

DIFERENCIACION DE LOS SUELOS DE RAÑA MEDIANTE IMAGENES LANDSAT TM

J.L. LABRANDERO; M.P. GARCIA; J.J. CARLEVARIS y O. DE LERA
Instituto de Edafología y Biología Vegetal. CSIC. Serrano, 115. 28006 Madrid.

RESUMEN

Las imágenes Landsat TM se han utilizado para diferenciar los suelos que integran la formación geológica de piedemonte denominada "raña". Las clasificaciones espectrales realizadas en tres áreas testigo han dado como resultado diferentes mapas de las variaciones espectrales de la superficie del suelo, que tienen una correspondencia directa con siete unidades de suelos, cuyas características permiten definirlos como Luvisoles, Planosoles y Acrisoles.

En la evaluación de las bandas Thematic Mapper más idóneas para clasificar y diferenciar los suelos de raña, se ha manifestado la importancia de las bandas infrarrojas para conseguir mejores resultados.

La utilización de los datos Landsat TM ha permitido diferenciar nuevas unidades cartográficas de suelos en la superficie de la raña.

Palabras clave: Imágenes Landsat, Sensor Thematic Mapper, Variaciones espectrales superficiales.

ABSTRACT

Landsat TM data have been used to differentiate soils within the geological formation of piedemont called "raña". The spectral classifications realized in three test areas produce different maps of spectral variations of soil surface. These have a direct correspondence with seven soils units which permits to describe them as Luvisols, Planosols and Acrisols.

The TM bands are suitable to classify and to differentiate the soils of "raña". It was stated the importance of infrared bands to obtain better results.

The use of Landsat TM have permitted to differ new soils units in the "raña" surface.

Key words: Landsat images, Thematic Mapper Sensor, Surficial spectral variations.

1. INTRODUCCION

La raña es una formación geológica de piedemonte, asociada a relieves cuarcíticos, que está constituida por depósitos fluvio-torrenciales de cantos cuarcíticos y fragmentos de rocas metamórficas cementados por una matriz areno-arcillosa. El relieve que presenta esta formación es el de una superficie casi plana, con altitudes entre 800-1.200 m, disectada y erosionada por numerosos arroyos que la dividen en diferentes unidades morfológicas desconectadas.

Desde el punto de vista botánico, las rañas altas se caracterizan por los géneros *Juniperus*, *Cistus*, *Erica*, *Calluna*, *Lavándula* y *Thymus* como más abundantes y relictos de *Quercus pyrenaica*. Las rañas medias representan zonas de transición entre las altas y bajas. Las rañas bajas presentan formaciones de matorral en las que los *Quercus* y *Juniperus* se mezclan con el *Cistus* y *Genista*, (García, et al., 1989).

En este trabajo nos remitimos a diferenciar los suelos que se desarrollan en las rañas bajas y en esta zona imprecisa de transición con las terrazas altas (figura 1). Los trabajos de cartografía de suelos en este territorio han puesto de manifiesto la importancia de los horizontes arcillosos impermeables y depósitos pedregosos de cuarcitas. En el mapa de suelos de España, escala 1:1.000.000 (Guerra, et al., 1968) la zona de estudio está integrada en la unidad de suelos con perfil A/ (B) / C sobre materiales silíceos definidos como tierras pardas meridionales con pseudogley, destacando su asociación con zonas pedregosas. El mapa provincial de suelos de Guadalajara, escala 1:250.000 (Guerra, et al., 1970) define

los suelos de esta zona como clases de suelos hidromórficos, cuya característica es encharcamiento y sequía alternantes, horizonte argílico B y desarrollados sobre el material de partida denominado raña. En un estudio de la fertilidad de los suelos de mayor interés agrícola de la provincia de Guadalajara (Jimeno, et al., 1987), el área de rañas se describe como una unidad agroedáfica (área de suelos de características similares y con utilización agrícola común), en la que el suelo más representativo es el Planosol pero, además, aparecen otros suelos clasificados como Regosol y Cambisol. En el mapa que se acompaña a este estudio a escala 1:200.000, la unidad agroedáfica de las rañas coincide con la unidad cartográfica de suelos, dominando el perfil de Planosol asociado a Cambisol y Regosol.

En las investigaciones con el sensor Thematic Mapper, Chuvieco, (1985) presenta un ensayo de cartografía e inventario de clases de ocupación de un municipio incluido dentro de las áreas de rañas, al mismo que analiza la separabilidad espectral de los tipos de ocupación y la clasificación de la imagen. El sensor Thematic Mapper es utilizado para elaborar una cartografía actualizada de ocupación del suelo en las rañas de la provincia de Guadalajara (Martínez Vega, 1987) y la compara con la obtenida a partir de fotografía aérea convencional, poniendo de relieve la contribución de la Teledetección en la discriminación de 13 categorías. El reconocimiento del suelo y su paisaje mediante el análisis de imágenes Landsat TM en las rañas de la región central (Labradero, et al., 1988) ha permitido relacionar los valores analíticos del horizonte superficial de tres perfiles con los valores de los números digitales procedentes de cinta magnética encontrando una correspondencia entre ciertas propiedades físico-químicas y la curva de las respuestas espectrales TM.

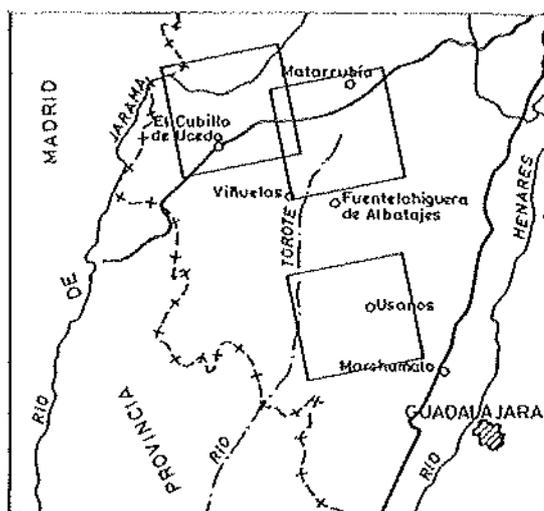


Figura 1.— Situación de las áreas de estudio.

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en diferenciar con la ayuda de imágenes Landsat TM, unidades de suelos en la superficie de la raña que tengan representación cartográfica. En los mapas de suelos sobre esta zona únicamente se había diferenciado una unidad cartográfica de suelos cuyas unidades taxonómicas que la integraban se iban definiendo con mayor precisión en las publicaciones más recientes, pero que por dificultades de escalas de trabajo y complejidad cartográfica, se representaban siempre en una sola unidad cartográfica. La utilización de las imágenes Thematic Mapper del Landsat 5 aportan la posibilidad de disponer de clasificaciones espectrales de la superficie del suelo del área de raña. Las condiciones superficiales de estos suelos son un fiel reflejo de su perfil, desarrollado por procesos edafogénicos que han caracterizado los horizontes iluviales y eluviales, así como de las condiciones de humedad, presencia de capa freática y propiedades físico-químicas.

2. MATERIAL Y METODOS

En la escena TM identificada en el sistema de referencia mundial con los números 202-032 de la órbita y fila, seleccionamos las tres áreas de estudio, cada una de ellas de 5.530 Ha (figura 1). Esta escena fue captada por el sensor de barrido TM, del satélite Landsat 5, el día 15 de Junio de 1984. Para el análisis completo del terreno, además dispusimos de fotografías aéreas en B/N tomadas en Septiembre del año anterior a una escala próxima a 1:30.000, mapas topográficos y geológicos a escala 1:50.000.

El único tratamiento que se ha hecho a las imágenes Landsat ha sido la corrección de las seis bandas cuya resolución en el terreno es de 30 x 30 m (la banda TM6 de 120 x 120 m de resolución no se ha utilizado), con el fin de mejorar el contraste de cada banda y conseguir una mejor visualización. Las

imágenes de satélite se interpretan visualmente analizando banda a banda, cocientes de bandas, índices de vegetación y combinaciones de tres bandas (TM123 (AVR), TM234 (AVR), TM345, (AVR), TM 357 (AVR), asignando respectivamente los filtros azul = A, verde = V y rojo = R.

Antes de iniciar el proceso de clasificación, se utilizaron las fotografías aéreas y la verdad-terreno para fotointerpretar las áreas de estudio. Diferenciamos seis grandes unidades de paisaje directamente relacionadas con los materiales geológicos, la geomorfología, el uso y ocupación de los suelos derivados de la acción humana y aspectos edáficos (humedad, encharcamiento, textura, profundidad, erosión, pedregosidad), marcados por su variada tipología. Es estas unidades seleccionamos 61 campos testigos distribuidos en las tres áreas de estudio. En la selección de los campos testigos, también nos ayudamos de las imágenes TM, fundamentalmente con las combinaciones en falso color obtenidas con las bandas TM123 (AVR) y TM234(AVR).

Los campos testigos se utilizan como muestras conocidas para obtener la estadística de las clases espectrales en una clasificación supervisada. Era necesario, pues, conocer los valores digitales en las seis bandas de todos los campos testigos y para ello, se transfirieron los vértices de estos campos a cada una de las seis bandas de las imágenes con el fin de obtener sus parámetros espectrales. En función de la verdad-terreno y de los parámetros espectrales, las primitivas clases se redujeron por criterios de similitud a 41 clases (12 en el área de Cubillo, 16 en Fuentelahiguera y 13 en Usanos).

La clasificación supervisada se realizó en cada área con sus respectivas clases digitales utilizando cuatro bandas (1, 3, 4, 5; 3, 4, 5, 7 y 2, 5, 7, 4/3). Las limitaciones del sistema de tratamiento de imágenes no permite que se realicen clasificaciones con más de 16 clases.

Finalmente, se aplicó un programa de reclasificación consistente en asignar el valor de la clase que con más frecuencia aparece en una ventana de 3 x 3 píxeles, con el fin de simplificar la lectura de los diferentes mapas que expresan las variaciones espectrales de la superficie del suelo.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

La **interpretación visual** de las imágenes pone de manifiesto que los elementos geográficos del terreno (carreteras, caminos, núcleos de población, tipos de parcelación) se identifican mejor en las bandas visibles que en las infrarrojas. Los aspectos geológicos y edafológicos presentan mayor diferenciación en las bandas infrarrojas, especialmente los límites de las unidades de paisaje, redes de drenaje, zonas erosionadas, detección de pequeños navajos (originados por encharcamiento) y acumulación de arcillas y arenas. Las masas forestales dispersas se perciben bien en la banda 3 (correspondiente al rojo) y banda 4 (infrarrojo cercano). La banda 6, con menor resolución espacial, permite únicamente diferenciar amplias zonas oscuras y claras que coinciden con áreas de suelos ocupados por vegetación o cultivos y desnudos, respectivamente. La mejora de contraste realza las imágenes y amplía la gama de matices, especialmente cuando los suelos están desnudos.

El **cociente** entre la banda 4 (infrarrojo próximo) y la banda 3 (rojo) ha sido utilizada para resaltar las áreas cubiertas por cultivos agrícolas o vegetación forestal. El grado de intensidad en el color rojo se puede utilizar para cuantificar la masa vegetal agrícola o forestal y relacionarla con sus respectivas producciones. En nuestro caso, atendiendo a este índice y al **índice de vegetación normalizado** $TM4 - TM3 / TM4 + TM3$, se han detectado los efectos de la erosión en las áreas de matorrales, monte bajo y cultivos de secano, así como patrones de erosión atribuibles a la composición mineralógica y morfología de los horizontes del suelo.

Cuatro **combinaciones de bandas** se han analizado para evaluar las mejores bandas que añadan información geológica y de suelos a la obtenida por fotografías aéreas pancromáticas. El color natural conseguido con las tres bandas visibles acentúa la percepción de la red viaria (carreteras y caminos) y los diferentes matices que presentan los suelos desnudos como consecuencia del estado superficial. La combinación más usual TM2, TM3, TM4 (AVR), marca con gran nitidez las unidades de paisaje al resaltarse las áreas cultivadas o con vegetación y los límites de esas unidades; la banda infrarroja cercana aporta mejor definición de los cursos de agua y la detección de "fallos" en los cultivos que, comprobados en el campo, se deben a un encharcamiento prolongado de las plantas de cereales y su muerte por asfixia de las raíces. Si en la combinación de bandas introducimos TM5, TM7 y TM4, las imágenes mejoran en relación al falso color convencional, especialmente para la interpretación de la humedad y de los aspectos ligados con este factor. La detección de áreas de suelos con horizontes arcillosos es más fácil realizarla con la combinación de bandas TM3, TM5, TM4. El falso color conseguido al asignar los filtros azul, verde y rojo a las bandas 3, 5 y 7 respectivamente, no presenta ventajas para los objetivos de nuestra interpretación si lo comparamos con los anteriores analizados.

La clasificación de imágenes digitales Landsat TM se ha basado en la estadística de 61 campos testigos (figura 2) considerados como **clases de información** del terreno y sus correspondientes **clases digitales** en el sistema de tratamiento y análisis de imágenes. La respuesta espectral TM de estas clases expresada en números digitales, se obtiene superponiendo los campos testigo, vértice a vértice, en cada una de las bandas TM. Para conseguir las clases espectrales que mejor definan y representen a las clases de información del terreno, se han tenido en cuenta los valores de los números digitales de las seis bandas y la información del terreno de los campos testigo. En esta etapa del análisis, se establecieron 41 clases representativas de las variaciones espectrales de la superficie del suelo (desnudo, ocupado por vegetación natural, repoblada y cultivos) en las tres áreas de estudio.

Se utilizaron las bandas 1, 3, 4, 5; 3, 4, 5, 7 y 2, 5, 7, 4/3 para realizar las tres clasificaciones supervisadas. La última combinación de bandas resultó la más idónea en cuanto al total de superficie clasificada. En esta fecha del año, el suelo desnudo ocupa entre el 38-44 por 100; los cultivos de cereal el 30-46 por 100, y la vegetación natural/forestal el 11-30 por 100. Elegimos el área de Fuentelahiguera como ejemplo de inventario que corresponde a la clasificación de suelos que aparecen en la figura 3.

TABLA 1

Clases	Color	1, 3, 4, 5	3, 4, 5, 7	2, 5, 7, 4/3
S2	Rosa	1,49%	2,38%	2,12%
S4	Azul	0,57%	0,50%	0,64%
S5	Verde claro	4,58%	3,88%	3,96%
S9	Verde oscuro	15,95%	16,69%	10,67%
S10	Verde	4,23%	3,38%	5,48%
S11	Amarillo	2,48%	2,05%	3,44%
S14	Naranja	5,44%	5,28%	2,13%
S15	Azul oscuro	7,50%	7,75%	7,15%
S16	Azul claro	2,15%	1,86%	2,83%
V	Blanco	49,43%	51,43%	58,66%
N.C.	Blanco	6,18%	4,80%	3,02%

V = Agrupación de clases vegetales.

N.C. = No clasificado.

En relación con las clasificaciones de suelos han sido diferenciadas 16 variaciones espectrales de la superficie del suelo, que se corresponden con idénticas categorías de unidades de suelos en el conjunto de las tres áreas. Los suelos desarrollados exclusivamente dentro del perímetro de la formación raña y que han sido diferenciados mediante técnicas de teledetección, información directa del terreno y métodos convencionales se reducen a las siete categorías que aparecen en la Tabla 2.

Las siete unidades de suelos distintas diferenciadas en los límites de la superficie raña corresponden al 17 por 100 del área de Cubillo, 7 por 100 de Fuentelahiguera y 20 por 100 de Usanos. Confirmamos la elevada ocupación agrícola de los suelos de las rañas por el cultivo de cereales (trigo) en esta época del año.

Las unidades de suelos se definen por su perfil representativo en el cuál se observan los horizontes o capas diferenciadas por los procesos de formación del suelo. Las unidades que se presentan en la superficie de la raña se caracterizan por la acumulación iluvial de arcilla (horizonte B argílico) y eliminación o segregación de arcillas y óxidos de hierro libres (horizonte E álbico). En estos perfiles de suelos, los horizontes más profundos están influenciados por la capa freática que origina manchas de color, debidas a la segregación de hierro, y concreciones de hierro-manganeso; son lo que se denominan propiedades hidromórficas. La unidad definida como Luvisol son perfiles de suelos que tienen un horizonte B argílico, con un grado de saturación igual o superior al 50 por 100, y carecen de horizonte E álbico. Las propiedades hidromórficas normalmente se presentan por debajo de los 50 cm, a partir de la superficie. La unidad definida como Acrisol, se caracteriza por la presencia del horizonte B argílico en el perfil, con un grado de saturación inferior al 50 por 100. Pueden mostrar propiedades hidromórficas en los primeros 50 cm del perfil. La unidad más representativa de la superficie de la raña corresponde a Planosol.

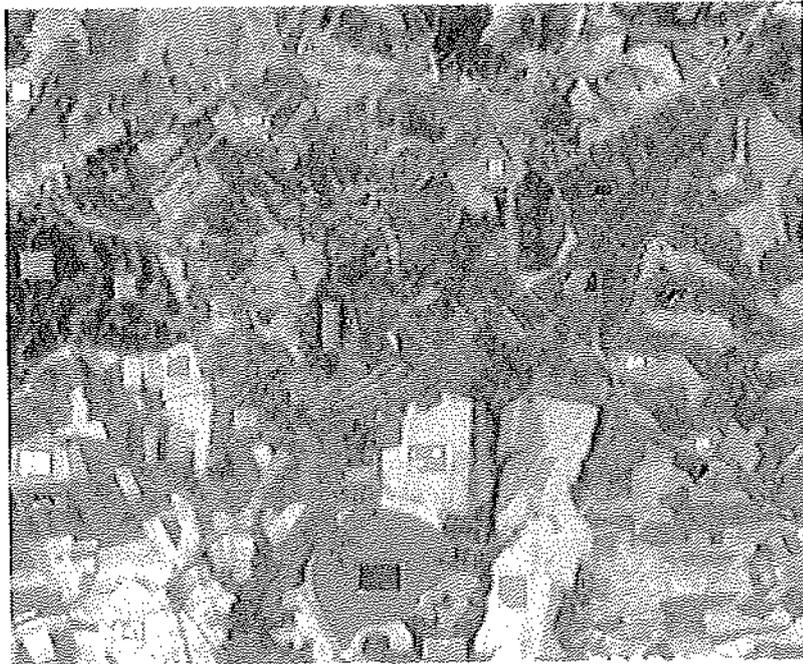


Figura 2.— Campos testigos. Imagen TM234 (AVR). Fuentelahiguera de Albatajes.

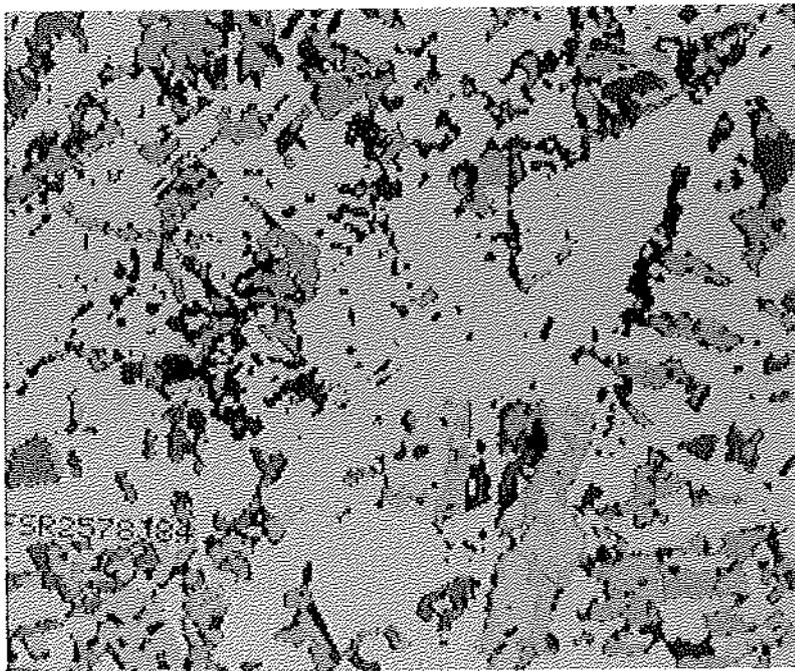


Figura 3.— Clasificación de suelos. Bandas 2, 5, 7, 4/3. Fuentelahiguera de Albatajes.

Los perfiles de esta unidad son suelos que tienen un horizonte E álbico, por encima de un horizonte B argílico, lentamente permeable, que muestra claramente propiedades hidromórficas. La arcilla de los horizontes superficiales se destruye, se produce una acusada diferenciación textural y el perfil se desarrolla sobre una topografía llana o en una depresión con mal drenaje.

TABLA 2

Clases digitales	Campos testigos	Area de estudio	Clase de información
S1	R1 R2	Cubillo	Planosol (Erial)
S2	R5 R10 R29 R26	Cubillo Fuentelahiguera Usanos Usanos	Acrisol (Erosión) " " "
S3	R6 R7	Cubillo Cubillo	Planosol (pedregoso) "
S4	R9	Fuentelahiguera	Planosol (pedregoso)
S5	R11 R12 R13	Fuentelahiguera Fuentelahiguera Fuentelahiguera	Planosol (pedregoso) " "
S6	R20 R27	Usanos Usanos	Acrisol-Luvisol "
S7	R23 R25	Usanos Usanos	Luvisol "

Las clases de información presentan, además de las unidades de suelo descritas, un adjetivo que resalta alguna característica diferenciadora del horizonte superior que puede tener relación con propiedades de horizontes profundos. Estos atributos de los horizontes (grado de erosión, diferencias texturales, hidromorfía, nivel freático, pedregosidad, tipo de cobertura) modifican la respuesta espectral TM de las unidades de suelos y constituyen clases espectrales distintas en la clasificación digital.

Las respuestas espectrales TM obtenidas con los números digitales marcan las pautas del comportamiento de los suelos de raña, en lo que se refiere a las características del perfil definido por sus horizontes y a su principal atributo del horizonte superior superficial.

Se confirma una tendencia a que los Planosoles presenten siempre unas respuestas espectrales TM con valores altos, justificados por la diferenciación morfológica de su perfil, propia de horizontes superficiales arenosos ricos en sílice y con proporción elevada de piedra de cuarcita. Los suelos clasificados como Luvisoles tienen una respuesta espectral TM con valores más bajos y en el terreno, estos suelos aparecen con el horizonte B argílico en superficie (expuesto por erosión) y transformado por acción antrópica; el enriquecimiento superficial de arcilla origina valores bajos en los números digitales de las seis bandas. Valores de números digitales intermedios corresponden a respuestas espectrales TM de suelos clasificados como Acrisoles.

4. CONCLUSIONES

La utilización de datos Landsat TM con el objetivo de diferenciar suelos en la superficie de la raña ha permitido clasificar siete categorías en función de sus respuestas espectrales TM. Las características de las condiciones superficiales de las siete unidades de suelos son las que se han diferenciado mediante su respuesta espectral TM.

A las variaciones de la respuesta espectral TM, obtenida a través de los números digitales de la cinta magnética, se las ha encontrado correspondencia con las condiciones superficiales de siete unidades de suelos dentro de los límites definidos por la formación raña. La respuesta espectral TM con valores digitales elevados corresponde a horizontes superficiales de perfiles de suelos clasificados como Planosoles. Si estos valores de los horizontes superficiales son más bajos, indican la presencia de perfiles de suelos definidos como Acrisoles. Los perfiles de suelos clasificados como Luvisoles se corresponden con valores digitales menores.

La clasificación digital, que diferencia las características de los horizontes superficiales, mejora notablemente si utilizamos, además de las bandas infrarrojas 5 y 7, el índice de vegetación 4/3.

En el análisis visual de imágenes TM con objetivos geológicos y edafológicos se consideran las bandas infrarrojas como las más adecuadas. Los patrones de erosión del suelo son más perceptibles en las imágenes de índices de vegetación.

La interpretación de las variaciones de la respuesta espectral TM pueden servir de ayuda para diferenciar nuevas unidades cartográficas de suelos y establecer las tendencias de los procesos modificadores del paisaje del suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Chuviéco, E., 1985. Análisis espectral, cartografía e inventario de tipos de ocupación a partir de imágenes Thematic Mapper. *Geographica*, 27: 117-130.
- García, A. et al. En prensa. Formaciones leñosas en las rañas de la región central. *Alternativas de uso*.
- Guerra, A. et al. 1968. **Memoria del mapa de suelos de España. Escala 1:1.000.000.** Inst. de Edaf. y Biol. Veg. CSIC. Madrid, pp. 119.
- Guerra, A. et al. 1970. **Mapa de suelos de la provincia de Guadalajara. Escala 1:250.000.** CSIC. Madrid. 89 p. y 1 mapa.
- Jimeno, L. et al. 1987. **La fertilidad de los suelos de mayor interés agrícola de la provincia de Guadalajara.** CSIC. Madrid. 280 p. y 1 mapa.
- Labrandero, J.L., García, M.P. y Carlevaris, J.J. 1988. Reconocimiento de suelos en la formación raña utilizando imágenes Landsat. En **II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo: 378-383** Sevilla.
- Martínez Vega, J. 1987. Inventario y cartografía de la ocupación del suelo en el NO de Guadalajara, mediante Teledetección. En **II Reunión Nacional del Grupo de Trabajo en Teledetección: 303-313** Valencia.

