

## PERSPECTIVAS ACTUALES DE LA CARTOGRAFIA Y EVALUACION DE SUELOS

Por

D. DE LA ROSA

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto, C.S.I.C., Sevilla

### SUMMARY

#### PRESENT PERSPECTIVES IN SOIL SURVEY AND LAND EVALUATION

With particular reference to the contributions which have great influence on the Spanish soil survey and land evaluation, this review paper was organized in the following items: (i) introduction, (ii) historical considerations, (iii) major tendencies in soil survey and land evaluation investigations, emphasizing quantitative procedures, remotely sensed data, computer and mathematical techniques, and land evaluation systems, (iv) development of routine soil survey, and (v) prospects of advancement. It is concluded that the greatly increased amount of soil information and modern data processing methods promise major opportunities for advances in the subject matters.

#### INTRODUCCION

SIMONSON (1952) definió la cartografía de suelos<sup>1</sup> como el proceso de inventariar dicho recurso en una zona determinada, incluyendo: (I) determinación de las características edáficas importantes, (II) clasificación de los suelos en categorías establecidas sistemáticamente, (III) localización y trazado de sus límites sobre mapas, y (IV) predicción de su aptitud para diversos usos. Dicho proceso comprende, por tanto, las siguientes etapas básicas: caracterización, clasificación, trazado de límites y evaluación<sup>2</sup>. No obstante, esta última se suele considerar como disciplina independiente y, a su vez, como parte fundamental de la "evaluación de tierras"<sup>3</sup>. En este sentido, la cartografía de suelos proporciona la información básica que será interpretada, desde el punto de vista práctico, mediante su evaluación.

La unidad de estudio, el individuo-suelo, es resultado de la combinación de los cinco factores formadores: material original, clima, potencial biótico, fisiografía y tiempo (JENNY, 1941). Dado el infinito número de combinaciones posibles, resulta necesario definir un marco dentro del cual las formaciones edáficas puedan ser investigadas. Numerosos procedimientos se han desarrollado para analizar el suelo como función de su entorno, tales como los establecidos por CLINE (1949), SIMONSON (1968), WALKER et al. (1968), DIJKERMAN (1974) y YAALON (1975). En los estudios cartográficos, la mayoría de consideraciones sobre el suelo se hacen con relación a una columna vertical (pedon) como componente representativo del individuo-suelo (polipedon de JOHNSON, 1963). El pedon es la porción más pequeña de suelo que se describe y muestrea. Su

<sup>1</sup> Se hace uso sinónimo de los términos "cartografía" y "reconocimiento" de suelos, asignándoles todo el contenido de la expresión inglesa "soil survey".

<sup>2</sup> "Evaluación de suelos"  $\Delta$  "soil survey interpretation".

<sup>3</sup> "Evaluación de tierras"  $\Delta$  "land evaluation".

área es de un metro cuadrado aproximadamente y su profundidad es suficiente para abarcar a todos los horizontes genéticos (alrededor de dos metros). El polipeton constituye un colectivo de varios pedones. El concepto "Serie de suelos", como unidad taxonómica definida sobre el terreno, se asemeja al de polipeton (JOHNSON, 1963; SOIL SURVEY STAFF, 1975). Sin embargo, debido a la complejidad de las formaciones edáficas, un individuo-suelo, representado por una unidad cartográfica de un mapa detallado de suelos (POWELL y SRPINGER, 1965; WILDING et al., 1965), puede incluir otros individuos-suelos distintos (BUOL et al., 1973). Algunos autores admiten inclusiones del 5 al 15 por ciento en extensión (SOIL SURVEY STAFF, 1951; FRIDLAND, 1965), mientras que otros toleran hasta un 25 por ciento (MILLER y NICHOLS, 1979). En función de las unidades taxonómicas que se establezcan en cada caso, se consideran también las siguientes unidades cartográficas: asociación, unidad de dos o más suelos que podrían ser separados en reconocimientos de detalle (E. 1/24,000 o mayor); y complejo, unidad de dos o más suelos que no pueden ser separados en reconocimientos de detalle (SOIL SURVEY STAFF, 1981).

Los objetivos del reconocimiento de suelos deben responder a las necesidades de sus futuros usuarios. Aunque estos estudios proporcionan un mayor conocimiento científico, los motivos de su realización suelen ser de tipo práctico. Los reconocimientos permiten transferir la información conseguida sobre suelos de una zona determinada a otras similares. De esta forma, dichos estudios satisfacen las necesidades informativas sobre los suelos en proyectos de ordenación del territorio y conservación de ecosistemas, informes preliminares de ingeniería y estudios sobre otros muchos usos de la tierra (KELLOGG, 1959) destacando la ubicación de campos de experimentación representativos.

De acuerdo con los objetivos, se establecen las características del reconocimiento de suelos: (I) tipo de unidad cartográfica, (II) clases de unidades taxonómicas que identifican cada unidad cartográfica, (III) tamaño de áreas mínimas delineadas y (IV) densidad y tipo de observaciones de campo. El conjunto de estos criterios determina la escala de publicación del mapa de suelos. En la Tabla 1 se recogen las características de los más frecuentes tipos de reconocimientos de suelos, en base a las definiciones establecidas por diversos autores. Con estas adaptaciones se pretende sintetizar la información más ampliamente utilizada al respecto, y facilitar la comparación entre los diversos criterios. La consideración de cuatro tipos de reconocimientos ha obligado a realizar algunas agrupaciones entre aquellos establecidos por dichos autores. Existe gran similitud entre los criterios de FAO (1974) y de "Soil Survey Staff" (1979), que difieren considerablemente de los de VINK (1963), en especial, en lo referente a densidad de observaciones de campo. Además de los principales tipos de reconocimientos de suelos recogidos en la Tabla 1, se pueden distinguir otros, tales como los sintetizados (mapas realizados a partir de otros más detallados) y los esquemáticos (mapas realizados en base a información ya existente que no corresponde en su totalidad a estudios cartográficos) (MILLER y NICHOLS, 1979).

El presente estudio recapitulativo pretende ser una aproximación al estado actual de la investigación de cartografía y evaluación de suelos,

TABLA 1

*Características de los principales tipos de reconocimientos de suelos,  
adaptación de los criterios establecidos por diversos autores*

Tipo	Escala	Unidad cartográfica	Area* mínima delimitada (ha)	Densidad** de observaciones (por 100 ha)
		<i>Adaptación de FAO (1974)</i>		
Detallado	> 1/10,000	Fase de Serie, Serie o Complejo	< 1	200 - 50
Semidetallado	1/10,000— —1/25,000	Fase de Serie o Complejo	1 - 6.25	50 - 8
Generalizado	1/25,000— —1/100,000	Asociación de Series o Unidades Fisiográficas	6.25 - 100	8 - 0.5
Exploratorio	1/100,000— —1/1,000,000	Asociación de Grandes Grupos u otras unidades	100 - 10,000	0.5

(Cont.)

TABLA 1 (Continuación)

Tipo	Escala	Unidad cartográfica	Area* mínima delineada (ha)	Densidad** de observaciones (por 100 ha)
<i>Adaptación del "Soil Survey Staff" (MILLER y NICHOLS, 1979)</i>				
Detallado	> 1/12,000	Consociación <sup>oo</sup> o Complejo de Series	< 0.6	ne
Semidetallado	1/12,000 - -1/30,000	Consociación, Complejo o Asociación de Series	0.6 - 4	ne
Generalizado	1/25,000 - -1/250,000	Asociación, Complejo o Consociación de Series o Familias	2 - 250	ne
Exploratorio	1/100,000 - -1/1,000,000	Asociación de Familias a Ordenes	40 - 4,000	ne
<i>Adaptación de VINK (1963)</i>				
Detallado	≥ 1/10,000	Serie	≤ 1	4,000 - 100
Semidetallado ‡	1/25,000 - -1/50,000	Serie, Asociación de Series o Familias	6.25 - 25	50 - 1
Generalizado ‡	1/100,000 -1/200,000	Asociación de Series, Familias o Grandes Grupos	100 - 400	1 - 0.5
Exploratorio †	1/400,000 - -1/1,000,000	Asociación de Familias o Grandes Grupos	1,600 - 10,000	ne

\* Valores correspondientes a 10 x 10 mm. de mapa para FAO (1974) y VINK (1963), y a 6 x 6 mm de mapa para el "Soil Survey Staff" (1979).

\*\* Valores establecidos suponiendo el uso de la fotointerpretación.

‡ † Se establecen áreas modelo a escala 1/20,000 y 1/50,000-1/200,000, respectivamente.

<sup>oo</sup> Consociación se define como unidad cuyas 3/4 partes corresponden a los suelos que le dan nombre o a suelos similares.

ne No especificado.

con especial referencia a los autores y entidades que más influencia tienen actualmente en España.

## CONSIDERACIONES HISTORICAS

El hecho de que fuese en Rusia y Estados Unidos (U.S.A.) donde comenzó el desarrollo de la edafología a finales del siglo pasado, lo explicó KELLOGG (1974) de la siguiente forma. Los agricultores de los viejos países de Europa llegaron a conocer los suelos después de muchos errores y aciertos en su utilización durante varios siglos. Sin embargo, tanto en Rusia como U.S.A., cabía la posibilidad de cultivar tierras si eran previamente conocidas. Se hicieron entonces necesarios los reconocimientos de suelos para extrapolar los resultados de investigaciones en determinadas zonas y hacer recomendaciones sobre su uso y manejo. Como consecuencia, fue también necesario un concepto claro del suelo y sus propiedades.

En 1883. DOKUCHAEV publicó un estudio sobre los chernozems rusos donde describió varios grupos de suelos, estableció algunos principios de morfología, diseñó la primera clasificación científica y elaboró diversos métodos de campo y laboratorio sobre cartografía de suelos. DOKUCHAEV (1883) definió el suelo como un cuerpo natural independiente, desarrollado bajo la influencia de los cinco factores formadores, de los cuales la vegetación fué considerada el más importante. De esta forma quedaron establecidas las bases para la nueva ciencia llamada "Soil Geography".

El también ruso GLINKA (1914) definió el suelo como una entidad geológica superficial, una capa meteorizada, que presenta características zonales correspondientes con áreas climáticas.

HILGARD (1892), aunque alemán de nacimiento y educado en Europa como geólogo y químico, desarrolló su actividad profesional en U.S.A., donde publicó un trabajo sobre suelos salinos y las relaciones suelo-clima. En este trabajo estableció diversas formas de paisaje, tipos de capas freáticas, procesos de meteorización de la roca, respuesta de los cultivos y clases de manejo. Sin embargo, las ideas de HILGARD (1892) tuvieron muy poco impacto.

En 1901, se crea el "Bureau of Soils" dependiente del "U.S. Department of Agriculture", siendo WHITNEY su primer director. WHITNEY criticó duramente a HILGARD y defendió la tesis de que las propiedades físicas del suelo relacionadas con la humedad constituyen los factores determinantes de la producción de cosechas, excluyendo la fertilidad natural y otros constituyentes químicos. Durante el tiempo de WHITNEY al frente del "Bureau of Soils" se establecieron las bases del "Soil Survey", realizándose los primeros mapas de suelos a escala 1 pulgada/1 milla (1/63.360). En estos mapas se reflejan las ideas de la escuela rusa, así como la filosofía de WHITNEY e incluso los criterios defendidos por HILGARD. En esta época, se empezaron a caracterizar los primeros grupos de suelos ("Soil Series") en base al color, propiedades del subsuelo, tipo de relieve y drenaje, y material original. Las Series de suelos se subdividieron en tipos, de acuerdo con la textura, que representaron las unidades cartográficas de los citados mapas.

COFFEY (1913), perteneciendo al "Bureau of Soils", publicó el trabajo "A study of soils of the United States" que contiene una

sección dedicada a las aproximaciones alternativas a una clasificación de suelos. Significó COFFEY (1913) que una clasificación ideal sería un sistema jerarquizado basado en diferencias inherentes al propio suelo; el cual definió como cuerpo natural con génesis y naturaleza propias, que ocupa una posición independiente en las formaciones constituyentes de la superficie terrestre. Las ideas de COFFEY tuvieron tan poco crédito como las de HILGARD (CLINE, 1977).

MARBUT (1927) presentó en el 1° Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo su "Schema for Soil Classification", en el cual desarrolló una síntesis con las ideas de la escuela rusa, los trabajos de HILGARD, COFFEY y WHINEY y la amplia perspectiva conseguida con su propio trabajo. Otros muchos de los conceptos de MARBUT parecen proceder de las teorías geomorfológicas de DAVIS (1902). Según CLINE (1977), la importancia de la teoría de MARBUT (1927, 1935) radica en el trabajo de síntesis, creando un modelo organizado del suelo que sirvió para poner orden entre las ideas de otras muchas personas.

En 1935 se crea el "Soil Conservation Service" dentro del "U.S. Department of Agriculture", cuyo primer director fue BENNETT. Este servicio comenzó realizando mapas de suelos en base a propiedades edáficas independientemente consideradas, tales como profundidad útil, pendiente y textura. Las propiedades eran seleccionadas entre las más directamente relacionadas con el uso y manejo del suelo. Estas propiedades se analizaron como variables independientes, y sus muchas combinaciones se interpretaron para establecer las bases del "Land Capability Manual" (KLINGEBIEL y MONTGOMERY, 1958).

Tras la muerte de MARBUT, en 1935, KELLOGG pasó a ser director de la "Federal Soil Survey Division" (antes "Bureau of Soils"). Para CLINE (1977), KELLOGG fue el principal responsable del estado actual de la investigación en cartografía de suelos, así como del desarrollo paralelo de la génesis, morfología y clasificación. La "Federal Soil Survey Division" insistió en el reconocimiento de suelos basado en unidades cartográficas concebidas como entidades genéticas naturales que pueden ser interpretadas para múltiples usos. KELLOGG fue capaz de romper la controversia surgida entre las dos formas distintas de hacer mapas de suelos por parte del "Soil Conservation Service" y de la "Federal Soil Survey Division". Así en 1952 se aunaron las actividades en cartografía de suelos de las dos agencias, potenciándose el "Soil Conservation Service" pero bajo la dirección de KELLOGG. La filosofía del antiguo "Bureau of Soils" prevaleció aunque fiscalizado por el "National Cooperative Soil Survey".

Las ideas defendidas por KELLOGG (1946, 1948), así como la nueva filosofía propiciada por JENNY (1941) desarrollando una nueva teoría genética del suelo en términos de relaciones funcionales cuantitativas, determinaron una de las tendencias más acusadas dentro de la cartografía de suelos: la cuantificación de propiedades.

## TENDENCIAS MAS DESTACADAS

### *Cuantificación de propiedades*

Durante muchos años, las propiedades de los suelos y las relacio-

nes con los factores formadores, en términos de procesos evolutivos tales como podzolización y laterización, se expresaron en forma cualitativa. Así aparece en la clasificación de MARBUT (1935), en la clasificación americana publicada en 1938 (BALDWIN et al.) y revisada en 1949 (THORP y SMITH) o en el "1938 Yearbook of Agriculture" (BYERS et al.). Sin embargo la cartografía de suelos, y como consecuencia las demás ramas de la edafología más o menos relacionadas con ella, ha evolucionado hacia procedimientos cuantitativos, propiciando relaciones funcionales.

Dos publicaciones: (I) "Soil Survey Manual" (SOIL SURVEY STAFF, 1951) y (II) "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1975), que recogen las normas convencionalmente utilizadas en gran parte del mundo para hacer reconocimientos de suelos, determinaron de forma decisiva el desarrollo del proceso de cuantificación. El "Soil Survey Manual" (SOIL SURVEY STAFF, 1951) constituyó una importante contribución en la cuantificación de propiedades morfológicas de los suelos. En la actualidad, el "Soil Survey Staff" del "U. S. Soil Conservation Service" está desarrollando una nueva versión del "Soil Survey Manual" (SOIL SURVEY STAFF, 1981), donde se profundiza en dicha línea de investigación. Así, por ejemplo, este nuevo manual hace referencia en varios capítulos a "Soils Data"<sup>1</sup>, y en el capítulo 11 concretamente destacan los numerosos métodos cuantitativos de evaluación de suelos para las más diversas utilidades.

Según CLINE (1977), el sistema de clasificación de suelos "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1975) es la más importante contribución a la edafología en los últimos 25 años. Las clases o categorías de este sistema están definidas cuantitativamente en forma de límites. Su desarrollo tuvo como base la información cuantitativa existente, tanto de campo como de laboratorio, y los resultados de estudios adicionales (CLINE, 1979).

En la Tabla 2 se presenta la distribución de suelos en el mundo, agrupados a nivel de Ordenes del sistema "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1975), así como el número de páginas que corresponde a cada Orden en la clave de este sistema. Es de resaltar la relativa correspondencia entre ambos conjuntos de valores, aunque en algunos casos existan discrepancias. Así por ejemplo, 51 páginas están dedicadas al Orden Mollisols, con una extensión aproximada de 12 millones de Km<sup>2</sup>, mientras que sólo 10 páginas se refieren a los Oxisols abarcando una extensión similar. Ello pone de manifiesto que los suelos tropicales son menos conocidos que los de regiones templadas, y por tanto su clasificación es menos completa. También es de destacar el reducido número de páginas (23) dedicadas a los Aridisols, siendo el Orden más extenso (25.6 millones de Km<sup>2</sup>).

Las indicadas discrepancias, entre otras razones, fueron consideradas por el "International Soil Program", dependiente del "U.S. Soil Conservation Service", para crear una serie de comisiones con objeto de revisar e internacionalizar el sistema "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1975). La primera comisión, nominada

<sup>1</sup> El concepto de "Soil Data" se refiere a información del suelo, preferentemente cuantificada, tanto de áreas geográficas como de puntos seleccionados del paisaje, incluyendo predicciones sobre su uso y manejo (BARTELLI, 1979; MILLER y NICHOLS, 1979).

TABLA 2

*Distribución de suelos, a nivel de Ordenes, en el mundo e intensidad de su tratamiento por el sistema "Soil Taxonomy".*

Orden	Distribución de suelos en el mundo*		Extensión en "Soil Taxonomy"	
	Extensión (10 <sup>3</sup> Km <sup>2</sup> )	Porcentaje	Número de páginas	Porcentaje
Alfisols	19,700	14.7	47	17.5
Aridisols	25,600	19.2	23	8.5
Entisols	16,800	12.5	31	11.5
Histosols	1,000	0.8	16	5.9
Inceptisols	21,000	15.8	43	16.0
Mollisols	11,900	9.0	51	19.0
Oxisols	12,400	9.2	10	3.7
Spodosols	7,300	5.4	15	5.6
Ultisols	11,400	8.5	25	9.3
Vertisols	2,800	2.1	8	3.0
Otras áreas	3,600	2.8	—	—
<b>Total</b>	<b>133,600</b>	<b>100.0</b>	<b>269</b>	<b>100.0</b>

\* Fuente: FOTH, 1978.

"International Committee on the Classification of Alfisols and Ultisols with Low Activity Clays" (ICOMLAC), refleja la necesidad de redefinir las taxas correspondientes a suelos tropicales. El "International Committee on the Classification of Andisols" (ICOMAN) se preocupa de un nuevo tratamiento a nivel de Orden de los actuales Andepts. Igualmente, se ha desarrollado el "International Committee on the Classification of Oxisols" (ICOMOX), cuyo principal objetivo es la redefinición del Orden Oxisols. Se ha creado también el "International Committee on Soil Moisture Regimes in Tropical Areas" (ICOMMORT) con el fin de establecer con mayor precisión los regímenes de humedad del suelo considerados en el sistema "Soil Taxonomy" (BEINROTH, 1978; U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1980).

Otra de las mayores preocupaciones actuales con relación al sistema "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1975), es la de dar mayor importancia a los constituyentes mineralógicos del suelo como criterios de clasificación. Estos constituyentes, que tienen gran influencia en muchas propiedades del suelo, son actualmente muy bien caracterizados gracias al desarrollo extraordinario de las técnicas de identificación y medida (SEGALEN, 1978).

Desde el punto de vista de la interpretación práctica de los suelos, existe una preocupación creciente en desarrollar las posibilidades de aplicación del sistema "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1975), no solo en las evaluaciones deductivas con fines agrícolas sino también en las evaluaciones de ingeniería (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 1977; McCORMACK y FOHS, 1979). DUDAL



(1978) resaltó la importancia de investigar los criterios de diagnóstico utilizados por el sistema "Soil Taxonomy" en relación a su influencia sobre el desarrollo de las plantas y, concretamente, de los cultivos más frecuentes.

### *Uso de la teledetección*

En términos generales, REEVES (1975) definió la teledetección como la medida o adquisición de información de ciertas propiedades de un objeto o fenómeno, por medio de aparatos que no están en contacto íntimo con el objeto o fenómeno estudiado. Durante las dos últimas décadas, se han desarrollado de forma creciente las investigaciones sobre aplicación de las técnicas de teledetección para inventariar los recursos naturales y monitorizar sus posibles cambios (KRUMPE, 1976). Desde 1950, la revolución del ordenador ha proporcionado una capacidad extraordinaria de almacenamiento, análisis e interpretación de información teledetectada. Igualmente, revolucionarios cambios en la tecnología de comunicaciones han ofrecido los medios necesarios para transmitir dicha información y conseguir infinidad de usuarios (STONER y BAUMGARDNER, 1979).

Estas actividades van dirigidas a otras muchas aplicaciones además de la correspondiente a cartografía de suelos. En este último sentido, la teledetección ofrece en la actualidad diversas técnicas de medida de bandas visibles y de mayor longitud de ondas del espectro electromagnético, que dan información utilizable a los diferentes tipos de reconocimientos de suelos. Numerosos trabajos (BURING, 1960; GOOSEN, 1967; CANNON, 1973; HILWIG et al., 1974; DIZIER, 1977; PURNELL, 1977; HERNANDEZ y FLORES, 1978; MONTURIOL, 1978; PARRY et al., 1980) resaltan las ventajas e inconvenientes de estas técnicas de acuerdo con el propósito y detalle de los estudios cartográficos.

Con objeto de ordenar las múltiples y variadas técnicas de teledetección que en los últimos años se vienen utilizando en cartografía de suelos, se pueden diferenciar tres tipos en base a la distancia suelo-sensor: teledetección aérea, espacial y superficial.

Dentro del primer tipo, las fotografías aéreas convencionales, tanto detalladas (escala original, 1/7,500 - 1/15,000) como semidetalladas (escala original, 1/30,000 - 1/50,000), debido a su elevada resolución (3 metros o menos) satisfacen las necesidades de los reconocimientos detallados y semidetallados de suelos. Estas fotografías, que en blanco y negro constituyen la base de los estudios realizados por el "U.S. Soil Conservation Service" desde 1935, presentan mayores posibilidades de investigación y desarrollo utilizando técnicas de color o infrarrojos.

Las fotografías aéreas a gran altitud (30 a 40 kilómetros), realizadas por medio de globos estratosféricos, pueden ser visualmente interpretadas como las fotografías convencionales. Suelen ser de escala original entre 1/80,000 y 1/400,000, aunque su ampliación sin pérdida excesiva de calidad puede llegar hasta 1/50,000. Estas fotografías están especialmente indicadas para discriminar elementos del paisaje en estudios de tipo generalizado.

La información multispectral radar, bien sea la "Synthetic Aperture Airborne Radar" (SAAR) o la "Side-looking Airborne Radar"

(SLAR), corresponde a una nueva técnica de teledetección aérea con enormes posibilidades de aplicación en cartografía de suelos. Esta técnica proporciona imagen de visión estereoscópica, siendo capaz de detectar con bastante precisión determinadas características de los 15 - 20 centímetros superiores de suelo. La radiación utilizada, mediante foco emisor activo, debido a su elevada longitud de ondas (incluso superior a 3 centímetros) penetra a través de la oscuridad, nubes y vegetación. MEKEL (1972), McCOY y LEWIS (1976) y PARRY et al. (1980), entre otros, han investigado diversos aspectos de la utilización de esta técnica en reconocimientos detallados de suelos y de otros recursos naturales.

Al tipo de teledetección espacial corresponde la información multispectral de satélites (LANDSATS, SKYLAB, GEMINIS, etc.), que puede ser interpretada de forma visual y, preferentemente, por medio de ordenador siguiendo análisis numéricos. Los satélites LANDSATS, cuya información está especialmente indicada en cartografía de suelos, describen órbitas polares a 920 kilómetros de la tierra y fueron lanzados por el "National Aeronautics and Space Administration" (NASA) en 1972 (LANDSAT-1, anteriormente llamado ERTS), en 1975 (LANDSAT-2) y en 1978 (LANDSAT-3). La información obtenida por el LANDSAT-1, que realizó medidas de  $7 \times 10^6$  puntos distintos cada 25 segundos aproximadamente, reúne las siguientes características generales: medidas, mediante procedimientos "Multi Spectral Photography" (MSP) y "Multi Spectral Scanning" (MSS), de cuatro zonas del espectro electromagnético (banda-4:  $0.5 - 0.6 \mu\text{m}$ , y banda-5:  $0.6 - 0.7 \mu\text{m}$ , del espectro visible; y banda-6:  $0.7 - 0.8 \mu\text{m}$ , y banda-7:  $0.8 - 1.1 \mu\text{m}$ , del espectro infrarrojo); escala original, 1/3,369,000; resolución, 0.45 hectáreas ( $56 \times 79$  metros); periodicidad, 18 días (con esta frecuencia el satélite sobrevoló la misma zona de la superficie terrestre). Esta información, debido fundamentalmente a su baja resolución, está indicada en estudios cartográficos generalizados o de menor detalle.

El extraordinario volumen de datos de las imágenes LANDSATS ("Computer-Compatible Tape", CCT) precisan de procedimientos matemáticos e informáticos para su explotación óptima. Relacionado con este análisis digital, diversos autores han establecido programas de ordenador, tanto para corregir las distorsiones electrónicas, mecánicas y radiométricas de la información original (ej.: BERNSTEIN, 1976) como para seleccionar y potenciar la información corregida (ej.: SANTISTEBAN y MUÑOZ, 1978). Para investigar la utilidad y precisión de la información digital teledetectada, son frecuentes los estudios comparativos entre estas medidas y las obtenidas de forma directa en laboratorio o campo, sobre muestras de los mismos suelos y para las mismas bandas del espectro electromagnético (MATHEWS et al., 1973; WEISMILLER et al., 1977).

Con la expresión teledetección superficial (JOHNSON et al., 1980) se pretende agrupar todas las técnicas, que utilizando foco emisor activo, registran los valores de conductividad electromagnética del perfil del suelo desde su misma superficie. Las radiaciones a utilizar, fundamentalmente de tipo radar y sonar, así como las características de las antenas emisoras-receptoras están siendo objeto de investigación con vista a su aplicación en estudios detallados de suelos (BENSON y GLACCUM, 1979; KRISHNAN et al., 1980). JOHNSON et al. (1980)

llegaron a prometedoras conclusiones utilizando un equipo de tele-detección superficial ("Ground Penetration Radar", GPR) para analizar la variabilidad geográfica de diversas características de suelos de Florida (U.S.A.), hasta una profundidad no inferior a los 2 metros.

### *Aplicación de las matemáticas e informática*

Las más avanzadas técnicas cartográficas, así como la moderna tecnología en general, hacen uso frecuente de la informática. A su vez, los conocimientos matemáticos computacionales permiten la formulación y resolución de expresiones numéricas para explicar las más complejas relaciones entre variables de los sistemas "suelo" y "suelo-uso".

Haciendo aplicación de la "informática digital"<sup>1</sup>, algunos autores, tales como DE LEENHEER et al. (1968), desarrollaron técnicas y programas especiales de ordenador para el simple almacenamiento de datos de suelo. LEE et al. (1976), WEBSTER et al. (1976), DE LA ROSA et al. (1981a), entre otros, elaboraron programas de aplicación en diversos lenguajes para realizar descripciones informatizadas de perfiles de suelos. Otras muchas aplicaciones se han desarrollado en los últimos años para automatizar diversas fases de la cartografía y evaluación de suelos. Dentro de la "informática gráfica"<sup>2</sup> se ha usado el ordenador en mapas básicos e interpretativos de suelos (ej.: WEBSTER y BURROUGH, 1972; NICHOLS y BARTELLI, 1974; KOSAKI y KYMA, 1981).

Una "base informatizada de datos de suelos"<sup>3</sup> comprende el conjunto de aplicaciones especiales anteriormente citadas, así como los múltiples procedimientos matemáticos computacionales que permiten la información procesada. Ejemplos significativos de bases, actualmente en producción rutinaria, son las desarrolladas por "Informatique et Biosphere" (ORSTOM, 1969), "Netherlands Soil Survey Institute" (SCHELLING, 1972), "Soil Survey of England and Wales" (HOGSDON, 1974), "Canada Department of Agriculture" (DUMANSKI et al., 1975) y "AMS: U.S. Advanced Mapping System" (JONHSON, 1975). Las principales actividades que se vienen desarrollando en el mundo dentro de este campo están quedando recogidas en los sucesos "Proceedings of the International Society of Soil Science, Working Group on Soil Information Systems" (ej.: BIE, 1975).

Entre los numerosos procedimientos matemáticos, generalmene computacionales, que se están utilizando para mejor explicar e interpretar los resultados en cartografía de suelos, cabe resaltar los siguientes.

A partir de información básica cuantificada y por medio de análisis estadísticos de medida de la tendencia central y dispersión de valores, se puede sintetizar el perfil típico de un conjunto de individuos-suelos. Dichos estudios de caracterización estadística (ej.: CALHOUN

<sup>1</sup> La "informática digital" define el tratamiento numérico de la información procesada.

<sup>2</sup> La "informática gráfica" comprende la digitización de la información analógica, así como la expresión analógica de los registros procesados.

<sup>3</sup> "Base informatizada de datos"  $\simeq$  "soil information base", "soil database" o "soil information system".

y CARLISLE, 1974; DE LA ROSA et al., 1980) son de gran utilidad para seleccionar e indentificar suelos representativos de referencia ("Benchmark Soils").

Siguiendo el proceso de síntesis estadística de perfiles de suelos, se profundiza haciendo uso del análisis de modelación estocástica o probabilista. La evidencia de variación aleatoria de profundidad en profundidad que surge cuando se analizan los valores correspondientes a ciertas características determinadas en el perfil vertical del suelo, hace pensar en la utilidad de un tratamiento estocástico del problema (ALONSO, 1979). El análisis espectral, que constituye la base de estos estudios (PAPOULIS, 1965), permite la formulación estocástica de las propiedades del suelo mediante funciones aleatorias espaciales. La importancia de la modelación probabilista de las propiedades edáficas no debe cifrarse exclusivamente en la información que ofrece sobre la variabilidad de una determinada característica, sino en su incorporación al cálculo y en definitiva al diseño y predicción (ALONSO, 1979; BRESLER et al., 1981).

Durante el proyecto y posterior desarrollo de los estudios cartográficos, se suelen realizar evaluaciones cualitativas de la variabilidad geográfica de los suelos con objeto de acomodar el número de observaciones de campo con el tipo de reconocimiento. En la actualidad existe preocupación creciente por establecer procedimientos que cuantifiquen y aumenten la precisión de dichas estimaciones (BURROUGH y KOOL, 1981). En este sentido, están siendo ampliamente utilizados análisis estadísticos para determinar la tendencia central y variabilidad espacial de las características edáficas (WILDING et al., 1965; McCORMACK y WILDING, 1969; BECKETT y WEBSTER, 1971; CAMPBELL, 1977; DREES y WILDING, 1973; CASSEL y BAVER, 1975; LAMP, 1981).

Procedimientos similares a los descritos en el párrafo anterior se vienen aplicando para determinar la precisión de mapas de suelos ya realizados; estableciéndose un control de calidad para mejorar las evaluaciones con fines prácticos, aumentando su fiabilidad y confianza. El "Transect Method" (JOHNSON, 1961) incluye un análisis estadístico para determinar la homogeneidad o pureza de las unidades cartográficas. Este método, al igual que otros similares, no proporciona sin embargo una medida de la precisión del trazado de los límites entre unidades cartográficas. En este sentido, WEBSTER y CUANALO (1975) y CAMPBELL (1977) hicieron uso del análisis de autocorrelación para establecer la variabilidad de ciertas propiedades edáficas a lo largo de "transects" entre unidades cartográficas. WEBSTER (1981) destacó las ventajas e inconvenientes de otros procedimientos matemáticos utilizados con la misma finalidad.

El tratamiento estadístico discriminante, cuya discusión matemática aparece en diversos tratados de estadística multivariable (ej.: COOLEY y LOHNES, 1971), propicia el análisis de dos o más grupos de individuos-suelos y, a su vez, la formulación de clasificadores numéricos. Este procedimiento está siendo frecuentemente utilizado en el primer sentido, con objeto de discriminar entre grupos de especí-

<sup>1</sup> "Benchmark Soils" son suelos cuyo conocimiento detallado ofrece gran interés, ya sea por su extensión, clasificación en un sistema taxonómico o presencia en zonas críticas (MILLER y NICHOLS, 1979).

menes, constituyendo la base del tratamiento digital en "cartografía automática" o "cartografía asistida por ordenador" (LABRANDERO y PALOU, 1980; KOSAKI y KYUMA, 1981). No obstante, su mayor aplicación en reconocimiento de suelos ha ido dirigida en los últimos años hacia la definición de clasificaciones taxonómicas numéricas (BIDWELL y HOLE, 1963; ARKLEY, 1970; WEBSTER y BURROUGH, 1974; BOTTFNER et al., 1975).

La modelación estadística de regresión es otro de los procedimientos que ofrecen mayor interés y utilidad, en orden a simplificar y formular las relaciones entre variables que describen fenómenos complejos, tal y como se presentan en el sistema suelo-uso. Este procedimiento computacional (COOLEY y LOHNES, 1971) ofrece resultados satisfactorios como primera aproximación en la simulación matemática de dicho sistema (DIJKERMAN, 1974). También CLINE (1977), RIQUIER (1972), RUDEFORTH (1975) y TEACI (1975) se refirieron en términos generales a las grandes posibilidades de aplicación de los conocimientos matemáticos informatizados en estudios interpretativos de suelos con fines prácticos. Concretamente, algunas cualidades del suelo tales como erodibilidad, productividad y fertilidad han sido examinadas mediante modelos estadísticos a partir de seleccionadas características edáficas (WISCHMEIER y MANNERING, 1969; RIQUIER, 1972; FAO, 1975). En el caso de predicción de la productividad, el sistema está influenciado no solo por factores edáficos sino también por otros factores naturales y socioeconómicos. Todos ellos se investigan diferenciando los subsistemas: suelo, clima, cultivo y manejo. Estos subsistemas, considerados independientemente o agrupados de diversas formas, han sido analizados por medio de modelos estadísticos para determinar su influencia en la producción de cosechas. Así se han establecido modelos edáficos (DE LA ROSA et al., 1981), climáticos (BENCI et al., 1975), fenológicos (SMITH y RITCHIE, 1978), edafo-climáticos (RIQUIER, 1972) y universales (FEYERHERN et al., 1978). Recientemente, BRESLER et al. (1981) han utilizado el procedimiento de modelación estocástica, con el fin de explicar la variabilidad productiva de los suelos en función de sus características naturales.

### *Desarrollo de las interpretaciones*

HUNTER et al. (1966) hicieron notar que el mayor problema en la utilización de los reconocimientos de suelos radicaba en la falta de evaluaciones adecuadas. Sin embargo en los últimos años, se ha producido un desarrollo extraordinario de estas interpretaciones prácticas de suelos con fines diversos (BARTELLI, 1979). La aplicación de los conocimientos matemáticos computacionales, que fue objeto de análisis en el apartado anterior, ha sido una de las principales razones de dicho progreso; permitiendo el desarrollo de sistemas paramétricos de evaluación, así como la utilización automática de estos sistemas por medio de mapas interpretativos informatizados (NICHOLS y BARTELLI, 1974; NICHOLS, 1975). Ello ha sido causa también de la menor consideración de los sistemas tradicionales de evaluación de suelos, tanto los inductivos (ej.: STORIE, 1950; BRAMAÑO y RIQUIER, 1967) como los deductivos (ej.: SIMONSON, 1938; ODELL, 1958).

En un primer nivel de abstracción y de acuerdo con los fines perseguidos, se pueden diferenciar tres tipos de evaluaciones de suelos: (I) agrícolas y forestales, (II) de ingeniería y (III) ambientales. Dentro de este contexto, es de destacar la mayor importancia que se da actualmente al concepto de aptitud relativa, en contraposición al de aptitud general. La capacidad de uso del suelo se considera pues como un atributo multifactorial. Entre estos factores o cualidades edáficas destacan la productividad, fertilidad, regabilidad, drenabilidad, erodibilidad y manejabilidad, desde el punto de vista agrícola; y la plasticidad, compactación, contracción y capacidad de carga de residuos, en los aspectos de ingeniería y ambiental.

Para la productividad agrícola, se han profundizado aún más en el concepto de aptitud relativa. Así, los sistemas interpretativos que pronostican la capacidad de uso del suelo en base a su productividad para la mayoría de cultivos (ej.: CLARKE, 1950; STORIE, 1950; BRAMAO y RQUIER, 1967), están siendo sustituidos por aquellos que estiman la productividad relativa para determinados cultivos (ej.: AMBAR, 1964; SYS y VERHEYE, 1972; BRESLER et al., 1981; DE LA ROSA et al., 1981).

La fertilidad química ocupa un lugar preferente entre las cualidades que determinan la capacidad de uso agrícola del suelo; de mayor importancia en la actualidad, dado que la crisis energética hace cada vez más difícil el aporte de elementos nutritivos al suelo en forma de fertilizantes. BUOL et al. (1975) establecieron un sistema de evaluación que agrupa los suelos de acuerdo con aquellas características que determinan su capacidad para proporcionar nutrientes.

La regabilidad es una de las cualidades agrícolas del suelo más frecuentemente estimada a partir de las características que se determinan en los estudios cartográficos. Es de destacar en este sentido el sistema de evaluación establecido por el "Bureau of Reclamation" (U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR, 1953). Este sistema agrupa los suelos en función de las propiedades que controlan la economía hídrica del perfil, los aspectos económicos de la producción y las necesidades de transformación del terreno para el riego. Tanto este sistema como otros similares (DESAUNETTES, 1962; DIDIC, 1964; CARDOSO, 1970), trata pues de ofrecer también información sobre la drenabilidad de los suelos. Ambas cualidades, regabilidad y drenabilidad, son igualmente determinantes de la viabilidad física para introducir la técnica del riego en una zona seleccionada.

Los riesgos de degradación resultan del máximo interés de predecir, cuando se trata de iniciar el uso agrícola en un suelo. El "Soil Capability System" (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1961), así como sus múltiples adaptaciones (ej.: SERVICIO DE RECONOCIMIENTO E ORDENAMIENTO AGRARIO, 1969), es el sistema más ampliamente utilizado en este sentido. Los suelos se agrupan de acuerdo con sus limitaciones para la mayoría de cultivos, riesgos de degradación tras su utilización agrícola, y aptitud para un manejo óptimo. Este sistema fue diseñado para su aplicación en estudios cartográficos detallados, y de ahí que hayan surgido adaptaciones como la anteriormente citada para ser aplicadas a partir de reconocimientos de suelos de menor detalle.

Los riesgos de degradación del suelo proceden fundamentalmente de su posible erosión. Esta erosión, especialmente la hídrica, no solo

significa pérdida de suelo sino también colmatación y contaminación de cursos de agua y anulación de presas. La "Universal Soil Loss Equation" (USLE; WISCHMEIER y SMITH, 1965) fué desarrollada para pronosticar la pérdida anual de suelo debido a la erosión superficial. Dicha ecuación ha sido de gran utilidad en la planificación de sistemas de cultivos en suelos de elevada susceptibilidad a la erosión. Sin embargo, su mayor precisión en la aplicación corresponde a la mitad oeste de U.S.A., ya que de esta zona se obtuvo la información básica para su desarrollo (BARTELLI, 1979). Actualmente, la USLE se viene utilizando, formando parte de modelos más complejos como el USLE-SDR (PETERSON y SWAN, 1979), para evaluar la pérdida de capacidad de las presas sobre rios por acumulación de sedimentos. También se utiliza este sistema de evaluación en estudios de análisis y control de sedimentos que contaminan las aguas. Como significó ROBINSON (1979), la USLE es una extraordinaria herramienta en el control de la desertización que, a su vez, constituye un factor capital en los estudios de calidad del agua y del suelo.

Las evaluaciones forestales de suelos pretenden dar una medida de la aptitud edáfica para seleccionados tipos de bosques. Los sistemas de evaluación desarrollados en este sentido, lógicamente corresponden a países con extensas regiones forestales, tales como Australia (LEWIS y HARDING, 1963), Canadá (ENVIRONMENT CANADA LANDS DIRECTORATE, 1969) y U.S.A. (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1967). Este último sistema considera fundamentalmente el potencial productivo del suelo de acuerdo con los valores del "Site Index". Índice que viene dado por la altura de los árboles dominantes para una especie, edad y condiciones naturales, determinadas. De forma similar a como se establecen y aplican estos sistemas, se manifiestan las evaluaciones de suelos para "vida silvestre"<sup>1</sup> (ej.: PEARSE, 1969; PERRET, 1969; U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1972).

Es de resaltar la creciente utilización con fines de ingeniería de la información ofrecida por los reconocimientos de suelos. Los modernos estudios cartográficos van seguidos de interpretaciones prácticas con vista a la construcción de edificios, carreteras, zonas industriales y de recreo, y muchas otras obras de ingeniería (BARTELLI, 1962, 1966; WOHLTZ, 1966; U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1972, 1974, 1975; CARLISLE y CALHOUN, 1979; KATO y MATSUI, 1979; PARSONS, 1979). Las determinaciones geotécnicas más frecuentemente utilizadas para llevar a cabo dichas interpretaciones incluyen: análisis mecánico, límites líquido y plástico, densidad máxima, humedad óptima y cambio potencial de volumen (YONG y WARKENTING 1966; AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1970; BARTELLI, 1978; DE LA ROSA, 1979). A su vez, se hace aplicación frecuente de los sistemas de clasificación de suelos con fines de ingeniería: (I) "American Association of State Highway Officials Classification System" (AASHO, 1961) y (II) "Unified Soil Classification System" (U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 1968).

Se ha demostrado que el suelo es un medio adecuado y efectivo para tratar residuos líquidos, tanto agrícolas como industriales y urbanos. Numerosos autores, tales como BAILEY y WHITE (1970),

<sup>1</sup> "Vida silvestre"  $\approx$  "wildlife".

investigaron los principios y procesos: degradación, sorción, lavado y volatilización, del tratamiento de residuos en diferentes suelos. La capacidad de carga de residuos del suelo viene determinada por el conjunto de propiedades que controlan el movimiento y adsorción de los residuos líquidos. Según BARTELLI (1974), dichas propiedades son: contenido en arcilla, capacidad de cambio, pH, permeabilidad, relación sesquióxido-aluminio, humedad, temperatura, relación C/N, textura, y aireación. STEWART et al. (1975) establecieron un sistema paramétrico de evaluación para pronosticar la capacidad de carga de residuos del suelo con relación a un contaminante específico, siendo densidad aparente y porosidad los principales criterios de diagnóstico. En general, los mejores suelos para el desarrollo de los cultivos son los que también presentan mayor capacidad de carga de residuos.

En el contexto de las interpretaciones prácticas, son destacables los esfuerzos realizados en los últimos años para integrar la metodología de evaluación de suelos en sistemas más amplios de ordenación o planificación del territorio. Según BARNEVELD (1973), ordenación del territorio es el análisis y diagnóstico de atributos ecológicos y socioeconómicos con objeto de establecer un desarrollo integral proporcional a las posibilidades ecológicas y a las necesidades socioeconómicas de cada momento. Los proyectos de ordenación tienen los siguientes objetivos principales: (I) eficiente uso de todos los recursos, (II) protección del medio natural, (III) continuada producción agrícola y (IV) eficiente uso del suelo para pastos, bosques, vida silvestre y otras utilidades no agrícolas (KELLOGG, 1974). La ordenación del medio ambiente natural pretende su desarrollo armónico y continuado. En el proceso de planificación, aunque se considera un amplio conjunto de aspectos naturales, sociales y económicos, el suelo ocupa un lugar esencial al ser atributo principal y permanente del medio natural. Los resultados del reconocimiento de suelos resultan pues de extraordinario interés en el desarrollo de los programas de ordenación. Para su integración se siguen procedimientos que corresponden, fundamentalmente, a las siguientes expresiones: (I) "Land Evaluation" (BRINKMAN y SMYTH, 1973; BEEK, 1974; citado por VINK, 1975) y (II) "Soil Potential" (BARTELLI, 1974; McCORMACK, 1974). En ambos casos, aunque con diferentes etapas de desarrollo, se pretende dar una medida de la aptitud de los suelos para, mediante la tecnología más avanzada, producir cosechas o soportar cualquier otra actividad expresada en unidades económicas, sociales y ambientales. El "Canadá Land Inventory System" (ENVIRONMENT CANADA LANDS DIRECTORATE, 1969, 1969a, 1969b, 1970, 1970a) constituye un detallado sistema de evaluación de tierras, con vista a servir de base a la planificación integral del medio natural. En otros países, como Portugal (CARDOSO, 1972, 1974), se han desarrollado también diferentes aproximaciones a metodologías de evaluación de estaciones ambientales. DE LA ROSA y CARLISLE (1979) recogieron en un trabajo de revisión algunas de las actividades llevadas a cabo en el campo de la evaluación de suelos y tierras y ordenación del territorio.



## RECONOCIMIENTOS SISTEMATICOS

Dada la enorme extensión y variabilidad del material de estudio, el desarrollo progresivo de la investigación en el campo de la cartografía y evaluación de suelos precisa del inventario continuado de este recurso en las distintas zonas geográficas. Paralelo al quehacer puramente científico, cuyas tendencias actuales han sido objeto de análisis en los apartados anteriores, debe existir un reconocimiento sistemático que haga aplicación en cada momento de los conocimientos y técnicas proporcionados por la investigación. Se puede diferenciar, por tanto, una cartografía científica de suelos de otra cartografía sistemática.

En España la cartografía sistemática pertenece, en la mayoría de los casos, al tipo generalizado (ej.: CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DEL CUARTO 1962, 1963, 1972; INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA' 1970; CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DE SALAMANCA, 1972). Tipo de inventario de suelos que se considera de limitada utilidad. Además, hay que resaltar la falta de normas aceptadas por los diversos organismos; variando en ocasiones las utilizadas dentro de una misma entidad. En 1956 se estableció un acuerdo entre el Instituto Nacional de Edafología (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y el Mapa Agronómico Nacional (Ministerio de Agricultura), por el cual éste realizaría mapas a nivel de unidades de aplicación, es decir, Series de suelos. Sin embargo, la utilización de una escala inadecuada. (ej.: INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS, 1971, 1975) y la extinción gradual de las actividades de dicho Mapa han determinado la falta, casi total, de reconocimientos detallados de suelos en España. Entre los pocos ejemplos de mapas detallados se podría citar algunos trabajos de Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, motivo de publicaciones internas; de la Diputación Foral de Navarra, con fines catastrales y experimentales; y del Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario, para estudios de riego y drenaje. Este Instituto ha llevado a cabo también una cartografía de suelos relativamente extensa (~ 500,000 ha), a nivel de semidetalle, en trabajos de viabilidad de zonas regables y en colaboración con el Centro de Estudios Hidrográficos y Confederaciones Hidrográficas. Entre otros tipos especiales de estudios cartográficos, se encuentran los desarrollados por DEL VILLAR (1937), MINISTERIO DE AGRICULTURA (1958) e INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA (1968) como reconocimientos esquemáticos del suelo.

En países vecinos, como Portugal y Francia, existe una distribución más lógica y eficaz de competencias en el campo de la cartografía y evaluación de suelos. En Portugal, el "Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário" desarrolla la labor de cartografía sistemática, llevando actualmente a cabo la "Carta dos Solos de Portugal" a escala de publicación 1/50,000 (SERVIÇO DE RECONHECIMENTO E ORDENAMENTO AGRÁRIO, 1970). A su vez, el "Departamento de Pedologia" de la "Estacao Agronomica Nacional", en estrecha colaboración con el propio "Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário" desarrolla la investigación científica. En Francia, existe el "Service d'Etudes des Sols et de la Carte Pedologique

de La France" dependiente del INRA ("Institute National de la Recherche Agronomique"), que trabaja simultáneamente a escalas 1/100,000, 1/25,000 y 1/5,000, con flexibilidad en los estudios detallados; colaborando con entidades regionales y comarcales en entornos determinados o en resolución de problemas específicos.

En Estados Unidos, cuyos esquemas se siguen en España en tantos otros aspectos agrarios, el "Soil Conservation Service" por medio de la "Soil Survey Division" realiza los estudios sistemáticos de suelos. Dentro del propio "Soil Conservation Service", la "Soil Survey Investigation Division" lleva a cabo las labores puramente científicas. En este último aspecto, las numerosas universidades estatales a través de las "Agricultural Experiment Stations" colaboran también con el "Soil Conservation Service". En la actualidad, estas instituciones desarrollan conjuntamente el "Modern Soil Survey" a escala de publicación 1/20,000, en todo el territorio federal. Este ambicioso plan cartográfico, que genera publicaciones referidas a condados (ej.: U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1971, 1975, 1976), proporciona información sobre características, clasificación y distribución de los suelos; capacidad de uso agrícola, forestal y de conservación de naturaleza; necesidades de manejo y predicción de rendimientos; principales factores que determinan la génesis; determinaciones y cualidades de ingeniería y evaluaciones para numerosos usos no-agrícolas (CARLISLE, 1976). Resulta interesante destacar el sistema ("point system") desarrollado por el "Soil Conservation Service" para establecer las prioridades entre los distintos condados donde se llevarán a cabo los reconocimientos de suelos (JOHNSON y CARLISLE, 1976).

A nivel mundial, se han realizado varios intentos para confeccionar mapas esquemáticos de suelos. El ejemplo más reciente es el "FAO-UNESCO Soil Map of the World", cuyo principal objetivo fué suministrar una base científica para transferir la experiencia conseguida entre zonas (FAO-UNESCO, 1975). También el "Soil Map of Europa", a escala 1/1,000,000, que lleva a cabo el "European Economic Community Programme on Land Use and Rural Resources" en colaboración con FAO, parece que se encuentra actualmente en fase muy avanzada de desarrollo.

## CONSIDERACIONES SOBRE EL FUTURO

Con conciencia de la incertidumbre que rodea el futuro de cualquier disciplina científica, se trata en las siguientes consideraciones de predecir lo que puede llegar a ocurrir en el campo de la cartografía y evaluación de suelos, como continuación lógica de las tendencias actuales de su investigación.

Dado que los reconocimientos de suelos tienen necesidad creciente de información paramétrica, es de prever que la cuantificación de propiedades seguirá el proceso de desarrollo progresivo. Por citar solo uno de los países que van en vanguardia en esta rama de la ciencia: Estados Unidos, las futuras versiones del "Soil Survey Manual" y "Soil Taxonomy" profundizarán en la cuantificación de propiedades del suelo, fundamentalmente, en las morfológicas. Dentro de este proceso, se podrá llegar a extremos insospechados como el que actualmente se sigue

en la digitización de fotografías convencionales mediante sistemas "lasser".

La teledetección seguirá desempeñando un importante papel como técnica para inventariar suelos, así como para detectar sus posibles cambios. Los próximos satélites de la serie LANDSAT, equipados con instrumentación multiespectral "scanning" de mayor número de bandas y menor resolución, y periodicidad, proporcionarán información de extraordinaria utilidad. La información teledetectada será de interés no solo para el inventario y seguimiento a intervalos regulares de tiempo del suelo, sino también para el desarrollo y aplicación de técnicas de predicción o simulación.

Es fácilmente previsible la importancia futura de la informática en el campo de la cartografía y evaluación de suelos, como en tantas otras actividades humanas. Se continuarán desarrollando los sistemas operativos de aplicación, permitiendo procesar datos de diferentes tipos y fuentes de procedencia. Así se podrá conjugar en las evaluaciones de suelos y tierras información física, ecológica, cultural, social, económica, demográfica e incluso política. Sin duda, se llegará a automatizar la aplicación del sistema de clasificación "Soil Taxonomy".

Como resaltó YAALON (1975), a pesar de la complejidad del sistema suelo, de la dificultad de diferenciar claramente las variables independientes, y de su escaso conocimiento, la simulación matemática seguirá siendo un procedimiento insustituible en su estudio. La modelación estadística será solo una primera fase del proceso de simulación. La aplicación de otros conocimientos matemáticos computacionales permitirá una mayor complicación y mejor explicación de las relaciones entre variables de los sistemas "suelo" y "suelo-uso", hasta llegar a la modelación determinista o conceptual.

Aunque se aprecian para un futuro próximo claras y deseables oportunidades de progreso, también se adivinan algunos posibles problemas que conviene evitar. Como destacó CLINE (1977), se observa en muchos edafólogos una tendencia a perder contacto con el terreno, así como acusada inclinación a considerar el sistema "Soil Taxonomy" como "the Gospel according to St. Guy". Alto totalmete en desacuerdo con los propósitos del mismo Guy D. Smith y demás autores del sistema. Por último, la necesidad de morfólogos bien preparados y con vocación para el trabajo de campo se hará sentir cada vez más, ante la afluencia a las actividades edafológicas de científicos que, bien preparados en sus respectivas especialidades, no lo están en las actividades básicas para el estudio de suelos.

En cuanto a la evolución de la cartografía y evaluación de suelos en España, tanto en el aspecto de investigación científica como en el reconocimiento sistemático, es de prever en términos generales un futuro optimista. Sin embargo, la labor de investigación e inventario ya realizada puede que no sea base suficiente para profundizar en todas las tendencias actuales analizadas en este trabajo. Una institución con estructura organizada para realizar reconocimientos sistemáticos de suelos, aunando la actividad de las diversas entidades que hacen investigación, proporcionaría resultados valiosos tanto para la cartografía y evaluación de suelos en cuanto disciplina científica, como para sus múltiples aspectos de aplicación.

Finalmente sobre el diseño y ejecución de proyectos específicos,

resulta destacable la utilización creciente de áreas representativas de referencia. En ellas se realizan estudios detallados, cuyos resultados se extrapolarán a otras áreas más amplias. Siguiendo esta tendencia, la investigación y desarrollo de proyectos metodológicos, en zonas y con finalidades concretas, adquirirán la máxima importancia en cartografía y evaluación de suelos.

## RESUMEN

El presente estudio de revisión fue diseñado con el objetivo principal de ofrecer una aproximación al estado actual de la investigación en cartografía y evaluación de suelos, dando especial énfasis a los autores y entidades que más influencia tienen actualmente en España. Para ello se desarrollaron los siguientes apartados: (i) introducción, (ii) consideraciones históricas, (iii) tendencias más destacadas, con particular referencia a la cuantificación de propiedades, uso de la teledetección, tratamiento informático y matemático, y desarrollo de las interpretaciones prácticas, (iv) reconocimientos sistemáticos, y (v) consideraciones sobre el futuro. Estas perspectivas actuales de la cartografía y evaluación de suelos permiten entrever un panorama esperanzador con claras oportunidades de progreso científico y aplicabilidad de los conocimientos.

## AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta su agradecimiento a J.M. Ontañón, Centro Regional de las Islas Canarias (I.N.I.A.), por las sugerencias y aportaciones realizadas; así como, a J.L. Mudarra y J. Martín-Aranda, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto (C.S.I.C.), por la ayuda prestada en la revisión y corrección del texto.

## BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, E. (1979). Descripción estadística de las propiedades del terreno. Bol. Soc. Esp. Mec. Suelo 41: 15-37.
- AMBAR, E.C. (1964). Alguns aspectos quantitativos de interpretações das cartas de solos. Univ. Tecn. Lisboa.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS. (1961). Standard specifications for highway materials and methods of sampling and testing. Ed. 8, 2v.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1970). Book of ASTM standards. p. 212-219.
- ARKLEY, R.J. (1970). Statistical methods in soil classification. Trans. 9th Int. Cong. Soil Sci. 4: 187-192.
- BAILEY, G.W. and J.L. WITE. (1970). Factors influencing the adsorption, desorption and movement of pesticides in soil. Residue Review 32: 29-92.
- BALDWIN, M., C.E. KELLOGG and J. THORP. (1938). Soil classification. In USDA Soil and Men. U.D. Dep. Agric., Washington.
- BARNEVELD, G.W. (1973). Evaluación de las tierras. Propuesta de una metodología estandarizada para múltiples fines rurales. Proy. FAO-INTA, ARG68/526, Entre Ríos.
- BARTELLI, L.J. (1962). Use of soils information in urbanfringe areas. J. Soil Water Cons. 17: 99-103.
- BARTELLI, L.J. (1966). General soils maps. A study of landscapes. J. Soil Water Cons. 21: 3-6.
- BARTELLI, L.J. (1974). Soil surveys and environmental planning. Tras. 10th Int. Cong. Soil Sci. 5: 67-73.
- BARTELLI, L.J. (1978). Technical classification system for soil survey interpretation. In N.C. BRADY Advances in Agronomy, vol. 30. Academic Press, New York.
- BARTELLI, L.J. (1979). Interpreting soil data. In M.T. BEATTY, G.W. PETERSEN and L.D. SWINDALE (ed.) Planning the uses and management of land. Am. Soc. Agron., Madison.

- BARTELLI, L.J., J.V. BARID, M.R. HEDDLESON and A.A. KLINGEBIEL (ed.). (1966). Soil surveys and land use planning. Am. Soc. Agron., Madison.
- BECKETT, P.H. and R. WEBSTER. (1971). Soil variability. A review. *Soil Fert.* 34: 1-14.
- BEEK, K.J. (1974). The concept of land use types. In FAO Approaches to land classification. *Soils Bull.* 22, Roma.
- BEINROTH, F.H. (1978). Opening address. In M.N. CAMARGO and F.H. BEINROTH (ed.). Proceeding of first international soil classification workshop. EMBRAPA, SNLCS, Rio de Janeiro.
- BENCI, J.F., E.C. RUNGE, R.F. DALE, W.G. DUNCAN, R.B. CURRY and L.A. SCHAALE. (1975). Agricultural implications of climate change. In J.F. BARTHOLIC (ed.) Panel on climatic effects. CIAP Mon. 5. U.S. Dep. Transp. Rep. DOT-TST-75-55, Washington.
- BENSON, R. and GLACUM. (1979). The application of ground penetration radar to soil surveying. NASA Tech. Rep., Cape Kennedy Spc. Cent., Florida.
- BERNSTEIN, R. (1976). Digital image processing of earth observation sensor data. *IBM J. Res. Develop.* 20:40.
- BIDWELL, O.W. and F.D. HOLE. (1963). Numerical taxonomy and soil classification. *Soil Sci.* 97: 58-62.
- BIE, S.W. (ed.) (1975). Proceeding of the meeting of the International Society of Soil Science. Working Group on Soil Information Systems. Cent. Agr. Pub. No. 87, Wageningen.
- BOTTNER, P., G. GRANDJOUAN et E. NEDELKA. (1975). Classification des sols par une methode multivariate. *Geoderma* 14: 15-46.
- BOUMA, J. (1979). Subsurface applications of sewage effluent. In M.T. BEATTY, G.W. PETERSEN and L.D. SWINDALE (ed.) Planning the uses and management of land. Am. Soc. Agron., Madison.
- BRAMAQ. L. and RIQUIER. (1967). Soil resources appraisal for development. *An. Edaf. Agrob.* 26: 865-871.
- BRESLER, E., S. DASBERG, D. RUSSO and G. DAGAN. (1981). Spatial variability of crop yield as a stochastic soil process. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 600-605.
- BRINKMAN, R. and A.J. SMYTH (ed.) (1973). Land evaluation for rural purposes. Pub. 17 Int. Inst. Land. Recl. Imp., Wageningen.
- BUOL, S.W., F.D. HOLE and R.J. McCracken. (1973). Soil genesis and classification. Iowa St. Univ. Press, Ames.
- BUOL, S.W., P.A. SANCHEZ, R.B. CATE and M.A. GRANGER. (1975). Soil fertility capability classification. *Soil Man. Trop. Am., North Car. St. Univ., Raleigh.*
- BURRINGH, F. (1960). Application of aerial photographs in soil surveys. *Manual of Photographic Interpretation*, p. 633-666, Washington.
- BURROUGH, P.A. and J.B. KOOL. (1981). A comparison of statistical techniques for estimating the spatial variability of soil properties in trial fields. *Proc. ISSS Work Group Soil Inf. Sys., Paris*, p. 29-37.
- BYERS, H.G., C.E. KELLOGG, M.S. ANDERSON and J. THORP. (1938). Soils and men. *USDA Yearbook Agric.* U.S. Govt. Printing Office, Washington.
- CALHOUM, F.G. and V.W. CARLISLE. (1974). Statistical analysis of Spodosols parameters. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 33: 139-143.
- CAMPBELL, J.B. (1977). Variation of selected properties across a soil boundary. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 578-582.
- CANNON, P.J. (1973). The application of radar and infrared imagery to quantitative geomorphic investigations. *Remote Sensing Earth Resour.* 2: 503-520.
- CARDOSO, J.C. (1970). Soil evaluation system in basis to irrigation suitability. *Ser. Rec. Ord. Agrar. Rep., Lisboa.*
- CARDOSO, J.C. (1972). Carta de capacidade de uso do solo. Bases e normas adoptadas na sua elaboracao. *Bol. Ser. Renc. Ord. Agr., Lisboa.*
- CARDOSO, J.C. (1974). Ordenamento agrario. Bases e normas preliminares. *Bol. Ser. Renc. Ord. Agr., Lisboa.*
- CARLISLE, V.W. (1976). Published soil surveys, maps and mapping scales. In V.W. CARLISLE, C.E. BEEMAN and H. HERBERT (ed.) *Soil identification handbook*. Soil Sci. Dep., Univ. Fla., Sebring.
- CARLISLE, V.W. and F.G. CALHOUM. (1979). Land uses on shoreland, flood plains, wetlands and coastal zones. In M.T. BEATTY, G.W. PETERSEN and L.D. SWINDALE (ed.) *Planning the uses and management of land*. Am. Soc. Agron., Madison.
- CASSEL, D.K. and A. BAUER. (1975). Spatial variability in soils below depth of tillage. Bulk density and fifteen-atmosphere percentage. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 247-250.
- CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DEL CUARTO. (1962). Estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla. CEBAC, CSIC, Sevilla.
- CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DEL CUARTO. (1963). Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz. CEBAC, CSIC, Sevilla.
- CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DEL CUARTO' (1972). Estudio agrobiológico de la provincia de Córdoba. CEBAC, CSIC, Sevilla.

- CENTRO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA APLICADA DE SALAMANCA. (1972). Mapa de suelos de la provincia de Cáceres. CEBAS, CSIC, Salamanca.
- CLARKE, G. (1950). Rating soils for agricultural, forest and grazing use. *Trans. 4th Int. Cong. Soil Sci.* 1: 336-339.
- CLINE, M.G. (1949). Basic principles of soil classification. *Soil Sci.* 67: 81-91.
- CLINE, M.G. (1977). Historical highlights in soil genesis morphology and classification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 250-254.
- CLINE, M.G. (1979). Soil classification in the United States. *Agron. Mimeo No. 79-12*. Cornell Univ., Ithaca.
- COFFEY, G.N. (1913). A study of soils of the United States. *USDA Bur. Soils Bull.* 85.
- COOLEY, W.W. and P.R. LOHNES. (1971). Multivariate data analysis. *J. Wiley Sons*, New York.
- DAVIDSON, J.M., L.T. OU and P.S. RAO. (1976). Behavior of high pesticide concentrations in soil water systems. In W.H. FULLER (ed.) *Residual management by land disposal*, Proc. Hazardous Waste Res. Symp., Tucson.
- DAVIS, W.M. (1902). Baselevel, grade and peneplain. *J. Geol.* 10: 77-111.
- DE LA ROSA, D. (1979). Relation of several pedological characteristics to engineering qualities of soil. *J. Soil Sci.* 30: 793-799.
- DE LA ROSA, D., F. CARDONA and J. ALMORZA. (1981). Crop yield predictions based on properties of soils in Sevilla. *Geoderma* 25: 267-274.
- DE LA ROSA, D. and V.W. CARLISLE. (1979). An approach to the classification of agricultural and nonagricultural soil evaluation systems. *An. Edaf. Agrob.* 38: 2027-2037.
- DE LA ROSA, D., J.M. MURILLO y M. CHAVES. (1980). Caracterización estadística de algunos suelos representativos de Andalucía; I. Entisols de marismas del Guadalquivir. *Agrochimica* 24: 284-302.
- DE LA ROSA, D., J.M. PUERTAS y J. ALMORZA. (1981a). Programa de ordenador para realizar descripciones morfológicas de perfiles de suelos. *An. Edaf. Agrob.* 40:1001-1006.
- DE LEENHEER, L., F. APPELMANS et J. WANDAMME. (1968). Le système des cartes perforées de la section caractérisation du sol de la cartographie des sols de la Belgique. *Pédologie* 18: 208-227.
- DEL VILLAR, E.H. (1937). Los suelos de la península Luso-ibérica. Madrid.
- DESAUNETTES, J. (1964). Course of soil science. *Cent. Nat. Agron. Bon. Res.*, Nimes.
- DIDIC, V. (1964). Soil classification according to its irrigation aptitude. *Trans. 8th Int. Cong. Soil Sci.* 5: 891-895.
- DIJKERMAN, J.C. (1974). Pedology as a science. The role of data, models and theories in the study of natural soil systems. *Geoderma* 11: 73-93.
- DIZIER, B.D. (1977). The use of small-scale aerial coverages as an approach to soil surveys. *Int. Sem. Soil Surv. Rem. Sensing* 245-258.
- DOKUCHAEV, V.V. (1883). Russian chernozem. (Trans. from Russian by N. KANER). *Israel Prog. Sci. Trans.*, Jerusalem, 1967.
- DREES, L.R. and L.P. WILDING. (1973). Elemental variability within a sampling unit. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 247-250.
- DUDAL, R. (1978). Application of Soil Taxonomy in land use planning. In M.N. CAMARGO and F.H. BEINROTH (ed.) *Proceeding of first international soil classification workshop*. EMBRAPA, SNLCS, Rio de Janeiro.
- DUMANSKI, J., B. KLOOSTERMANN and S.W. BRANDON. (1975). Concepts, objectives and structure of the Canada Soil Information System. *Can. J. Soil Sci.* 55: 181-188.
- ENVIRONMENT CANADA LANDS DIRECTORATE. (1969). Soil capability classification for agriculture. *Canada Land Inv. Rep. Ser. No. 2*, Ottawa.
- ENVIRONMENT CANADA LANDS DIRECTORATE. (1969a). Land capability classification for outdoor recreation. *Canada and Inv. Rep. Ser. No. 6*, Ottawa.
- ENVIRONMENT CANADA LANDS DIRECTORATE. (1969b). Land capability classification for wildlife. *Canada Land Inv. Rep. Ser. No. 7*, Ottawa.
- ENVIRONMENT CANADA LANDS DIRECTORATE. (1970). Scope, organization and objectives. *Canada Land Inv. Rep. Ser. No. 1*, Ottawa.
- ENVIRONMENT CANADA LANDS DIRECTORATE. (1970a). Land capability for forestry. *Canada Land Inv. Rep. Ser. No. 4*, Ottawa.
- FAO. (1974). Approaches to land classification. *Soil Bull. No. 22*, FAO, Roma.
- FAO. (1975). Report on the ad hoc expert consultation on land evaluation. *World Soil Res. Rep. No. 35*. FAO, Roma.
- FAO-UNESCO. (1975). Carte mondiale des sols au 1/5.000.000. *Legende*. FAO, Roma.
- FEYERHERN, A.M., G.M. PAULSEN and J.L. HESS. (1978). Development and substance of an universal wheat yield model. *Agronomy Abstracts* p. 10.
- FOTH, H.D. (1978). *Fundamentals of soil science*. J Wiley Sons, New York.
- FRIDLAND, V.M. (1965). Make-up of the soil cover. *Soviet Soil Sci. No. 4* (Trans. from POCHOVEDENIYE, 1965), 4: 15-27.

- GLINKA, K.D. (1914). The great groups of the world soils and their development. (Trans. from German by C.F. MARBUT) An. Arbor., 1917, Michigan.
- GOOSEN, D. (1967). Aerial photo-interpretation in soil survey. Soil Bull. No. 6. FAO, Roma.
- HERNANDEZ, M.V. and A.M. FLORES. (1978). Machine processing of remotely sensed data. Three applications in Mexico. IBM J. Res. Develop. 22: 455-463.
- HILGARD, E.W. (1892). A report on the relations of soil to climate. U.S. Dep. Agr., Weather Bull. 3: 1-59.
- HILWIG, F.W., D. GOOSEN and D. KATSIERIS. (1974). Preliminary results for the interpretation of ERTS-1 imagery for a soil survey of the Merida region. ITC J. 3: 289-312.
- HOGDSON, J.M. (ed.). (1974). Soil survey field handbook. Soil Survey of England and Wales. Rothamsted Exp. Stat. Tech. Mon. No. 5, Harpenden.
- HUNTER, W.R., C.W. TIPS and J.R. COVER. (1966). Use of soil maps by city officials for operational planning. In J.V. BAIRD, M.R. HEDDLESON and A.A. KLINGEBIEL (ed.) Soil surveys and land use planning. Am. Soc. Agron., Madison.
- INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA. (1968). Mapa de suelos de España, E. 1/1.000.000. Descripción de las asociaciones y tipos principales de suelos. CSIC, Madrid.
- INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA. (1970). Memoria explicativa del mapa de suelos de la provincia de Guadalajara, E. 1/250.000. CSIC, Madrid.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS. (1971). Mapas provinciales de suelos. Cádiz, E. 1/200.000. Minist. Agr., Madrid.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS. (1975). Mapas provinciales de suelos. Sevilla, E. 1/200.000. Minist. Agr., Madrid.
- JENNY, H. (1941). Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York.
- JOHNSON, C.G. (1975). The role of automated cartography in soil survey. Proc. ISSS Work Group Soil Inf. Sys., Wageningen, p. 4851.
- JOHNSON, R.W. and V.W. CARLISLE. (1976). Published soil surveys, maps and mapping scales. In V.W. CARLISLE, C.E. BEEMAN and H. HERBERT (ed.) Soil identification handbook. Soil Sci. Dep., Univ. Fla., Sebring.
- JOHNSON, R.W., R. GLACCUM and R. WOJTASINSKI. (1980). Application of ground penetration radar to soil survey. Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 39: 68-72.
- JOHNSON, W.M. (1961). Soil survey field letter, June. USDA Soil Cons. Ser., p. 9-11.
- JOHNSON, W.M. (1963). The pedon and the pypedon. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 212-215.
- KATO, Y. and T. MATSUI. (1979). Some applications of paleopedology in Japan. Geoderma 22: 45-60.
- KELLOGG, C.E. (1947). Russian contributions to soil science. Land Policy Rev. 9: 9-14.
- KELLOGG, C.E. (1948). Modern soil science. Am. Sci. 36: 517-536.
- KELLOGG, C.E. (1949). Soil classification and correlation in the soil survey. USDA Soil Cons. Ser., Washington.
- KELLOGG, C.E. (1974). Soil genesis, classification and cartography: 1924-1974. Geoderma 12: 347-362.
- KLINGEBIEL, A.A. and P.H. MONTGOMERY. (1958). Land capability classification. Agr. Handbk. No. 210. USDA Soil Cons. Ser., Washington.
- KOSAKI, T. and K. KYUMA. (1981). Numerical approach to soil map preparation. Proc. ISSS Work Group Soil Inf. Sys., Paris, p. 59-71.
- KRISHNAN, P., J.D. ALEXANDER, B.J. BUTLER and J.W. HUMMEL. (1980). Reflectance technique for predicting soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 1282-1285.
- KRUMPE, P.F. (1976). The world remote sensing bibliographic index. Sensor Ind., Inc., Fairfax.
- LABRANDERO, J.L. and F. PALOU. (1980). Discrimination of soil associations using clustering techniques. An. Edaf. Agrob. 39: 515-521.
- LAMP, J. (1981). Morphometric analyses of pedon data. Proc. ISSS Work Group Soil Inf. Sys., Paris, p. 87-94.
- LEWIS, N.B. and J.H. HARDING. (1963). Soil factors in relation to pine growth in South Australia. Aust. For., 1: 27-34.
- LEE, R., G. NEW, M.J. NEUWMAN and A.R. GIBSON. (1976). Computer processing of soil profile data from surveys in New Zealand. Geoderma 16: 201-209.
- MARBUT, C.F. (1927). A scheme for soil classification. Int. Soc. Soil Sci., Trans. Comm. V 1: 1-31, Washington.
- MARBUT, C.F. (1935). The soils of the United States. In USDA (ed.) Atlas of American agriculture. USDA Soil Cons. Ser., Washington.
- MATHEWS, H.L., R.L. CUNNINGHAM and G.W. PETERSON. (1973). Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 421-424.
- MCCORMACK, D.E. and L.P. WILDING. (1969). Variation of soil properties within mapping units of soils with contrasting substrata in North Western Ohio. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 587-593.

- McMORMACK, D.E. and D.G. FOHS. (1979). Soil considerations in siting highways, airports and utility corridors. In M.T. BEATY, G.W. PETERSEN and L.D. SWINDALE (ed.) *Planning the uses and management of land*. Am. Soc. Agron., Madison.
- McCORMACK, D.W. (1974). Soil potentials. A positive approach to urban planning. *J. Soil Water Cons.* 29: 258-262.
- McCOY, R.M. and A.J. LEWIS. (1976). Use of radar in hydrology and geomorphology. *Remote Sensing Elect. Spect.* 3: 105-122.
- MEKEL, J.F. (1972). The geological interpretation of radar images. I.T.C. Textbk. Photint...
- MILLER, F.T. and J.D. NICHOLS. (1979). Soils data. In M.T. BEATY, G.B. PETERSEN and L.D. SWINDALE (ed.) *Planning the uses and management of land*. Am. Soc. Agron., Madison.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. (1958). Los grupos principales de suelos de la España peninsular. E. 1/1.300.000. Mapa Agron. Nac., Madrid.
- MONTURIOL, F. (1978). La teledetección en geología y edafología. *Rev. Ciencias* 43: 92-96.
- NICHOLS, J.D. (1975). Characteristics of computerized soil maps. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 927-932.
- NICHOLS, J.D. and L.J. BARTELLI. (1974). Computer-generated interpretative soil maps. *J. Soil Water Cons.* 29: 232-235.
- ODELL, R.T. (1958). Soil survey interpretation-yield prediction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22: 157-160.
- ORSTOM. (1969). *Glossaire de pédologie. Initiation documentation techniques*, No. 13, Paris.
- PAPOULIS, A. (1965). *Probability, random variables and stochastic processes*. McGraw Hill, New York.
- PARRY, J.T., R.K. WRIGHT and K.P. THOMPSON. (1980). Drainage on multiband radar imagery in the Laurentian area, Quebec, Canada. *Photogrammetria* 35: 179-198.
- PARSONS, R.B. (1979). Stratigraphy and land use of the Post-Diamond hill paleosols, Western Oregon. *Geoderma* 22: 67-70.
- PEARSE, P.H. (1969). Principles for allocating wildlife among alternative uses. *Can. J. Agr. Econ.* 17, 1.
- PERRET, N.G. (1969). Land capability classification for wildlife. *Can. Land Jur. Rep.* No. 7, Ottawa.
- PETERSON, A.E. and J.B. SWAN (ed.). (1979). Universal soils loss equation. Past, present and future. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison.
- POWELL, J.C. and M.E. SPRINGER. (1965). Composition and precision of classification of several mapping units of the Appling, Cecil and Lloyd series in Walton County, Georgia. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 454-458.
- PURNELL, M.F. (1977). The uses of remote sensing for the different kinds of soil mapping in the world. 1st Sem. *Soil Sur. Rem. Sensing* 269-281.
- REEVES, R.G. (ed.) (1975). *Manual of remote sensing*. Am. Soc. Photogr., Falls Church.
- RIQUIER, J. (1972). A mathematical model for calculation of agricultural productivity in terms of parameters of soil and climate. *FAO AGL: Misc/72*, Roma.
- ROBINSON, A.R. (1979). Sediment yield as a function of upstream erosion. In A.E. PETERSON and J.B. SWAN (ed.) *Universal soil loss equation. Past, present and future*. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison.
- RUDEFORTH, C.C. (1975). Storing and processing data for soil and land use capability surveys. *J. Soil Sci.* 26: 155-168.
- SANTISTEBAN, A. and L. MUNOZ. (1978). Principal components of a multispectral image. Application to a geological problem. *IBM J. Res. Develop.* 22: 444-454.
- SCHELLING, J. (1972). Earth science information system for the Netherlands. Rep. *FAO/UNESCO ad hoc consultation on computerized soil data interpretation for development purposes*. FAO, Roma.
- SEGALEN, P. (1978). Importance of mineral constituents in pedology. In M.N. CAMARGO and F.H. BEINROTH (ed.) *Proceeding of first international soil classification workshop*. EMBRAPA, SNLCS; Rio de Janeiro.
- SERVICO DE RECONHECIMENTO E ORDENAMENTO AGRARIO. (1969). Soil survey interpretation of Portugal. Rules for its elaboration. *Serv. Rec. Ord. Agrar.*, Lisboa.
- SERVICO DE RECONHECIMENTO E ORDENAMENTO AGRARIO. (1970). *Carta dos solos de Portugal. Classificacao e caracterizacao dos solos*. SROA, Lisboa.
- SIMONSON, R.W. (1938). Methods of estimating the productive capacities of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 3: 247-251.
- SIMONSON, R.W. (1952). Lessons from the first half century of soil survey: II. Mapping of soils. *Soil Sci.* 74: 323-330.
- SIMONSON, R.W. (1968). Concept of soil. *Adv. Agron.* 20: 1-47.
- SMITH, R.C. and J.T. RITCHIE. (1978). Importance of the relationship between yield, climate



- and phenological development in wheat in risks involved in production for a specific environment. *Agron. Abstracts*, p. 14.
- SOIL SURVEY STAFF. (1951). Soil survey manual. Agr. Handbk. No. 18. USDA Cons. Ser., Washington.
- SOIL SURVEY STAFF. (1975). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbk. No. 436. USDA Soil Cons. Ser., Washington.
- SOIL SURVEY STAFF. (1981). Approved chapters of the soil survey manual. 430 - V. USDA Soil Cons. Serv., Washington.
- STEWART, B.A., D.A. WOOLHISER, W.H. WISCHMEIER, J.H. CARO and M.H. FRERE. (1975). Control of water pollution from cropland. A manual for guideline development. USDA, SEA, Washington.
- STONER, E.R. and M.F. BAUMGARDNER. (1979). Data acquisition through remote sensing. In M.T. BEATY, G.W. PETERSON and L.D. SWINDALE (ed.) Planning the uses and management of land. Am. Soc. Agron., Madison.
- STORIE, E.E. (1950). Rating soils for agriculture, forest and grazing use. *Trans. 4th Int. Cong. Soil Sci.* 1: 336-339.
- SYS, C. and W. VERHEYE. (1972). Principles of land classification in arid and semi-arid regions. Rep. ITC, St. Univ. Ghent, Ghent.
- TEACI, D. (1975). Impact of automated data handling on data collection and manipulation. Proc. Meet. ISSS Work Group Soil Inf. Sys., Wageningen.
- THORP, J. and G.D. SMITH. (1949). Higher categories of soil classification: Order, suborder and great soil group. *Soil Sci.* 67: 117-126.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. (1977). Soil taxonomy-soil properties. *Trans. Res. Record No. 642*, Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1961). Land capability classification. USDA, Soil Cons. Ser. Handbok. No. 210, Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1967). Developing soil-woodland interpretations. Memo. 26, USDA, Soil Cons. Ser., Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1971). Soil survey of Okeechobee County, Florida. USDA, Soil Cons. Ser., Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1972). Soil survey of Pinella County, Florida. USDA, Soil Cons. Ser., Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1974). Soil survey of Brevard County, Florida. USDA, Soil Cons. Ser., Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1975). Soil survey of Lake County, Florida. USDA, Soil Cons. Ser., Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1976). Soil survey of Broward County area, Florida. USDA, Soil Cons. Ser., Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1980). Soil taxonomy news. No. 1. USDA, Soil Cons. Ser., Washington.
- U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE. (1968). Unified soil classification system for roads, airfields, embankments and foundations. MILSTD-619B.
- U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR. (1963). Irrigated land use. Land classification. Bur. Reclam., Denver.
- VINK, A.P. (1963). Aspects de pédologie appliquée. Bac. Neuch., Suiza.
- VINK, A.P. (1975). Land use in advancing agriculture. Springer-Verlag, New York.
- VOLK, V.V. and E.R. LANDA. (1979). Principles and processes involved in waste disposal and management. In M.T. BEATY, G.W. PETERSON and L.D. SWINDALE (ed.) Planning the uses and management of land. Am. Soc. Agron., Madison.
- WALKER, P.H., C.F. HALL and R. PROTZ. (1968). Soil trends and variability across selected landscapes in Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 97-101.
- WEBSTER, R. (1981). Experience of kriging from field measurements of soil properties. Proc. ISSS Work Group Soil Inf. Sys., Paris, p. 101-109.
- WEBSTER, R. and P.A. BURROUGH. (1972). Computer-based soil mapping of small areas from sample data. I. Multivariate classification and ordination. II. Classification smoothing. *J. Soil Sci.* 23: 210-234.
- WEBSTER, R. and P.A. BURROUGH. (1974). Multiple discriminant analysis in soil survey. *J. Soil Sci.* 25: 120-134.
- WEBSTER, R. and H.E. CUANALO. (1975). Soil transect correlograms of north Oxfordshire and their interpretation. *J. Soil Sci.* 26: 176-194.
- WEBSTER, R., C.M. LESSELLS and J.M. HOGDSON. (1976). A computer program for translating coded soil profile descriptions into text. *J. Soil Sci.* 27: 218-221.
- WEISMILLER, R.A., I.D. PERSINGER and O.L. MONTGOMERY. (1977). Soil inventory from digital analysis of satellite scanner and photographic data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 1166-1170.
- WILDEING, L.P., R.B. JONES and G.M. SCHAFFER. (1965). Variation of soil morphological

- properties within Miami, Celina and Crosby mapping units in west-central Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 711-717.
- WISCHMEIER, W.H. and J.V. MANNERING. (1969). Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci Soc. Am. Proc.* 33: 1-7.
- WISCHMEIER, W.H. and D.D. SMITH. (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *Agr. Handbk. No. 282. USDA, ARS, Washington.*
- WOHLETZ, L.R. (1966). Soil maps in land planning. *Soil Cons.* 32: 8-9.
- YAALON, D.H. (1975). Conceptual models in pedology. Can soil forming functions be solved?. *Geoderma* 14: 189-205.
- YONG, R.N. and B.P. WARKENTIN. (1966). *Introduction to soil behavior.* Macmillan Co., New York.