

APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN GEOGRAFÍA FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

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

Dep. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física.

Facultad de Geografía e Historia - Universidad Complutense de Madrid.

C/ Prof. Aranguren s/n - Ciudad Universitaria 28040 Madrid

Tfno: 913945969 Fax: 913945963

mpgarcia@ghis.ucm.es; meperez@ghis.ucm.es

RESUMEN

En este trabajo sintetizamos los artículos publicados en revistas nacionales e internacionales y los proyectos de investigación de varios profesores del área de Geografía Física de la Universidad Complutense de Madrid, en los que se ha utilizado la teledetección como herramienta fundamental para estudios del medio físico. Las líneas de investigación se centran en los campos de climatología, microclimatología, humedales, geomorfología, suelos y cambios de usos del suelo. Para efectuar estas investigaciones se han manejado principalmente imágenes de los satélites Landsat y NOAA, con especial énfasis en los estudios multitemporales.

Palabras Clave: Landsat, NOAA, climatología, humedales, geomorfología, suelos y cambios de usos del suelo.

ABSTRACT

In this paper we synthesize the articles published in national and international journals and research projects of several professors in the area of Physical Geography at the Complutense University of Madrid in which remote sensing has been used as fundamental tools for studies of the physical environment. The research focuses on the fields of climatology, microclimatology, wetlands, geomorphology, soils and land use changes. To perform these investigations have been handled mainly images of Landsat and NOAA satellites, with special emphasis on multi-temporal studies.

Key Words: Landsat, NOAA, climatology, wetlands, geomorphology, soils, and land use changes.

1.- INTRODUCCIÓN

El Área de Geografía Física de la Universidad Complutense de Madrid aplica la Teledetección, desde los años noventa, en las siguientes líneas de investigación: clima y microclima, humedales, geomorfología, suelos y cambios en los usos del suelo. En estos trabajos se han utilizado fundamentalmente imágenes de los satélites Landsat (TM y ETM+) y NOAA (AVHRR) con el programa ERDAS Imagine.

Estas líneas de investigación han sido financiadas, en parte, con los siguientes proyectos nacionales e internacionales:

- Functional Analysis of European Wetland CT0094 Ecosystems. Universidad Complutense de Madrid. Comunidad Europea. Programa STEP. Desde 1991 hasta 1994.
- Veinte Años de Políticas Comunitarias: Inci-

dencias y Repercusiones De Los Programas de Acción en Materia de Medio Ambiente en España. CICYT. AMB-98/0827. Desde 1998 hasta 2000.

- Clima y Microclima de Humedales del Centro Peninsular Español. Laguna de Gallocanta y Lagunas Manchegas. Universidad Complutense de Madrid. PR64/99-8521. Desde 1999 y hasta 2000.
- Cartografía Mediante Teledetección y S.I.G. de Suelos Susceptibles de Recuperación en el Sudeste de la Comunidad de Madrid. Universidad Complutense de Madrid. PR48/01-9852. Desde 2001 hasta 2002.
- Propuesta de un índice de calidad de suelos para Castilla La Mancha AGL 2002-02297. Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto I+D, Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003). Desde 2002 hasta 2005.

2.- RESULTADOS

A continuación se destacan las principales líneas de investigación del área de Geografía Física de la Universidad Complutense de Madrid y los resultados más destacados de cada una de ellas.

2.1.- Clima y Microclima

En climatología se han investigado aspectos de microclimas urbanos y de masas de agua naturales y antrópicas. El uso combinado de imágenes de satélite y estaciones meteorológicas resulta muy útil para medir la distribución espacial e intensidad de los contrastes térmicos campo-ciudad, por lo que se han aplicado al estudio de los climas urbanos del centro peninsular español.

La isla de calor urbana, aunque está bien definida mediante las temperaturas mínimas, no se mantiene en muchas ciudades interiores durante el día (Fig. 1). El análisis de las bandas térmicas de los

sensores Landsat TM y ETM+ y NOAA-AVHRR muestra que muchas ciudades tienen temperaturas diurnas más bajas que su entorno, por lo que pueden definirse como isla de frío diurnas; dichas anomalías también quedan registradas en las estaciones meteorológicas. Este comportamiento térmico se advierte en verano y, con mayor nitidez, cuanto mayor es la densidad del entramado urbano, más altas son las edificaciones, mayor aridez y mayor estrés hídrico del suelo y de la vegetación. Sin embargo, por la noche la ciudad libera el calor acumulado durante el día, produciendo la conocida isla de calor urbana (Pérez y García, 1999, 2001, 2002 y Pérez, García y Guerra, 2003).

Las imágenes de satélite también se han utilizado en estudios de la variabilidad temporal de la temperatura en islas de los océanos Pacífico y Atlántico. En lugares muy alejados del área habitual de trabajo, la teledetección permite conocer la superficie urbanizada, las características principa-

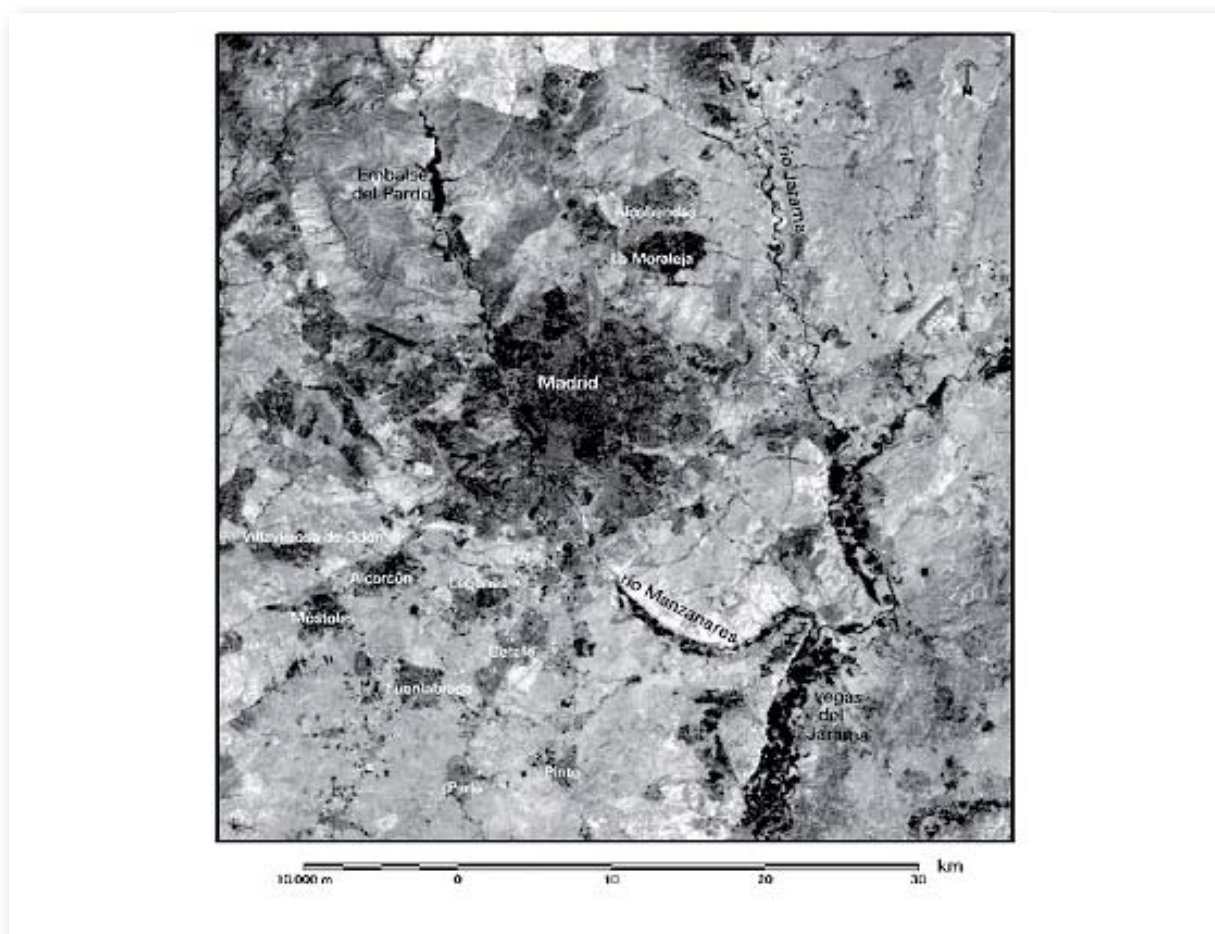


Figura 1.- Imagen térmica de Landsat ETM+ de Madrid del 20 de agosto de 1999. Las masas de agua, vegas de los ríos y núcleos urbanos destacan con tonos muy oscuros debido a que tienen temperaturas más bajas que su entorno.

les del medio físico de su entorno, cambios en el uso del suelo y cómo estas variables pueden afectar a la temperatura superficial (Pérez y García, 2006 y 2007).

En cuanto a los microclimas no urbanos se han estudiado masas de agua continentales (humedales y embalses). Todas las masas de agua, naturales y artificiales, se comportan como "islas de frío" en las horas de temperaturas máximas, presentando las mayores anomalías en primavera. Por el contrario, durante la noche se comportan como "islas de calor" debido a la gran inercia térmica del agua. Sin embargo, en numerosos humedales mediterráneos, la sequía estival condiciona el comportamiento microclimático y las lagunas no quedan delimitadas en las bandas térmicas de las imágenes de satélite. Los humedales muestran un doble comportamiento térmico, ya que su posición topográfica deprimida, presencia de vegetación higrófila, salinidad y variabilidad hídrica, da lugar a épocas u horas del día con temperaturas superiores a su entorno.

Las higrócoras con claros aportes hídricos adicionales se comportan térmicamente como los embalses, de manera que para extrapolar los resultados a otros humedales debe tenerse en cuenta su gestión hídrica (Pérez y García 2000 a, b y c; Pérez, García y Sanz, 2009).

2.2.-Humedales: Características Hídricas, Geomorfológicas y Bióticas

Los humedales definidos por sus láminas de aguas temporales o permanentes, dulces o salobres que no superan los seis metros¹ de profundidad son espacios idóneos para su análisis mediante teledetección. Además, las higrócoras del interior peninsular español no suelen superar los 2 m de calado, por lo que los canales visibles e infrarrojos del satélite Landsat ofrecen gran información sobre la posible presencia de contaminantes, sales, vertidos, presencia de vegetación en su entorno, etc. Así, la contaminación y eutrofización de las aguas quedan bien reflejadas en lagunas someras, por lo que los meses de verano son las fechas idóneas para su estudio. Por otro lado, la selección de imágenes de inviernos muy húmedos permite cartografiar la máxima extensión de los vasos lagunares.

Para diferenciar la vegetación higrófila de la subacuática resulta muy útil la combinación de los canales 3-2-1 del Landsat (que ofrece imágenes en color natural), ya que las algas presentan tonos verdosos y la vegetación de ribera muy oscuros (García y Pérez, 1999). Sin embargo, en esta combinación los sectores eutrofizados se pueden confundir, en las lagunas salinas, con acumulaciones de materia orgánica (sapropel). Por ello, es imprescindible conocer la respuesta espectral de los canales infrarrojos y la verdad terreno (Pérez y García, 2004). También el NDVI discrimina claramente las lagunas someras eutrofizadas, ya que muestran valores elevados dentro de la lámina de agua (Fig 2). Con este índice se puede hacer un seguimiento multitemporal para conocer la gestión y calidad de las aguas.

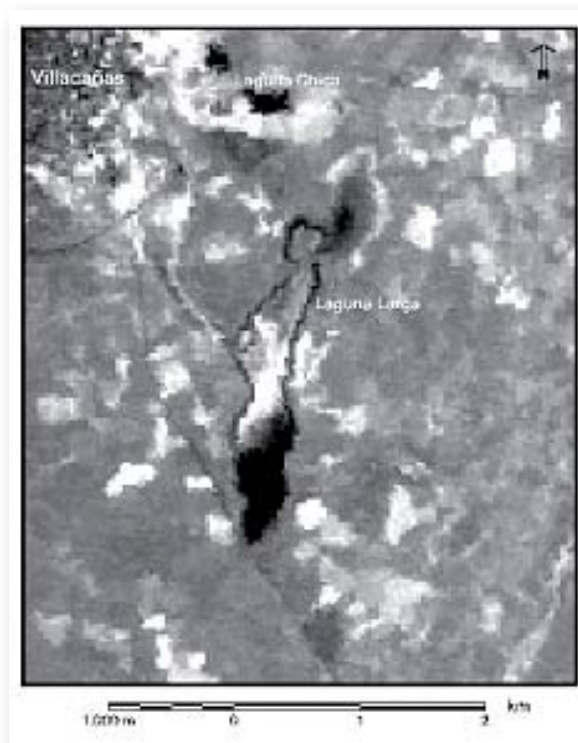


Figura 2.- NDVI de la imagen Landsat-TM del 26 de agosto de 1995. En ella destaca el interior de la laguna de Villacañas con valores muy altos en este índice (tonos muy claros) debido a la eutrofización de las aguas.

¹ Es frecuente la confusión entre humedales y lagos, posiblemente inducida por numerosos topónimos. Sin embargo, atendiendo al citado convenio, los seis metros de calado en una lámina de agua separan ambos espacios acuáticos, someros los humedales y más profundos los lagos. Esta altura de agua posibilita la estratificación térmica de la masa acuática y, con ella, la existencia de diferentes ecotopos.

Los humedales salinos pueden conducir a notable confusión si sólo se analizan mediante teledetección. Durante el verano, se observa una aparente contradicción entre las superficies salinas observadas en el campo (costras y/o eflorescencias) y la respuesta espectral obtenida mediante imágenes de satélite. En ellas se registran valores más bajos de los que cabría esperar en las superficies salinas, debido a que los sensores captan la humedad edáfica subyacente, característica en los humedales hipersalinos (Pérez *et al.*, 2000; García, Pérez y Sanz, 2006).

Otra de las ventajas de la teledetección en el estudio de humedales es la posibilidad de conocer los cambios en la cantidad y calidad de sus aguas mediante el análisis multitemporal de las imágenes, pues son espacios con claros contrastes intra- anuales e interanuales (Sánchez *et al.*, 1999; Pérez y García, 2001). Un claro ejemplo puede observarse en la laguna de Gallocanta al comparar imágenes desde los años ochenta hasta la actualidad. Esta laguna mostró un fuerte retroceso en el volumen de agua durante los años noventa y principios del siglo XXI, pero desde el año 2008 alcanza

niveles de agua tan altos como en los años ochenta (García, Pérez y Sanz, 2001; Pérez *et al.* 2009).

2.3.- Geomorfología

El análisis mediante imágenes de satélite ha facilitado la localización de numerosos accidentes tectónicos, materiales sedimentarios, etc., difícilmente identificables por las técnicas tradicionales. Este es el caso de una estructura anular en el norte de Somosierra (García, Guerra y Pérez, 2002), materiales triásicos al sur de la laguna de Villacañas en Toledo (García y Pérez, 1999) y algunas fracturas que enmarcan la laguna de Gallocanta (Pérez, García y Sanz, 2001).

Uno de los objetivos más importantes en las investigaciones que hemos realizado sobre geomorfología, es analizar la evolución de las áreas acaravadas. En las imágenes Landsat se visualizan con nitidez estas superficies fuertemente erosionadas, diferenciándose los sectores estabilizados (con cubierta vegetal) de aquellos más expuestos a la degradación (Fig. 3).

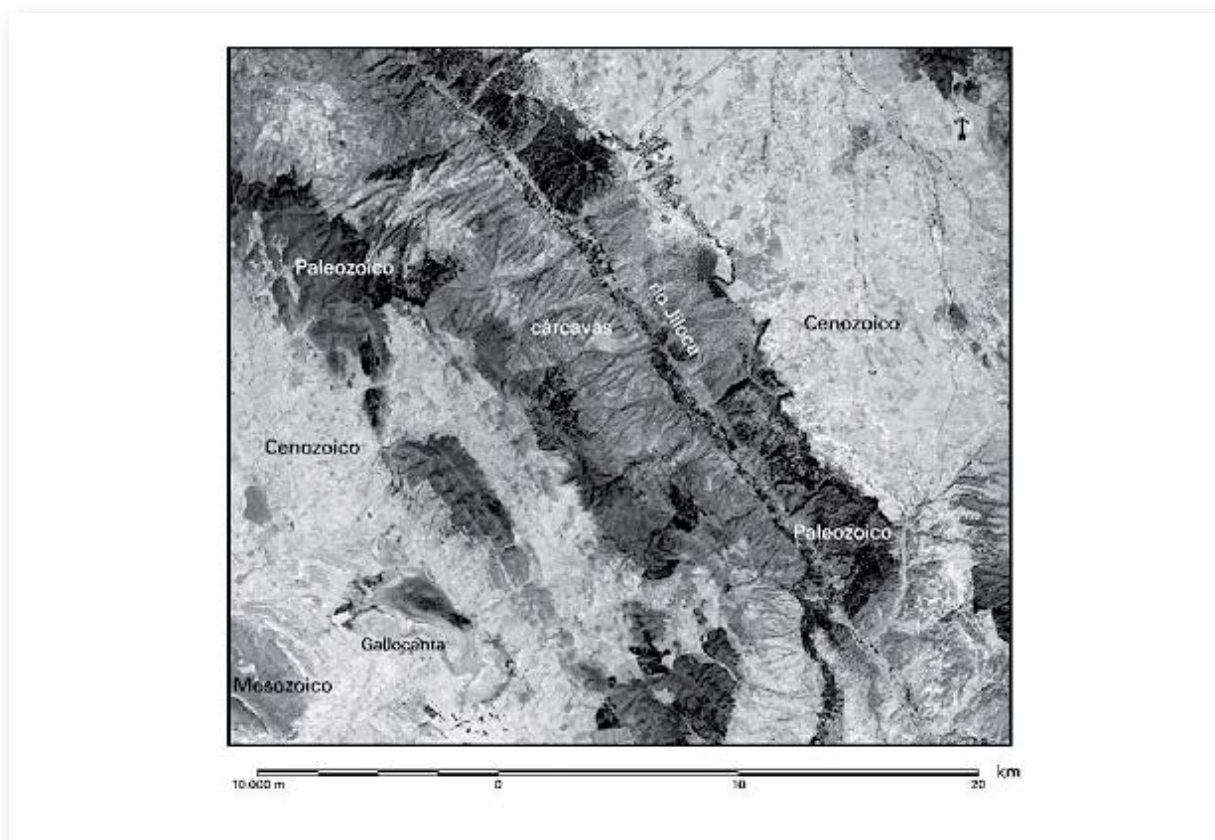


Figura 3.- Imagen Landsat-ETM+ del 8 de agosto de 2000, banda 5. Se distinguen las principales unidades geológicas y las cárcavas producidas por los procesos de alteración sobre los materiales paleozoicos.

Otra de las principales aplicaciones de la teledetección en geología es la posibilidad de cartografiar unidades litológicas a partir de clasificaciones supervisadas. En nuestros trabajos hemos identificado con claridad los depósitos salinos, sedimentos arcillosos, pizarras y cuarcitas, si bien otros materiales o sedimentos quedan con frecuencia enmascarados por la vegetación.

2.4.- Suelos

La investigación en edafología utilizando imágenes de satélite se ha orientado a cuatro líneas preferentes: cartografía, degradación, sellado y calidad de suelos.

Para discriminar las diferentes unidades de suelo con el objetivo de realizar mapas sobre distribución y variabilidad de las mismas, las propiedades más fácilmente identificables con datos de satélite son: color, materia orgánica, contenido en hierro, textura, humedad, salinidad, composición mineralógica, temperatura, grado de erosión y profundidad de los pedones. En todo caso, no es sencillo establecer una relación entre las propie-

dades físicas y químicas de los suelos y sus curvas espectrales, puesto que son muchos los factores que inciden en la variabilidad espectral y espacial. Evidentemente es el horizonte superficial el que mejor se refleja en los datos digitales, aunque influyen con frecuencia las condiciones subsuperficiales (García y Muñoz, 1998).

La cartografía de suelos más idónea mediante imágenes Landsat es la realizada en regiones áridas y semiáridas, por lo que nos hemos centrado en los estudios de gypsisoles (Fig. 4) y suelos salinos (solonchaks y solonetz), muy frecuentes en estas áreas (García y Pérez, 2007; Pérez y García, 2005).

Las combinaciones de bandas que mejor identifican los suelos yesíferos son las 3-2-1, 5-2-1 y 4-7-1 (R-V-A) de Landsat-TM, así como el índice mineral que combina los cocientes 5/7, 5/4 y 3/1 (García y Pérez, 2001).

Para la cartografía de suelos salinos mediante los datos de satélite es necesario conocer las relaciones entre los factores ambientales y la distribución de estos suelos. En áreas muy llanas y con

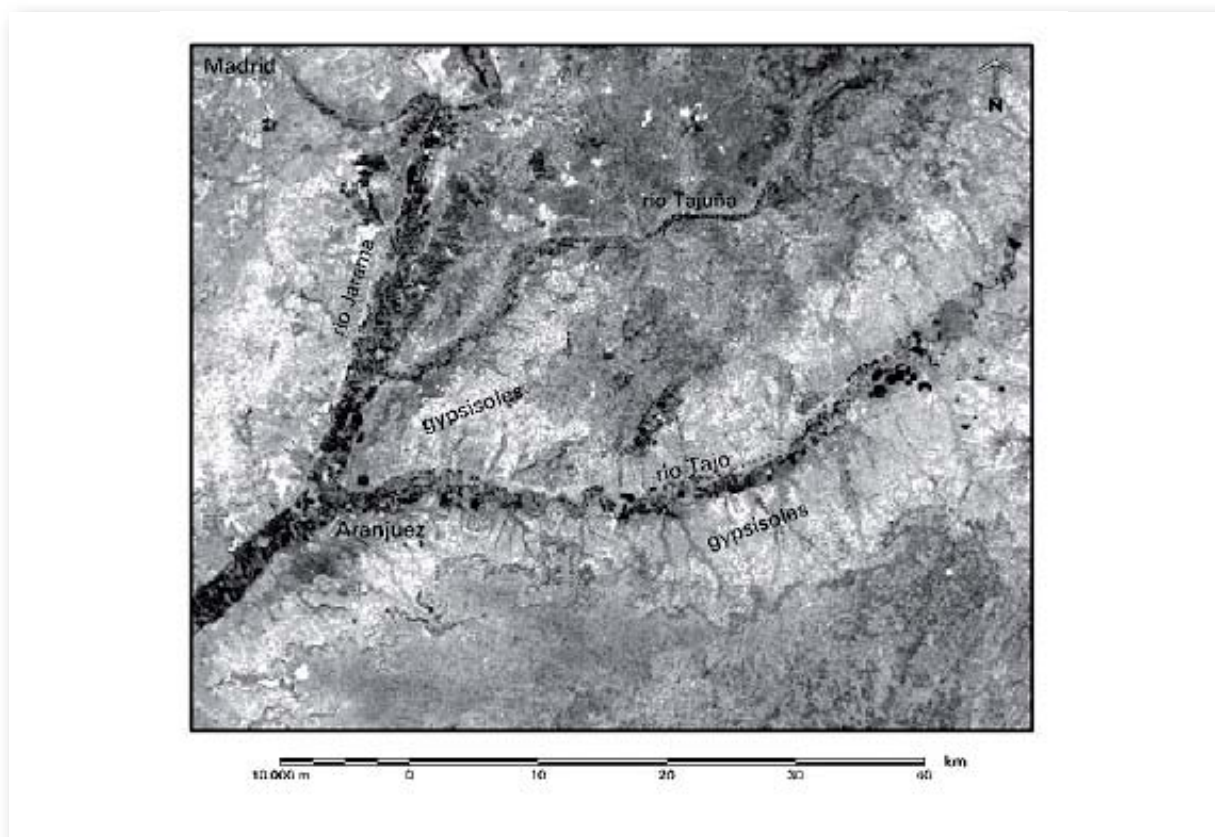


Figura 4.- Banda 1 de la imagen Landsat-ETM+ del 20 de agosto de 1999. En tonos muy claros destacan los gypsisoles, con poca cubierta vegetal, frente a las vegas de los ríos dedicadas a regadíos, con tonos muy oscuros.

múltiples aportes de agua el empleo de fotografía aérea convencional está muy limitado, por lo que la teledetección resulta de gran ayuda. A partir de las imágenes Landsat se han identificado materiales mesozoicos ricos en sales y las áreas de inundación, mediante algunas combinaciones de bandas (4-3-2 y 5-3-1), índice hidrotérmico, componentes principales y NDVI (García et al. 2007).

Los principales problemas de pérdidas de suelo en el centro peninsular español son debidos a sellado, salinización, erosión hídrica y eólica, contaminación química, fases inúndicas y pérdida de materia orgánica. La acción antrópica acelera todos los procesos de erosión, aunque queda un margen para el optimismo, pues en algunas áreas es la acción del hombre la que está frenando los procesos erosivos gracias a las prácticas de conservación y reforestación, permitiendo una evolución favorable de los suelos, especialmente en áreas alejadas de los grandes usos urbanos (García y Pérez, 2005 a y b). Las técnicas de teledetección resultan muy útiles para hacer un seguimiento de los procesos de degradación debido a la posibilidad de contrastar fechas muy variadas. En el área estudiada los satélites Landsat resultan especialmente útiles para evaluar los cambios de vegetación, procesos de acarcavamiento, sellado, salinización y áreas inundables. Por el contrario es aconsejable la utilización de sensores de mayor resolución espectral y/o espacial para hacer un seguimiento de la contaminación química y pérdida de materia orgánica. De manera puntual se han detectado construcciones en sectores fuertemente acarcavados y en suelos muy fértiles de llanuras de inundación e incluso en el cauce de ríos (García y Pérez, 2003 y Yagüe y García, 2005).

El sellado del suelo es uno de los problemas ambientales que mejor pueden analizarse a partir de imágenes multitemporales. Las imágenes Landsat en falso color 4-5-1 permiten discriminar con nitidez las áreas urbanizadas, si bien cualquier combinación que incluya los canales 1 y 5 facilita esta distinción. El estudio realizado en un área piloto entre Madrid y Guadalajara muestra una fuerte pérdida de suelo favorecida por los nuevos modelos de desarrollo local que transforma el suelo agrícola en industrial, urbano y en infraestructuras viarias, especialmente en sectores limítrofes con Madrid debido al menor precio del suelo (García y Pérez, 2007).

Dentro del proyecto CICYT AGL 2002-02297 la teledetección ha sido una herramienta fundamental

para estudiar la calidad de los suelos agrícolas de Castilla-La Mancha. Mediante imágenes Landsat-TM y ETM+ se han identificado suelos de baja calidad agrícola (salinos, hidromorfos y con elevado riesgo de inundación), si bien es preciso el apoyo de datos de campo y laboratorio. Se han analizado numerosas propiedades físicas y químicas de muestras superficiales y se han correlacionado con el NDVI. Este índice escogido para fechas concretas ha resultado de gran utilidad para detectar vegetación halófila, pues habitualmente ofrece una respuesta espectral muy baja debido a su escaso porte aéreo y cobertura espacial (Pérez y García, 2005 y Pérez *et al.* 2006).

2.5.- Cambio de Usos y Coberturas del Suelo

Una de las aplicaciones más comunes en teledetección es analizar los cambios en los usos del suelo. Su utilización, combinada con la fotografía aérea y los trabajos de campo, permiten un análisis detallado de los cambios acaecidos en el paisaje.

Dentro del proyecto de investigación PR-48-019852 se ha estudiado la evolución del paisaje en el sureste de la Comunidad de Madrid. Este estudio se centra en las variaciones en la ocupación del suelo y el estado de conservación del mismo, ya que es un área de gran fragilidad con una importante presión antrópica que está modificando rápidamente el paisaje. La declaración de Parque Natural no ha impedido en los últimos años que se hayan producido importantes modificaciones por la acción antrópica con la consiguiente desaparición de muchos suelos naturales que, aunque con baja productividad, son representativos de un característico paisaje de regiones semiáridas. No obstante, este sector del sudeste madrileño conserva en la actualidad varios enclaves paisajísticos de alto valor, especialmente el encinar-coscojar, humedales y riberas de los ríos (García y Pérez, 2002; Pérez y García, 2003).

Otras de las áreas que mayor interés tiene para analizar los cambios de uso del suelo es el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel y su entorno. Así, su evolución entre los años 1989 y 2002 denota un gran impacto de la superficie y condiciones naturales del humedal en favor de los cultivos de regadío (García y Pérez, 2007). En las imágenes de satélite se observa que la lámina de agua y la extensión de la vegetación higrohalófila son notablemente superiores en la primera fecha (Fig.5). Además, es visible en escenas de satélites de resolución espacial media el incremento de las

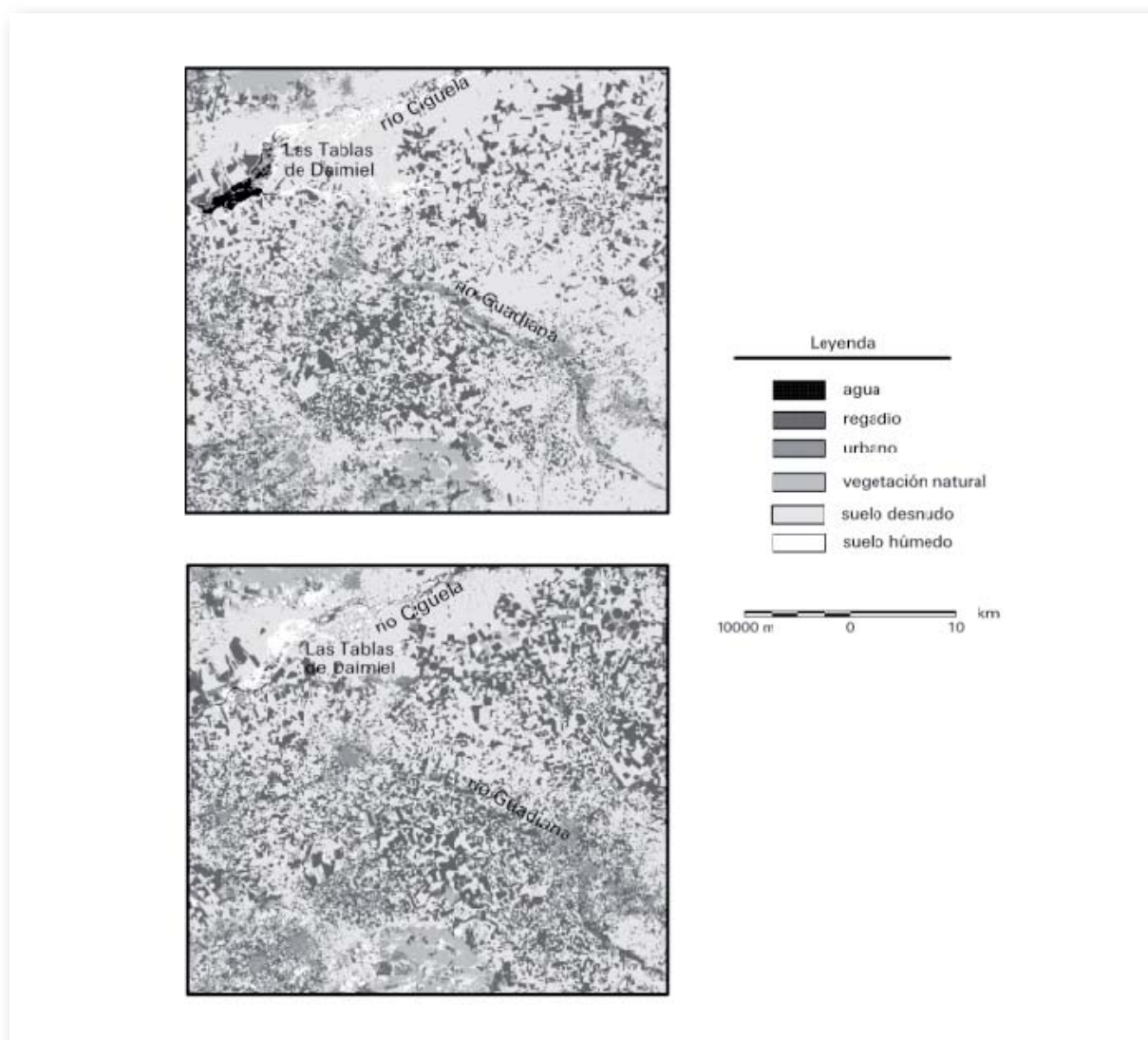


Figura 5.- Clasificaciones supervisadas a partir de las imágenes Landsat: TM del 25 de marzo de 1989 (imagen superior) y ETM+ del 22 de abril de 2002 (imagen inferior). Entre ambas fechas se observa la gran reducción de la lámina de agua de Las Tablas de Daimiel y el notable incremento de las parcelas de regadío en su entorno.

parcelas de regadío en las proximidades del Parque, especialmente en el área comprendida entre los ríos Cigüela y Guadiana. Otro aspecto hidrológico que se refleja en las imágenes es el descenso del caudal del río Azuer, afluente del Guadiana por su margen izquierda. El incremento continuado del regadío a expensas del agua subterránea da lugar a un difícil retorno a las condiciones naturales de Las Tablas de Daimiel.

3.- CONCLUSIONES

Las bandas térmicas de los satélites NOAA y Landsat nos han permitido realizar estudios microclimáticos para comparar áreas urbanas con su entorno. En concreto, en Madrid y ciudades

próximas, hemos observado como en verano la "isla de calor" nocturna en los núcleos urbanos se transforma, durante el día, en "isla de frío". Esto se ha observado también en primavera en embalses y humedales.

Además, en los humedales el estudio multitemporal mediante las bandas de los canales visibles e infrarrojos ha resultado muy útil para hacer un seguimiento de la calidad de las aguas y para conocer la distribución y evolución de la vegetación higrohalófila y su estado de conservación. En lagunas someras el NDVI permite detectar la presencia masiva de algas características de aguas eutrofizadas.

En geomorfología, mediante las imágenes de satélite hemos podido detectar estructuras y sedi-

mentos que no se habían podido identificar en el campo ni mediante fotografía aérea.

En edafología, el uso de la teledetección nos ha resultado idóneo para cartografiar suelos salinos, ver la evolución en la degradación del suelo y analizar la calidad de los mismos. En áreas seleccionadas del centro peninsular los estudios multitemporales han sido de gran ayuda para hacer un seguimiento de los procesos de sellado, acarcavamiento, salinización e hidromorfismo.

No sólo el análisis visual de las imágenes es de gran valor en Geografía Física, también el tratamiento digital es una herramienta imprescindible en los estudios del medio físico. Así, las clasificaciones supervisadas entre distintas fechas nos han permitido valorar el cambio del uso del suelo en áreas de Castilla-La Mancha y los cambios en el paisaje en el sudeste de Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

Ascaso Alcubierre, P. y García Rodríguez, M. P. (1997). Relación entre los índices de vegetación normalizados procedentes de imágenes NOAA y algunos parámetros biogeográficos en el valle del río Gállego (Aragón). *Teledetección: usos y aplicaciones* (J.L.Casanova y J. Sanz, Eds.). Valladolid, Universidad de Valladolid: 59-68.

García Rodríguez, M.P. y Muñoz León, M.C. (1998). Utilización de la teledetección y sistemas de información geográfica en la cartografía de suelos. *Edafología* 4: 95-106.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M^a E. (1999). Estudio mediante imágenes TM del entorno de Villacañas (Toledo). *Revista de Teledetección* 11: 13-22.

García Rodríguez, M.P. Pérez González, M^a E. y Sanz Donaire, J.J. (2001). Variación estacional de los niveles de agua en la llanura de Gallocanta (Zaragoza-Teruel). *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global* (J. Rosell y J.A. Martínez-Casasnovas, Eds.) Lleida, Universidad de Lleida y Asociación Española de Teledetección: 338-342.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M^a E. (2001). Discriminación de Gypsisoles mediante el sensor ETM+ del satélite Landsat 7. *Edafología* 8 (3): 25-36.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M.E. (2002). Teledetección y sus aplicaciones en las ciencias medioambientales. *Meridies* 6: 15-24.

García Rodríguez, M.P.; Guerra Zaballos, A.M. y Pérez González, M.E. (2002). Study of a ring Structure though TM-Sensor in Northern Somosierra (Spain Central System). *International Journal of Remote Sensing* 23 (15): 3079-3090.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M.E. (2002). Estudio mediante teledetección de cambios en el paisaje en el sureste de la Comunidad de Madrid. *Avances en Calidad Ambiental*. (P. Ramos y M.C. Márquez, Eds.). Salamanca, Universidad Salamanca, Junta de Castilla y León: 301-306.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M.E. (2003). Cartografía de áreas de riesgo de erosión de suelos mediante imágenes multitemporales Landsat. *Control de la Erosión y Degradación del Suelo* (R. Bienes y M.J. Marqués, Eds). Madrid: 611-615.

García Rodríguez, M.P.; Pérez González, M.E y Guerra Zaballos, A. (2004). Clayey soils and sediments interpretation through remote sensing. *Applied study of cultural heritage and clays* (J.L. Pérez- Rodríguez, Eds.). C.S.I.C.: 387-396.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M.E. (2005). Degradación de suelos en Castilla La Mancha: estudio de áreas piloto mediante teledetección. *Observatorio Medioambiental* 8: 55-71.

García Rodríguez, M.P y Pérez González, M.E. (2005). Degradación de suelos en Guadalajara: cartografía con imágenes Landsat. *II Simposio Nacional sobre Control de la Degradación de Suelos* (R. Jiménez y A.M. Álvarez, Eds.). Madrid: 807-811.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M.E. (2007). Las Tablas de Daimiel: transformaciones recientes en su ecosistema analizadas mediante teledetección. *Tendencias de la ciencia del Suelo*. (N. Belifante y A. Jordán, Eds.). Universidad de Sevilla: 862-868.

García Rodríguez M.P. y Pérez González, M.E. 2007. *Suelos salinos en la cuenca del río Cigüela (Cuenca alta del Guadiana)*. *Revista de Teledetección* 27: 53-58.

García Rodríguez, M.P.; Pérez González, M.E. y Sanz Donaire, J.J. (2006). Variabilidad hídrica y edáfica de humedales interiores a partir de imá-

genes Landsat (TM y ETM+). *Estudios Geográficos* LXVII (260): 57-78.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M.E. (2007). Las Tablas de Daimiel: transformaciones recientes en su ecosistema analizadas mediante teledetección. *Tendencias de la ciencia del Suelo*. (N. Belifante y A. Jordán, Eds.). Universidad de Sevilla: 862-868.

García Rodríguez M.P. y Pérez González, M.E. 2007. *Suelos salinos en la cuenca del río Cigüela (Cuenca alta del Guadiana)*. Revista de Teledetección 27: 53-58.

García Rodríguez, M.P; Pérez González, M.E. y Guerra Zaballos, A. (2007). Mapping of salt-affected soils using TM images. *Int. Journal of Remote Sensing* 28 (12): 2713-2722.

García Rodríguez, M.P. y Pérez González, M.E. (2007). Changes in soil sealing in Guadalajara (Spain): cartography with Landsat images. *Science of the Total Environment* 378 (1-2): 209-213.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (1999). Análisis de la banda térmica del sensor TM del Landsat-5 de La Mancha (provincias de Toledo, Ciudad Real y Cuenca). *La Climatología en los albores del siglo XXI.* (J.M. Raso y J. Martín, Eds.). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, 1: 391-398.

Pérez González, M.E.; Sánchez Pérez De Evora, A; García Rodríguez, M.P y Sanz Donaire, J.J. (2000). Análisis mediante imágenes de satélite de la salinización en la laguna Larga de Villacañas (Toledo). En: *Lecturas geográficas, Homenaje a José Estébanez Alvarez*, Ed. Complutense, Vol. II: 1655-1666.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2000a). Estudio microclimático de la laguna de Gallocanta. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. (I. Aguado. y M.Gómez. Eds.) IX Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Edición en CD, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid: 102-114.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2000b). Estudio Microclimático de La Mancha utilizando la banda térmica del sensor TM. *Observatorio Medioambiental* 3: 243-255.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2000c). Estudio de las bandas térmicas del sen-

sor AVHRR del satélite NOAA-14 en masas de agua continentales. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 20: 163-176.

Pérez González, M.E.; García Rodríguez, M.P. y Sanz Donaire, J.J. (2001). Estudio de la depresión intraibérica Guialguerrero-Gallocanta mediante el sensor TM. *Revista de Teledetección* 15: 27-37.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2001). Estudio de las bandas térmicas del ETM en la Comunidad de Madrid y alrededores. A. J. Pérez-Cueva, E. López y J. Tamayo, Eds.). *El Tiempo del Clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Valencia, Serie A, nº 2: 499-508.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2001). Comparación de imágenes TM y ETM para analizar los cambios en la gestión del agua y el uso del suelo en La Mancha Húmeda (Provincias de Toledo y Ciudad Real). *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global* (J. Rosell y J.A. Martínez-Casasnovas, Eds.) Lleida, Universidad de Lleida, y Asociación Española de Teledetección: 326-329.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2002). Teledetección y Medio Ambiente. *Apuntes de Medio Ambiente Revista del Ilustre Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y Ciencias*. 2002, 133: 22-24.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2002). Cartografía térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ETM del Landsat 7. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. extraordinario: 377-386.

Pérez González, M.E.; García Rodríguez, M.P. y Guerra Zaballos, A. (2003). Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 23: 187-206.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2003). Evolución del paisaje en la cuenca baja del río Jarama. *Observatorio Medioambiental* 6: 177-193.

Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2004). Análisis de la contaminación hídrica en humedales de ambiente semiárido aplicando teledetección (La Mancha, 1992-2001). *Estudios geográficos* LXV (254): 101-119.

- Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2005). Discriminación visual y digital de suelos de baja calidad agrícola a partir de imágenes Landsat. *Geographicalia* 46: 99-115.
- Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2005). "Suelos salinos en la cuenca del río Cigüela (cuenca alta del Guadiana)". *II Simposio Nacional sobre Control de la Degradación de Suelos* (R. Jiménez y A.M. Álvarez, Eds.). Madrid: 825-828.
- Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2006). Aplicación de la teledetección en Hidrología. *Observatorio Medioambiental* 9: 171-186.
- Pérez González, M.E.; García Rodríguez, M.P.; González-Quiñones, V. y Jiménez Ballesta, R. (2006). Spatial variability of soil quality in the surroundings of saline lake environment. *Environmental Geology* 51 (1): 143-150
- Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2006). Críticas al cambio climático a partir de la evolución de la temperatura en el Atlántico Norte. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid* 26: 95-116.
- Pérez González, M.E. y García Rodríguez, M.P. (2007). Evolución de la temperatura del Pacífico a lo largo del período instrumental. M+A, *Revista electrónica de Medioambiente*, UCM, 3: 23-52.
- Pérez González, M.E.; García Rodríguez, M.P. y Sanz Donaire, J.J. (2009). Características hídricas y microclimáticas de la Laguna de Gallocanta. *La Laguna de Gallocanta. Medio natural, conservación y teledetección* (M.A. Casterd y C. Castañeda, Eds.). Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural: 129-146.
- Sánchez Pérez De Evora, A.; García Rodríguez, M. y Pérez González, M.E. (1999). Cambios paisajísticos en la llanura de inundación del río Cigüela (Toledo). *Teledetección, Avances y Aplicaciones*, (S. Castaño y A. Quintanilla, A, Eds). Papeles de la Diputación de Albacete: 41-44.
- Yagüe, J. y García Rodríguez, M.P. (2004). Approaching corine land cover over Castilla and León (Central Spain) with a multitemporal NOAA-AVHRR NDVI MVC Series. *Análisis of Multi-temporal Remote Sensing Images. Series in Remote Sensing*. (P. Smits and L. Bruzzone Eds.). World Scientific. Vol. 3: 314-321.
- Yagüe Ballester, J. y García Rodríguez, M.P (2005). Evaluating soil degradation in the Jarama-Tajuña and Tajo River Basins (Autonomous Region of Madrid, Spain) Using Remote Sensing Techniques. *Sustainable Use and Management of Soils. Arid and Semiarid Regions*. (A. Faz, R. Ortiz y A. R. Mermut, Eds.). Serie: Advances in GeoEcology 36, Catena Verlag GmbH, Alemania: 369-373.