

DISCRIMINACIÓN DE LA OCUPACIÓN DEL SUELO EN UN AREA YESOSA DE MÉXICO MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT ETM+

J. F. Martínez-Montoya(*), J. Herrero-Isern(**) y M. A. Casterad(**)

jfmartinez@aragob.es.

(*Colegio de Postgraduados. Iturbide 73, 78600 Salinas de Hgo., S. L. P., México.

(**)Servicio de Investigación Agroalimentaria, Gobierno de Aragón. Apartado 727, 50080 Zaragoza, España.

RESUMEN

Se investiga la utilidad de las imágenes Landsat ETM+ para actualizar la cartografía de terrenos yesosos en México empleando una imagen de la época húmeda y otra de la época seca. Las bandas ETM+ 6, 5, 7 y 4, por este orden, fueron las más útiles para discriminar coberturas de suelos con yeso somero. Mediante clasificación supervisada, y asignación por máxima verosimilitud, se encontró que el pastizal gipsófilo se asocia a los suelos que tienen un horizonte con más de 50 % de yeso a menos de 25 cm de profundidad. El matorral desértico sin verdor y con verdor bajo aparecen en áreas de transición con ese tipo de suelos. En la banda térmica se identifica bien al pastizal gipsófilo y áreas de transición a matorral, especialmente en la imagen de la época húmeda.

Palabras clave: Gypsids, Landsat ETM+, infrarrojo térmico, gipsófitas.

ABSTRACT

This research evaluates the utility of Landsat ETM+ images to update the gypsiferous land cartography in Mexico. One image of humid season and another of dry season were used. The ETM+ bands 6, 5, 7 and 4, keeping this order, were the more useful for canopies discrimination on soils with shallow gypsum. Using supervised classification and assignation by maximum likelihood, the authors found that the class gypsophile grass is associated to soils with very shallow gypsum, i. e., on soils where a horizon with more than 50 % of gypsum occurs in the upper 25 cm of the soil profile. The thematic classes semi-dry desertic scrub without and with low greenness appear on the transitional areas related with this soil, as well. In addition, the thermal band permits to identify well the gypsophile grass and transitional areas to scrub, specially using the image of humid season.

Key words: Gypsids, Landsat ETM+, thermic infrared, gypsophyte.

INTRODUCCIÓN

Los suelos yesosos de México ocupan extensiones considerables del Desierto Chihuahuense; así, en el Altiplano Potosino comprenden una superficie aproximada de 96 000 ha (CETENAL, 1972). En ellos se practica la ganadería extensiva y la agricultura, y tienen un considerable interés económico y ambiental. Por otro lado, los elevados contenidos en yeso exigen un manejo diferenciado, lo cual requiere conocer su ubicación y extensión.

Pese a ello, estos suelos no se reflejan en la generalización cartográfica de SEMARNAP (1999) a escala 1: 4 000 000, aun siendo cartografiables a esa escala. Además, los reconocimientos previos de campo con el apoyo de imágenes aéreas y satelitales indican un área yesosa mucho mayor que la reportada por CETENAL (1972). Esto se achaca al limitado trabajo de campo y laboratorio con que se confeccionó esa cartografía, y a los avances en los últimos 35 años tanto en teledetección como en edafología. Así, esos mapas usan la leyenda de suelos FAO (1968), hoy obsoleta; además a la escala aquí

considerada sería más adecuada una leyenda basada en Soil Survey Staff (1999), con ella estos suelos yesosos se clasificarían dentro del suborden Gypsids.

Los sensores remotos se han aplicado poco a la investigación de suelos yesosos. Cabe destacar los estudios de la respuesta espectral del yeso (Hunt *et alii*, 1971) y los trabajos, con datos Landsat TM, de Goossens y Van Ranst (1998) y Goossens *et alii* (1999) acerca de terrenos yesosos.

El objetivo del presente artículo fue establecer un procedimiento capaz de localizar los terrenos ricos en yeso, mediante la discriminación de las clases de ocupación propias de suelos yesosos usando datos Landsat ETM+.

MATERIAL Y MÉTODO

El área de estudio se ubica en el Altiplano Potosino, México, entre los 23° 42' 35" N y los 23° 55' 18" N, y entre los 100° 34' 7" W y los 101° 5' 14" W, abarcando una superficie yesosa de 34 101 ha según los reconocimientos de campo antes mencionados. El clima es semiárido, con temperatura promedio anual de 16.5 °C en Vanegas y 18.1 °C en

Cedral. La precipitación promedio total anual es de 333 mm en Vanegas y 478 mm en Cedral, con lluvias principalmente en verano. Se utilizaron dos imágenes Landsat ETM+ del área de estudio proporcionadas, ya georreferenciadas, por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT). Las imágenes tratadas son recortes de las escenas 28/43, del 28-11-1999, a finales de la época húmeda, y 28/44, del 19-03-2000, al principio de la época seca.

El primer paso fue la corrección atmosférica (Chávez, 1988) de las bandas 1 a 5 y 7, es decir las seis del visible e infrarrojo cercano y medio (VIR), y después se transformaron los niveles digitales a reflectancia (Chuvieco, 2002). El otro paso fue transformar el Nivel Digital de la banda ETM+6 a valores de temperatura, °C, con el procedimiento de Sospedra *et alii*, (1998).

A continuación se aplicó una máscara para trabajar sólo con el área yesosa previamente delimitada con trabajo de campo. En falso color, las imágenes RGB 675 y la 647 dieron los mejores rendimientos. Las áreas de entrenamiento se tomaron con estas imágenes, considerando a la vez las cartas edafológicas y de uso del suelo (CETENAL, 1972; INEGI, 1983) con verificaciones en campo de la presencia de yeso y de la profundidad a que se encuentra. La separabilidad entre clases espectrales se estableció mediante la divergencia transformada (DT) y la distancia de Jeffries Matusita (J-M). Para la clasificación supervisada de cada imagen se emplearon las siete bandas, con asignación por máxima verosimilitud. Los mapas se evaluaron con matrices de confusión usando áreas no utilizadas para entrenamiento, calculando la fiabilidad global y el índice kappa (κ). Para la clasificación espectral se utilizó el software ERDAS 8.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante clasificación supervisada de cada imagen se generaron doce clases temáticas (Cuadro 1). La primera (A1.1) corresponde a agricultura de temporal con problemas de erosión, las cinco siguientes tanto a agricultura de temporal como de riego, y las seis últimas a vegetación natural. Las divisiones creadas en el área agrícola y en el Matorral desértico micrófilo (Cuadro 1) se basaron en el índice verdor (Chuvieco, 2002).

Las clases pastizal gipsófilo, agrícola sin verdor, verdor muy bajo, MDM sin verdor y con verdor bajo, tal como se delimitan en las dos fechas, tienen suelos poco profundos, con 50 % o más de yeso a menos de 25 cm de profundidad, y en gran parte a menos de 1 cm. Ello les da temperatura y reflectancia ligeramente diferentes a las demás clases (Figuras 1 y 2). El yeso somero confiere al

suelo características físicas y químicas que sólo permiten establecerse a plantas adaptadas (Meyer *et alii*, 1992; Rubio y Escudero, 2000). Esto se manifiesta en la reflectancia y en la temperatura de la cobertura. Así, en la imagen de la época húmeda la distribución de frecuencias es trimodal (Figura 1) debido a las diferencias de temperatura entre las coberturas, mientras que en la época seca es unimodal al disminuir el contraste espectral (Elvidge, 1990). Las clases B1.3, B1.4 y B3 (Cuadro 1) se diferencian de las anteriores por localizarse principalmente en áreas con yeso profundo, >25 cm, según nuestras observaciones de campo.

Cuadro 1. Clases temáticas establecidas, y su correspondencia con la vegetación y los suelos según los mapas CETENAL (1972) e INEGI (1983) en el área agrícola y las tres de vegetación natural, en ellos delimitadas.

	Clase temática	Cobertura	Suelo
ÁREA AGRÍCOLA			
Sin cultivo	A1.1 Sin verdor	At, Ar, E	Xh, Ie, Zo, Fpy, Fpc
	A1.2 Verdor muy bajo	At, Pg	Xy, Fpy
	A1.3 Verdor bajo	At	Xk, Xy, Rc, Ie, Fpy, Fpc
Con cultivo	A2.1 Verdor medio	At, Ar	Xh, Xy, Zo, Fpy, ms, n
	A2.2 Verdor alto	Ar, At	Xy, Xk, Xh, Fpy
	A2.3 Verdor muy alto	Ar	Xy, Xh, Xk, Fpy, Fpc
VEGETACIÓN NATURAL			
MDM	B1.1 Sin verdor	Lt	Ie, Xy, Xk, Fpy, ms
	B1.2 Verdor bajo	Lt, Yu	Xk, Xh, Xy, Yy, Fpy, Fpc
	B1.3 Verdor medio	Hp, Cp	Ie, Rc, Xk, Fpc, Fpy
	B1.4 Verdor alto	Pl, Lt, Yu, Ac	Xy, Xh, Xk, Fpy, Fpc
Pg	B2	Bc, Mp, Ac, Su, Lt	Xy, Fpy
Mz	B3	Pl, Ac, Op	Xy, Xh, Fpy

Cobertura: Pastizal gipsófilo (Pg), Matorral desértico micrófilo (MDM), Agricultura de regadío (Ar), de temporal (At), erosión (E), *Bouteloua chasei* (Bc), *Muhlenbergia purpusii* (Mp), *Atriplex canescens* (Ac), *Suaeda sp.* (Su), *Larrea tridentata* (Lt), *Prosopis laevigata* Pl), *Acacia sp.* (Ac), *Opuntia sp.* (Op) *Helietta parviflora* (Hp), *Celtis pallida* (Cp), *Yucca sp.* (Yu).

Suelos: Xerosol gipsico (Xy), háplico (Xh) y cálcico (Xk); Yermosol gipsico (Yy); Litosol éutrico (Ie); Solonchak órtico (Zo); Regosol cálcico (Rc); Fase petrogipsica (Fpy), petrocálcica (Fpc), Medianamente salino (ms) y nátrico (n).

Para las 12 clases, el promedio de los valores de J-M fue de 1412 y 1409 en la imagen 28/44 y 28/43 respectivamente, y el de DT fue de 1999 en ambas imágenes. Son exactitudes altas ya que el máximo posible es de 1414.24 para J-M, y de 2000 para DT.

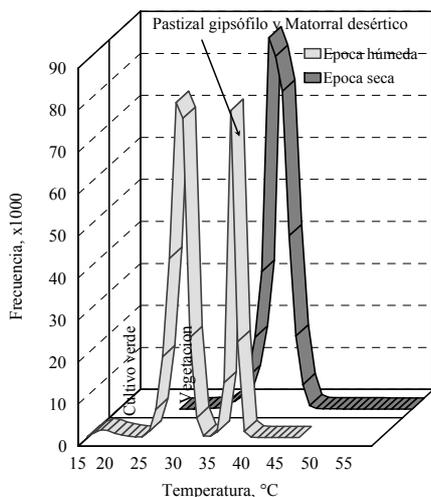


Figura 1. Distribución de frecuencias de temperatura en cada imagen (época seca y húmeda).

La fiabilidad global de la clasificación de la imagen de la época seca fue de 0.93 y $\kappa = 0.92$, en la imagen de la temporada húmeda los valores son 0.99 y 0.89, respectivamente. La clase verdor muy alto (A2.3) en ambas imágenes, presentó los menores valores de exactitud (91.1 % del productor, 75.9 % del usuario y $\kappa = 0.76$ en la época seca y 88.2 %, 69 % y $\kappa = 0.69$ en la época húmeda, respectivamente) debido a su traslape (24 % en la época seca y 27.6 % en la húmeda) con la clase verdor alto (A2.2). Los valores de los parámetros son más altos en temporada seca debido a la mayor separación entre vegetación verde y seca. El mayor κ fue para Matorral desértico con verdor alto (B1.4), con 0.98 y 0.97 para la imagen seca y húmeda, respectivamente.

El pastizal gipsófilo (B2) se discrimina ligeramente mejor en la época húmeda ($\kappa = 0.98$ en la época húmeda y $\kappa = 0.97$, en la seca) y su exactitud del productor es de 73.4 % y 79.4 % y del usuario 98.8 % y 97.8 % para la época húmeda y seca, respectivamente. Con el criterio del productor esta clase incluye en la época húmeda un 20 % de la clase B1.1, 4.5 % de B1.3 y 2.11 % de B1.2, para la época seca los valores disminuyen. La discrimi-

minación del pastizal gipsófilo (B2) frente al matorral desértico Sin verdor (B1.1) y verdor bajo (B1.2) se ve favorecida por la diferencia de temperatura, de B2 respecto a B1.1 y B1.2. Sin embargo, hay áreas de B1.1 y B1.2 cuya temperatura es similar a la del B2, debido a la baja densidad del matorral, a menudo con sobrepastoreo. Estas áreas se consideran de transición, y podrían llamarse pastizal gipsófilo con matorral desértico, pero requieren estudios más detallados para delimitarlas.

En las dos imágenes, las clases A1.1 a A1.3, relacionadas con la agricultura de temporal, llamada de secano en España, dan las mayores reflectancias, como se observa en la Figura 1, correspondiente a la época húmeda. Destaca la clase A1.1, que por incluir áreas erosionadas tiene fuerte participación del yeso edáfico o de la roca, o de horizontes petrocálcicos (tepetate) aflorantes; todo ello aumenta la reflectividad, y además son áreas medianamente salinas (CETENAL, 1972; INEGI, 1983).

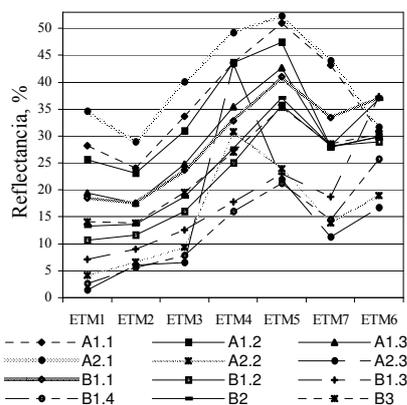


Figura 2. Comportamiento espectral de las clases temáticas establecidas en el Cuadro 1. Imagen de la época húmeda. ETM+6 en °C.

Según el análisis visual, las bandas ETM+ más útiles en la discriminación de la ocupación de los terrenos yesosos resultaron ser: 6, 5, 7, 4, 3, y 1, en ese orden. Ello concuerda con las diferencias de las respuestas espectrales de las clases temáticas (Figura 2). El resultado coincide con Goossens y Van Ranst (1998) y con Goossens *et alii*, (1999).

La banda térmica fue de gran ayuda en la discriminación de coberturas, ya que las áreas con yeso superficial presentan mayor temperatura (Figura 2) y en la época húmeda se separan aún mejor (Figura 1). Esto permite separar clases que se confunden en las bandas VIR. Por ejemplo, en la temporada húmeda, el Pastizal gipsófilo (B2) y

Matorral desértico (B1.1) se logran discriminar bien debido a que presentan diferente temperatura, siendo más alta en B2 (36.9 °C) que en B1.1 (32.5 °C).

Considerando los valores de temperatura calculados con la imagen de la época húmeda (Figura 2) se forman cuatro grupos de coberturas. En el de las temperaturas bajas (< 24 °C) están los cultivos con verdor alto y muy alto (A2.2 y A2.3), y en el de las altas (> 36 °C) están el Matorral desértico sin verdor y verdor bajo y el Pastizal gipsófilo (B1.1, B1.2 y B2), el mezquital (B3) tiene temperatura de 25.8 °C y las otras clases quedan entre B3 y el grupo de temperaturas altas. En la imagen de la época seca no se forman los cuatro grupos debido al bajo contraste espectral de la vegetación seca (Elvidge, 1988, 1990). El pastizal gipsófilo presenta mayor temperatura en la época seca (43.4 °C) que en la húmeda (36.9 °C). El mayor desarrollo de la vegetación en la temporada de lluvias origina un descenso en la temperatura debido al alto contenido de agua en las hojas (Elvidge, 1988). Dicho decremento se aprecia, por ejemplo, en la temperatura de las clases agrícolas verdor muy alto (A2.3 = 16.7 °C) y verdor bajo (A1.3 = 38 °C).

CONCLUSIONES

El orden de importancia de las bandas por su utilidad en la discriminación de la ocupación de los terrenos yesosos fue ETM+ 6, 5, 7, 4, 3, 1, y 2.

Se ha delimitado el pastizal gipsófilo a partir de datos de satélite. Esa delimitación permite constatar que dicha cobertura se establece en suelos con horizonte yesoso a profundidad menor a 25 cm.

La banda del infrarrojo térmico, por su sensibilidad al contenido de agua de las plantas, resultó clave para delimitar coberturas asociadas a suelos con yeso somero.

El procedimiento presentado consigue discriminar coberturas relacionadas con terrenos yesosos. En términos generales, la imagen de la época húmeda discriminó mejor esas clases de ocupación, por lo que se recomienda su uso en estudios de áreas similares.

LITERATURA CITADA

CETENAL, 1972. Cartas de uso del suelo y edafológicas F14 A25, F14 A24, F14 A23 y F14 A14, escala 1:50 000. SPP, México.

Chavez, P.S. Jr. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: 459-479.

Chuvieco, S.A. 2002. Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel Ciencia, Barcelona. 586 p.

Elvidge, D.C. 1988. Thermal infrared reflectance of dry plant materials: 2.5-20.0 μm . *Remote Sensing of Environment* 26:265-285.

Elvidge, C.D. 1990. Visible and infrared reflectance characteristics of plant materials. *Int. J. of Remote Sensing* 12: 1775-1795.

FAO/UNESCO, 1968. Clave de unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Roma, Italia.

Goossens, R. y Van Ranst, E. 1998. The use of remote sensing to map gypsiferous soils in the Ismailia Province (Egypt). *Geoderma* 87: 47-56.

Goossens, R., Van Ranst, E., Ghabour, T.K. y El Badawi, M. 1999. The use of remote sensing and GIS to detect gypsiferous soils in the Ismailia Province, Egypt. p: 97-102. En: *Nieuwenhuis, G. et alii, (eds) Operational remote sensing for sustainable development Proc. 18th EARSeL Symposium, May 1998*. Balkema, Rotterdam

INEGI, 1983. Carta estatal, SLP, de suelos y de vegetación y uso actual, escala 1:1 000 000. SPP, México.

Hunt, G.R., Salisbury, J.W. y Lenhoff, C.J. 1971. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: IV. Sulphides and sulphates. *Modern Geology* 3: 1-14.

Meyer, E.S., García-Moya, E. y Lagunes-Espinoza, L. C. 1992. Topographic and soil surface effects on gypsophile plant community patterns in central México. *J. Vegetation Sci.* 3: 429-438.

Rubio, A. y Escudero, A. 2000. Small-scale spatial soil-plant relationship in semi-arid gypsum environments. *Plant and Soil* 220: 139-150.

SEMARNAP, 1999. Mapa de suelos dominantes en México, Primera aproximación. SEMARNAP-CP-INEGI.

Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2^a ed. USDA Agriculture Handbook. 436. Washington, DC.

Sospedra, F., Caselles, V. y Valor E. 1998. Effective wavenumber for thermal infrared bands-application to Landsat-TM. *Int. J. of Remote Sensing* 19(11): 2105-2117.

Este trabajo fue posible gracias a las imágenes de satélite proporcionadas por la SEMARNAP-México, y por la beca otorgada por CONACYT-México al primer autor. Se agradece también la asesoría de Judith Ramos en los cálculos de temperatura a partir de imágenes de satélite.