

# UTILIDAD DE LA BANDA TÉRMICA DE LANDSAT EN LA DISCRIMINACIÓN DE TERRENOS YESOSOS.

Martínez-Montoya, J. F\*, Herrero-Isern, J. \*\*, Casterad, M. A.\*\*\*

\* Colegio de Postgraduados. Iturbide 73, 78620, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. [fmontoya@colpos.mx](mailto:fmontoya@colpos.mx). (52) 496 9630240.

\*\* Estación Experimental de Aula Dei, CSIC, Apartado 13034, 50080 Zaragoza, España.

\*\*\* Centro de Investigación Agroalimentaria de Aragón. Unidad de Suelos y Riegos (Unidad asociada a EEAD-CSIC). Av. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España.

## Resumen

El uso de la teledetección en la cartografía de terreno yesosos es menos frecuente que en el mapeo de otros recursos naturales. Los datos Landsat son los más utilizados en la discriminación de terrenos yesosos. Sin embargo, existen opiniones encontradas sobre la utilidad de su banda térmica. En este trabajo se explora la banda térmica (IRt) de Landsat ETM+, transformada a temperatura superficial, para discriminar suelos o litologías yesosas, ensayándose y analizándose dos formas de transformación de sus niveles digitales a temperatura que difieren en el modo de cálculo de la emisividad, Forma I según la propuesta por Van de Griend y Owe, (1993) y Forma II de acuerdo a las adecuaciones propuestas por Valor y Caselles (1996). El trabajo se desarrolla en dos regiones semiáridas yesosas, Cedral, en el Altiplano Potosino de México y Bujaraloz, en la región de los Monegros en España. Únicamente se aprecian diferencias importantes entre usar una u otra forma de obtención de temperatura en Cedral, para la época húmeda. Se opta por aplicar la Forma II, excepto para la época húmeda en Cedral, donde se aplica la Forma I por ser las temperaturas obtenidas mediante la Forma II poco probables para esa época. Las clasificaciones supervisadas de las imágenes Landsat han proporcionado una cartografía temática basada en usos y ocupaciones del suelo para Cedral y en litologías en Bujaraloz. La utilidad de la banda térmica no ha sido relevante en Bujaraloz pero sí en Cedral, donde ha ayudado a diferenciar, sobre todo en la época húmeda, las coberturas asociadas a suelos con yeso somero, dándose en general una diferencia de dos a tres grados entre la temperatura de las coberturas de vegetación natural asociadas a suelos yesosos y las demás coberturas.

**Palabras clave:** Yeso, Landsat ETM+, infrarrojo térmico, emisividad.

## Introducción

Los suelos yesosos, tanto en México como en España, ocupan extensiones considerables. En el estado de San Luis Potosí, México se les encuentra en una superficie aproximada de 400 000 ha (Martínez-Montoya *et al.*, 2010) y en el valle del Ebro, España, existen cerca de 1.9 millones de ha (Navas, 1983). Estos suelos demandan manejo diferenciado cuando se usan con fines agrícolas por lo que interesa conocer su ubicación y extensión. Para su cartografía, no existe un procedimiento que permita localizar suelos yesosos de forma rápida y precisa. La teledetección se ha utilizado poco en la cartografía de suelos yesosos y los resultados son variables. Además, existen dudas sobre la utilidad de la banda térmica (IRt), teniéndose opiniones contradictorias y siendo descartada por varios autores. Abd El-Hady (1992) por sus características térmicas; Martínez-Ríos y Monger (2002) por irrelevante en el mapeo de suelos; y Bryant (1996) por su baja resolución espacial y por bajo cociente señal-ruido. Por el contrario, otros autores la han usado con éxito y

recomiendan el uso del IRt en cartografía de suelos. Así, para Crowley (1993) complementa la información de las bandas del visible e infrarrojo cercano; Drake *et al.* (1999) identifican áreas de yeso; y a Goossens y Van Ranst (1998) y Goossens *et al.* (1999) les fue útil en el mapeo de los suelos yesosos por detectar cambios en la temperatura.

La presente comunicación explora la utilidad del IRt del satélite Landsat 7 transformada a temperatura superficial en la discriminación de los suelos o litologías yesosas, ensayándose y analizándose dos formas de transformación de los niveles digitales de la IRt a temperatura. El trabajo se desarrolla en dos regiones yesosas, una en Cedral, San Luis Potosí, México y la otra en Bujaraloz, Aragón, España.

## **Materiales y método**

**Localización de las áreas de estudio.** La región de estudio de México (Cedral) se ubica parte de los municipios de Vanegas, Cedral, Matehuala y Real de Catorce, San Luis Potosí, con coordenadas 23° 42' 35" – 23° 55' 18" N y 100° 34' 7" – 101° 5' 14" O. La zona de trabajo de España (Bujaraloz) está en la comarca de Los Monegros, ocupando parte de los municipios de Bujaraloz, Sástago y Peñalba. Sus coordenadas extremas son 41° 34' 48.5" – 41° 18' 10" N y 0° 27' 20" O – 0° 4' 32" E.

**Clima.** En ambas regiones el clima es semiárido. En Cedral la temperatura promedio anual es de 16.5 °C al oeste y de 17.3 °C al este, y la precipitación promedio total anual de 291.8 mm al oeste y de 373.9 mm en el este (García, 1988). En Bujaraloz estas cifras son 14.5 °C, y de 388.3 mm (Martínez-Cob *et al.*, 1998).

**Fisiografía y geología.** Cedral es una región de llanuras, lomeríos, bajadas, y sierra (INEGI, 1983), existiendo caliza, lutita, conglomerado, arenisca y limolita (CRM, 1992). La parte alta y media de la llanura consiste de depósitos aluviales, grava, arena, limo y arcilla, y la parte baja de aluvión con alto contenido de yeso (García-Calderón, 1968). La región de Bujaraloz tiene sierras, lomeríos, planicies cortas con lomeríos suaves y depresiones, y valles de fondo plano llamados vales, "val" en singular. La geología corresponde (Salvany *et al.*, 1996) a depósitos detríticos (lutita, arenisca y limolita) y lacustres (yeso, caliza) y sedimentos cuaternarios coluviales, aluviales y eólicos.

**Material.** La zona de estudio de Cedral (área total 1048 km<sup>2</sup> y yesosa 333 km<sup>2</sup>) comprende el traslape de las subescenas Landsat ETM+ 28/43 del 28-11-1999 (época húmeda) y 28/44 del 19-03-2000 (época seca). Las imágenes proporcionadas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales estaban ya georreferenciadas y se remuestreó la banda térmica a 30 m por el método del vecino más próximo. En Bujaraloz (133 km<sup>2</sup>) se utilizaron tres imágenes de la escena 199/31 Landsat ETM+ de 2000 (17-03, 21-06 y 08-08). Se georreferenciaron con 80 puntos de control ubicados en los mapas topográficos 1:50 000 del Servicio Geográfico del Ejército, mediante polinomio de segundo orden con error menor a medio píxel. Las siete bandas se remuestrearon a 25 m por el método del vecino más próximo.

**Corrección atmosférica y transformación del ND a reflectancia.** En ambas regiones, las bandas 1 a 5 y la 7 se corrigieron atmosféricamente de acuerdo a Chávez (1988). El ND se transformó a reflectancia (Chuvieco, 2002). El ND de la banda ETM+6 (IRt) se pasó

a valores de temperatura superficial, °C, según Sospedra *et al.*, (1998) con las adecuaciones de Valor y Caselles (1996) para calcular la emisividad. Para obtener ésta se ensayaron dos formas: I) de acuerdo a Van de Griend y Owe, (1993) y II) según Valor y Caselles (1996).

### Forma I

$$1. \text{ Radiancia} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} ND_k + L_{\min} = a_{ik} ND_k + a_{0k}$$

$$2. \text{ Brillantez o temperatura de brillo} = \frac{K_2}{\ln \left[ \frac{K_1}{\text{Radiancia}} + 1 \right]}$$

$$\text{Donde: } K_1 = 666.09 \text{ y } K_2 = 1282.71$$

$$3. \text{ Emisividad (Van de Griend y Owe, 1993), } \varepsilon = 1.009 + 0.047 \times \ln NDVI$$

$$4. \text{ Temperatura, } ^\circ\text{C} = \left[ \frac{\text{Brillantez}^4}{\text{Emisividad}} \right]^{0.25} - 273$$

Forma II. Difiere de la primera en el cálculo de la emisividad.

$$\text{Emisividad, } \varepsilon = Fv \times \varepsilon_v + (1-Fv) \times \varepsilon_s = Fv \times (0.98) + (1-Fv) \times (0.93).$$

Donde:

Factor o fracción vegetación,  $Fv = N^2$

Normalización del NDVI,  $N = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})$

0.98 es la emisividad promedio de la vegetación,  $\varepsilon_{vB}$ , y 0.93 la del suelo,  $\varepsilon_{sB}$ , obtenidos de Lillesand y Kiefer (1996).

**Clasificación supervisada.** En ambas regiones se hicieron dos clasificaciones supervisadas, una con las siete bandas y otra sin incluir la banda térmica, por el método de asignación por máxima verosimilitud y probabilidad del 99 %. En la clasificación del área yesosa de Cedral, las áreas de entrenamiento suponían el 2.7% (28/44) y 3.8% (28/43). En Bujaraloz dichas áreas supusieron el 3.25% de la imagen. Los resultados de la clasificación se evaluaron mediante matriz de confusión usando áreas de verificación diferentes a las utilizadas para la clasificación. Más detalles sobre la clasificación supervisada se pueden encontrar en Martínez-Montoya *et al.* (2010). Las imágenes se trabajaron con ERDAS 8.4.

### **Resultados y discusión**

De las dos formas en las que se dispone la banda térmica se ha utilizado la de baja ganancia (Tabla 1), pues en ambas áreas de estudio hay superficies brillantes (yesosas o calizas) que dan alta emisividad y pueden producir saturación, lo que se evita con la ganancia baja.

**Comparación de las de cálculo de temperaturas.** Únicamente en la imagen de Cedral 28/43, época húmeda, se aprecian diferencias importantes entre las dos formas de transformación del ND a emisividad. Se ha optado por la Forma II, excepto en la imagen 28/43 ya que los datos de temperatura obtenidos con la Forma II son poco probables en

esa época (Tabla 1 y Figura 1). Existen algunos datos de temperatura ambiental que sirven para verificar los resultados. Así, al norte del Desierto Chihuahuense (La Jornada del Muerto, Nuevo México, USA), región donde se localiza Cedral, el 30 de septiembre a las 10:30 horas, Schmugge *et al.* (2002) reportan temperaturas de campo > 52 °C y media de 44 °C en pasto y > 50 °C y media aproximada 42 °C en suelo desnudo, valores acordes con los obtenidos en la imagen 28/44.

Tabla 1. Aplicación de las Formas I y II de transformación del ND del IRt a temperatura superficial (°C) a partir de la banda térmica de ganancia baja.

Imágenes de Cedral				
Valor	28/43 I	28/43 II	28/44 I	28/44 II
Mínimo	1.0	17.0	20.0	22.0
Máximo	38.0	47.0	50.0	50.0
Medio	27.8	39.3	44.3	43.9
Ds	4.3	3.5	3.3	2.9

Imágenes de Bujaraloz						
	Marzo I	Marzo II	Junio I	Junio II	Agosto I	Agosto II
Mínimo	10.0	13.0	14.0	11.0	21.0	23.0
Máximo	32.0	32.0	44.0	41.0	49.0	47.0
Medio	22.9	24.3	32.9	33.6	38.7	39.7
Ds	2.9	2.2	3.8	2.8	5.3	4.2

Ds: desviación estándar

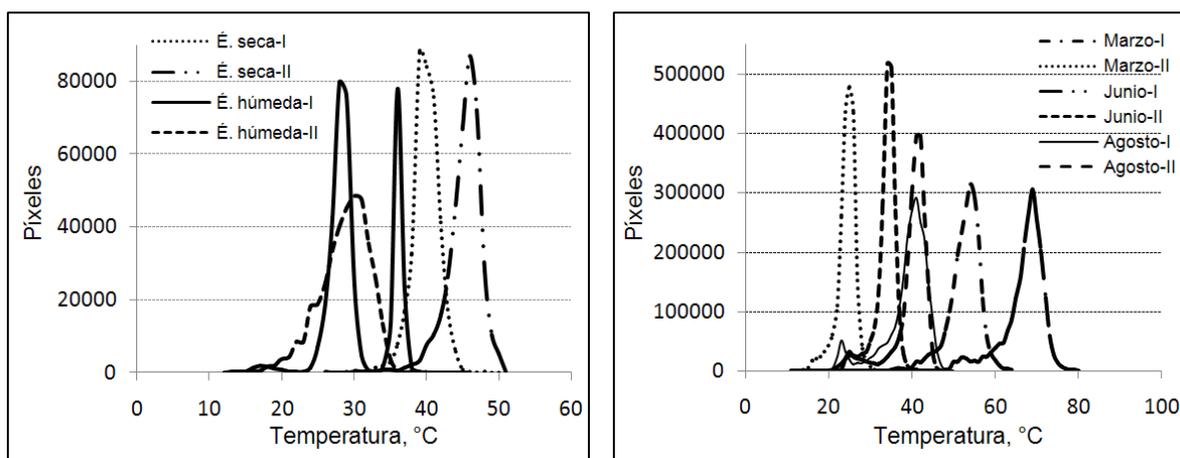


Figura 1. Distribución de frecuencias de temperatura tras la aplicación de las Formas I y II para transformar el nivel digital del IRt a temperatura.

Las temperaturas obtenidas en Bujaraloz (Tabla 1) son superiores a las que se podría esperar, esto resulta al compararlas con datos de la estación meteorológica del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, situada en zona de regadío a unos 60 km al NO de Bujaraloz (Tabla 2). Los resultados obtenidos en Cedral muestran que la temperatura de los terrenos yesosos difiere de dos a tres °C de la de los otros terrenos. En

Bujaraloz las diferencias son pequeñas, si bien aquí la clasificación tiene una leyenda diferente, al basarse en la litología y no en los usos u ocupaciones como ocurre en Cedral.

Tabla 2. Temperatura (°C) a las 10:00, hora GMT, y fecha de las imágenes para la estación meteorológica de Montañana en parcela lisimétrica de hierba, y temperatura obtenidas con la banda térmica ETM+F1 y Forma II.

Temperatura, °C	Marzo	Junio	Agosto
<b>Estación meteorológica</b>			
Del aire a 1.5 m del suelo	12.9	24.1	24.2
De la vegetación, pasto	16.4	29.3	30.4
<b>Imagen</b>			
Promedio en la imagen	24.3	33.6	39.7
Diferencia: Imagen - Aire	11.4	9.5	15.5
Diferencia: Imagen - Vegetación	7.9	3.2	9.3
Regadío en la imagen, Promedio	20.6	25.5	26.5
Diferencia: Imagen - Aire	7.7	1.4	2.3
Diferencia: Imagen - Vegetación	4.2	-3.8	-3.9

Estación: Montañana CITA-Zaragoza; Latitud: 41° 43' 09" N; Longitud: 0° 49' 11"; Elevación: 225 m.

**Utilidad de la banda térmica.** En Cedral, la banda térmica ayudó a discriminar coberturas, sobre todo en la época húmeda donde la diferencia de temperaturas entre clases es más acusada. En esta época, áreas con yeso superficial y vegetación natural como Matorral desértico sin verdor (B11) y Pastizal gipsófilo (B2) presentan temperaturas mayores de 35°C (Figura 2). Estas coberturas, entre otras, se desarrollan en suelos someros (1-25 cm de profundidad) y 50 % o más de yeso. La mejora más importante al incorporar la banda térmica se produce en la discriminación de B2 en la época húmeda pues disminuye su confusión con las clases B1, principalmente con B14 (pastizal gipsófilo con alto verdor).

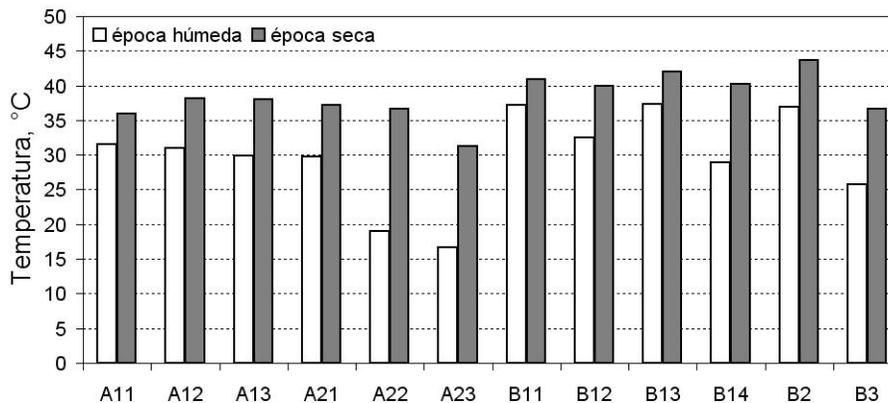


Figura 2. Temperatura de las clases temáticas para las imágenes de Cedral al final de la estación húmeda (noviembre) y en la estación seca (marzo). A1 = áreas agrícolas sin cultivo; A2=áreas agrícolas con cultivo; B1 = matorral desértico y B2 = Pastizal gipsófilo.

En Bujaraloz las unidades litológicas tienen temperaturas distintas en cada imagen y poco contrastadas entre sí (Figura 3). Son más altas en agosto por ser el segundo mes más cálido, el más seco, y el de menor cobertura vegetal y bajo contraste espectral, a diferencia de marzo, más húmedo y con mayor cobertura vegetal. La clase Yeso en marzo tiene temperatura relativamente baja (23.8 °C), sólo supera a las clases Margocaliza y Caliza-lutita (21.6 y 22.6 °C, respectivamente); en junio su temperatura es la segunda más alta (35.1 °C); pero en agosto tiene temperatura igual a la Lutita verde-caliza (41.8 °C) y similar a la Lutita verde-yeso, Lutita roja y Caliza (41.6, 41.0 y 41.6 °C, respectivamente).

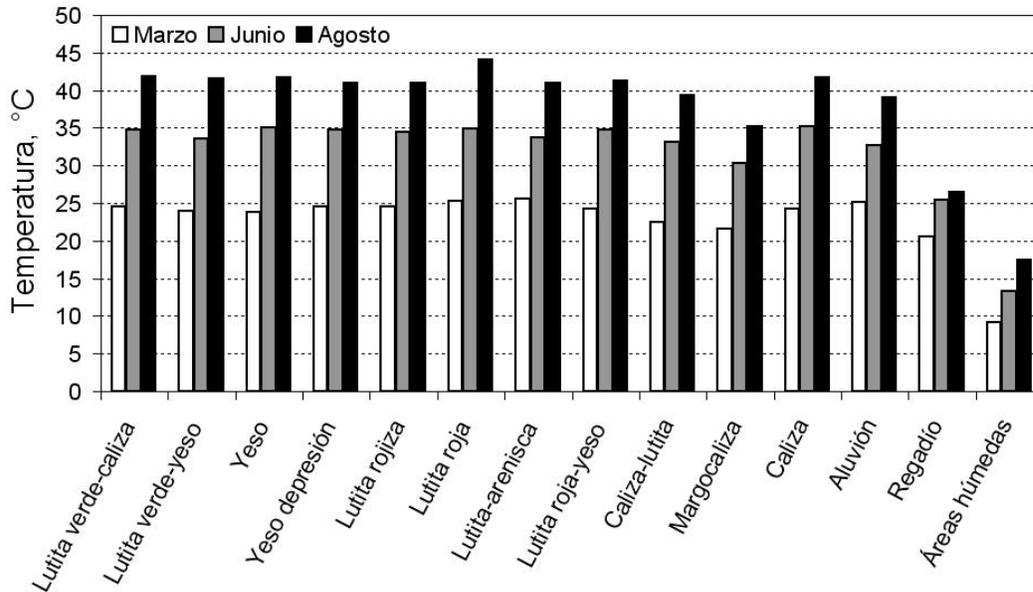


Figura 3. Temperatura de las clases temáticas para las imágenes de Bujaraloz in la estación húmeda (marzo) y la estación seca (junio y agosto).

En general, la inclusión de la banda térmica no mejora la clasificación en Bujaraloz, debido a la heterogeneidad de los suelos y presencia de varios tipos de rocas en horizonte superficial en poco espacio, afectando la temperatura y la reflectancia. Las áreas yesosas con características parecidas a las de pastizal gipsófilo (B2) de Cedral, por lo general son de pocos píxeles y en Cedral de centenas, no siendo posible su delimitación espectral.

Otros detalles acerca de la repercusión en la discriminación de otras coberturas producida al incluir la banda térmica en la clasificación de las áreas de estudio se pueden consultar en Martínez-Montoya et al. (2010).

## Conclusiones

Únicamente en la imagen de Cedral 28/43 se aprecian diferencias importantes entre usar una u otra forma de transformación. En el trabajo se ha optado por la Forma II.

La inclusión de la banda del infrarrojo térmico de Landsat transformada a temperatura superficial incrementó la exactitud de la clasificación espectral en Cedral, principalmente

en la época húmeda, debido a las diferencias de temperatura entre las clases de ocupación del suelo.

La banda del infrarrojo térmico, por su sensibilidad al contenido de agua de las plantas, resultó clave para delimitar coberturas de vegetación natural asociadas a suelos con yeso somero siendo de más utilidad en Cedral que en Bujaraloz.

## Agradecimientos

El CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México) apoyó con beca doctoral al primer autor. Fondos de los proyectos españoles AGL2009-08931/AGR y GALC-006-2008 ayudaron a completar este artículo.

## Bibliografía

- Abd El-Hady, A.M. 1992. Discrimination of gypsiferous, calcareous and sandy soil surfaces using the principal componentes (PC) transformation of Thematic Mapper. *Egyptian Journal of Soil Science* 32(1): 71-80.
- Bryant, R.G. 1996. Validated linear mixture modelling of Landsat TM data for mapping evaporite minerals on a playa surface: methods and applications. *International Journal of Remote Sensing* 17(2): 315-330.
- 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, E. 2002. Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel Ciencia, Barcelona. 586 pp.
- CRM, 1992. Monografía geológico-minera del estado de San Luis Potosí. Publicación M-7e. Consejo de Recursos Minerales; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas e Industria Básica.
- Crowley, J.K. 1993. Mapping playa evaporite minerals with AVIRIS data: A first report from Death Valley, California. *Remote Sensing of Environment* 44: 337-356.
- Drake, N.A., Mackin, S. y Settle, J.J. 1999. Mapping vegetation, soils, and geology in semiarid shrublands using spectral matching and mixture modeling of SWIR AVIRIS imagery. *Remote Sensing of Environment* 68:12-25.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). UNAM, México. D. F. 178 pp.
- García-Calderón, J. 1968. Carta geológica de México, serie de 1:100000. Hoja El Salado 14R-j(11). Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- 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 Ismalia Province, Egypt. p: 97-102. En: *Nieuwenhuis, G. et al. (eds) Operational remote sensing for sustainable development Proc. 18<sup>th</sup> EARSeL Symposium, May 1998*. Balkema, Rotterdam.
- Goossens, R. y Van Ranst, E. 1998. The use of remote sensing to map gypsiferous soils in the Ismalia Province (Egypt). *Geoderma* 87: 47-56.
- INEGI, 1983. Carta estatal, SLP, de suelos, de vegetación y uso actual, y de regionalización fisiográfica escala 1:1000 000. SPP, México.

- Martínez-Cob, A., Faci, J.M. y Bercero, A. 1998. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. Institución Fernando El Católico, Zaragoza, España. 223 pp.
- Martínez-Montoya, J.F., Herrero, J. y Casterad M.A. 2010. Mapping categories lands in Mexico and Spain using Landsat imagery. *Journal of Arid Environment* 74:978-986.
- Martínez-Ríos, J.J. y Monger, H.C. 2002. Soil classification in arid lands with Thematic Mapper data. *Terra Latinoamericana* 20(2): 89-100.
- Navas, A. 1983. Las litofacies de la cuenca del Ebro. Síntesis cartográfica y consideraciones sobre su papel en la planificación territorial. Tesis Master of Sciences. IAMZ-CIHEAM. Zaragoza, 239 pp.
- Salvany, J.M., García, M.A. y Samper, J. 1996. Geología e hidrogeología de la zona endorreica de Bujaraloz-Sástago. *Acta Geológica Hispánica* 30(4): 31-50.
- Schmugge, T., French, A., Ritchie, J.C., Rango, A. y Pelgrum, H. 2002. Temperature and emissivity separation from multispectral thermal infrared observations. *Remote Sensing of Environment* 79: 189-198.
- Sospedra, F., Caselles, V. y Valor, E. 1998. Effective wavenumber for thermal infrared bands-application to Landsat-TM. *International Journal of Remote Sensing* 19(11): 2105-2117.
- Valor, E. y Caselles, V. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African and South American areas. *Remote Sensing Environment* 57: 167-184.
- Van de Griend, A.A. y Owe, M. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index surfaces. *International Journal of Remote Sensing* 14(6): 1119-1131.