

## CORRELACION ENTRE PROPIEDADES DE SUELOS EN LA RIBERA DEL DUERO E IMAGENES ATM

E. de Miguel

Laboratorio de Teledetección - INTA, Torrejón de Ardoz, Madrid.

Se ha efectuado un estudio sobre la correlación entre datos del sensor multispectral aeroportado DS-1268 (ATM) y propiedades superficiales suelo. Se parte de imágenes adquiridas a una resolución de 7 m sobre una comarca de 30.000 ha en la Ribera del Duero. En la zona cubierta por las imágenes se recogieron 90 muestras superficiales de suelos. Se calcularon las correlaciones lineales simples para la matriz formada por variables espectrales (NDi/Sum(ND)) y edáficas. El contenido en caliza total, algunas variables texturales y la saturación cromática muestran correlación con datos espectrales.

### INTRODUCCION

Se está llevando a cabo un estudio para contrastar la utilidad del instrumento Daedalus 1268-ATM (sensor multispectral aeroportado con doce canales en el rango 0.4-13  $\mu\text{m}$ ) en el reconocimiento de suelos. Dentro de este marco, se pretende analizar la correlación entre imágenes y propiedades edáficas. Esto es paso previo para construir modelos que ilustren la dependencia del valor de cierto canal ATM  $C_i$  de una o más propiedades del suelo, o para definir unos modelos predictivos que permitan estimar el valor de una propiedad del suelo a partir de las imágenes ATM.

El tema de las correlaciones entre descriptores del suelo y reflectancia ha sido tratado en un número de trabajos anteriores. La base física de estas correlaciones se apoya en la influencia en la reflectancia espectral de los suelos de sus propiedades físicas y químicas. En estudios de laboratorio se observa que contenido en caliza, hierro y materia orgánica son los principales determinantes de la reflectancia (1).

La extensión de estos trabajos de caracterización de la signatura espectral al campo no es fácil, dado que las condiciones superficiales y de humedad pueden caracterizar largamente las propiedades reflectivas de los

suelos (2,3). Algunos trabajos muestran sin embargo una buena correspondencia entre las curvas espectrales de suelos específicos en laboratorio y campo (4,5). La extensión de resultados a imágenes de satélite, pese al evidente riesgo, también ha sido abordada, con resultados discretos. Cómo era de esperar encontramos trabajos con TM (6) o con SPOT (7), que son los instrumentos más apropiados por su resolución espacial.

La teledetección aeroportada puede servir de puente entre ambos extremos. En (8), ATM se utilizó para evaluar los datos SPOT en estudios de suelos, y se encontraron excelentes correlaciones entre los datos ATM y textura y materia orgánica. Sin embargo, los rangos de texturas muestreados eran muy limitados (arcilla <7%) y los niveles de materia orgánica muy superiores a los usuales en la región mediterránea. Esta dificultad en extrapolar datos por lo diferente o limitado de los suelos estudiados es común a los trabajos citados.

### MATERIAL Y METODOS

*Area de estudio.* La zona de estudio cubre una superficie de unas 35000 ha en la parte este de la cuenca del Duero. El uso principal del suelo es la agricultura extensiva de secano. Los materiales fundamentales son calizas, margas, areniscas y arenas, sobre los que se ha implantado una red de drenaje que condiciona un relieve caracterizado por cuevas, páramos y terrazas. Sobre este paisaje se han desarrollado diferentes asociaciones de suelos, en las que predominan los grandes grupos Xerofluvents, Xerochrepts y Haploxeralfs (9).

*Imágenes ATM.* Las imágenes, dos pasadas de unas 5.000 líneas cada una, se adquirieron en abril de 1994, con un Daedalus 1268, montado en un CASA-212 del Centro Cartográfico del Ejército del Aire. La altura de vuelo fue 2700 m, a la que corresponde un tamaño de pixel en el nadir de 6.9 m y una

cobertura lateral de 5.1 km. La Tabla 1 muestra la configuración espectral utilizada. Las imágenes, exceptuando el canal C1, se incorporaron al sistema de tratamiento de imágenes del INTA para su procesamiento.

*Muestras de suelos.* Se han localizado, mediante muestreo dirigido, 90 puntos correspondientes a parcelas que en el momento del vuelo tenían suelo desnudo. En estos puntos se han recogido muestras superficiales de suelo (10 cm superiores aproximadamente), y se han anotado variables no analíticas. Las muestras se han analizado en laboratorio con métodos habituales en estudios edafológicos (9). La tabla 2 muestra las variables edáficas estudiadas (Propiedades del Suelo, PS).

*Adecuación de los datos ATM.* Para este trabajo, la reflectancia no es la magnitud espectral idónea, ya que (a) los datos auxiliares para su obtención (MDT, condiciones atmosféricas) no están disponibles con la precisión y resolución adecuadas, (b) no es una propiedad intrínseca del suelo, al depender de las condiciones superficiales y de la humedad, y (c) los suelos no son en general superficies cuasi-lambertianas (10,11). Esta problemática se contrastó en la zona de solape de ambas pasadas, donde una franja de suelo es observada bajo ángulos distintos. En ella se localizaron 21 parcelas de suelo desnudo y se comprobó que los valores digitales para puntos homólogos difieren en ambas pasadas: el cociente entre niveles digitales por canales para las dos pasadas oscila entre 0.84 y 0.92. Como alternativa se propone trabajar con la contribución relativa de cada banda a la reflectancia total, que puede ser una cantidad más estable. Una aproximación a este valor se obtiene al dividir cada valor digital por la suma de ND para ese punto para los canales C2 a C10. Un mismo suelo en posiciones topográficas distintas, y lo que es equivalente observado bajo distintos ángulos, debe dar un valor similar en estas nuevas variables. Esto se confirma en las parcelas de solape, donde el cociente medio entre pasadas por canales pasa a estar entre 0.95 y 0.99. Es necesario recordar que al utilizar como variables espectrales estas transformaciones perdemos la información del brillo absoluto de un punto.

#### *Análisis estadístico:*

-Correlaciones lineales simples: Se calcula la matriz de correlaciones lineales simples y

parciales para el conjunto de los datos.

-Diagramas bivariantes: Se estudia la distribución de puntos para todos aquellos pares de variables con correlaciones destacadas, observando si la distribución de errores es satisfactoria y si sugiere alguna transformación que mejore las correlaciones

-Transformaciones: Se generan tres nuevas matrices de datos:  $\ln(\text{PS}) \cdot \text{ATM}$ ,  $\text{PS} \cdot \ln(\text{ATM})$  y  $\ln(\text{PS}) \cdot \ln(\text{ATM})$ . Sobre ellas se vuelven a calcular los coeficientes de correlación.

-Regresiones: Se ensayan regresiones lineales para variables con correlación destacada, con intención descriptiva más que para formulación de rigurosos modelos funcionales.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 3 resume las principales correlaciones entre las variables estudiadas.

La matriz de correlaciones simples entre las variables espectrales muestra un aspecto diferente a la obtenida cuando se trabaja sin la transformación aplicada: se mantiene la alta correlación positiva entre bastantes de los canales adyacentes, pero no en todos. La alta correlación negativa C2'C6 y C4'C8, que se transmite lógicamente a sus canales contiguos, es destacable. Podemos asumir, de cara a la generación de regresiones múltiples, que la variabilidad reside en cuatro grupos de canales: [C2, C3, -C6, -C7, (-C8)], [C4, C5, -C8], [C9, C10],[C12].

Entre las propiedades del suelo identificamos un grupo muy amplio de variables con bastante interdependencia. Si cogemos como referencia el contenido en caliza, este grupo correlaciona positivamente con la capacidad de intercambio catiónico, la materia orgánica y la altitud (un efecto del predominio de caliza como litología en el páramo), negativamente el cromó de Munsell, y con signo variable los parámetros texturales (positiva limo y arcilla, negativa arena). Fuera de este conjunto muy interrelacionado y con coherencia edafológica no se encuentran correlaciones altas. Un análisis de componentes principales confirma que la variabilidad en el conjunto de PS se halla en una variable que caracterize ese conjunto (grupo caliza) más las variables no correlacionadas con él: pH, Fe, P, K, CE, elementos gruesos.

Entre propiedades del suelo y variables

Tabla 1. Daedalus DS-1268 ATM: Configuración espectral

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C12
$\Delta\lambda \mu\text{m}$	0.42-0.45	0.45-0.52	0.52-0.60	0.60-0.62	0.63-0.69	0.69-0.75	0.76-0.90	0.91-1.05	1.55-1.75	2.08-2.35	8.5-13

Tabla 2: Variables edáficas utilizadas en el trabajo

variable	identificación	unidades	mínimo	media	máximo	CV
arena total	ART	%	16.6	51.2	93.4	37
arcilla	AC	%	1.2	18.9	44.3	53
materia orgánica	MO	%	0.07	1.16	4.39	59
caliza total	CAL	%	0.0	15.0	68.8	110
capacidad de cambio cationes	CIC	meq/100 gr	1.0	12.7	26.5	48
conduct. eléctrica	CE	mmhos/cm	0.02	0.18	2.07	121
hierro	FE	ppm	0.7	30.6	251.5	125
altitud	ALT	m	755	830	940	6
brillo Munsell	BRI	--	3.5	5.6	8.0	13
color Munsell	CRO	--	1.0	3.7	8.0	34

Tabla 3. Coeficientes de correlación simple (normal) y parcial (en cursiva) para las variables en estudio (%)

	ART	AC	MO	CAL	CIC	CE	FE	ALT	BRI	CRO	C2	C5	C10	C12
ART	--	<i>-47</i>	<i>-05</i>	<i>-35</i>	<i>-56</i>	<i>11</i>	<i>-06</i>	<i>36</i>	<i>-07</i>	<i>-09</i>	<i>-13</i>	<i>-06</i>	<i>-09</i>	<i>-10</i>
AC	<i>-69</i>	--	<i>-12</i>	<i>-14</i>	<i>12</i>	<i>-12</i>	<i>-08</i>	<i>11</i>	<i>21</i>	<i>-04</i>	<i>-23</i>	<i>-08</i>	<i>-18</i>	<i>-09</i>
MO	<i>-61</i>	<i>35</i>	--	<i>26</i>	<i>42</i>	<i>-01</i>	<i>15</i>	<i>22</i>	<i>-16</i>	<i>-22</i>	<i>-34</i>	<i>-14</i>	<i>20</i>	<i>-28</i>
CAL	<i>-67</i>	<i>34</i>	<i>55</i>	--	<i>-16</i>	<i>-05</i>	<i>-29</i>	<i>35</i>	<i>26</i>	<i>-02</i>	<i>43</i>	<i>-06</i>	<i>-23</i>	<i>-10</i>
CIC	<i>-83</i>	<i>65</i>	<i>77</i>	<i>62</i>	--	<i>16</i>	<i>-11</i>	<i>32</i>	<i>-26</i>	<i>03</i>	<i>10</i>	<i>-06</i>	<i>-11</i>	<i>10</i>
CE	<i>-05</i>	<i>-12</i>	<i>-05</i>	<i>03</i>	<i>02</i>	--	<i>-12</i>	<i>-12</i>	<i>06</i>	<i>03</i>	<i>08</i>	<i>-08</i>	<i>-17</i>	<i>21</i>
FE	<i>-31</i>	<i>-29</i>	<i>-22</i>	<i>-44</i>	<i>-31</i>	<i>-08</i>	--	<i>-11</i>	<i>-08</i>	<i>15</i>	<i>23</i>	<i>01</i>	<i>01</i>	<i>21</i>
ALT	<i>-45</i>	<i>26</i>	<i>61</i>	<i>64</i>	<i>62</i>	<i>-03</i>	<i>-31</i>	--	<i>01</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>16</i>	<i>13</i>	<i>25</i>
BRI	<i>-09</i>	<i>19</i>	<i>-19</i>	<i>23</i>	<i>-12</i>	<i>05</i>	<i>-19</i>	<i>-01</i>	--	<i>-02</i>	<i>-08</i>	<i>-12</i>	<i>-06</i>	<i>12</i>
CRO	<i>-27</i>	<i>-05</i>	<i>-29</i>	<i>-48</i>	<i>-28</i>	<i>-05</i>	<i>21</i>	<i>-28</i>	<i>-06</i>	--	<i>-52</i>	<i>-13</i>	<i>-03</i>	<i>-09</i>
C2	<i>-42</i>	<i>07</i>	<i>27</i>	<i>68</i>	<i>39</i>	<i>10</i>	<i>-18</i>	<i>40</i>	<i>10</i>	<i>-63</i>	--	<i>-22</i>	<i>-05</i>	<i>-14</i>
C5	<i>28</i>	<i>-16</i>	<i>-28</i>	<i>-30</i>	<i>-28</i>	<i>-07</i>	<i>11</i>	<i>-15</i>	<i>-10</i>	<i>13</i>	<i>-30</i>	--	<i>-20</i>	<i>04</i>
C10	<i>10</i>	<i>-20</i>	<i>11</i>	<i>-18</i>	<i>-04</i>	<i>-12</i>	<i>19</i>	<i>08</i>	<i>-18</i>	<i>06</i>	<i>-15</i>	<i>-10</i>	--	<i>35</i>
C12	<i>-13</i>	<i>-01</i>	<i>03</i>	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>14</i>	<i>07</i>	<i>27</i>	<i>10</i>	<i>-08</i>	<i>09</i>	<i>-03</i>	<i>31</i>	--

espectrales hay un número de correlaciones interesantes. Muchas corresponden a una PS del grupo CAL con una de las variables ATM grupo C2. C12 no se correlaciona bien con ninguna PS. C9-C10 tampoco, y el grupo C4 escasamente. Esto repercute negativamente a la hora de ensayar regresiones múltiples, ya que todas las correlaciones importantes parecen redundantes, y los grupos espectrales independientes no añaden mucha información. El análisis de los diagramas bivariantes muestra la poca solidez de gran parte de las correlaciones aparentemente significativas, exceptuando CAL' C2, CRO' C2/-C6.

En general, no se intuye ninguna relación no lineal. Para confirmarlo, se realizan las transformaciones logarítmicas reseñadas. Las correlaciones son peores que las originales excepto  $\text{Ln}(\text{CRO}) \cdot \text{C2}$  (-0.73) y  $\text{Ln}(\text{Fe}) \cdot \text{C2}$  (-0.46).

El estudio de la matriz de correlaciones parciales permite interpretar el comportamiento de pares de variables cuando se ha "controlado" el efecto de las demás. Se aprecia la significativa bajada de correlación entre C2 y las variables del grupo CAL, lo que es una lógica consecuencia de su interdependencia, mientras CRO tiene una reducción menor.

Considerando los resultados anteriores, se han ensayado dos regresiones como las más representativas:

$$\cdot \text{CAL} = F(\text{C2}, \text{C5}, \text{C10}, \text{C12}) \quad R^2=0.50$$

$$\cdot \text{C2} = F(\text{CAL}, \text{CRO}) \quad R^2=0.59$$

### CONCLUSIONES

Solamente parece haber un grado de información significativa sobre los parámetros del suelo estudiados en la señal multispectral, que puede asignarse al grupo C2. Parece probada la correlación positiva de esta señal con el contenido en caliza (que a su vez arrastra a una serie de variables edáficas ligadas como textura, CIC y MO) y negativa con la saturación cromática.

La capacidad de la teledetección para recoger información sobre el suelo es evidente en la variabilidad de los datos espectrales analizados. Pero no es fácil caracterizar esa capacidad solamente con los parámetros que se manejan en este trabajo. Como en muchos otros campos de aplicación, hay que encontrar una leyenda específica (qué conjunto de

condiciones superficiales y/o propiedades analíticas determinan la variabilidad espectral de los suelos), y no simplemente intentar calzar la tradicional.

### REFERENCIAS

- (1) E.R. Stoner, M.F. Baumgardner. "Characteristic variations in reflectance of surface soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1161-1165, 1981.
- (2) G. Guyot "Signatures spectrales des surfaces naturelles". Paradigme, Caen 1992.
- (3) A. Bedidi, B. Cervelle, J. Madeira, "moisture effects on spectral signature and CIE color of lateritic soils". *5th int. colloquium physical measurements and signatures in remote sensing*. ESA SP-319, 1991.
- (4) E.R. Stoner, M.F. Baumgardner, R.A. Weismiller, L. Biehl, B. Robinson "Extension of laboratory soil spectra to field conditions". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:572-574, 1980.
- (5) A. Palacios-Orueta, S. Ustin. "Multivariate statistical classification of soil spectra". *Remote Sensing Environ.* 57:108-118, 1996.
- (6) A.P. Leone, G.G. Wright, C. Corves. "The application of satellite remote sensing for soil studies in upland areas of Southern Italy". *Int. J. Remote Sensing*. Vol. 16, No 6, pp. 1087-1105, 1995.
- (7) P.A. Agbu, D.J. Fehrenbacher, I.J. Jansen. "Soil properties relationship with SPOT satellite data in east central Illinois". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:807-812, 1990
- (8) G.G. Wright, R.V. Birnie. "Detection of surface soil variation using high-resolution satellite data: results from the UK SPOT simulation investigation". *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 7, No 6, pp. 757-766, 1986.
- (9) P.J. Gómez Sánchez "Desarrollo de una metodología edafoclimática para zonificación vitícola". Tesis doctoral. ETSI Agrónomos, UPM, noviembre 1995.
- (10) E.J. Milton, J.P. Webb. "Ground radiometry and airborne multispectral survey of bare soils" *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 8, No 1, pp. 3-14, 1987.
- (11) J. Cierniewski, D. Courault. "Bi-directional reflectance of bare soil surfaces in the visible and near infrared range". *Remote sensing reviews*, Vol. 7, pp. 321-339, 1993.