TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España, 1999. pp. 76-79.
Editores: Santiago Castaño Fernández y Antonio Quintanilla Rodenas

RELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS DERIVADAS DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN Y TEXTURAS APLICADAS AL ANÁLISIS DE VEGETACIÓN.

L.A. Ruiz, J.E. Pardo, M.J. Porres, A. Fernández

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universitat Politècnica de València.
Camino de Vera, s/n. 46022 Valencia.

RESUMEN
Se han estudiado las relaciones existentes entre factores dependientes del relieve, obtenidos a partir de MDT, como pendiente, orientación e insolación, y 12 características de textura de fotografías aéreas digitalizadas, en una zona de vegetación arbórea y arbustiva afectada por un incendio varios años atrás. También se han comparado las características de textura con índices de vegetación obtenidos a partir de una imagen Landsat-TM. La insolación media anual ha resultado ser la variable más relacionada con la textura de las imágenes. Además, su inclusión como variable en la clasificación por texturas de 6 tipos de vegetación, incrementa la fiabilidad global en un 4.7%. Con ello se prevé un buen potencial de la utilización conjunta de información de texturas y MDT, como en estudios de regeneración de bosques y en la obtención de cartografía temática en zonas de montaña.

ABSTRACT
The relationship between some topographic factors extracted from DEM (slope, aspect, insolation) and 12 texture features from digital aerial photographs, were analysed over an area affected by forest fires several years before. Texture characteristics were also compared with vegetation index obtained from a Landsat-TM image. The annual insolation average was the most related variable with the texture. Furthermore, including it as a variable in the texture classification of 6 vegetation classes, increases the overall accuracy in a 4.7%. These results foresee an important potential in the fusion of DEM and texture data for many applications, like forest regeneration and mountain thematic cartography.

Palabras clave: insolación, modelos digitales de elevación, texturas.

INTRODUCCION

El tratamiento y análisis conjunto de imágenes multiespectrales georreferenciadas con modelos digitales del terreno proporciona interesantes posibilidades metodológicas para su aplicación posterior en distintos campos de las Ciencias de la Tierra. Algunos de estos procedimientos (Florinsky, 1998) son: la corrección radiométrica del efecto topográfico y la corrección geométrica de imágenes, la mejora de la clasificación por tipos de vegetación y unidades geomorfológicas, el análisis de las relaciones existentes entre el paisaje y la topografía, o la modelización tridimensional de la cartografía temática. En los estudios de vegetación en los que la distribución espacial y densidad son factores importantes, la consideración y el análisis de las diferentes texturas presentes en la imagen sirven de complemento a la información multiespectral. En ocasiones, la falta de disponibilidad de imágenes multiespectrales con una resolución espacial adecuada, condiciona el análisis de las texturas como fuente principal de información.

En este trabajo se analizan las relaciones existentes entre algunos factores dependientes del relieve deducidos a partir de modelos digitales del terreno (elevación, pendiente, orientación dominante e insolación) y las características de textura extraídas de imágenes pancromáticas de elevada resolución, con objeto de evaluar las posibilidades de caracterización de diversas unidades de vegetación presentes en una zona específica de estudio. También se analiza la relación entre las características de textura y algunos índices de vegetación. Además, se estudia la mejora de la clasificación por texturas de estos tipos de vegetación, añadiendo los parámetros topográficos mencionados.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio elegida corresponde al interior de la provincia de Valencia, al sector noroccidental de la Muela de Cortes de Pallás y el congosto del Júcar. Se caracteriza por su gran homogeneidad litológica –sector fundamentalmente calcáreo—y por haber sufrido, la mayor parte de la zona estudiada, un incendio forestal en el verano de 1978 que arrasó completamente la vegetación arbórea y arbustiva. La vegetación detectada, por tanto, corresponde a la que se ha regenerado tras este incendio, por lo que la recolonización se inició a la vez en todo el sector. Estas dos características permiten abordar análisis para la deducción de los factores ambientales más relevantes en el proceso de regeneración tras un incendio. Las características climáticas son las propias de los medios

mediterráneos interiores, con un verano cálido y muy seco, un invierno suave y precipitaciones moderadas aunque con cierta intensidad durante los equinocios y el invierno.

Se definieron seis unidades de estudio en función del tipo de vegetación, diferenciando también entre aquéllas zonas situadas en laderas de umbría o de solana cuando este factor era relevante:

- Zonas de bosque arbóreo denso, espontáneo, situadas en laderas de umbría con pendiente variable, en combinación con vegetación arbustiva y herbácea. *(bn)*
- Areas de vegetación poco densa, situadas también en umbría, con mezcla de árboles, arbustos y plantas herbáceas. *(um)*
- Laderas de solana con densidad media de vegetación, con predominancia de arbustos y vegetación herbácea espontánea. *(sc)*
- Laderas de solana con poca densidad de vegetación, en general herbácea y ocasionalmente arbustiva. *(ss)*
- Zonas de meseta elevada con vegetación homogénea, fundamentalmente herbácea, limitada por la escasez de suelo, las bajas temperaturas y la acción eólica. *(mu)*
- Zonas aterrazadas en laderas con cultivos arbóreos (olivos, almendros). *(sa)*

Generación de los mapas de insolación

A partir de la cartografía digital 1/10.000 de la Generalitat Valenciana se generó un modelo digital de elevaciones, con una distancia de paso de malla de 10 x 10 m. A partir del cual se obtuvieron los mapas de pendientes y de orientaciones, que constituyeron la base de los mapas de insolación.

La elaboración de un mapa de insolaciones conlleva, necesariamente, a una generalización de la información. La radiación solar recibida, en un lugar concreto y en un momento determinado, depende de la constante solar (α) —radiación recibida en una superficie de 1 cm^2 en el exterior de la atmósfera—, la posición del sol –la altura del sol sobre el horizonte (h) y su acimut (A)—, la latitud (φ), la pendiente (β) y la orientación de la ladera (θ) (Fernández García, 1996). La radiación solar en el exterior de la atmósfera (R_a) se puede deducir a partir de la constante solar y de la altura del sol:

$$R_a = \alpha \cdot \text{sen}\, h$$

Sin embargo, esta radiación sufre alteraciones al atravesar la atmósfera. El cálculo de la radiación sobre un espacio de la superficie terrestre (R_s) se puede obtener mediante la expresión :

$$R_s = R_a\, [\, (0{,}29 \cos \varphi) + (0{,}54\, n/Na)\,]$$

en la que la radiación en el exterior de la atmósfera se ve modificada por la latitud y el nivel de nubosidad (n/Na). Para el presente estudio, al tratarse de una zona reducida (5.899 ha), se consideró que la nubosidad afecta por igual a todo el sector y que, por tanto, no ejerce modificaciones.

Los valores así obtenidos son razonables si se aplican a zonas llanas, pero no sobre espacios rugosos, donde los valores cambian dependiendo de la pendiente y la orientación de la ladera. Fundamentándose en las leyes de Lambert se puede deducir la siguiente expresión:

$$R_i = R_s\, [(\cos h\, \text{sen}\, \beta \cos (A - \theta)) + (\text{sen}\, h \cos \beta)]$$

mediante la cual se calcula la energía recibida (R_i) en un instante dado por cada celda de 10 x 10 m. Ahora bien, esta fórmula no toma en consideración si un espacio puede quedar a la sombra de algún obstáculo topográfico cercano, sino que sólo calcula para cada celda si recibe insolación directa y en qué medida. Por ello se deducen las sombras proyectadas en cada uno de los instantes estudiados dentro del propio modelo digital de elevaciones, para así reconocer la energía que puede llegar a la superficie del terreno representada por cada celda y en cada instante.

Para reconocer la significación que la insolación tiene en el modelo de distribución de la vegetación, debe obtenerse un mapa de insolación con significación anual. Para ello, es preciso integrar la información de un número suficiente de situaciones de insolación de forma que resulte significativo respecto a la que de forma total se registra en la zona. El proceso seguido para la confección del mapa de insolación ha sido, por tanto, el siguiente:

a) Se ha calculado la posición del sol (h, A) en cada una de las horas en las que hay sol para uno de cada quince días entre el solsticio de invierno y el de verano. Estos trece días se consideran suficientemente significativos para advertir los cambios de insolación que se van a producir. Medio año de estudio es suficiente, dado que el otro medio es prácticamente idéntico respecto a las características de insolación (en el caso en que no se tome en consideración la nubosidad).

b) Una vez conocida la altura y acimut del sol en cada momento y suponiendo un valor de latitud constante para toda la zona, tomando el mapa de pendientes y el de orientaciones, deducidos ambos a partir del MDT, se han generado mapas de

radiación incidente para cada una de las horas de cada uno de los días estudiados.

c) A partir del MDT y conocidas las posiciones del sol en cada una de las horas de los trece días estudiados se han obtenido los mapas de sombras proyectadas.

d) A continuación se han superpuesto ambas imágenes, obteniendo así los mapas de insolación potencial, en calorías/cm^2, para cada una de las horas analizadas de cada uno de los trece días estudiados.

e) Dado que el objetivo es reconocer las diferencias de insolación en la zona de estudio a lo largo del año, se debe aproximar un valor que caracterice el reparto de energía a lo largo del día y del año. Por ello, una vez generado los mapas de insolación de cada instante se han sumado sus valores y se han dividido por el número de mapas (195) tomados en consideración. El mapa de insolación así obtenido se puede considerar una buena aproximación a la *insolación media* anual.

Figura 1.- Representación de un fragmento de la imagen de insolaciones medias.

También se calcularon los mapas de insolación media para los períodos del 21 diciembre al 21 de enero, del 6 de febrero al 21 de marzo, del 6 abril al 6 de mayo y del 21 de mayo al 21 de junio.

Análisis de texturas

El objetivo del procedimiento basado en texturas fue la obtención de información de las distintas unidades de vegetación, relieve e insolación ya descritos. Para ello se utilizó una fotografía aérea pancromática de la zona de estudio, de escala 1:30:000, la cual se digitalizó a una resolución espacial de 1,25 m/pixel y a una resolución radiométrica de 8 bits/pixel. La caracterización de los distintos tipos de textura se realizó en tres fases (Ruiz, 1998):

- *Toma de muestras* : Consistió en la definición, sobre la imagen original, de 25 fragmentos de imagen (subimágenes) para cada uno de los 6 grupos de textura que se estudiaron, obteniendo un total de 150. El criterio seguido fue la consecución de una elevada representatividad de las unidades definidas, apoyándonos para ello en información obtenida en campo.

- *Cálculo de las características de textura* : Para cada muestra se obtuvieron 12 características, 8 de ellas derivadas a partir de *la matriz de co-ocurrencias de niveles de gris* : *uniformidad, entropía , contraste, media, varianza, momento diferencia inverso, momento producto* y *correlación* , además de 3 índices de *energía* textural (Laws, 1985) y un factor de *densidad de bordes*. El valor de cada índice se obtuvo para varias combinaciones de *parámetros* en el cálculo de la matriz de co-ocurrencias : 4 *distancias* de separación entre pixels vecinos, 4 *niveles de gris* (8, 16, 32 y 64) y 3 *tamaños de vecindario* de las subimágenes (19, 35 y 50 pixels), completando un total de 48 combinaciones posibles.

- *Selección de los parámetros y variables óptimos* : Para la reducción del número de variables y la elección de la combinación de parámetros más adecuada se compararon de los resultados obtenidos tras aplicar el método de *análisis discriminante paso a paso* sobre todas las variables consideradas y cada una de las combinaciones de parámetros, seleccionando las 4 variables más discriminatorias en cada caso.

El estudio de las relaciones entre las variables derivadas de los modelos digitales de elevación (pendientes, orientaciones e insolaciones) y las variables de textura se llevó a cabo sobre las mismas 150 muestras seleccionadas para el análisis de texturas, de unos 63 x 63 m^2. Además, se calcularon cuatro índices de vegetación a partir de un fragmento de imagen Landsat de la zona (NDVI, TNDVI, IR-R y IR/R). El análisis estadístico se realizó mediante correlaciones, regresiones y análisis discriminante.

RESULTADOS Y DISCUSION

La tabla 1 muestra los coeficientes de correlación entre 11 variables de textura y dos variables de relieve. En general, no existe una relación entre las primeras y la orientación dominante del terreno. Sin embargo, algunas características como la media, correlación y momento producto presentan una tendencia similar a la insolación media, lo que nos lleva a pensar a que el efecto de la insolación sobre los tipos de vegetación podría caracterizarse, al menos en parte, mediante la textura de las mismas.

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre las variables de textura (MEDia, UNIformidad, ENTropía, Momento Diferencia Inverso, VARianza, Momento Producto, CORrelación, CONtraste, Densidad de Bordes, ENErgía 1, ENErgía 3) y las variables del relieve(ORIentación, INSolación media).

VAR.	**MED**	**UNI**	**ENT**	**MDI**	**VAR**	**MPR**	**COR**	**CON**	**DB**	**ENE1**	**ENE3**
ORI	-0.043	0.146	-0.090	0.109	-0.001	0.008	0.109	-0.061	-0.072	0.048	0.056
INS	0.579	-0.097	0.102	0.311	0.356	0.427	0.614	-0.314	-0.384	0.163	0.080

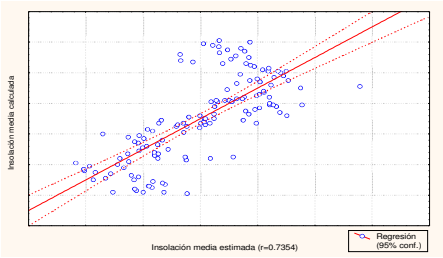

Figura 2.- Relación entre textura e insolación.

Mediante el análisis de regresión múltiple, considerando la insolación media como variable dependiente y las 5 variables de textura más significativas (*correlación, media, energía3, entropía, densidad de bordes*) como variables independientes, se obtiene un coeficiente de correlación múltiple r=0.7354 que, si bien no permite inferir la insolación a partir de la textura, nos indica una clara relación entre ambas (figura 2). Teniendo en cuenta que la insolación condiciona claramente el crecimiento, la distribución y regeneración de la vegetación, la información de texturas podría ser un buen indicador de las mismas, con el potencial campo de aplicaciones que conlleva.

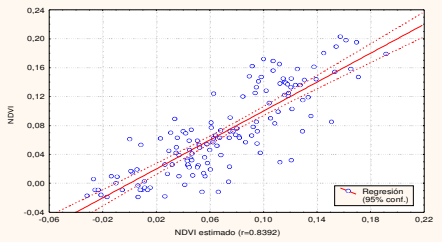

Figura 3.- Relación entre textura y NDVI.

Por otra parte, el coeficiente de correlación múltiple entre 6 variables de textura y el NDVI obtenido a partir de la imagen Landsat-TM es de r=0.8392 (figura 3) lo cual indica una clara relación entre las características espectrales y espaciales de las imágenes de zonas de vegetación, reforzando la posibilidad de la utilización de la textura en la caracterización de unidades de vegetación.

Analizando los resultados de clasificación por texturas, las variables que mejor discriminaron entre las 6 clases fueron: la *media, correlación, uniformidad* y *contraste*, y los parámetros óptimos: un *vecindario* de 50 pixels, una *distancia* de 1 pixel y 32 *niveles de gris* (5 bits/pixel). De esta manera, la fiabilidad global de la clasificación fue del 90%. Al añadir información de relieve, las 4 variables más discriminatorias fueron la *media, insolación, correlación* y *densidad de bordes*, con una fiabilidad global del 94.7%. Las fiabilidades del productor y del usuario se recogen en la tabla 2. Puede concluirse, por tanto, que la insolación media contribuye significativamente a la mejora de la clasificación por texturas de unidades de vegetación.

Tabla 2. -Fiabilidades del productor (*FP*) y del usuario(*FU*) para las dos clasificaciones.

	TEXTURA		**TEXURA + MDT**	
	F. P.	F. U.	F. P.	F. U.
Bn	100.0	100.0	100.0	100.0
Um	84.0	95.4	100.0	96.1
Mu	100.0	83.3	100.0	92.8
Ss	92.0	88.5	96.0	88.9
Sa	76.0	95.0	75.0	100.0
Sc	88.0	81.5	96.0	92.3

BIBLIOGRAFÍA

Fernández García, F. 1996. *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación,* Ed. Síntesis, 285 pp.

Florinsky, I.V.1998 Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigations, *Progress in Physical Geography*, 22, 1, 33-60.

Laws, K.I. 1985 Goal-directed texture image segmentation. *Applications of Artificial Intelligence II, SPIE* vol.548, 19-26.

Ruiz, L.A., Iñán, I., Baridón, J.E., Lanfranco, J.W., 1998. Combining multispectral images and selected textural features from high resolution images to improve discrimination of forest canopies. *Proc. IV Conf. Image and Signal Processing for Remote Sensing*, 124-134, Barcelona.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Angel M. Felicísimo por sus comentarios y al Institut Cartogràfic Valencià por la cesión de la cartografía digital.