

Cartografía Mediante Imágenes Landsat De Suelos Salinos En La Tierra De Medina (Valladolid)

Mapping Of Salt-Affected Soils Using Landsat Images In Tierra De Medina (Valladolid, Spain)

M. P. García Rodríguez y M. E. Pérez González*

INTRODUCCIÓN

En el centro de las grandes cuencas terciarias de la Península Ibérica (Duero, Tajo, Guadiana, Ebro) se localizan importantes extensiones de suelos salinos, clasificados la mayoría como solonchaks y, en menores extensiones, como solonetz (FAO 1989, WRBSR 2007), encontrándose ambas unidades muchas veces asociadas en pequeños micropedones difíciles de separar. Estos suelos se han formado en parte por condiciones naturales, aunque en algunos casos la salinidad se ha incrementado por un deficiente uso del suelo.

Al sur del río Duero, en la provincia de Valladolid, se cartografiaban varias manchas de estas unidades salinas (García *et al.* 1985; García 1986). Estas unidades ocupan amplias superficies en la comarca de Medina del Campo, entre los municipios de Medina, Rubí, Fuente el Sol, Ataquines y Gomezanarro. La particularidad del área está en que una importante extensión de estos suelos, a diferencia de otros enclaves salinos, corresponde a asociaciones dominadas por solonetz, suelos con un alto contenido en sodio de cambio lo que implica un gran riesgo de degradación. El alto contenido de este catión conduce a una dispersión de las partículas y, por tanto, una pérdida de estructura,

* Dep. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid (mpgarcia@ghis.ucm.es).

lo que incrementa la erosión tanto hídrica como eólica de estos suelos. Además, en los casos extremos resultan casi estériles en cuanto a su uso agrícola y forestal.

El objetivo del estudio es, pues, analizar estas unidades dominadas por suelos ricos en sodio y tratar de establecer su relación con otros factores ambientales. Para cartografiarlos y ver su evolución en las últimas décadas se han utilizado imágenes de satélite.

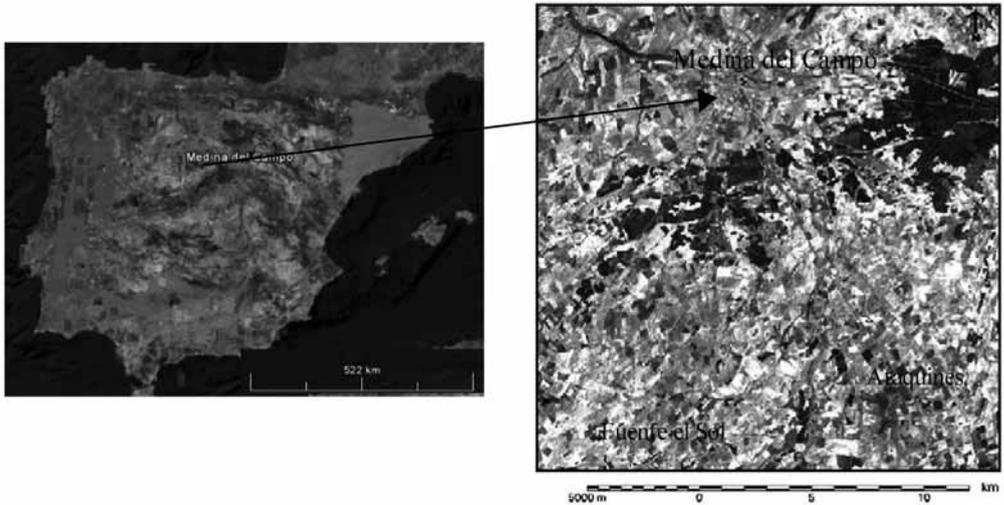
Los problemas de estos suelos se pueden extrapolar a áreas próximas de la misma provincia como Tierra de Campos y Olmedo o, incluso comarcas de provincias limítrofes, como La Armuña en Salamanca, La Moraña en Ávila y las proximidades de Villalpando en Zamora. La sodización y salinización de numerosos suelos es uno de los mayores problemas medioambientales en la comunidad de Castilla-León e implica grandes dificultades a la hora de planificar el uso del recurso suelo.

El uso de imágenes de satélite para cartografiar y analizar los suelos salinos resulta complicado, ya que las sales no siempre se reflejan en superficie. Aún así, numerosos autores las emplean para estudiar este tipo de suelos. Entre ellos destacan los trabajos de Hick y Russell (1990), Rao y Venkataratnam (1991), Mougnot (1993), Dwivedi (1996), Kalra y Kalra (1996), Metternicht y Zinck (1997 y 2003), Dwivedi *et al.* (1999), Peng (1998), Schmid (2004), Pérez y García (2005), Pérez *et al.* (2006), García *et al.* (2007), Kienast-Brown *et al.* (2007), etc.

ÁREA DE ESTUDIO

El área estudiada se sitúa en la Comarca de Medina del Campo, en el sur de la provincia de Valladolid, dentro de la unidad geolitolomorfológica Campiña del Duero (figura 1). Es una comarca llana con una altitud entre 720-750 m. Los materiales que la constituyen corresponden a sedimentos terciarios (arenas y arcillas neógenas, la mayor parte miocenas, ricas en carbonatos) y cuaternarios (arenas). Los suelos salinos se forman en áreas endorreicas y semiendorreicas, principalmente sobre facies arcósicas. Las sales provienen de la descomposición de los feldspatos cálcicos y calcosódicos de las arcosas y/o de aguas freáticas con altos contenidos en sales. El catión que domina es el sodio, seguido del calcio y magnesio. Entre los aniones el cloruro, seguido de bicarbonatos y sulfatos (García *et al.* 1986). El estudio mineralógico puede ayudar a entender el origen, en parte, de las sales: en la fracción arena el porcentaje de minerales densos es muy bajo (García, 1986)

FIGURA 1
ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Imágenes del Google Earth 2009 y ETM, 22-05-2001.

correspondiendo más del 90% de los granos a minerales de la fracción ligera, sobre todo cuarzo y feldspatos potásico y calcosódicos (a estos últimos corresponde entre el 5 y 10% de la fracción arena) y carbonatos. Así, la composición de los sedimentos con contenidos en plagioclasa sódicas (albita) relativamente elevados, lleva a que su alteración libere el sodio, dando lugar a suelos salinos. En la fracción arcilla dominan las ilitas y montmorillonitas

Estas unidades salinas, situadas con frecuencia en depresiones, están vinculadas, por tanto, a otras unidades de suelos afectados por hidromorfismo, la mayor parte correspondientes a Luvisoles gleicos y, en algunos casos, Gleysols. Los procesos de gleyzación se incrementan por la presencia de horizontes árgicos, poco permeables, que impiden la penetración de las aguas. Así, la evolución de los suelos está condicionada por la naturaleza de los sedimentos y la morfología del terreno, factores que condicionan el clima ambiental dando lugar a diferentes climas edáficos. Además la actividad antrópica también es causa del incremento de los suelos salinos, ya que una mala utilización del agua de riego y un exceso de abonos aumenta su salinidad.

El clima del área estudiada es de tipo semiárido con precipitaciones apenas superiores a 400 mm y temperatura media anual entre 10 y 12 °C. El régimen de temperaturas del suelo es méxico y el de humedad xérico o incluso arídico, pero, en sectores deprimidos, el régimen de humedad puede ser ácuico, dando un importante contraste entre el clima edáfico y el ambiental, hecho que hay que considerar al analizar la evolución de los suelos salinos.

Los suelos más frecuentes en el área corresponden a Luvisoles, Arenosoles, Cambisoles, Solonchaks y Solonetz (Forteza *et al.* 1987). Los suelos son neutros o ligeramente alcalinos en superficie y fuertemente alcalinos en profundidad, con pH que alcanzan el valor de 10, con las consiguientes dificultades para asimilar algunos nutrientes. Entre los suelos salinos dominan los Solonchaks háplicos y Solonetz háplicos y gleicos, difíciles a veces de separar, por lo que se puede considerar una sucesión de micropedones de Solonchaks-Solonetz.

En cuanto al uso del suelo predominan los terrenos labrados aunque quedan restos del antiguo encinar de *Quercus rotundifoliae* y los suelos más arenosos mantienen pinares de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*. Rodeados por cultivos con importante producción de cereal se encuentran suelos cuyo único uso puede ser el dedicado a pastos con bajo rendimiento o a reforestación con especies higrófilas y resistentes a las sales, aunque nunca han dado buenos resultados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Con el fin de poder cartografiar las áreas con suelos salinos y ver los cambios acaecidos a lo largo de los últimos veinte años se han utilizado imágenes Landsat de los sensores TM y ETM+. Las imágenes corresponden a dos fechas de primavera, 14 de mayo de 1987 y 22 de mayo de 2001 respectivamente, con el fin de que el desarrollo fenológico de la vegetación sea similar. Como apoyo a estas imágenes y para visualizar el uso del suelo en el presente, se ha utilizado también la imagen suministrada por Google Earth (<http://earth.google.es>, 2009).

El uso de imágenes de resolución espacial media, permite ver la superficie del suelo y localizar las superficies salinas, dado el escaso recubrimiento de vegetación arbórea.

Las imágenes se han tratado con los programa Erdas Imagine 9.1 y Arc Map y se han sometido a diversas mejoras radiométricas (eualización del his-

tograma, reducción de ruido, etc.) y espectrales (índices de vegetación, índices minerales, análisis factorial en componentes principales, etc.). También se han obtenido los valores espectrales de los principales tipos de suelos afectados por sales y coberturas para la imagen de 2001 y los Índices de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) para estas mismas clases en las imágenes de 1987 y 2001.

Además se ha utilizado el mapa de suelos de la provincia de Valladolid a escala 1:100.000 publicado por García *et al.* en 1985, que incluye descripciones morfológicas y datos analíticos de perfiles representativos de suelos salinos (Solonchaks y Solonetz) y de las fases salinas que afectan a otros suelos (Luvsoles), superponiendo su cartografía a las imágenes de satélite. Este estudio se ha apoyado en trabajo de campo (con descripción de perfiles) y análisis de datos en laboratorio (García. *et al.*, 1985; García, 2001).

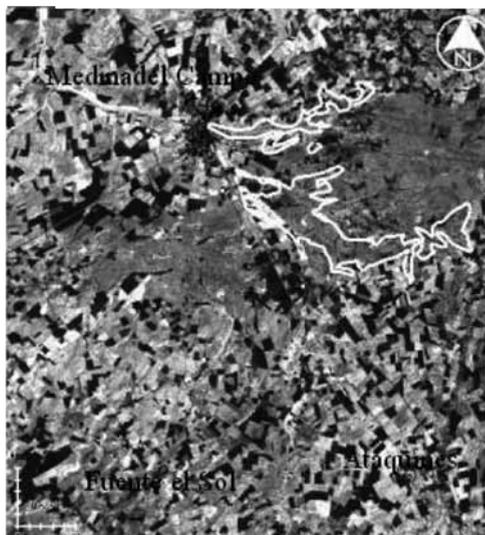
Tanto las imágenes como el mapa de suelos se han georreferido a coordenadas UTM, con el fin de poder establecer una relación entre ellos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar las imágenes de distintas fechas y sensores se observa que los suelos de la comarca estudiada están dedicados fundamentalmente a cultivos tanto de secano como de regadío (con la presencia de numerosos *pivots*). También aparecen algunas áreas con vegetación arbórea correspondiendo principalmente a pequeños bosques de *Pinus pinea* que con frecuencia están fuertemente antropizados. Muchos de ellos están desapareciendo por la construcción de residencias secundarias. Otros terrenos se encuentran prácticamente baldíos sin apenas vegetación, especialmente en áreas con suelos afectados por hidromorfismo.

Para discriminar los distintos usos de suelo se han utilizado y combinado diferentes canales espectrales y se han efectuado diversas operaciones que permiten la mejora de las imágenes. Las combinaciones de bandas más útiles para observar los diferentes usos del suelo son las 4-3-2 (R-V-A) y 3-2-1 (R-V-A) de los sensores del Landsat. Pero para separar los suelos con alto contenido en sales destacan las combinaciones 5-3-1, 2-1-7 y, sobre todo, 3-1-7, utilizando siempre algunos canales del visible y el infrarrojo medio. Como bandas individuales las que mejor permiten discriminar los suelos salinos son las bandas correspondientes a los canales del visible azul y verde, bandas 1 y 2 (figura 1b). En todo caso, se delimitan mejor en la imagen de 2001 que en la de 1987; en esta última la diferenciación es sobre todo por el patrón espacial. Se

FIGURA 2
DISTRIBUCIÓN DE SUELOS SALINOS
NDVI 14-05-1987



NDVI 22-05-2001

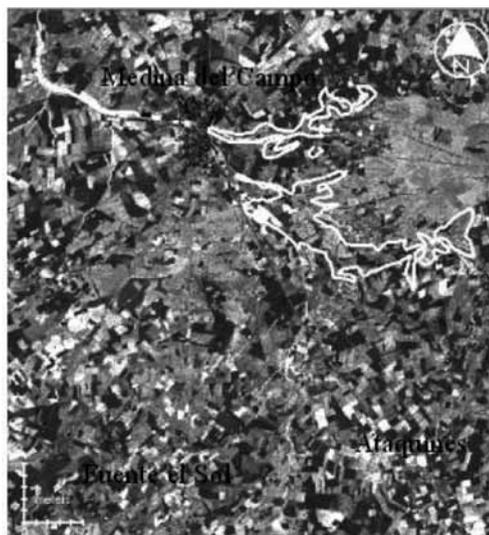
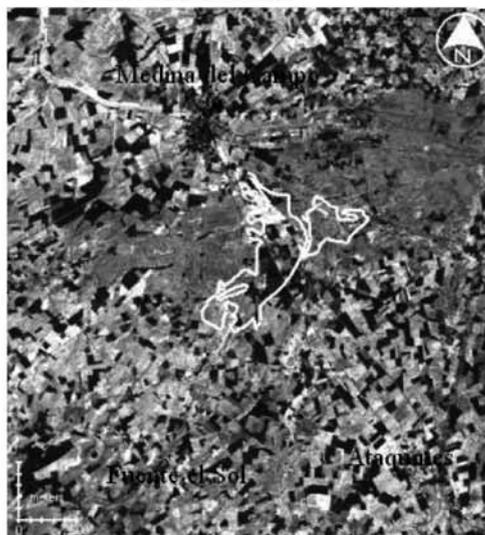


Fig. 2a: Distribución de Solonetz

FIGURA 2
DISTRIBUCIÓN DE SUELOS SALINOS (continuación)

NDVI 14-05-1987



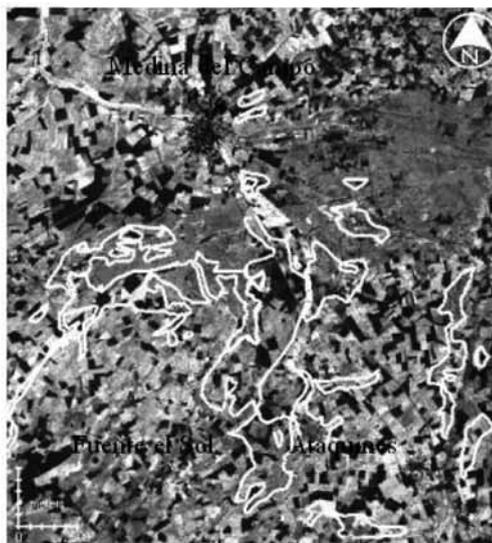
NDVI 22-05-2001



Fig. 2b: Distribución de Solonchaks

FIGURA 2
DISTRIBUCIÓN DE SUELOS SALINOS (*continuación*)

NDVI 14-05-1987



NDVI 22-05-2001

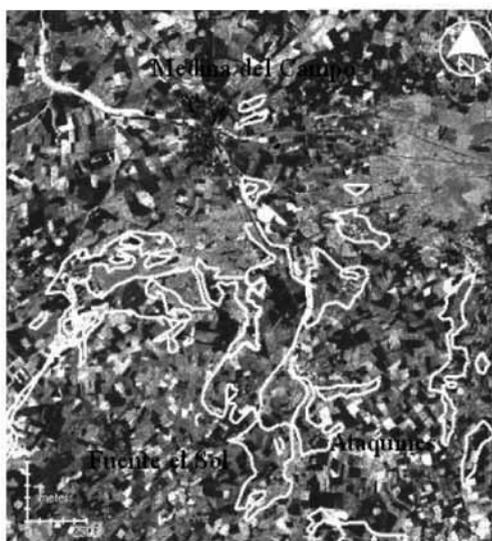


Fig. 2c: Distribución de luvisoles, fase sálica

ha comprobado, por tanto, que los satélites de resolución espacial media, como el Landsat, permiten detectar, en algunas fechas, las eflorescencias salinas, que en la mayor parte de los casos corresponden a suelos salinos. Esto resulta muy útil para discriminar áreas susceptibles de sufrir salinización, lo que reduce el trabajo de campo.

Si establecemos una relación entre las asociaciones de suelo y su uso, se observa que aquellos dedicados a cultivos corresponden a asociaciones dominadas por luvisoles háplicos, cambisoles eútricos y regosoles eútricos, con presencia en algunos casos de fluvisoles. Por tanto, suelos con un alto grado de saturación, rico en cationes de calcio y magnesio y con una alta capacidad de intercambiar nutrientes con las plantas, suelos por consiguiente bastante fértiles. Por el contrario, los bosques de pinos se asientan sobre arenosoles cámbicos, con fertilidad baja y poca capacidad de retener agua asimilable por las plantas. Los suelos con menos vegetación son aquellos que corresponden a asociaciones dominadas por solonchaks y/o solonetz que, en la mayor parte de los casos tienen fases freáticas. Son estos suelos salinos e hidromorfos los que presentan mayores restricciones de uso y una degradación cada vez más acusada. Es importante, por tanto, delimitar bien las áreas donde dominan los suelos salinos.

De todas las operaciones y mejoras efectuadas en las imágenes con el fin de obtener una buena cartografía de los suelos salinos, la que mejor los discrimina ha sido la mejora espectral mediante componentes principales, que permite separar con bastante exactitud las asociaciones dominadas por solonetz, e incluso diferenciarlas de aquellas en las que el suelo dominante es el solonchak. La imagen obtenida con cuatro componentes permite diferenciar aquellos suelos afectados por procesos de sodización, de aquellos en los que sólo hay salinización. Esta diferenciación es posible sobre todo porque los suelos con procesos de sodización se encuentran más degradados, su uso está muy limitado por los altos contenidos en sodio de cambio y esto hace que, en superficie, presenten menor vegetación. En todo caso, estas imágenes permiten discriminar unidades de solonchaks y solonetz, siempre que no tengan mucha vegetación y separarlas de aquellas asociaciones en las que aparecen suelos salinos en menores proporciones: así, la asociación dominada por luvisoles, aún teniendo propiedades sálicas e inclusiones de solonchaks-solonetz no se puede discriminar mediante este tipo de imagen, ya que es fácil confundirla con otras asociaciones como las dominadas por cambisoles o regosoles; a esta dificultad en su delimitación contribuye el que suelen estar cultivados.

Otras imágenes obtenidas mediante distintas operaciones entre bandas no dan buenos resultados para separar las unidades salinas: se han realizado índices de arcillas y óxidos de hierro, índices hidrotermales, tasselet cup, etc. Ni

siquiera el índice de composición mineral nos permite separar claramente los suelos salinos.

Tampoco el Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) permite discriminar bien estos suelos considerando sus diferentes valores. Se ha superpuesto la cartografía de los suelos salinos realizada por García *et al.* (1985) a las imágenes obtenidas mediante el NDVI en los años 87 y 2001 (figura 2) con el fin de visualizar los cambios acaecidos en los usos de los distintos suelos entre ambas fechas.

La evolución temporal de los suelos salinos muestra algunos cambios significativos, más notables aún si analizamos la imagen obtenida de Google earth en 2009. En 1987 muchos de estos suelos estaban cultivados. Por el contrario, en 2001 son una minoría los solonetz y solonchaks que están cultivados (figura 2 a y 2 b). La mayoría se dedican a pastos o no tienen cubierta vegetal. Excepcionalmente se han intentado llevar a cabo plantaciones de vegetación higrófilas (fundamentalmente chopos), sin excesivo éxito.

Los luvisoles con fase sálica presentan una mayor extensión de parcelas cultivadas aún cuando éstas también han disminuido en 2001 (figura 2 c). Así, las áreas en que los suelos salinos no son los dominantes, aunque aparecen en alta proporción, muestran menos diferencias. Las asociaciones de luvisoles, junto con solonchaks y solonetz, pero dominados por los primeros, tienen más parcelas dedicadas a cultivos de cereales o con vegetación natural. Ambas cubiertas cambian poco con el paso de los años.

Además del análisis visual se han intentado discriminar los diferentes tipos de suelo teniendo en cuenta los valores medios del NDVI. Estos valores, tanto para los suelos ricos en sales como para algunos usos representativos, se sintetizan en la tabla 1.

TABLA 1
VALORES DE NDVI DE LAS IMÁGENES LANDSAT TM Y ETM

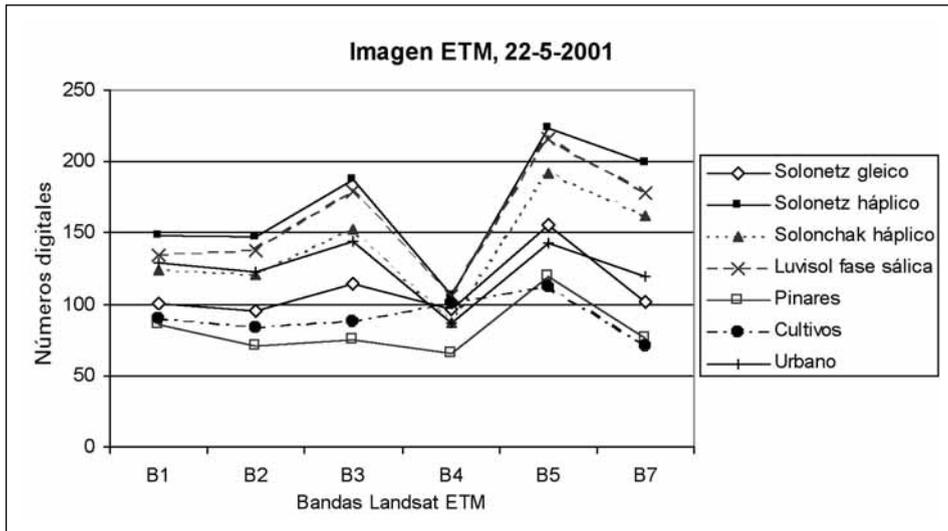
Suelos salinos y coberturas del suelo	14-mayo-1987	22-mayo-2001
Solonetz gleico	0,32	-0,07
Solonetz háplico	0,20	0,10
Solonchak háplico	0,10	-0,21
Luvisoles fase sálica	0,28	0,12
Pinares	0,35	0,15
Cultivos	0,65	0,33
Urbano	-0,06	-0,24

En esta tabla se observa que todos los suelos salinos tienen valores muy bajos de NDVI, acorde con su escasa vegetación. Estos valores son inferiores en el año 2001 por lo que considerando que es la misma época del año y el desarrollo fenológico de la vegetación es similar, cabe pensar que ha habido un deterioro en estos suelos y en su cubierta vegetal.

Si ya la diferenciación de los suelos salinos mediante análisis visual resulta compleja, aún lo es más mediante el análisis espectral. La discriminación dentro de los suelos salinos es compleja si consideramos sólo sus valores digitales. Evidentemente es posible separar los suelos salinos del resto de los suelos siempre que las sales se reflejen en superficie, produciendo eflorescencias de amplia extensión ya que, en este caso, sus perfiles muestran valores muy altos en todas las bandas (figura 3) salvo que mantengan una gran humedad en cuyo caso los valores espectrales descenden. En la figura 3 se puede observar como los valores más elevados corresponden a los solonetz háplicos y luvisoles; éstos últimos tienen valores altos no sólo por la presencia de una fase sálica, sino también por su alto contenido en carbonatos (y en algunos casos sulfatos) en sus horizontes superficiales. De todos los suelos salinos los solonetz gleicos tienen los valores más bajos debido a que los procesos de hidromorfismo pueden afectar a los horizontes superficiales. Cuando estos suelos están cultivados los valores digitales son muy bajos en todas las bandas

FIGURA 3

VALORES DIGITALES DE LA IMAGEN LANDSAT ETM DEL 22-05-2001



salvo la 4 (infrarrojo próximo), pero en estos casos es muy difícil discriminar las distintas unidades de suelos porque lo que realmente recoge el satélite es el valor de la cubierta vegetal. Los pinares, asentados la mayoría sobre arenosoles, tienen valores muy bajos y la vegetación apenas se refleja en las bandas 2 y 4, ya que existe una gran interferencia con el suelo.

Aún obteniendo signaturas espectrales diferentes en cada tipo de suelo salino, y aún en las parcelas con poca vegetación, la discriminación es siempre difícil ya que en algunos casos se pueden confundir con otras asociaciones de suelos (regosoles, cambisoles, etc. muchos de ellos en barbecho y con un régimen xérico), que también muestran valores espectrales elevados.

Después de efectuar los diferentes análisis visuales y digitales de las imágenes puede decirse que en los suelos afectados por salinización, se ha reducido la superficie dedicada al cultivo de cereales, debido en parte a una menor presión demográfica, pero también a una degradación de la calidad de estos suelos. Una mala utilización de las aguas de riego en áreas de clima semiárido conduce a un progresivo deterioro de las propiedades físicas y químicas de unos perfiles que ya de por sí tenían baja productividad. En la imagen más reciente toda la superficie tiene tonos más blanquecinos, con valores muy altos de reflectividad, por lo que se deduce un incremento en las eflorescencias superficiales. Además, a través de los años han cambiado los tipos de cultivo y las técnicas agrícolas: en el año 87 en la superficie cultivada no se utilizaban apenas técnicas de riego mediante *pivots*; sin embargo, éstos son muy numerosos en las imágenes del presente siglo. Se ha logrado un mejor uso de técnicas agrícolas, con una mayor productividad en los suelos más ricos, pudiendo así abandonar parcelas de menos producción, con suelos más degradados. Pero el cambio de cultivos en secano a regadío también incrementa el riesgo de una mayor degradación y salinización de los suelos.

CONCLUSIONES

Los satélites de resolución espacial media, como el Landsat, permiten detectar, en algunas fechas, las eflorescencias salinas, que en la mayor parte de los casos corresponden a suelos salinos. Esto resulta muy útil para discriminar áreas susceptibles de sufrir salinización, lo que reduce el trabajo de campo. No obstante se requieren datos analíticos de los perfiles de suelos que confirmen los datos de los satélites.

El análisis multitemporal de imágenes de satélite permite estudiar los cambios que han sufrido los suelos salinos, tanto en su uso como en su calidad. Al

comparar imágenes de distinta época se observa que muchos de los suelos afectados por salinización se han dejado de cultivar.

En la comarca de Medina del Campo son extensas las áreas ocupadas por suelos salinos y/o sódicos. La mayor parte de estos suelos se localizan en depresiones, asociados a suelos hidromorfos. Hay un importante contraste entre el clima edáfico y el clima ambiental que lleva a que en un área semiárida sean frecuentes los regímenes de humedad ácuicos que dan lugar a estos suelos hidromorfos.

Las sales son en parte naturales, originadas por la alteración de feldespatos calcosódicos que liberan sodio que pasa a formar parte de las sales y del complejo de cambio.

La salinización y la sodización se ven incrementadas por las malas prácticas agrícolas. El exceso de regadío conduce al incremento de los suelos salinos.

Los suelos salinos se encuentran formando asociaciones dominadas por Solonchaks o Solonetz o con Luvisoles que tienen fases sálicas. Cuando la asociación está dominada por Luvisoles o Solonchks, la mayor parte de los suelos están cultivados. Por el contrario, cuando dominan los Solonetz están dedicados a pastos o son suelos infértiles, debido al alto contenido en sodio de cambio.

Para hacer una cartografía de los suelos salinos en el sector estudiado, mediante las imágenes de satélite, las combinaciones más útiles de bandas son las 5-3-1, 2-1-7 y 3-1-7 y la imagen obtenida mediante el análisis factorial en componentes principales.

Las imágenes obtenidas con el NDVI no permiten una clara discriminación de los suelos salinos, pero sí interpretar los cambios en su uso. Al analizar los valores medios del NDVI en los distintos tipos de suelos afectados por salinización se observa que todos tienen valores bajos, acordes con su escasa vegetación. Además hay un notable descenso entre los años 1987 y 2001, lo que implica un deterioro de su estructura y una gran pérdida de cubierta vegetal.

Las firmas espectrales de los suelos salinos muestran valores digitales muy altos, lo que permite diferenciarlos de otros tipos de suelos y cubiertas superficiales. Entre los suelos salinos los valores espectrales más altos corresponden a los que tienen eflorescencias salinas en superficie y los más bajos a los suelos afectados por hidromorfismo.

Recibido: 09/02/2009

Aceptado: 29/04/2010

BIBLIOGRAFÍA

- Dwivedi, R. S. (1996): "Monitoring of Salt-affected soils of Indo-Gangetic alluvial plains using principal component análisis". *Int. J. Rem. Sens.*, 17: 1907-1914.
- Dwivedi, R., Sreenivas, K. and Ramana, K. V. (1999): "Inventory of salt-affected soils and waterlogged area: a remote sensing approach". *Int. J. Rem. Sens.*, 20: 1589-1599.
- F.A.O. (1989): *Mapa mundial de suelos*. FAO. Roma.
- Forteza, J. et al. (1987): *Memoria del mapa de suelos de Castilla y León*. Escala 1:500.000. Edit. Junta de Castilla y León. Valladolid, 98 pp.
- García, A. et al. (1985): *Estudio edáfico de la provincia de Valladolid. Mapa de suelos escala 1:100.000 de la zona situada al sur del río Duero*. C.S.I.C., 206 pp.
- García, M. P. (1986): "Contribución de la mineralogía de la fracción arena al estudio de la edafogénesis en una zona semiárida de la provincia de Valladolid. I - Análisis mineralógico. Interpretación general". *Anales de Edafología y Agrobiología*, XLV, 1539-1566.
- García, M. P., Forteza, J., García, A. y Lorenzo L. F. (1986): "Soils affected by hydromorphism in certain zones of Castilla-León (Spain) characterized by a xeric moisture regime". XIII Congreso Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo Hamburg (R.F.A.).
- García M. P. (2001): Problemática y distribución de los suelos salinos en Castilla-León. Espacio Natural y dinámicas Territoriales (Manero coord). Univ. de Valladolid, X, 143-148 pp.
- Hick, P. T. and Russell, W. G. R. (1990): "Some spectral considerations for remote sensing of soil salinity". *Australian Journal of Soil Research*, 28: 417-431.
- Kalra, N. K. and Kalra, D. C. (1996): "Potentiality of Landsat, Spot and IRS satellite imageries for recognition of salt affected soils in Indian arid zone". *Int. J. Rem. Sens.*, 17: 3001-3014.
- Kienast-Brown, S. and Boettinger, J. L. (2007): "Land-cover classification from Landsat imagery for mapping dynamic wet and saline soils". *Development in Soil Science*, vol. 31. Lagacherie, P., McBratney, A. B. and Voltz, M. (edit.). Elsevier, 235-244.
- Metternicht, G. y Zinck J. A. (1997): "Spatial discrimination of salt and sodium affected soil surfaces". *Int. Journ. of Remote Sensing*, vol. 18, 2571-2586.
- Metternicht, G. y Zinck, J. A. (2003): "Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints". *Remote Sensing of Environment*, vol. 85, 1-20.
- Mougenot, B. (1993): "Effects des sels sur la réflectance et télédétection des sols sales". *Cahiers ORSTOM, Serie Pedologie* 28, 45-54.
- Peng, W. (1998): "Synthetic análisis for extracting information on soil salinity using remote sensing and GIS: a case study of Yanggao basin in China". *Environmental Management*, 22: 153-159.
- Pérez González, M^a E. y García Rodríguez, M^a P. (2005): "Discriminación visual y digital de suelos de baja calidad agrícola a partir de imágenes Landsat". *Geographica*, 46: 99-115.

- Perez González, M. E., García Rodríguez, M^a P., González-Quiñones, V. and Jiménez Ballesta, R. (2006): "Spatial variability of soil quality in the surroundings of a saline lake environment". *Environmental Geology*, vol. 51, nº 1, 143-150.
- Rao, B. and Venkataratnam, L. (1991): "Monitoring of salts affected soils; a study using aerial photographs, Salyut-7 space photographs and Landsat TM data". *Geocarto Int.* 6, 5-11.
- Schmid, T. F. (2004): *Integrated Remote Sensing approach to detect changes in semi-arid wetland areas in Central Spain*. Tesis Doctoral. Univ. Autónoma de Madrid, 193 pp.
- WRBSR (2007): *World reference base for soil resources*. FAO. ISRIC.
<http://earth.google.es/>

RESUMEN

El objetivo del estudio es cartografiar los suelos salinos (solonchaks, solonetz y luvisoles con fases sálicas) en la Tierra de Medina (Valladolid) utilizando imágenes de los sensores TM y ETM de los satélites Landsat. Las firmas espectrales de estos suelos muestran valores digitales muy altos, lo que permite diferenciarlos de otros tipos de suelos y cubiertas superficiales. Los valores más altos corresponden a los que tienen eflorescencias salinas en superficie y los más bajos a los suelos afectados por hidromorfismo. Las imágenes obtenidas con el NDVI no permiten una clara discriminación de los suelos salinos, pero sí interpretar los cambios en su uso. En estos suelos los valores de NDVI son muy bajos, acordes con su escasa vegetación. Hay un notable descenso entre los años 1987 y 2001, lo que implica un deterioro de su estructura y una gran pérdida de cubierta vegetal; muchos de los suelos afectados por salinización se han dejado de cultivar.

PALABRAS CLAVE: teledetección; suelos salinos; Valladolid.

ABSTRACT

The main goal of this study is the mapping of saline soils (solonchaks, solonetz and luvisols with salic phases) in «Tierra de Medina» (Valladolid) using images of the TM and ETM sensors of the Landsat satellites. The spectral signatures of these soils show very high digital values, which allows to differentiate them from other types of soils and superficial covers. The highest values correspond to those which have salt efflorescences and the lowest values to soils affected by hydromorphic processes. The images obtained with the NDVI do not allow a clear discrimination of saline soils, but they allow to interpret the changes in their use. In these soils the values of NDVI are very low, due to their scarce vegetation. There is a remarkable vegetation reduction between years 1987 and 2001, which implies a structure deterioration and a great loss of vegetal cover; many of soils affected by salinization have not been cultivated any more.

KEY WORDS: remote sensing; saline soils; Valladolid (Spain).

RÉSUMÉ

L'objectif de l'étude est cartographier les sols salins (solonchaks, solonetz et luvisoles avec des phases saliques) dans la «Tierra de Medina» (Valladolid) avec l'aide des senseurs TM et ETM des satellites Landsat. Les signes spectraux de ces sols montrent des valeurs numériques très hautes, ce qui permet de les différencier d'autres types de sols et couvertures superficielles. Les valeurs plus hautes correspondent auxquelles ont efflorescences salines en surface et ceux plus faibles aux sols perturbés par hydro-morphisme. Les images obtenues avec le NDVI ne permettent pas une discrimination claire des sols salins, mais d'interpréter les changements dans leur utilisation. Dans ces sols les valeurs de NDVI sont très faibles, en accord avec leur faible végétation. Il y a une diminution remarquable entre les années 1987 et 2001, ce qui implique une détérioration de sa structure et une grande perte de couverture végétale; beaucoup des sols perturbés par salinización ont été cessés de cultiver.

MOTS CLÉS: télédétection; soils salins; Valladolid (Espagne).