

Validación del método de Nanni y Dematte para obtener mapas de propiedades del suelo en una isla del Danubio

E. Caselles, C. Pitarch y V. Caselles

*Dpto de Física de la Tierra y Termodinámica, Facultad de Física, Univ. de Valencia.
46100 Burjassot (Valencia)*

Resumen

Para el desarrollo de la agricultura es necesario determinar las propiedades y fertilidad del suelo. Normalmente, se usan análisis de fertilidad de suelos y de fertilidad foliar complementados con análisis granulométricos y mineralógicos; utilizando para ello calicatas e inspeccionando el terreno in situ, tomando muestras de suelos y realizando ensayos de campo. Esta forma de proceder requiere, aproximadamente, la toma de hasta una muestra por ha dependiendo de los objetivos del análisis, lo que alarga y encarece enormemente este tipo de estudios. Sin embargo, la teledetección constituye una herramienta que presenta ventajas comparativas con el análisis clásico para determinar las propiedades del suelo. Correlaciones entre las distintas bandas del espectro electromagnético y las propiedades del suelo nos permiten estimar los atributos del mismo. Así, el objetivo de este trabajo es determinar el contenido de arena, arcilla y materia orgánica en el suelo, utilizando las reflectividades en las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 del Thematic Mapper del Landsat y aplicando las ecuaciones obtenidas para suelos en Brasil (Nanni y Dematte, 2006) en un suelo de diferentes características. Como zona de estudio hemos elegido una isla del Danubio en Rumania. En este caso la taxonomía del suelo es mayoritariamente molisol, frente a la composición de los suelos brasileños, oxisoles y ultisoles (Soil Survey Staff, 1999). Situada a 350 km de la desembocadura del río, en las proximidades de la población de Roseti, en el partido judicial de Calarasi las coordenadas geográficas de la isla son: entre 44° 07' y 44° 13' de latitud Norte y entre 27° 19' y 27° 34' de longitud Este. Los contenidos medios de arena, arcilla y materia orgánica, determinados durante el periodo 2007-2010, para la zona de estudio fueron del 21%, 69% y 5%, respectivamente. Estos resultados se validaron mediante la toma de muestras «in situ» y las diferencias entre los valores medidos y determinados fueron del 2%. Lo que da validez e importancia al método utilizado en este artículo, ya que las ecuaciones fueron desarrolladas en condiciones distintas a las aplicadas durante este estudio.

Palabras clave: materia orgánica, contenido en arena, contenido en arcilla, Thematic Mapper.

Abstract

Nanni and Dematte's method validation for obtaining soil properties maps in a Danube's island

For agriculture development is required to determine the soil properties and fertility. Normally, soil fertility and leaf fertility analyses complemented with granulometric and mineralogical analyses are used; therefore routine soil testing and profiling in situ are used. This procedure requires, approximately, to take up to one sample per ha, depending on the goals of the study which is expensive and time-consuming. However, remote sensing constitutes a tool that presents advantages to determine soil properties in comparison with classical analysis. A correlation between the different bands of the electromagnetic spectrum and the soil properties permits us to estimate soil attributes. Then, in this paper the reflectances of Landsat's Thematic Mapper in bands 1, 2, 3, 4, 5 and 7 are used to determine the soil characteristics, sand, clay and organic matter contents, by applying the equations obtained for Brazilian soils (Nanni y Dematte 2006) in a different kind of soil. As study area we have selected an island of the Danube river in Romania. In this case, soil's taxonomy is mostly mollisol instead of the

* Autor para la correspondencia: eduardo.caselles@uv.es

Recibido: 21-09-12; Aceptado: 30-11-12.

original composition of Brazilian soils, oxisols and ultisols (Soil Survey Staff, 1999). Located 350 km away from the estuary of the river, near the Roseti village, in Calarasi district. The geographical coordinates of the island are: between 44° 07' and 44° 13' N latitude and between 44° 07' and 44° 13' E longitude. The sand, clay and organic matter average contents of the island determined for the period 2007-2010 were 21%, 69% and 5%, respectively. These results were validated using «in situ» measurements and an agreement between the measured and calculated values of 2% was obtained. That gives validity and relevance to the used method in this article since the equations development conditions were different to the ones of this study.

Key words: organic matter, sand content, clay content, Thematic Mapper.

Introducción

Los métodos establecidos en la bibliografía para caracterizar suelos utilizan los análisis granulométricos y mineralógicos junto a análisis de fertilidad de suelos y de fertilidad foliar como técnicas básicas para determinar la composición del suelo (Nanni y Dematte, 2006). Estos métodos de diagnóstico han sido aceptados como consecuencia de la investigación básica llevada a cabo y el ingente número de pruebas que se han hecho desde su establecimiento. Este esfuerzo se debe en parte a que una gran mayoría de los planes medioambientales y agrícolas requieren análisis de suelos. Porque el conocimiento de los componentes minerales y orgánicos, de la aireación y capacidad de retención del agua, así como de otras propiedades de los suelos, es necesario para la conseguir una agricultura productiva y de calidad. Las muestras de suelo son normalmente el resultado de promedios de 15 a 20 muestras individuales que se han tomado en zonas de 12 a 20 ha (van Raij *et al.*, 1996). En algunos casos, como en zonas en las que se realiza agricultura de precisión, se recomienda tomar una muestra cada ha (Wolkowski y Wollenhaupt, 1994). Pero es necesario remarcar, que el muestreo también está estrechamente ligado a la variabilidad espacial en el suelo, pudiendo necesitarse calicatas cada 50 m en adelante. Así pues, aunque los análisis de suelos son muy necesarios, en innumerables ocasiones terminan convirtiéndose en procesos muy costosos y laboriosos a la vez (Dematte *et al.*, 2001).

La teledetección es una propuesta alternativa para determinar algunos de los atributos del suelo utilizando los métodos apropiados y bajo condiciones atmosféricas y de suelo favorables, es decir, suelos sin cobertura vegetal. En

efecto, la literatura muestra que a partir de correlaciones con los datos de reflectividad espectral es posible estimar algunas propiedades del suelo. Así, Frazier y Cheng (1989) ya emplearon el sensor Thematic Mapper para discriminar áreas del estado de Washington (USA) en las que la erosión había permitido que emergieran paleosoles, permitiendo dibujar líneas de suelo que pudieran ser subdivididas en diferentes niveles según su materia orgánica y el contenido de óxidos de hierro. Posteriormente, Rowan y Mars (2002) emplearon imágenes del Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) para identificar y localizar los grupos litológicos más importantes en áreas de buena exposición, mediante técnicas de coincidencia espectral, calibradas con medidas in situ. Por otro lado, Vaughan *et al.* (2005) proponen emplear imágenes del infrarrojo térmico para obtener las propiedades minerales de sistemas geotérmicos activos, diferenciando entre zonas ricas en silicio y arcilla, diversos minerales (incluyendo ópalo, cuarzo, alunita, anortita, albita y caolinita). Para ello, utilizaron el espectrómetro multiespectral MASTER y el hiperespectral SEBASS sobre la zona de Steamboat Springs, en Nevada (USA). Finalmente, Nanni y Dematte (2006) presentan el trabajo más completo de los publicados hasta ahora. Realizan una comparación entre los métodos tradicionales de analizar las principales propiedades del suelo, proponiendo una nueva metodología, alternativa a las tradicionales, para realizar dichos análisis a partir de reflectividades espectrales. Aplicándola a suelos tropicales de Brasil, a partir de las reflectividades correspondientes al sensor Landsat Thematic Mapper.

Por ello y para avanzar un paso más, el objetivo de este artículo será la validación del méto-



Figura 1. Localización de la zona de estudio.

do propuesto en Brasil (Nanni y Dematte, 2006) para los suelos de una zona de Rumania, proporcionando así mapas de propiedades del suelo como contenido de arena, arcilla y materia orgánica para una isla del Danubio utilizando técnicas de teledetección sobre suelos desnudos.

Zona de estudio

La zona de estudio queda acotada a un área de 16.000 ha localizada entre las coordenadas 44° 07' y 44° 13' de latitud Norte y entre 27° 19' y 27° 34' de longitud Este, en el último octavo del río Danubio (ver **figura 1**), donde la taxonomía del suelo corresponde a un molisol (Soil Survey Staff, 1999). Esta área queda contenida en una isla situada a 350 km de la desembocadura del río, en las proximidades de Roseti, en el partido judicial de Calarasi. Y ha sido seleccionada porque, salvo en casos de inundaciones, su composición permanece invariable en el tiempo.

Esta isla presenta como característica un nivel freático inferior al nivel del río en primavera, cuando se produce el deshielo de los Alpes y las lluvias más intensas. Por consiguiente, en ocasiones algunas partes de la misma aparecen inundadas (Caselles *et al.*, 2012).

Métodos

Inicialmente las relaciones utilizadas en esta publicación fueron obtenidas en el laboratorio y para suelos de Brasil (oxisoles y ultisoles) por Nanni y Dematte (2006); y el objetivo de nuestro trabajo consistió en comprobar que estas relaciones se pueden emplear

en un tipo de suelo con diferente génesis a la original.

Se utilizó, para la validación del método, imágenes Landsat-TM de dicha isla. El uso de información obtenida por el sensor Thematic Mapper se debe fundamentalmente a que fue el empleado en el trabajo original. Este sensor dispone de 30 m de resolución espacial que permite analizar perfectamente la isla, con un tamaño aproximado de 8 × 20 km. Tras la recopilación de un conjunto inicial de 53 imágenes libres de nubosidad y que ya estaban corregidas atmosféricamente por el método de Caselles y López-García (1989), datadas en el período 1991-2010, se llevó a cabo una selección de las mismas, escogiendo aquellas posteriores a la eliminación de hierbas y rastrojos anual, con el fin de disponer áreas con suelo desnudo, requerido por el método original. Elegidas las 47 imágenes correspondientes a los meses entre mayo y agosto, se optó por las 6 con fecha del mes de junio de los distintos años, por ser éstas las más cercanas al periodo en que la isla no está cultivada.

El contenido de arena de la isla fue estimado a través de la expresión (Nanni y Dematte, 2006):

$$\text{Arena}^{1/2} = 13,54 + 0,934 \text{ TM1} - 0,228 \text{ TM5} + 0,663 \text{ TM7} \quad [1]$$

donde TM1, TM5 y TM7 son las reflectividades a nivel del suelo de los canales 1, 5 y 7 del Thematic Mapper del Landsat.

El contenido en arcilla de la isla se estimó a través de la expresión (Nanni y Dematte, 2006):

$$\text{Clay}^{1/2} = 27,03 - 1,260 \text{ TM1} + 0,363 \text{ TM3} - 0,301 \text{ TM4} + 0,305 \text{ TM5} - 0,848 \text{ TM7} \quad [2]$$

donde TM1, TM3, TM4, TM5 y TM7 son las reflectividades a nivel del suelo de los canales 1, 3, 4, 5 y 7 del sensor Thematic Mapper del satélite Landsat.

El contenido en materia orgánica se estimó a través de la expresión (Nanni y Dematte, 2006):

$$\text{Materia Orgánica}^{1/2} = 7,084 - 0,109 \text{ TM7} - 0,102 \text{ TM2} \quad [3]$$

donde TM2 y TM7 son las reflectividades a nivel del suelo medidas en los canales 2 y 7 del Thematic Mapper del satélite Landsat.

Resultados

A continuación mostramos los tres mapas de propiedades del suelo para la isla en el mes de junio de 2007.

La **Figura 2** representa el mapa de contenido de arena de la isla del Danubio en junio de 2007. Podemos observar que los valores varían entre 19 y 23% y que los valores máximos se localizan en la parte noreste de la isla.

La **Figura 3** representa el mapa de contenido en arcilla de la isla del Danubio en junio de

2007. Podemos observar que los valores están entre el 67 y el 71%. Los valores máximos se localizan en la parte oeste de la isla.

La **Figura 4** representa el mapa de contenido en materia orgánica de la isla en junio de 2007. Podemos observar que los valores oscilan entre 4,5 y 4,9%. Localizándose los valores máximos en las partes central y oriental de la isla.

Para validar estos resultados, se realizó un análisis multitemporal de los parámetros propuestos (contenidos en arena, arcilla y materia orgánica) para el periodo 2007 a 2010.

Finalmente se obtuvo un conjunto de imágenes Landsat TM sin nubosidad y corregidas de los fenómenos atmosféricos correspondientes al mes de junio de los distintos años, como se ha descrito anteriormente. Los resul-

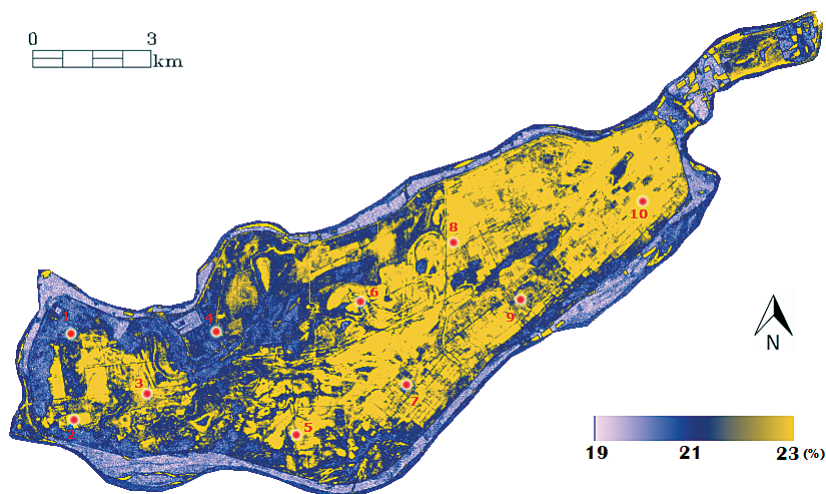


Figura 2. Contenido en arena de la isla en junio de 2007. Nótese que sobre esta imagen se señala, también, la ubicación de los puntos de muestreo utilizados para la validación del método.

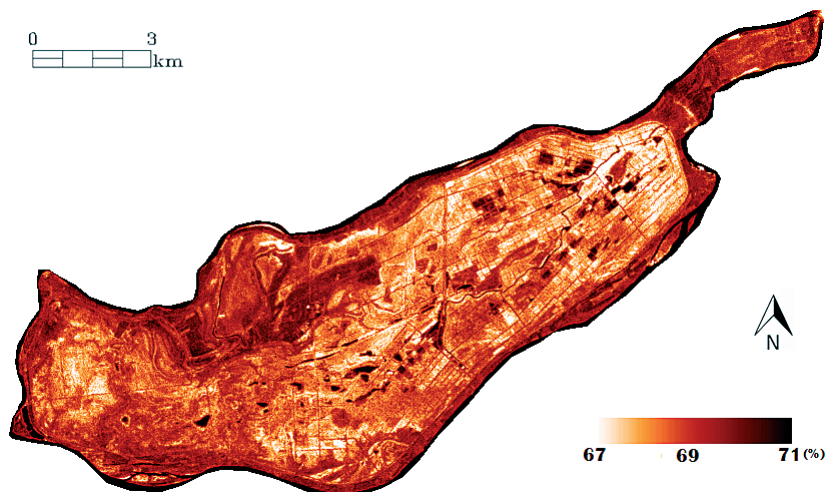


Figura 3. Mapa del contenido en arcilla de la isla para junio de 2007.

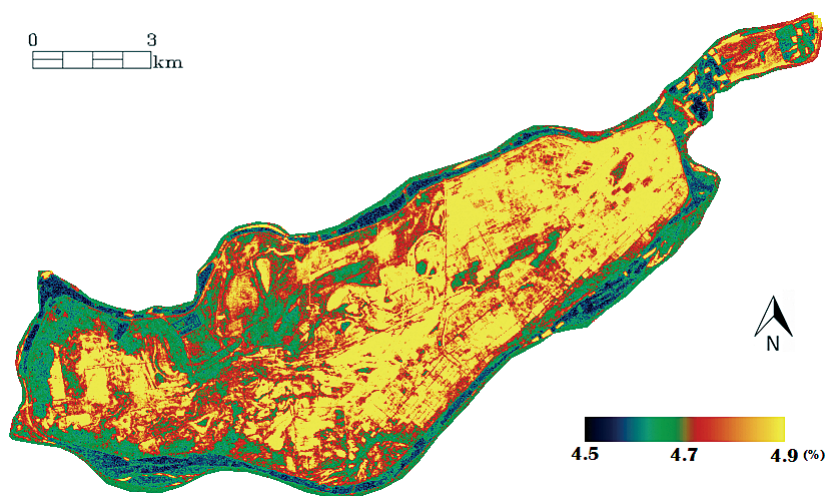


Figura 4. Mapa de contenido en materia orgánica de la isla para junio de 2007.

tados a los que hemos llegado quedan representados en la **Tabla 1** para los contenidos en arena, arcilla y materia orgánica, respectivamente.

Para evaluar la aplicabilidad del método de Nanni y Dematte (2006) a un suelo de la isla del Danubio durante el periodo 2007 a 2010, en la Tabla 1 se han representado dos columnas de datos procedentes de la aplicación de las ecuaciones a las imágenes TM que incluyen, para cada año, los valores máximos y mínimos de los tres componentes estimados: arena, arcilla y materia orgánica. Se observa un porcentaje estable para la materia orgánica, una ligera disminución en el valor máximo de la arena (de 20,5 a 20,0) y un aumento pequeño para los valores máximos y mínimos de los porcentajes de arcilla (de 67,7 a 69,0 y de 69,3 a 69,7).

Suponemos que las propiedades del suelo en la isla no deberían variar en un período breve de tiempo, en ausencia de inundaciones debidas a una crecida del río. Sin embargo, como se puede apreciar con la ligera variación del valor mí-

nimo de arcilla, la isla quedó anegada en el lapso de tiempo entre la imagen del 2009 y la del 2010. Posteriormente con el laboreo de los campos este valor medio vuelve a estabilizarse.

Por tanto, podemos decir que, en líneas generales, los valores de arcilla, arena y contenido en materia orgánica permanecen constantes para el período estudiado, como debe de ser para una isla durante una ventana temporal del orden de 4 años.

Los contenidos medios de arena, arcilla y materia orgánica obtenidos a partir de las imágenes TM, durante el periodo 2007-2010, para la zona de estudio fueron del 21%, 69% y 5%, respectivamente. Los resultados se validaron mediante la toma de muestras «in situ» (Caselles *et al.*, 2012). Éstas consistieron en la toma de muestras superficiales de suelos mediante un muestreo, que se realizó aleatoriamente por toda la isla. Se tomó un total de 10 muestras (ver Figura 2). Se analizaron por separado y después se tomó su valor medio para compararlo con el valor obtenido de las imá-

Tabla 1. Variaciones observadas en la composición de la isla durante el período 2007-2010

Año	Arena(%)		Arcilla(%)		Materia Orgánica(%)	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
2007	20,5	19,6	69,3	67,7	5,0	4,9
2008	20,2	19,6	69,0	67,9	5,0	4,9
2009	20,1	19,6	69,4	67,7	5,0	4,9
2010	20,0	19,6	69,7	69,0	5,0	4,9

Tabla 2. Comparativa de los valores medios obtenidos a partir de las imágenes TM, en porcentajes de arcilla, arena y materia orgánica, con las medidas in situ realizadas

	Valores estimados (%)	Valores medidos (%)	Diferencia (medidos- observados) (%)
Arena	21	24	+3
Arcilla	69	66	-3
Materia orgánica	5	5	0
Valor medio			2

genes TM. Las diferencias entre los valores medios medidos y estimados fueron del 2% (Ver [Tabla 2](#)).

Conclusiones

Como conclusiones del trabajo podemos señalar que:

1. A partir de datos espectrales proporcionados por las bandas del satélite LANDSAT-TM, es posible estimar algunos parámetros del suelo (como su contenido en arena, arcilla y materia orgánica), y

2. El método propuesto por Nanni y Dematte (2006) para suelos brasileños (oxisoles y ultisoles) presenta resultados satisfactorios para los suelos de la isla del Danubio (molisoles).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la GV (proyecto PROMETEO/2009/086) y al MICINN (proyecto CGL2010-17577) la financiación recibida y a los revisores anónimos sus comentarios y sugerencias realizadas que han permitido mejorar considerablemente el artículo.

Referencias

CASELLES, E., PITARCH, C., & CASELLES, V. 2012. Determinación del nivel freático del agua subterránea de una isla mediante imágenes del altímetro ASTER. *Revista de Teledetección*, 37, 5-8.

CASELLES, V., & LÓPEZ-GARCÍA, M. J. 1989. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1127-1134.

DEMATTE, J. A. M., DEMATTE, J. L. I., CAMARGO, W. P., FIORIO, P. R., & NANNI, M. R. 2001. Remote sensing in the recognition and mapping of tropical soils developed on topographic sequences. *Mapping Sciences and Remote Sensing*, 38, 79-102.

FRAZIER, B. E., & CHENG, Y. 1989. Remote sensing of soils in the eastern Palouse region with Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28, 317-325.

NANNI, M. R., & DEMATTE, J. A. M. 2006. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society American Journal*, 70, 393-406.

ROWAN, L. C., & MARS, J. C. 2002. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 84, 350-366.

VAN RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., & FURLANI, A. M. C. 1996. Fertilizer recommendation for São Paulo State, 2. Instituto Agronômico & Fundação IAC, Campinas.

VAUGHAN, R. G., HOOK, S. J., CALVIN, W. M., & TARANIK. 2005. Surface mineral mapping at Steamboat Springs, Nevada, USA, with multi-wave length thermal infrared images. *Remote Sensing of Environment*, 99, 140-158.

WOLKOWSKI, R. P., & WOLLENHAUPT, N. C. 1994. Grid soil sampling. *Better Crops*, 78, 6-9.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. *Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436*. <http://soils.usda.gov/technical/classification/taxonomy/>