    | 0,7           | 0,7           |
| Olivo     | 0,4           | 0,7           |
| Vid       | 0,9           | 0,8           |

**Tabla 7.** Coeficientes kappa del productor,  $\kappa_{pi}$ , y del usuario,  $\kappa_{ui}$ , para cada una de las categorías generales consideradas en la clasificación final.

## CONCLUSIONES

La fiabilidad global de la fase de entrenamiento vendrá dada por la precisión media,  $v_{all}$ , y por el coeficiente kappa general,  $\kappa$ . Para la clasificación TM 1-3-4, estos valores son:  $v_{all} = 79\%$  y  $\kappa = 0,730 \pm 0,011$ . Mientras que para la clasificación TM 3-4-5, estos valores son:  $v_{all} = 76\%$ ,  $\kappa = 0,720 \pm 0,010$ .

En la fase de validación y para la clasificación TM 1-3-4 estos valores de fiabilidad global son:  $v_{all} = 60\%$  y  $\kappa = 0,54 \pm 0,01$ . Para la clasificación TM 3-4-5 son:  $v_{all} = 65\%$  y  $\kappa = 0,59 \pm 0,01$ . Y para la clasificación final,  $v_{all} = 85\%$  y  $\kappa = 0,83 \pm 0,01$ .

Como era de esperar los resultados que proporcionan los coeficientes  $\kappa$  son ligeramente inferiores a los obtenidos con las medidas de fiabilidad  $F$ , dado que aquél elimina el acuerdo clasificación-verdad terreno resultado del azar. La buena concordancia entre los resultados de ambos test confirma la fiabilidad de la clasificación final de la *Vid*.

## BIBLIOGRAFÍA

- CHUVIECO, E. 1990. *Fundamentos de teledetección espacial*. Ed. Rialp, 453 pp.
- CONGALTON, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- HUDSON, W., Y RAMM, C. 1987. Correct formula of the Kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(4): 421-422.
- STEHMAN, S. V. 1997. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62: 77-89.
- RICHARDS, J. A. 1986. *Remote sensing digital image analysis*, Springer-Verlag, London, pp. 206-225.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud al Profesor Francisco Montero por su colaboración en la obtención de la información verdad-terreno, y a la Universidad de Castilla-La Mancha por la financiación aportada a través del proyecto "Determinación de la evapotranspiración diaria en la zona de Tomelloso (Ciudad Real) a partir de imágenes NOAA-AVHRR y Landsat-TM" en el marco del proyecto europeo EFEDA II (Ref: EV5V-CT93-0272).