

Relaciones de las propiedades del suelo con los datos digitales del satélite LANDSAT (TM) en una zona de Castilla - La Mancha

Colomer Marco, J.C.; Morell Cot, C.; Boluda Hernández, J.R.; Sánchez Díaz, J.

Unidad de Investigación Ciencias de la Tierra del

Departamento de Biología Vegetal

Universitat de València

RESUMEN

A partir de muestras superficiales del suelo se determinaron las relaciones que existen entre algunas propiedades del suelo y la información digital obtenida de una imagen Landsat Thematic Mapper. Además se han desarrollado modelos lineales de regresión múltiple utilizando las propiedades del suelo para predecir la respuesta espectral.

Los mejores modelos se obtienen con los ratios, siendo el obtenido para el ratio TM3/TM4 el mejor. En él, seis parámetros: contenido de carbonato, hierro extraíble, Hue en seco y húmedo, arena fina y arena media, dan cuenta de más del 60% de la varianza. De las bandas, la TM4, es la que presenta el mejor modelo de regresión, donde el limo grueso, el hierro extraíble, el carbonato y la arena fina explican cerca del 40% de la varianza.

ABSTRACT

This study was undertaken to determine the relationships that exists among satellite digital data (LANDSAT-TM) and some soil properties, furthermore models based on soil properties to predict satellite spectral response were generated using stepwise multiple regression techniques.

Color and organic matter content were the soil properties best correlated with the satellite digital data. The following four factors explained 40% of the variability for the band 4: coarse silt, available iron, carbonate equivalent and fine sand. Six factors explained 60% of the variability for the ratio of band 3 to band 4: carbonate equivalent, available iron, dry and moist hue, fine and medium sand.

Introducción

La información espectral obtenida por el satélite Landsat ha mostrado ser de gran utilidad en estudios edafológicos. Westin y Frazee (1976) describen las caracte-

rísticas de las imágenes de satélite que se pueden utilizar en la elaboración de mapas de suelo, preparando un mapa de suelos (escala 1: 1.000.000) a partir de las imágenes del satélite Landsat-MSS. Kirschner et al. (1978) muestran la gran capacidad que presentan los datos obtenidos por el satélite Landsat-MSS para diferenciar, de manera exacta, las características de drenaje de los suelos, las cuales pueden correlacionarse con los tipos de suelo, (series de la clasificación americana), a nivel de detalle (escala 1:20.000). Thompson et al. (1981) encuentran que determinadas propiedades del suelo, importantes para el desarrollo vegetal, son separables en zonas cubiertas de vegetación utilizando imágenes de junio y octubre. Horvath et al. (1984) encuentran que algunas propiedades del suelo son importantes para explicar la variabilidad que presentan los datos espectrales.

Se produjo un avance significativo en la resolución de los datos del satélite con el lanzamiento de un nuevo sensor, el Thematic Mapper (TM), a bordo del Landsat 4, con un mayor número de bandas espectrales (siete), y mayor resolución espacial (30m.). Estas mejoras ofrecen una mayor capacidad para separar importantes propiedades del suelo, incluso en áreas con suelos similares y cubiertas de vegetación (Thompson et al, 1984).

A pesar de que los sensores de los satélites observan únicamente la parte superior del suelo, no es de extrañar que algunas propiedades subsuperficiales del suelo se encuentren correlacionadas con los datos espectrales, ya que tanto las condiciones superficiales como las subsuperficiales se ven afectadas por los mismos factores edafogenéticos, además, las condiciones subsuperficiales del suelo, así como las superficiales, afectan al crecimiento de las plantas (Agbu et al., 1990a).

El objetivo del presente trabajo es definir las relaciones existentes entre las propiedades del suelo estudiadas y la respuesta espectral medida desde satélite (Landsat-TM); así como, determinar, de forma preliminar, cuales de las propiedades del suelo estudiadas son las más importantes para explicar la respuesta espectral. Además, se ha querido comprobar la potencialidad de los ratios obtenidos a partir de las bandas originales en el estudio de los suelos.

Área de estudio

La zona de estudio corresponde a un área rectangular de unos 100 Km² cercana a la localidad de Tomelloso, al este de la provincia de Ciudad Real (España). Se corresponde con una de las zonas piloto donde se ha desarrollado el proyecto europeo EFEDA (Echival Field Experiment in a Desertification-Threatened Area). Se encuentra en el sector central de la llanura manchega. Se trata de un área completamente llana, excepto en el extremo SE, donde aparecen relieves suaves con pendientes que no superan el 5%.

El material originario a partir del que se han originado los suelos es relativamente moderno, de edad Pliocuaternaria, y está constituido por una alternancia de calizas y margas que se encuentran rellenando la depresión manchega. Únicamente en el extremo SE aparecen materiales Jurásicos representados por calizas dolomíticas y carniolas. Los suelos más representativos corresponden a Calcisoles pétricos asociados a Calcisoles háplicos. En el extremo SE, sobre los materiales Jurásicos se desarrollan Leptosoles (Colomer, 1993). El área se encuentra dedicada a la agricultura de secano, siendo la vid el cultivo más representativo (72%). El resto se encuentra ocupado por cereales de invierno (22%), olivos (3%) y restos de vegetación natural (3%) (Santa Olalla et al., 1993).

Presenta clima mediterráneo de tipo continental, con una precipitación media anual de 427 mm. y una temperatura media anual de 14,6°C.

Material y métodos

Procedimientos de campo y laboratorio

Las muestras de suelo se tomaron en los primeros 15 cm. superficiales de un total de 53 puntos de muestreo seleccionados aleatoriamente a lo largo de transectos normales a las curvas de nivel, durante el mes de mayo de 1991. Las muestras fueron llevadas al laboratorio, secadas al aire, molidas y pasadas por un tamiz de 2 mm., determinándose el color, granulometría (las diferentes fracciones USDA completa), contenidos de carbonato cálcico equivalente y materia orgánica, pH en agua, estabilidad estructural (expresada en porcentaje de agregados estables), humedad de saturación a 33KPa., hierro extraíble, según los métodos descritos por el Ministerio de Agricultura (1986). Se calculó el factor K (erosionabilidad del suelo) de la USLE mediante la expresión de Wischmeier y Smith (1978), y el diámetro medio textural según Van Bavel (1950) en Chisci y col. (1989). (Tabla 1).

Análisis de la imagen

En el estudio se han utilizado los datos digitales del satélite LANDSAT-TM tomados el 12 de junio de 1991. Los datos digitales se leyeron utilizando el software Geojars (Microm-España). La imagen se corrigió geoméricamente referenciándola al sistema de coordenadas UTM. Sobre esta imagen georeferenciada se identificaron los puntos de muestreo tomándose los valores digitales de las distintas bandas (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 y TM7) del píxel correspondiente. A partir de estos valores se calcularon una serie de ratios obtenidos de dividir las diferentes bandas originales entre ellas una a una.

SIMBOLO	PROPIEDADES	UNIDADES
CSH	Color seco hue	-
CSV	Color seco value	-
CSC	Color seco chroma	-
SV/C	Ratio CSV/CSC	-
CHH	Color húmedo hue	-
CHV	Color húmedo value	-
CHC	Color húmedo chroma	-
HV/C	Ratio CHV/CHC	-
Ac	Arcilla	%
LiF	Limo fino	%
LiM	Limo medio	%
LiG	Limo grueso	%
LiT	Limo total	%
ArMG	Arena muy gruesa	%
ArG	Arena gruesa	%
ArM	Arena media	%
ArF	Arena fina	%
ArMF	Arena muy fina	%
ArT	Arena total	%
DTM	Diámetro medio textural	mm.
CAR	Carbonato cálcico equivalente	%
MO	Materia orgánica	%
pH	pH en agua	unidades de pH
EE	Estabilidad estructural	%
HS	Humedad de saturación a 33KPa.	%
Fe	Hierro extraíble	mg/Kg
K	Factor K de la USLE	-

TABLA I
Propiedades del suelo estudiadas

Análisis de los datos

El color fue transformado para facilitar el análisis estadístico de los datos (ASTM, 1988, en Agbu and Olson, 1990). El estudio de la relación entre las variables se realizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson, que da una medida de la relación lineal entre cualquier par de variables. El análisis de regresión múltiple se realizó con el paquete estadístico SPSS/PC+, utilizando el método stepwise. En este método las relaciones entre las variables independientes y la dependiente son testadas sistemáticamente y de forma secuencial, incluyendo aquellas variables independientes relevantes como predictoras con un nivel de significación de 0,05.

Resultados

Análisis de correlación

Se han encontrado correlaciones significativas entre las propiedades del suelo y los datos espectrales (tablas 2 y 3), con valores del mismo orden que los obtenidos por otros autores (Coleman et al 1991; Agbu et al 1990a; Horvath et al 1984).

La banda que presenta correlación significativa con mayor número de propiedades del suelo corresponde a la del infrarrojo próximo (TM4), seguido por las bandas del visible (TM1 y TM2), mientras que la banda TM3 sólo presenta correlación con el contenido de materia orgánica al nivel de significación 0,01.

En cuanto a los ratios, el TM3/TM7 es el que está correlacionado con mayor número de propiedades, mientras que no se han encontrado correlaciones significativas con ninguna propiedad para los ratios: TM1/TM2, TM1/TMS, TM1/TM7, TM2/TM7, TM3/TM4 Y TMS/TM7.

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
CSH	.23	.14	.06	.05	.25	.24
CSV	.40*	.37*	.32	.33*	.37*	.34*
CSC	-.10	-.03	.02	.06	-.10	-.11
SV/C	.20	.14	.09	.07	.20	.19
CHH	.28	.20	.13	.06	.34*	.33*
CHV	.32*	.33*	.32	.40*	.30	.27
CHC	-.06	.00	.06	.13	-.08	-.07
HV/C	.23	.19	.15	.15	.24	.1
Ac	-.17	-.08	.02	-.03	-.19	-.15
LiF	-.07	-.06	-.01	-.07	.01	.07
LiM	-.15	-.16	-.15	-.15	-.13	-.06
LiG	-.26	-.27	-.27	-.37*	-.16	-.08
LiT	-.25	-.25	-.23	-.32*	-.15	-.06
ArMG	.12	.06	.00	.18	.09	-.02
ArG	.18	.13	.04	.19	.11	.02
ArM	.13	.10	.03	.17	.08	-.00
ArF	.35*	.35*	.31	.35*	.31	.27
ArMF	.11	.07	.05	-.03	.11	.10
ArT	.31	.25	.16	.27	.26	.15
DTM	.18	.13	.05	.22	.14	.03
CAR	.10	.05	-.04	.12	.04	-.04
MO	-.33*	-.33*	-.36*	-.34*	-.29	-.28
pH	.31	.29	.24	.25	.31	.28
EE	-.17	-.15	-.17	-.16	-.11	-.11
HS	-.17	-.12	-.07	-.16	-.16	-.08
Fe	-.35*	-.33*	-.29	-.37*	-.34*	-.27
K	.05	.02	.01	-.08	.13	.18

N of cases: 53 1- tailed Signif: *- .01 **- .001

TABLA 2
Matriz de correlación entre las propiedades del suelo y las bandas TM

*Relaciones de las propiedades del suelo con los datos digitales
del satélite LANDSAT (TM) en una zona de Castilla - La Mancha*

	1/2	1/3	1/4	1/5	1/7	2/3	2/4	2/5	2/7	3/4	3/5	3/7	4/5	4/7	5/7
CSH	.06	.15	.28	-.13	-.10	.21	.25	-.21	-.18	.04	-.30	-.35*	-.22	-.17	-.11
CSV	-.21	-.10	.01	-.08	-.10	.01	.19	.09	-.03	.14	.09	-.06	-.04	-.08	-.11
CSC	-.08	-.09	-.29	.10	.13	-.11	-.20	.22	.20	-.05	.22	.28	.26	.23	.14
SV/C	-.01	.03	.19	-.11	-.13	.07	.19	-.15	-.16	.08	-.13	-.22	-.20	-.19	-.14
CHH	-.03	.02	.37*	-.29	-.25	.08	.38*	-.29	-.31	.19	-.27	-.41*	-.38*	-.34*	-.23
CHV	-.26	-.17	-.27	-.02	-.01	-.07	-.03	.23	.09	.06	.22	.13	.17	.10	.05
CHC	-.09	-.11	-.37*	.14	.14	-.13	-.26	.25	.21	-.07	.27	.30	.33*	.27	.10
HVIC	-.10	-.04	.10	-.14	-.12	.03	.17	-.06	.11	.08	-.07	-.14	-.15	-.15	-.11
Ac	-.14	-.26	-.24	.10	.02	-.35%	-.15	.24	.11	.11	.42**	.35*	.19	.10	-.02
LiF	-.00	-.11	.01	-.13	-.14	-.19	.01	-.13	-.18	.13	-.01	-.11	-.07	-.09	-.16
LiM	.14	.13	.03	.07	.02	.10	-.05	-.08	-.06	-.08	-.15	-.15	.04	.05	-.04
LiG	.20	.15	.30	-.14	-.15	.11	.13	-.36*	-.29	.01	.35*	-.39*	-.29	-.24	-.14
LiT	.18	.12	.21	-.10	-.12	.06	.06	-.30	-.26	.01	-.28	-.34*	-.18	-.15	-.15
ArMG	.13	.20	-.13	.06	.20	.24	-.19	-.04	.18	-.28	-.18	.05	.15	.21	.27
ArG	.07	.20	-.06	.10	.19	.29	-.08	.06	.20	-.23	-.14	.04	.13	.17	.22
ArM	.04	.18	-.09	.09	.18	.29	-.09	.10	.21	-.24	-.11	.05	.13	.17	.22
ArF	-.24	-.12	-.10	-.06	-.05	-.01	.10	.22	.05	-.08	.17	.07	.03	-.01	-.07
ArMF	-.03	-.05	.24	-.10	-.13	-.06	.23	-.13	-.14	.19	-.05	-.11	-.23	-.20	-.11
ArT	-.04	.10	.01	.00	.08	.21	.06	.06	.12	-.09	-.09	.01	.01	.05	.12
DTM	.07	.19	-.11	.08	.20	.28	-.13	.03	.20	-.26	-.15	.05	.14	.19	.25
CAR	.13	.26	-.06	.11	.21	.34*	-.13	.02	.18	-.30	-.21	-.02	.13	.18	.22
MO	.29	.32*	.12	.07	.12	.34*	-.10	-.21	.01	-.27	.36*	-.16	-.04	.03	.18
pH	-.18	-.06	.04	-.09	-.08	.03	.19	.10	-.03	.13	.03	-.08	-.05	-.06	-.12
EE	.11	.15	.01	-.06	.01	.19	-.06	-.16	-.04	-.14	-.22	-.13	-.05	-.01	.07
HS	-.03	-.11	.02	.03	-.08	-.15	.04	.06	-.07	.13	.13	.02	-.01	-.06	-.13
Fe	.19	.10	.15	.10	.03	.02	-.04	-.08	-.05	-.04	-.06	-.03	-.04	-.03	.01
K	.01	-.02	.24	-.20	-.24	-.04	.22	-.25	-.31	.16	-.18	.35*	-.27	-.26	-.26

N of cases: 53 I-tailed Signif: * - .01 ** - .001

TABLA 3
Matriz de correlaciones entre las propiedades del suelo y los ratios

Si se observan las propiedades, es el color y la materia orgánica las que se correlacionan con mayor número de bandas y ratios, mientras que para la estabilidad estructural, el pH en agua y la humedad de saturación a 33 KPa no se han encontrado correlaciones significativas.

El color húmedo presenta más correlaciones con las bandas espectrales que el seco. El value, tanto en húmedo como en seco, sólo está correlacionado con bandas; el hue seco y chroma húmedo sólo con ratios; mientras que el hue húmedo se encuentra relacionado tanto con bandas (del infrarrojo medio) como con ratios. Para el chroma seco no se han encontrado correlaciones.

En las diferentes fracciones granulométricas sólo se han encontrado correlaciones para la arcilla, limo grueso, limo total y arena fina. La fracción arcilla sólo se correlaciona con ratios, presentando mayor correlación con el TM3/TM5 (nivel de significación 0,001). En la fracción limo, es el limo grueso el que mejor correlacionado está. La arena fina sólo se correlaciona con bandas, tanto del infrarrojo próximo como del visible.

El contenido de materia orgánica no presenta correlación con las bandas correspondientes al infrarrojo medio, y sí con las del visible y la del infrarrojo próximo.

El factor K de la USLE sólo se correlaciona con el ratio TM3/TM7 y, el contenido en carbonato cálcico equivalente con el TM2/TM3.

El contenido de hierro extraíble se correlaciona con las bandas a excepción de la TM7 y TM3.

Análisis de regresión múltiple

Los valores de las propiedades del suelo se utilizaron como variables independientes en los modelos de regresión generados para estimar los datos espectrales (variables dependientes).

Del total de propiedades del suelo utilizadas, sólo siete actúan como predictores en las rectas de regresión generadas para las bandas: value seco, contenidos de materia orgánica y carbonato cálcico equivalente, estabilidad estructural, contenido de hierro extraíble, limo grueso y arena fina, siendo las dos primeras las que más se repiten. En el caso de los ratios los predictores son: hue seco y húmedo, chroma húmedo, arcilla, limo grueso, limo total, arena muy gruesa, media, fina y muy fina, diámetro medio textural, contenidos de carbonato cálcico y materia orgánica, estabilidad estructural y contenido de hierro extraíble.

El porcentaje de varianza explicada por los modelos obtenidos para las bandas es, en general, bajo, inferior al 25%.

Relaciones de las propiedades del suelo con los datos digitales del satélite LANDSAT (TM) en una zona de Castilla - La Mancha

Variable Dependiente	MultiR	Rsq	Variable	Error Estandar	Nivel Significación	
TM4	.6221	.3874	LiG	-.88350	.37782	.0236
			Fe	-.11690	.02911	.0002
			CAR	-.37259	.12989	.0061
			ArF	1.04143	51.425	.0484
			(Constante)	125.23946	12.46552	.0000
TM3/TM4	.7791		CAR	-2.63079E-03	8.53151E-04	.0035
			Fe	-5.95531E-01	1.72718E-04	.0012
			CHH	.09072	.01620	.0000
			CSH	-.08921	.01838	.0000
			ArF	.01207	3.71950E-03	.0022
			ArM	-.01202	1.90895E-03	.0182
			(Constante)	1.00877	.12956	.0000
TM3/TM5	.6623	.4386	Ac	3.62872E-03	8.38542E-04	.0001
			Fe	-3.44462E-04	8.85663E-05	.0003
			ArF	-4.32617E-03	1.39374E-03	.0032
			CAR	1.01881E-04	4.04399E-04	.0032
			(Constante)	.43106	.03569	.0000
TM4/TM5	.6816	.4646	CHH	-.08098	.01439	.0000
			CSH	.07553	.01565	.0000
			LiG	-3.70950E-03	1.60027E-03	.0217
			(Constante)	.68571	.08269	.0000
TM4/TM7	.6697	.4485	CHH	-.24707	.04415	.0000
			CSH	.22178	.04898	.0000
			DMT	.83572	.37813	.0319
			(Constante)	1.23512	.25262	.0000

Sólo la banda TM4 presenta un valor próximo al 40%. En el caso de los ratios se obtienen valores superiores: 60% para el ratio TM3/TM4; valores comprendidos entre el 60% y el 40% para los ratios TM3/TM5, TM4/TM5 y TM4/TM7; y valores entre el 40% y el 30% para TMI/TM4, TMI/TM5, TM2/TM4 y TM2/TM7. En la ta-

bla 4 aparecen descritos los modelos de regresión que presentan mayor coeficiente de significación. En el caso del ratio TM3/TM4, el 60% de la variabilidad es explicado por la interacción de seis variables.

Para el ratio TMI/TM7 no se ha obtenido ningún modelo de regresión.

De todas las propiedades, el color es el predictor más frecuente, siendo el valor seco el único que aparece en los modelos generados para las bandas, mientras que en los de los ratios es el hue, tanto en seco como en húmedo, que generalmente aparecen juntos.

Las diferentes fracciones granulométricas tienen más importancia en los modelos de los ratios que de las bandas, ya que sólo aparecen como predictores para la banda TM4 (LiG y ArF).

Conclusiones

Las relaciones encontradas entre los datos espectrales y las propiedades del suelo muestran que los datos obtenidos por el satélite proporcionan una información valiosa para el estudio de las propiedades del suelo.

Los análisis de regresión múltiple entre los datos espectrales y las propiedades del suelo muestran que, para la zona estudiada, muchas de ellas son importantes para predecir la respuesta espectral, mientras que no aparecen como predictoras: el chroma, tanto en seco como en húmedo, los ratios SV/C y HV/C, los porcentajes de limo fino y medio, arena gruesa y arena total, el pH, la humedad de saturación a 33KPa. y el factor K de la Usle.

Se han obtenido, para la zona estudiada, mejores resultados con los ratios que con las bandas, lo que muestra la gran utilidad que estos pueden tener en estudios del suelo.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el soporte económico de la Comisión de las Comunidades Europeas (DG XII), a través del proyecto ECHIVAL Field Experiment in a Desertification-Threatened Area (EFEDA), contrato n° EPOC-CT 90-0030 (LNBE), que ha permitido la realización de la presente investigación.

Bibliografía

- Agbu, P.A., Fehrenbacher, D.J. and Jansen, I.J.:** 1990a. Soil property relationships with SPOT satellite digital data in east central Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 807-812.
- Agbu, P.A. and Olson, K.R.:** 1990b. Spatial variability of soil properties in selected Illinois mollisols. *Soil Sci.* 150: 777-786.
- Chisci, G., Bazzofi, P. and Mbagwu, J.S.C.:** 1989. Comparison of aggregate stability indices for soil classification and assessment of soil management practices. *Soil Technology.* 2: 113-133.
- Coleman, T.L. et al.:** 1991. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils. *Soil Sci.* 151: 355-361.
- Colomer, J.C.:** 1993. Los suelos de Las zonas de Barrax y Tomelloso (Castilla-La Mancha) Trabajo de Investigación Departamento de Biología Vegetal, Universitat de València.
- Horvath, E.H. et al.:** 1984. The relationships of Landsat digital data to the properties of Arizona rangelands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1331-1334.
- Kirschner, F.R. et al.:** 1978. Map unit composition assessment using drainage classes defined by Landsat data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 768-781.
- Santa Olalla Mañas, F.M. et al.:** 1993. Vegetation, soil and land use. In *Final Report of EFE-DA Project*, chapter 3, 51 pp. (inédito).
- Thompson, D.R., Haas, R.H. and Milford, M.H.:** 1981. Evaluation of Landsat Multispectral Scanner data for mapping vegetated soil landscapes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 91-95.
- Thompson, D.R. and Henderson, K.E.:** 1984. Detecting soils under cultural vegetation using digital Landsat Thematic Mapper data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1316-1319.
- VV.AA.:** 1986. Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas. En *Métodos Oficiales de Análisis*. tomo III: 83-283. M.A.P.A., Madrid.
- Westin, F.C. and Frazee, C.J.:** 1976. Landsat data, its use in a soil survey program. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 81-89.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D.:** 1978. *Predicting Rainfall erosion losses*. USDA Agr. Res. Serv. Handbook 537.

