

METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA APTITUD DE LOS SUELOS DEL SECTOR NOROCCIDENTAL DE SIERRA NEVADA (GRANADA) PARA USOS AGRONOMICOS (AGRICOLAS, FORESTALES Y GANADEROS)

G. DELGADO CALVO-FLORES¹, M. SÁNCHEZ MARAÑÓN² y R. DELGADO CALVO-FLORES¹

RESUMEN

Se ha elaborado una metodología para la evaluación de los recursos biofísicos, con énfasis en el suelo, existentes en el sector Noroccidental de Sierra Nevada (Granada, España), aplicable en sus principios al resto de las zonas montañosas mediterráneas.

El método expuesto está inspirado en el esquema para la evaluación de tierras de la FAO y se basa en la cartografía semidetallada de los suelos (1:50.000) y otros factores del medio físico.

Los usos evaluados son: 1) Agrícolas, en modalidad de secano y regadío con tres niveles de manejo, labores manuales, con maquinaria ligera y con tractor convencional. 2) Forestales, con dos formas de manejo, labores manuales o con maquinaria ligera y labores mecanizadas. 3) Ganaderos, pastizales y dehesas, praderas semiartificiales y praderas artificiales.

El proceso de evaluación tiene una primera fase sobre zonas piloto, que consiste en el estudio de características y cualidades, definición y cartografía de los tipos de tierras, clasificación de la aptitud de los diferentes tipos de tierras y definición de caracteres físicos diagnósticos. La fase final es la extrapolación de los resultados al resto del área.

Las características que influyen en el uso de las tierras del área estudiada son las del suelo, topografía y clima. Las cualidades son las relacionadas con la mecanización, con el crecimiento de las plantas y con la pérdida de la capacidad por el uso.

El método propuesto es cualitativo, físico, indirecto y a nivel de reconocimiento.

INTRODUCCION

Los conceptos de tierra y de evaluación de tierras como parte de la planificación de uso.

Una gran parte de las actividades humanas se asientan sobre la porción de corteza terrestre no sumergida. El primer paso de una correcta utilización de la misma es el conocimiento de la vocación o la aptitud para el uso de cada porción de tierra a emplear, lo que constituye en esencia la materia de la evaluación de tierras. Posteriormente se debe seleccionar el uso más

adecuado para cada parte del conjunto, teniendo en cuenta la vocación o la aptitud, los riesgos de algunos usos y las necesidades socioeconómicas, que es lo que se denomina *planificación de uso*. Finalmente existe una decisión política sobre cómo se va a emplear cada porción de tierra de acuerdo con las capacidades, las necesidades y la interdependencia entre los diferentes conjuntos, es el proceso de la *ordenación del territorio*.

Debemos definir con mayor precisión qué se entiende por *tierra* en el proceso de la evaluación: «Tierra es una superficie del planeta cuyas características abarcan todos los atributos estables o predeciblemente cíclicos de la biosfera verticalmente por encima y por debajo de esta zona, incluidos los de la atmósfera, el sue-

¹ Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.

² Servicio de Estudios e Informes. IARA Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.

lo y la geología subyacente, hidrología, población vegetal y animal y resultados de la actividad humana pasada y presente, en la amplitud en que estos atributos ejercen una influencia significativa sobre los usos presentes y futuros de la tierra por parte del hombre» (FAO, 1976).

La base física de la evaluación de tierras es la unidad de tierras o *unidad de tipos de tierras*, que es una porción de espacio homogénea respecto a los caracteres que definen el concepto de tierra y diferenciable de las áreas adyacentes.

De la anterior definición se deduce que la tierra es un concepto más amplio que el de suelo, al que engloba. Sin embargo, el estudio del suelo como elemento del paisaje y como resultado de la acción conjunta de factores medioambientales, requiere del conocimiento de la mayor parte de los caracteres biofísicos que integran el concepto de tierra y, por ello, los estudios de suelos son en gran medida la base para la evaluación de tierras (BORTELLI, 1978 y 1979; DAVIDSON, 1980; DENT y YOUNG, 1981).

La FAO (1976) señala, además, que el suelo es el atributo más estable de la tierra y que la variación en los suelos y/o la topografía diferencian generalmente a las unidades de tipos de tierra.

Desde que se emplearon las primeras clasificaciones de capacidad de uso (concepto asimilable al de aptitud) se estima que los atributos más importantes que de forma conjunta condicionan la aptitud de una porción de tierra para el uso son el suelo, el clima y la topografía. KELLOG (1951) emplea este concepto biofísico integrado de tierra para la estimación de su capacidad de uso. En el presente trabajo y dados los aspectos que se contemplan (fundamentalmente físicos), adoptamos también ese concepto de tierra.

Según DENT y YOUNG (1981), la evaluación de tierras es el proceso de la estimación del valor de la tierra para formas alternativas de uso. En la bibliografía sobre el tema, la evaluación es un procedimiento variable adaptado a las necesidades y a las disponibilidades particulares de cada caso, aunque casi todos los estudios son inventarios de recursos biofísicos e inter-

pretación de los mismos, teniendo en cuenta o no los aspectos socioeconómicos del problema. Los resultados se expresan como aptitud, productividad, vulnerabilidad, etcétera, y permiten seleccionar los usos más adecuados para cada parcela de tierra.

La planificación es una necesidad actual que surge como respuesta a la gran expansión apoyada en la tecnología. Se realiza en dos vertientes: cambios en el uso de la tierra, como consecuencia de la necesidad de nuevos productos, y colonización de zonas vírgenes. Es necesario que la planificación se efectúe en base a caracteres físicos del territorio, en tanto que las posibilidades de actuación humana sobre la geología, el clima, el suelo, etcétera, son escasas o nulas (PORTA, 1980). El planeamiento integrado como forma canónica de planificación exige la valoración conjunta de las aptitudes del terreno, beneficios e impactos medioambientales derivados de una posible actividad.

En la planificación también hay que tener en cuenta que el empleo inadecuado (por desconocimiento o indiferencia) del medio puede causar daños ecológicos irreparables. El conocimiento integral del mismo es la base de una planificación que respete al máximo los recursos naturales, en cuanto a fuentes de productos para el hombre, de cuya conservación en estado productivo depende la existencia de la raza humana (TRICART y KILIEN, 1982). El medio es una fuente de recursos, pero no inagotable, por lo que un empleo racional de estos recursos estriba en la teoría matemática de la optimización: máxima producción-mínimo deterioro.

Como indicábamos al principio, la evaluación de tierras es parte de la planificación, es la etapa de descripción y valoración, y son dos los objetivos primordiales de la evaluación como parte de la planificación: *a)* valorar la adecuación de la tierra para diferentes usos y *b)* efectuar recomendaciones sobre cada forma de uso (FAO, 1976).

Los mapas de suelos como base para la evaluación de tierras

Una cartografía de suelos consiste en agrupar

los suelos como «continuum» en el paisaje en clases o unidades con características similares frente a un determinado número de parámetros. Una *cartografía básica* de suelos es la que emplea una clasificación natural para identificar los suelos y agruparlos en clases (MILLER y NICHOLS, 1979).

Según DENT y YOUNG (1981), es un error bastante frecuente considerar que el objeto de un estudio cartográfico de suelos es la elaboración de un mapa de suelos «per se». Como declaración de principios, indican estos autores, ésta es inadecuada, ya que concluiría en una disipación de esfuerzos al hacer énfasis exclusivamente en propiedades clasificatorias o de distribución, sin tener en cuenta las propiedades que condicionan el uso del suelo que es la orientación verdadera de estos estudios.

De acuerdo con HAANS (1978), la interpretación de un mapa de suelos se realiza sobre las unidades cartográficas delimitadas en él. BORTELLI (1978) afirma, igualmente, que la mayor parte de los análisis de aptitud o capacidad de «las tierras» para el uso se realizan con base en las unidades naturales de suelos cartografiados en los mapas edáficos. Así, las unidades cartográficas de suelos son la llave del empleo de los mapas de suelos para la evaluación de tierras.

Las diferencias entre unidades cartográficas en un mapa básico de suelos son de índole edafológica (suelo como cuerpo natural) y, por ende, taxonómica, lo que implica diferencias en cuanto a uso (DENT y YOUNG, 1981). Sin embargo, la unidad de suelos no es sólo una delimitación subjetiva del límite entre suelos taxonómicamente distintos, sino que además debe ser uniforme en cuanto al grado de variabilidad interna de las propiedades del suelo.

La Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 1975) se define a sí misma como una clasificación de suelos, con cuerpos naturales que tienen como objetivo fundamental encuadrar a los suelos en taxones que sirvan a los propósitos de un levantamiento de suelos (concepto algo más amplio que el de cartografía de suelos). Es decir, contemplar propiedades del suelo como cuerpo natural que informa sobre la génesis del mismo, que tengan una relevancia respecto al

uso y, por otro lado, que las propiedades más importantes queden reflejadas en la denominación taxonómica.

BOULAIN (1980) indica que la información incluida en una cartografía de suelos debe ser interpretada por el edafólogo para confeccionar mapas de aptitudes y de limitaciones de los suelos. Este autor también indica que, de una cartografía de suelos en exclusiva, no pueden extraerse conclusiones acerca de qué uso es pertinente a cada parcela, ya que ello implica el conocimiento de factores técnicos, sociales, económicos y políticos que no se incluyen en un mapa de suelos.

BORTELLI (1978) señala que el coste elevado de las cartografías de suelos sólo se justifica por su flexibilidad y facilidad para realizar interpretaciones y predicciones sobre el comportamiento del suelo, tanto en la situación presente como de cara a futuros cambios en el uso del terreno.

Es evidente que la utilidad de un mapa de suelos para la evaluación de la aptitud está en relación con el grado de detalle alcanzado y con la seguridad en el establecimiento de las propiedades del suelo. MCRAE y BURNHAN (1981) señalan que esa utilidad también depende del carácter socioeconómico del área concreta —siendo máximo en áreas poco pobladas y en expansión, como es el caso de Sierra Nevada— y del tipo de uso evaluado —máxima para los usos agronómicos.

Problemática de la planificación en zonas de montaña

Las zonas de montaña se asimilan con espacios de pendientes acusadas, clima característico, agua abundante y heterogeneidad en cuanto a suelos y vegetación, a consecuencia de la zonación altitudinal de su clima y la compartimentación del espacio.

Dentro de una región con elevada densidad de explotación, la montaña se asimila al concepto de «Isla» (VILLAR, 1980). Es decir, zonas que, por la dificultad que entraña su empleo, constituyen reservas de índole ecológico, de agua, de energía, etcétera.

La Constitución española de 1978, en su artícu-

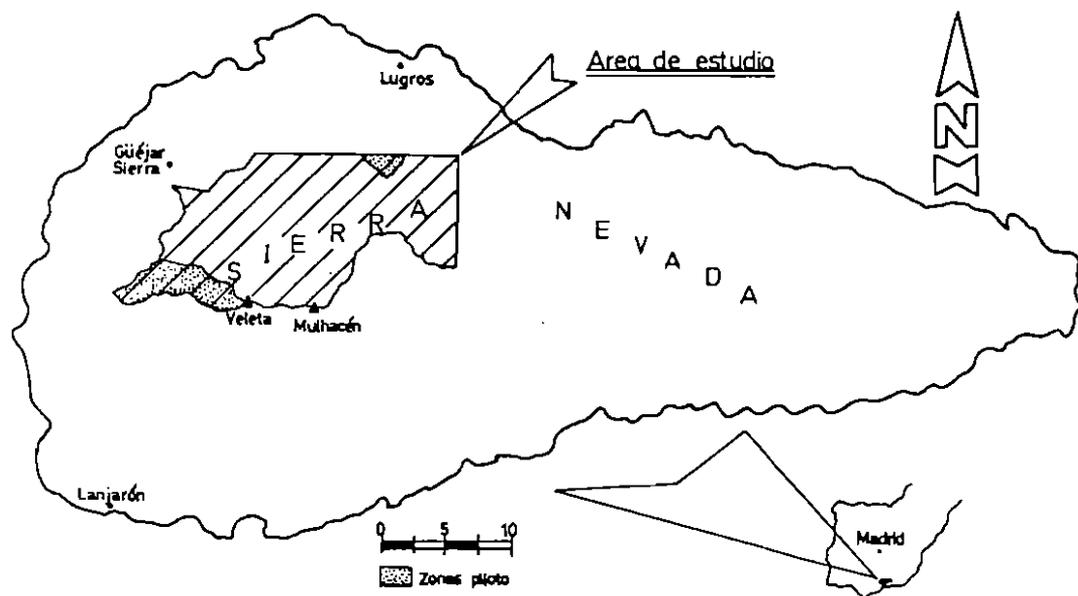


Fig. 1. Localización del área de estudio.

lo 130-2, específica que a las zonas de montaña se les dispensará un tratamiento especial. Dicho tratamiento según CARBONELL (1980) es función de una serie de hechos tales como la existencia de una economía deprimida, la necesidad de una ordenación adecuada de sus recursos (agua, nieve, pastos, bosques, etcétera), cuya explotación racional requiere una tecnología especial, así como la consideración de áreas de interés colectivo.

Los medios de montaña son inestables por sus caracteres morfológicos, con una dinámica degradativa que implica un flujo rápido de materiales en superficie.

Las características más importantes de la montaña para la planificación de su empleo son la fragilidad de sus sistemas, pérdida de agua y nutrientes a niveles inferiores (erosión y degradación) y las limitaciones de carácter productivo por la escasa duración del período vegetativo y la dificultad en el manejo (VILLAR, 1980).

La montaña ofrece, pues, toda una serie de recursos, escasos en otros ámbitos, para cuya explotación sería deseable una evaluación y valoración del terreno en cuanto a la posibilidad

de implantación de diferentes actividades en el mismo, justificada más aún por la inestabilidad de este medio.

OBJETO DEL TRABAJO

El presente estudio forma parte de una línea de trabajo que pretende estimar la aptitud para diferentes usos de una zona de alta montaña mediterránea el sector Noroccidental del macizo de Sierra Nevada (Fig. 1). Está basado en la cartografía semidetallada de suelos (1:50.000) y en el inventario de las propiedades de los mismos (SÁNCHEZ MARAÑÓN *et al.*, 1987). Además, como indicamos en el apartado de introducción, un estudio de suelos lleva implícito y en la mayoría de las veces va acompañado del análisis de los factores medioambientales necesarios para la evaluación de tierras como son la geología, la vegetación, el clima y el relieve, que en el presente caso fueron investigados exhaustivamente (SÁNCHEZ MARAÑÓN, 1985).

El primer estadio, en una línea de trabajo como la expuesta, es elaborar sobre la base de unos objetivos generales, una metodología de

evaluación de tierras específica para el área, teniendo presentes las particularidades biofísicas del medio y empleando como telón de fondo los aspectos socioeconómicos implicados en el uso de la tierra. Los usos evaluados deben ser los pertinentes al medio físico analizado; en este caso agronómico.

El objetivo concreto de este estudio es la descripción del método de evaluación de tierras elaborado, dada su complejidad e interés. Los resultados obtenidos de la aplicación del esquema propuesto se publicarán en los trabajos que siguen al presente (SÁNCHEZ MARAÑÓN *et al.*, en prensa).

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL ESQUEMA DE EVALUACIÓN

Algunos conceptos importantes para el desarrollo del esquema

Capacidad es el grado de adecuación de la tierra para un conjunto de usos, definidos generalmente a nivel primario (cultivos agrícolas, pastos, uso forestal...). Se presumen especies vegetales adaptadas y de rendimiento medio, con un empleo sostenido y un nivel de manejo idóneo.

Aptitud indica el grado en que la tierra es adecuada para un tipo de utilización concreta definido con más o menos detalle.

Los conceptos de capacidad y aptitud no son perfectamente excluyentes entre sí y en el presente estudio se adopta el término aptitud, si bien los usos evaluados no se definen con un elevado grado de detalle.

Característica de la tierra es un atributo de la misma que puede medirse o estimarse. Dado que las características no influyen directamente sobre la aptitud de la tierra para un determinado uso, éstas no pueden emplearse como tales en evaluación, puesto que surgen problemas de la acción recíproca de las mismas (FAO, 1976). Es por ello por lo que se utiliza el concepto de *cualidad* de la tierra, como un atributo complejo de la misma que influye en su empleo y que se determina por interacción entre características.

El concepto de *cualidad* se debe a KELLOG (1953) que lo emplea para distinguir dos clases de propiedades en el suelo. Las que se determinan de forma directa en campo o laboratorio (características) y las que se estiman por comparación entre las primeras y los resultados prácticos observados en tipos concretos de suelos (cualidades).

Finalmente, definiremos dos términos de gran repercusión en el proceso de evaluación: Criterio diagnóstico y factor limitante.

Criterio diagnóstico: FAO (1983) define a los criterios diagnósticos como variables que pueden ser características, cualidades o una función de varias características, que tienen una influencia conocida en un uso determinado y que sirven para valorar la aptitud o la capacidad de la tierra para ese uso.

Factor limitante es una propiedad de la tierra que dificulta el empleo de la misma, reduciendo la productividad, aumentando los costos, implicando riesgos de degradación con el uso o todo a la vez. El Instituto Nacional Agronómico, París, GRIGNON (1978), define tres tipos de factores limitantes:

— *Absolutos*: cuando excluyen el uso o son mejorables a costos impensables en la estructura socioeconómica presente.

— *Mayores*: limitan considerablemente el uso. Se distinguen dos clases: a) No mejorables, cuando el costo de mejora está fuera de las posibilidades actuales. b) Mejorables, su modificación se puede estimar en las condiciones presentes.

— *Menores*: cuando limitan en poca cuantía la capacidad o aptitud para el uso y son mejorables a costos moderados.

Una misma cualidad puede constituir factor limitante de los tres tipos indicados, dependiendo del grado en que se presente.

Descripción general de proceso

A nivel general la Figura 2 esquematiza todo el proceso. Un primer paso es el estudio del medio físico en sus aspectos de geología, clima, vegetación, relieve y suelos. Posteriormente

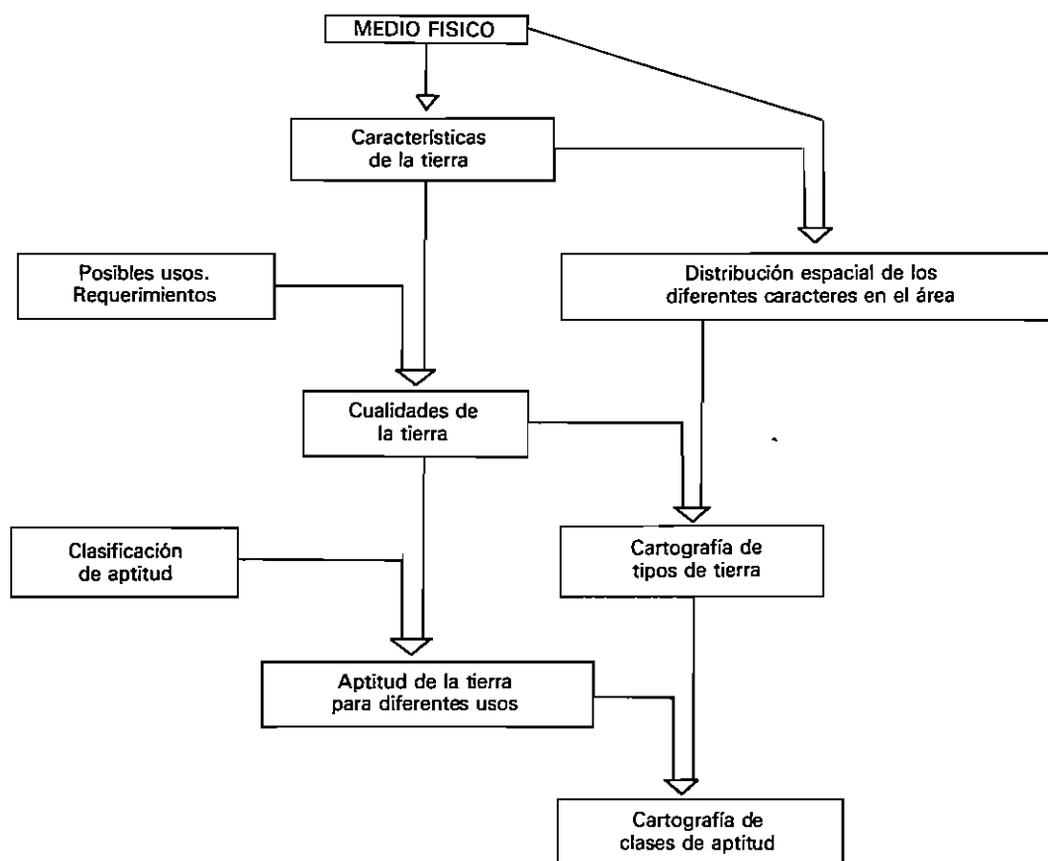


Fig. 2. Esquema general del proceso de evaluación.

te se eligen una serie de características del suelo que pueden afectar o condicionar el uso del mismo. En este punto se pueden hacer cartografías de la distribución areal de algunas de ellas. Al mismo nivel se establecen los usos a evaluar y sus requerimientos. El siguiente paso es establecer las cualidades de la tierra a partir de uno o varios caracteres. En base a las cualidades establecidas y las cartografías de características, se elabora un mapa de tipos de tierras cuyas unidades son homogéneas en cuanto a capacidades y limitaciones para el uso. Teniendo en cuenta los factores limitantes establecidos para cada uso, puede llegarse a la construcción de una clasificación de aptitud para cada uso propuesto. Los resultados de la aptitud de cada tipo de tierra para los diferentes usos y la

cartografía de tipos de tierras nos revierten en la obtención de mapas de clases de aptitud para los usos propuestos.

Este esquema general no se ha aplicado de forma directa al total de la zona, sino que se establecen unas áreas piloto (Figura 1) y los resultados obtenidos en las mismas se extrapolan al resto (Figura 3). Los caracteres biofísicos del medio se estudian a nivel del total del área. A partir de aquí se sigue en las zonas piloto el proceso general de clases de aptitud. En este punto se invierte el procedimiento hasta conseguir la definición de cada clase y subclase de aptitud encontrada, a través de unos caracteres del medio físico de fácil determinación que se denominan caracteres físicos diagnósticos. Por

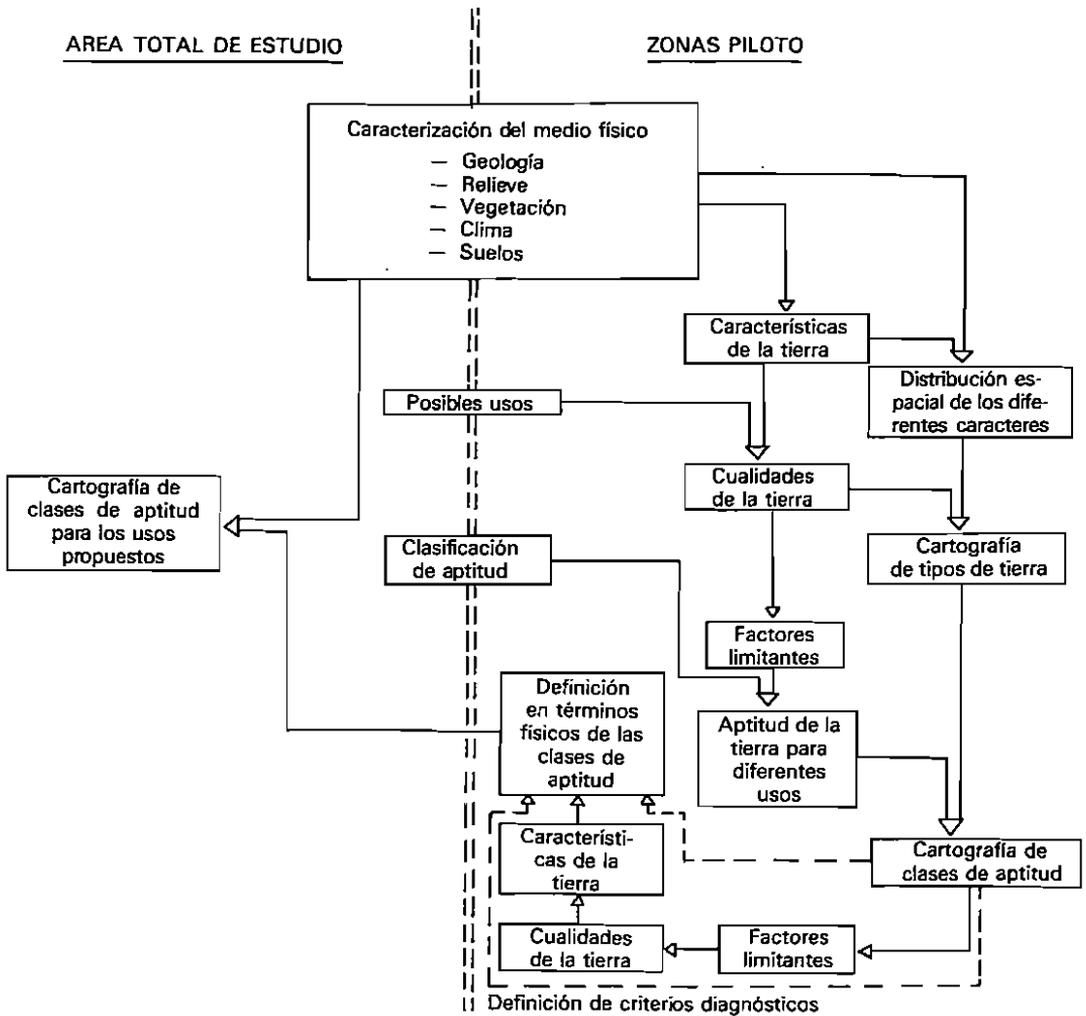


Fig. 3. Esquema de evaluación para la zona de estudio.

último, el empleo de esos caracteres para el área total de estudio nos permite elaborar unas cartografías de clases de aptitud para los diferentes usos propuestos.

El empleo de zonas piloto se justifica porque, al ser de menor extensión, han sido estudiadas con gran profundidad y a la vez representan a la totalidad del área.

Se debe destacar que como carácter físico diagnóstico ha sido empleado la tipología del suelo, tal como se recoge en la clasificación Soil

Taxonomy (SOIL SURVEY, 1975). Es evidente que la tipología de suelo no es un carácter físico *sensu stricto*, pero ha sido utilizado por las siguientes razones: a) En la definición de la tipología del suelo existe una integración de caracteres físicos simples tales como el espesor y tipo de horizontes, contenido de materia orgánica, análisis granulométrico del material, etcétera. Este hecho queda garantizado por el empleo de una clasificación de suelos como la Soil Taxonomy, que se define a sí misma como una taxonomía y porque además se trata

de un sistema muy actual y perfeccionado.
b) El suelo es el resultado de la acción conjunta de factores medioambientales como son el clima, la geología, el relieve, etcétera, los cuales son empleados indirectamente con la tipología del suelo.

Usos o tipos de uso evaluados

Se han evaluado usos de carácter agronómico que clasificamos en tres grupos: *agrícolas, forestales y ganaderos.*

Dentro de los usos agrícolas se investigarán las modalidades de secano y de regadío y en cada una de ellas tres niveles de manejo: *a)* labores manuales, *b)* con maquinaria ligera y *c)* con tractor convencional.

PRITCHETT (1979) menciona cuatro tipos de manejo forestal: *a)* bosques naturales conservados, *b)* bosques naturales explotados, *c)* bosque natural domesticado y *d)* bosque regulado (silvicultura clásica). Nuestro esquema de evaluación contempla dos formas de uso forestal: 1) uso forestal con labores manuales o maquinaria ligera, en el que se asimilan las tres primeras formas de manejo forestal mencionadas por PRITCHETT; 2) uso forestal con labores mecanizadas en el que se incluyen la preparación del terreno con bancales, ripado, etcétera, y la apertura de una red de pistas forestales para la extracción de la madera.

En cuanto a los usos ganaderos, las modalidades recogidas en la bibliografía (GARCÍA FERNÁNDEZ, 1971; FAO, 1974; HARROD, 1979; MONTOYA, 1983) y la estimación de los mismos respecto a las posibilidades de esta montaña (cuestión que se ha tenido en cuenta en los dos usos anteriores), han seleccionado los siguientes tipos: *a)* Pastizales y dehesas (pastos espontáneos en secano), *b)* prados y praderas semia artificiales (creados por métodos simples de irrigación permanente) y *c)* praderas artificiales (cultivo de regadío de plantas pratenses).

Características de la tierra empleadas en la evaluación

Podemos clasificarlas de la siguiente forma:

A) *Relacionadas con el suelo*

1. Intrínsecas

- Profundidad efectiva.
- Contenido de fragmentos gruesos.
- Textura global.
- Agua utilizable por las plantas.
- Capacidad de cambio-porcentaje de saturación.
- pH.
- Contenido de materia orgánica.
- Reservas minerales.

2. Extrínsecas

- Afloramientos de roca.
- Pedregosidad superficial.

B) *De carácter topográfico*

- Pendiente.

C) *Aspectos climáticos*

- Pluviometría.
- Temperatura.
- Evapotranspiración potencial.

Como *profundidad efectiva* se ha considerado la profundidad del suelo hasta un techo rocoso coherente. También en este término se incluye lo que se puede denominar profundidad teórica; existen casos en los que los niveles subyacentes no son coherentes, pero limitan severamente el desarrollo de la vegetación, bien por carecer de material fino entre las fisuras o por el tamaño de los fragmentos gruesos (superiores al tamaño que la FAO, 1977, señala como piedra), etcétera.

El contenido de los *fragmentos gruesos* se expresa como porcentaje en peso de las fracciones de tamaño mayor de 2 mm; según la FAO (1977) serían grava, entre 2 mm y 7,5 cm; piedra, de 7,5 a 25 cm, y pedregón, mayor de 25 cm.

Los datos de *textura* empleados son los que se obtienen del análisis granulométrico, por separación de la fracción arena por tamizado y del limo y la arcilla por el método de la pipeta de Robinson, empleando los límites de tamaño del USDA (SOIL SURVEY STAFF, 1951).

El agua utilizable por las plantas se calcula a partir de los datos de humedades retenidas por

el suelo bajo presión negativa de 1/3 y 15 atmósferas de la profundidad efectiva. Para el análisis de las humedades se empleó el método de la membrana de RICHARDS (1954).

La capacidad de cambio y el porcentaje de saturación se determinan por percolación sucesiva de acetato amónico a pH 7 y cloruro sódico acidulado (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1972). El Na⁺, K⁺ y el Ca⁺⁺ se determinan por fotometría de llama, el Mg⁺⁺ por absorción atómica y el NH₄⁺ desplazado en un destilador Bonat MicroKjeldahl.

El pH es el medido en una suspensión acuosa con una porción agua/suelo 1:1.

La materia orgánica se determina por oxidación con dicromato potásico y valoración del exceso de dicromato con sal de Mhor (COMISIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS, 1973).

Las reservas minerales se estiman por la naturaleza de los minerales de la fracción fina. Por ejemplo, la existencia de micas en gran cantidad pueden asegurar las reservas de K⁺.

La rocosidad y pedregosidad superficiales se clasifican de acuerdo con los márgenes y denominaciones que establece la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos (FAO, 1977).

El valor de *la pendiente* en porcentajes se estudia con medidas directas en campo y en gabinete con auxilio de la fotografía aérea y de la distancia entre las curvas de nivel en el mapa topográfico; técnica descrita por BARAHONA (1980).

Los datos sobre *el clima* se han recopilado de los boletines meteorológicos del Ministerio del Aire y otros han sido suministrados, directamente, por las confederaciones hidrográficas del Sur y del Guadalquivir.

Cualidades de la tierra

Las cualidades de la tierra consideradas en este esquema se pueden clasificar en los grupos siguientes:

A) *Cualidades relacionadas con las labores agrícolas*

1. Esfuerzos de arrastre en función del valor de la pendiente

2. Obstáculos a la mecanización en función de la rocosidad y pedregosidad superficiales.
3. Facilidad para el arado en función de la textura, empaquetamiento, etcétera.
4. Posibilidades de riego en función del valor de la pendiente.
5. Accesibilidad.

B) *Cualidades relacionadas con el crecimiento de las plantas.*

1. Disponibilidad de nutrientes.

1.1. Disponibilidad de nutrientes en función del grado de saturación de bases y el pH.

1.2. Disponibilidad de nutrientes en función de la capacidad de cambio de cationes y el contenido de materia orgánica.

2. Calidad del sistema radicular.

2.1. Calidad del sistema radicular en función de la profundidad del suelo.

2.2. Calidad del sistema radicular en función del contenido de fragmentos gruesos.

3. Período vegetativo en función de la temperatura media de las mínimas absolutas. Riesgos de heladas.

4. Disponibilidad de agua en función de la reserva.

5. Condiciones de aireación en función de la reserva, la pluviometría, la ETP y la topografía.

C) *Cualidades relacionadas con la pérdida de la capacidad*

1. Riesgos de erosión hídrica en función de la pendiente, la textura, la permeabilidad y contenido de materia orgánica.

2. Riesgos de erosión eólica.

3. Riesgos de degradación química por lixiviación.

Expresión de las cualidades de la tierra como criterios diagnósticos. Valores críticos

CUALIDADES RELACIONADAS CON LAS LABORES AGRICOLAS

Cualidad 1. Esfuerzos de arrastre en función del valor de la pendiente

Las clases empleadas son básicamente las pro-

puestas por DÍAZ FIERROS *et al.* (1982), desplazando el límite entre la clase 3 y 4, del 30% al 25%, tal como indica MACÍAS VÁZQUEZ y CALVO de ANTA (1981); el 25% es el valor límite de la pendiente para uso de maquinaria agrícola. La Tabla I recoge las clases establecidas.

Cualidad 2. Obstáculos a la mecanización en función de la rocosidad y pedregosidad superficiales

Las clases que se van a emplear se basan en las establecidas por la FAO (1977), empleando principalmente la rocosidad. De acuerdo a las rocosidades y pedregosidades presentes, se pueden definir una serie de clases recogidas en la Tabla II.

Las restricciones al uso de la maquinaria expuestas en la definición de las clases son menores que las que establece la guía de la FAO,

ya que las pedregosidades que recoge dicha guía hacen referencia al enlosamiento superficial de fragmentos grava y piedra, siendo los fragmentos de más de 25 cm los que realmente impiden el uso de maquinaria, tal como indica el Manual de Levantamiento de Suelos (SOIL SURVEY STAFF, 1951, página 288).

Cualidad 3. Facilidad para el arado

Se evalúa en función de la textura, la consistencia, el grado de empaquetamiento y la capacidad de retención de agua del suelo (JONES, 1979).

A modo de ejemplo diremos que para el área estudiada (sector Noroccidental de Sierra Nevada), dado que la mayor parte de los suelos tienen textura franco-arenosa, consistencia débil, empaquetamiento escaso, drenaje bueno y capacidad de retención de agua pequeña, todos se clasifican sin limitaciones por los factores antes dichos.

TABLA I
CLASES DE LIMITACION A LA MECANIZACION EN FUNCION DEL VALOR DE LA PENDIENTE

Clase	Pendiente (%)	Denominación
1	0-3	Apto para todo tipo de mecanización.
2	3-10	Apto para todo tipo de mecanización.
3	10-25	La mecanización con maquinaria pesada se encuentra ya impedida. Es el límite de utilización del tractor.
4	25-35	Sólo es posible el uso de maquinaria de poco caballaje o pesada de tipo forestal.
5	35-50	Límite de la maquinaria forestal pesada.
6	> 50	Marginal.

TABLA II
CLASES DE OBSTACULOS A LA MECANIZACION EN FUNCION DE LA ROCOSIDAD Y PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL

Clase	Clase de rocosidad	Clase de pedregosidad	Definición
1	0	4	Ningún impedimento al uso de maquinaria agrícola de mediano caballaje y forestal pesada.
2	1 y 2	3 y 4	Restringido el uso de maquinaria agrícola de mediano caballaje y ningún impedimento a la forestal pesada.
3	3	3 y 4	Restringido el uso de maquinaria agrícola a excepción de la ligera y restringido el uso de forestal pesada.
4	4 y 5	4 y 5	Impedido el uso de todo tipo de maquinaria.

Cualidad 4. Posibilidad de riego en función del valor de la pendiente

Las clases de aptitud para el riego han sido adaptadas de las que establecen MALETIC y HUTCHING (1967), ya que, aunque estos autores emplean multitud de factores, pueden transformarse en valores de pendiente (Tabla III). Esta clave es muy útil en la zona estudiada, aunque debe mejorarse en un futuro, al no tener en cuenta técnicas de riego empleadas en zonas altas de montaña desde épocas ancestrales.

Cualidad 5. Accesibilidad

Se refiere a las posibilidades para la explotación en función de la facilidad de acceso a la zona. Su valoración está íntimamente relacionada con el tipo de uso y así las clases que se establezcan en el análisis de la aptitud de la tierra para un uso agrícola altamente mecanizado deben ser mucho más exigentes que en el caso de un uso pastoril. Las pendientes, el clima, la pedregosidad y rocosidad superficiales son algunos de los factores a tener en cuenta para la calificación de la accesibilidad de un área.

En general las áreas de montaña pueden ser clasificadas como poco accesibles y ésta es precisamente una de las características que más influyen en su empleo.

CUALIDADES RELACIONADAS CON EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

Cualidades 6 y 7. Disponibilidad de nutrientes

Los principales caracteres del suelo que se emplean usualmente como índices de la disponi-

TABLE III
CLASES DE APTITUD PARA EL RIEGO EN FUNCION DE LA PENDIENTE

Clase	Pendiente (%)	Denominación
1	<2	Muy apto
2	2-12	Apto
3	12-20	Poco apto
4	>20	No apto

bilidad de nutrientes son: la capacidad de cambio, el pH, el contenido de materia orgánica y el grado de saturación de bases (GAUCHER, 1968; RQUIER *et al.*, 1970 e INA, 1978). En nuestro caso se han distinguido entre la disponibilidad de nutrientes en función del grado de saturación de bases y el pH (Tabla IV, cualidad 6), y en función de la capacidad de cambio de cationes y el contenido en materia orgánica (Tabla V, cualidad 7). Se ha obrado así porque cada uno de estos pares de características está bien correlacionado en los suelos del área (DELGADO CALVO-FLORES, 1980).

Cualidades 8 y 9. Calidad del sistema radicular

Este apartado corresponde al estudio de las principales propiedades físicas del suelo, que afectan al desarrollo y magnitud del sistema radicular. Como tales podemos citar la profundidad del suelo y la textura, desde el punto de vista de su contenido en fragmentos gruesos. La estructura, densidad (compactación) y aireación son también propiedades físicas de gran importancia para el desarrollo de las raíces en el suelo, pero, al ser favorables en casi todos

TABLE IV
CLASES DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN FUNCION DEL GRADO DE SATURACION DE BASES Y EL pH

Clase	Sat. de bases (%)	pH	Denominación
1	>75 y no fuertemente calcáreo	>6,6	Alta
2	35-75	5,1-6,6	Moderada
3	15-35	4,3-5,1	Baja
4	<15	<4,3	Muy baja

TABLE V
CLASES DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE CAMBIO Y EL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Clase	CEC (meq/100 gr)	MO (%)	Denominación
1	>15	>12,7	Alta
2	7-15	2,5-12,7	Media
3	<7	<2,5	Baja

TABLA VI
CLASES DE LIMITACION AL ENRAIZAMIENTO EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD DEL SOLUM

Clase	Profundidad (cm)	Limitación
1	100	Muy profundo. Sin limitaciones para toda clase de vegetación y cultivos.
2	50-100	Moderadamente profundo. Pocas limitaciones para pastos y cultivos, moderadas para bosques.
3	25-50	Somero. Moderadas limitaciones para cultivos, pocas para pastos y severas para bosques.
4	25	Muy somero. Severas limitaciones para cultivo, moderadas para pastos y muy severas para bosques.

los casos en el área de Sierra Nevada estudiada, no se consideran.

Las clases empleadas en la calidad del sistema radicular en función de la profundidad del suelo (Tabla VI, cualidad 8), se han adaptado de RQUIER *et al.* (1970). La profundidad que emplean estos autores es la efectiva, pero en nuestro caso utilizamos la del «solum», puesto que es la que se determina más comúnmente en el levantamiento de perfiles.

Las clases establecidas para la calidad del sistema radicular en función del contenido de fragmentos gruesos (Tabla VII, calidad 9), han sido adaptadas de INA (1978) transformando los porcentajes de volumen en peso, a partir de la densidad de la grava (2,40 g/cc) y de la tierra fina (1,30 g/cc), según los datos de DELGADO CALVO-FLORES (1980).

Cualidades 10 y 11. Período vegetativo en función de la temperatura media de las mínimas absolutas. Riesgos de heladas

Los períodos de heladas pueden utilizarse como una cualidad de la tierra relacionada con el crecimiento de las plantas y que lo condicionan de forma adversa. Pueden expresarse bajo la forma de período vegetativo posible en un área (cualidad 10), definido mediante el correspondiente a diferentes cultivos, o bien como período libre de heladas (cualidad 11) definido en términos temporales (días).

Utilizando las clases de riesgos de helada de PAPADAKIS (1966) (Tabla VIII) se establecen los márgenes altitudinales de los diferentes pe-

ríodos libres de heladas presentes en el área estudiada, naturalmente con el suficiente conocimiento climático de dicha zona (SÁNCHEZMARANÓN *et al.*, 1987b). Los resultados se nos muestran en la Tabla IX.

Los riesgos de heladas no influyen sólo en el período vegetativo, sino en multitud de aspectos

TABLA VII
CLASES DE CALIDAD DEL SISTEMA RADICULAR EN FUNCION DEL CONTENIDO DE FRAGMENTOS GRUESOS

Clase	Fragmentos gruesos (% peso)	Denominación
1	<25	Favorable
2	25-44	Poco favorable
3	44-73	Algo desfavorable
4	>73	Desfavorable

TABLA VIII
CLASES DE RIESGOS DE HELADA (Papadakis, 1966)

Clase	Período libre de heladas	Tipo
1	365 días (mínimo)	Café
2	>135 días (mínimo)	Algodón
3	>120 días (mínimo)	Arroz
4	>135 días (disponible)	Maíz-trigo más cálido
5	135-75 días (disponible)	Trigo menos cálido
6	<75 días (disponible)	Taiga, tundra, andino, alpino
7	Helada permanente	Frígido

de índole utilitaria (aspectos ingenieriles, turísticos, ganaderos, etcétera). Por esta razón es interesante el estudio extensivo de los períodos libres de heladas. Los límites de clases establecidos (Tabla X) se han escogido de acuerdo con las características de la zona.

Cualidad 12. Disponibilidad de agua en el suelo en función del valor de la reserva, la pluviometría y la ETP

En estas zonas esta cualidad alcanza su máxima importancia en el período vegetativo, ya que éste se restringe a unos pocos meses en el

año, durante finales de la primavera, verano y principios de otoño. En el resto del año, los períodos con déficit de humedad, si existieran, no revisten importancia al ser la temperatura mínima absoluta el factor limitante para el desarrollo de la vegetación.

Las clases de déficit estival de agua que se han establecido se recogen en la Tabla XI. Los márgenes de las diferentes clases responden a esas particularidades climáticas del área, ya que, por ejemplo, RQUIER *et al.*, (1970), —por citar uno de los métodos de evaluación más importantes— establece dichas clases con períodos de tiempo muy diferentes (nueve a doce meses, seis a ocho meses, tres a seis meses y menor de tres meses).

TABLA IX

CLASES DE PERIODOS VEGETATIVOS EN FUNCION DE LA ALTITUD

Clase	Cota	Períodos vegetativos
4	<1.420	Del maíz y trigo más cálido o menores.
5	1.420-2.100	Del trigo menos cálido o menores.
6	2.100-3.420	De la caiga, tundra.
7	>3.420	—

TABLA X

CLASES DE PERIODO LIBRE DE HELADAS

Clase	Medio	Disponible	Mínimo
1	> 210 días	> 172 días	> 81 días
2	150-210 días	112-172 días	11-81 días
3	90-150 días	52-112 días	< 11 días
4	45- 90 días	25- 52 días	—
5	<45 días	<25 días	—

Medio: período libre de heladas fuertes. Disponible: período razonablemente libre de heladas. Mínimo: período totalmente libre de heladas.

TABLA XI

CLASES DE DEFICIT ESTIVAL DE AGUA

Clase	Días de déficit	Denominación
1	< 50	Favorable
2	60-75	Poco favorable
3	75-90	Algo desfavorable
4	> 90	Desfavorable

Cualidad 13. Condiciones de aireación del suelo en función del valor de la reserva, la pluviometría, la ETP y la topografía

La aireación del suelo en un sentido amplio depende de muchos factores entre los que cabe destacar la porosidad y la humedad del suelo, aunque también son importantes la magnitud de la biomasa, la temperatura, las disturbaciones mecánicas ligadas a los ciclos de humectación —secado o congelación—, deshielo, arado, etcétera, y a la vegetación.

En los suelos de Sierra Nevada, con una estructura débil y texturas en general gruesas, el factor determinante será la humedad, por lo que se empleará ella como índice de esta cualidad de la tierra. Los principales autores confieren a las condiciones de aireación ligadas a la humedad un papel primordial en la estimación del valor del suelo; por ejemplo, BEGON y MORI (1980), en un máximo de 1.000 puntos, le asignan 150.

Teniendo en cuenta que el régimen climático del área condiciona un gran exceso de humedad en invierno, un déficit apreciable en verano y que el período vegetativo es estival (SÁNCHEZ MARAÑÓN *et al.*, 1987b), sólo interesa, en nuestro caso, distinguir dos clases: Clase 1., suelos bien drenados, y clase 2., suelos con humedad por encima de la capacidad de campo a menos de 60 cm de la superficie, en el estío.

CUALIDADES RELACIONADAS CON LA PERDIDA DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA

Riesgos de erosión hídrica en función de la pendiente, la textura, la permeabilidad y el contenido de materia orgánica

El proceso de erosión del suelo y, en consecuencia, el riesgo de que se produzca, es función de multitud de factores que podemos agrupar en tres tipos: intrínsecos, extrínsecos y de manejo. Los principales factores intrínsecos son la textura, el contenido de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad. Como factores extrínsecos se podrían citar la longitud y la inclinación de las pendientes, la potencia erosiva del clima y la cobertura vegetal. Como nivel de manejo se entienden todas las prácticas de uso para la explotación y conservación del suelo.

El carácter multidimensional de la erosión exige para su cálculo la consideración de todos estos factores en una ecuación que los relacione (FAO, 1980). No obstante, uno de los métodos de estimación de riesgos de erosión más extendido, quizá por su simplicidad de aplicación, es el propuesto por el USDA (1978). Dado su carácter general, se supone que el suelo está desprovisto de vegetación y que los factores que más influyen son la textura superficial, la permeabilidad del suelo y la pendiente. De acuerdo con ello construyen la Tabla XII donde se definen cinco niveles de riesgos de erosión, y que ha sido utilizada en el presente estudio.

Riesgos de erosión eólica

Los principales factores que afectan a este tipo de erosión son el factor erosividad eólica, el factor suelo (importante el grado de humedad, tamaño medio de los agregados, el grado de la estructura y el microrrelieve), el factor humano y, por último, la posición en el paisaje (FAO, 1980).

Es complejo elaborar y aplicar una clasificación de riesgos de erosión eólica, debido a la dificultad de cuantificación de ciertos factores responsables de este tipo de erosión y, por ende, a la ausencia de valores disponibles. No obstante, es necesaria una valoración de esos riesgos apoyándose tanto en la descripción de los factores como en la de los efectos que pueden reconocerse en las distintas figuras de erosión eólica. Es, pues, necesaria una valoración cualitativa de la existencia y grado de tormentas y remolinos de polvo, matorros sobre elevados, concentraciones superficiales de piedras, desarrollo asimétrico de las plantas, acumulaciones de finos, etcétera.

Riesgos de degradación química por lixiviación

Al igual que la cualidad anterior, su valoración sólo puede realizarse en el campo cualitativo y en función de las características propias de cada área. Para ello se requiere la estimación del contenido de bases del suelo y una valoración comparativa entre la pérdida por lavado y la re-basificación, debida a la renovación de mate-

TABLA XII
RIESGOS DE EROSION (USDA, 1978)

Textura superficial	Arenosa a arenosa franca		Franco arenosa a franca		Franco arcillosa y franco arcillo limosa		Arcillo limosa y arcillosa
	> 76	< 76	> 24	< 24	> 6	< 6	Cualquiera
Permeabilidad (cm/hr)							
Riesgos de erosión	Pend. (%)	Pend. (%)	Pend. (%)	Pend. (%)	Pend. (%)	Pend. (%)	Pend. (%)
1. Ninguno	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2
2. Ligero	2-9	2-5	2-9	2-5	2-9	2-5	2-9
3. Moderado	9-15	5-9	9-15	5-9	9-15	5-9	9-15
4. Alto	15-30	9-15	15-30	9-15	15-30	9-15	15-30
5. Muy alto	> 30	> 15	> 30	> 15	> 30	> 15	> 30

riales por erosión y remoción en las prácticas de manejo.

Unidades de tipos de tierras

Una vez concluido el análisis de las cualidades de la tierra, procede la definición de tipos de tierras, por división de la zona en áreas donde confluyan una determinada combinación de clases de cualidades. Sólo se consideran en este proceso aquellas cualidades que, clasificadas como criterios diagnósticos, permitan una cartografía parcial de los mismos. El mapa de tipos de tierras se elabora por superposición de los diferentes mapas parciales para cada cualidad considerada.

El objetivo final es conseguir un mapa con unidades homogéneas en cuanto a cualidades se refiere y, por tanto, con una misma aptitud frente a determinados usos.

Factores limitantes para los diferentes usos propuestos

Previa a la clasificación de aptitud de cada tipo de tierra para los diferentes usos es necesario puntualizar los grados en que las distintas cualidades pueden limitar tales usos. Se han considerado los tres grados de limitación que especifica el INA (1978), es decir: *absoluto*, *mayor* y *menor*.

En general para todos los usos las cualidades 3

y 5 no se tienen en cuenta, dado que la número 3 para el área estudiada se clasifica sin limitaciones y la número 5 como de mala accesibilidad. Es por ello que no cabe la posibilidad de establecer distintos grados de limitación.

Usos agrícolas

Las cualidades de la tierra valoradas en la estimación de la aptitud para las seis modalidades de usos agrícolas ya citados han sido agrupadas en dos grupos: *comunes* a todos ellos y *específicas*. La valoración del primer grupo se realiza en la Tabla XIII. Conviene aclarar que el grado de limitación de las cualidades 10 y 11 depende estrechamente del tipo de cultivo para el que se evalúa la zona. En consecuencia, la clasificación del grado de limitación posee sólo un valor general.

Los grados de limitación de las cualidades específicas para las diferentes modalidades se realiza en el Tabla XIV. Destaca la igualdad de grado de limitación en la cualidad 12 (déficit estival) para la modalidad de secano en sus tres niveles de manejo, y la de la 4 (posibilidades de riego) para la modalidad de regadío. Consecuentemente las cualidades 4 y 12 no se evalúan para secano y regadío, respectivamente. La cualidad 4 no se considera en ningún caso limitante absoluto, dado que las prácticas de riego nunca están imposibilitadas totalmente, como lo demuestran técnicas tales como riego

TABLA XIII
GRADOS DE LIMITACION DE LAS CUALIDADES DE LA TIERRA RELACIONADAS CON LOS USOS AGRICOLAS. CUALIDADES COMUNES

Cualidad	Grado de limitación		
	Absoluto	Mayor	Menor
6. N SB	—	Clase 4	Clases 2 y 3
7. N CEC	—	—	Clases 2 y 3
8. SR PS	Clase 4	—	Clase 3
9. SR FG	Clase 4	Clase 3	Clase 2
10. PV	—	Clase 5	—
11. PLH	Clases 4 y 5	Clase 3	Clase 2
13. EDA	—	Clase 2	—

N SB: disponibilidad de nutrientes en función del grado de saturación de bases. N CEC: disponibilidad de nutrientes en función de la capacidad de cambio de cationes. SR PS: calidad del sistema radicular en función de la profundidad del suelo. SR FG: calidad del sistema radicular en función del contenido en fragmentos gruesos. PV: período vegetativo. PLH: período libre de heladas. EDA: exceso de agua.

TABLA XIV
GRADOS DE LIMITACION DE LAS CUALIDADES DE LA TIERRA RELACIONADAS CON LOS USOS
AGRICOLAS. CUALIDADES ESPECIFICAS

Modalidad de uso	Cualidad				Grado de limitación
	C-1	C-2	C-4	C-12	
A	Clase 6	—		Clase 4	Limitante absoluto
B	Clase 5	Clase 4		Clase 4	Limitante absoluto
C	Clase 4	Clase 3		Clase 4	Limitante absoluto
a	Clase 6	—	—		Limitante absoluto
b	Clase 5	Clase 4	—		Limitante absoluto
c	Clase 4	Clase 3	—		Limitante absoluto
A	—	Clase 4		Clase 3	Limitante mayor
B	Clase 4	Clase 3		Clase 3	Limitante mayor
C	Clase 3	Clase 2		Clase 3	Limitante mayor
a	—	Clase 4	Clase 4		Limitante mayor
b	Clase 4	Clase 3	Clase 4		Limitante mayor
c	Clase 3	Clase 2	Clase 4		Limitante mayor
A	—	Clase 3		Clase 2	Limitante menor
B	Clase 3	Clase 2		Clase 2	Limitante menor
C	—	—		Clase 2	Limitante menor
a	—	Clase 3	Clase 3		Limitante menor
b	Clase 3	Clase 2	Clase 3		Limitante menor
c	—	—	Clase 3		Limitante menor

Modalidad de uso: Secano: A, B y C.—Regadío: a, b y c.—Labores manuales: A y a.—Labores con maquinaria ligera: B y b.—Labores con maquinaria de mediano caballo (tractor convencional): C y c.
Cualidades: C-1: esfuerzos de arrastre en función de la pendiente. C-2: obstáculos a la mecanización en función de la rocosidad y pedregosidad superficial. C-4: posibilidad de riego en función de la pendiente. C-12: déficit estival.

de laderas enteras por derrame para creación de pastos, acequias zigzagueantes a favor de la pendiente, empleo de pequeñas banquetas, etcétera.

Usos forestales

Las cualidades de la tierra consideradas en la estimación de la aptitud de ésta para usos forestales pueden ser agrupadas de la siguiente forma:

— *Cualidades comunes a las dos modalidades de manejo*

a) Relacionadas con caracteres intrínsecos del suelo (cualidades núm. 6, 7, 8, 9 y 13).

b) Relacionadas con el clima (cualidades 10, 11 y 12).

— *Cualidades específicas a cada modalidad de manejo* (cualidades número 1 y 2)

El cálculo del índice de PATTERSON (1956),

modificado para climas mediterráneos (GANDULLO y SERRADA, 1977), representa implícitamente las cualidades relacionadas con el clima. La productividad potencial forestal en m³ madera/Ha/año, que incluye el índice de PATTERSON, puede considerarse como una forma de evaluación a nivel general de la aptitud de la tierra para usos forestales (MCRAE y BURNHAM, 1981). Es conveniente, por ello, calificar los tipos de tierra con la productividad potencial, y crear clases con márgenes altitudinales.

La valoración en términos de limitación de las restantes cualidades de la tierra seleccionadas para la clasificación de aptitud para usos forestales se recogen en la Tabla XV. En ella se señalan tanto las cualidades comunes como las específicas de la modalidad de cultivo mecanizado.

Usos ganaderos

De las tres modalidades ya mencionadas, la primera, pastizales y dehesas, son pastos espontá-

neos y, por tanto, no requiere evaluación.

En el caso de la creación de prados y praderas semiartificiales por simple irrigación, habría que considerar la disponibilidad de agua (superior a 500 mm anuales), posibilidades de riego (dos clases: apta o sin limitaciones para pendientes menores de 55% y no apta en pendientes superiores a 55%) y condiciones de fertilidad del suelo (física y química) cuyos grados de limitación se recogen en la Tabla XVI.

La modalidad de creación de praderas artificiales ha sido considerada como muy cercana a los cultivos de regadío. Las Tablas XIV y XVI resumen los grados de limitación para las distin-

tas cualidades. Respecto a los cultivos de regadío usuales han sido eliminadas el período libre de heladas, el período vegetativo y el exceso y déficit de agua, al no constituir limitaciones.

Clasificación de aptitud aplicada

La siguiente fase del estudio de evaluación es caracterizar cada tipo de tierra con un grado de aptitud para cada uso, de acuerdo con los factores limitantes existentes en la tierra para ese uso concreto.

El modelo de clasificación de aptitud empleado se estructura en tres categorías, orden-clase-subclase. El orden se refiere a la aptitud o no aptitud, la clase al grado de aptitud (altamente, moderadamente, marginalmente apta) y la subclase indica el tipo de limitación (FAO, 1976).

La clasificación de aptitud utilizada es como sigue:

Orden Apta. Factores limitantes mayores y menores.

— *Clase A1.* Altamente apta. Menos de dos limitantes menores. Ningún limitante mayor.

— *Clase A2.* Moderadamente apta. Un limitante mayor o más de dos limitantes menores.

— *Clase A3.* Marginalmente apta. Dos o más limitantes mayores.

Orden no Apta. Uno o más factores limitantes absolutos.

Subclases: Se indican con una o varias letras sufijo.

— *m:* Limitaciones relacionadas con las labores agrícolas.

— *s:* Limitaciones relacionadas con factores intrínsecos que limitan el crecimiento de las plantas.

— *c:* Limitaciones de índole climática.

Para conseguir una mayor información a nivel de subclase, los subíndices se han aplicado

TABLA XV
GRADOS DE LIMITACION DE LAS CUALIDADES DE LA TIERRA RELACIONADAS CON LOS USOS FORESTALES

Cualidad	Grado de limitación		
	Absoluto	Mayor	Menor
C-6	—	—	Clases 3 y 4*
C-7	—	—	Clase 3*
C-8	—	Clase 4	Clase 3*
C-9	—	Clase 4	Clase 3*
C-13	Clase 2	—	—*
C-1	Clases 5-6 y 6	Clase 5	Clase 4**
C-2	Clase 4	Clase 3	—**

* Cualidades comunes. ** Cualidades específicas de la modalidad de cultivo mecanizado.

TABLA XVI
GRADOS DE LIMITACION DE LAS CUALIDADES DE LA TIERRA RELACIONADAS CON EL CULTIVO DE PRADERAS. CUALIDADES COMUNES PARA LOS TRES NIVELES DE MANEJO

Cualidad	Grado de limitación		
	Absoluto	Mayor	Menor
C-6	—	—	Clases 3 y 4
C-7	—	—	Clases 2 y 3
C-8	—	—	Clase 4
C-9	—	Clase 4	Clase 3

C-6: disponibilidad de nutrientes en función del grado de saturación de bases. C-7: disponibilidad de nutrientes en función de la capacidad de cambio de cationes. C-8: calidad del sistema radicular en función de la profundidad del suelo. C-9: calidad del sistema radicular en función del contenido en fragmentos gruesos.

siempre que existe un factor limitante mayor o menor y en una secuencia que depende del grado de limitación y de la importancia que dicha limitación adquiere para cada zona. Así los limitantes climáticos son más importantes que los otros tipos, donde la sequedad estival sea prolongada.

Se ha empleado también el concepto de *no pertinencia*, que indica FAO (1976) en aquellas tierras en que *a priori* se supone que no es posible un determinado tipo de uso, por ejemplo, agricultura en las zonas más elevadas.

Definición de criterios físicos diagnósticos

Volviendo al esquema de trabajo mostrado en la Figura 3, una vez establecidos los tipos de tierras existentes y la clasificación de aptitud para los posibles usos, se califica la aptitud de cada tipo de tierras para todos los usos investigados.

De acuerdo con la cartografía de tipos de tierras y la clasificación de aptitud para cada una de ellas, podrían elaborarse unas cartografías parciales de clases de aptitud para los diferentes usos propuestos. Estos mapas parciales de las zonas piloto no han de reflejarse necesariamente, ya que de forma directa se pueden construir en mapas de aptitud para el total del área de estudio mediante tablas donde las clases de aptitud, para cada uso, se definen en términos físicos, es decir, caracteres físicos que determinan la aptitud y el grado de la misma. La ex-

tensión a toda la zona se realiza por comparación de éstos con los datos del medio físico.

Esta última fase de transformación de las clases de aptitud en *caracteres físicos diagnósticos* es fundamental para extrapolar los resultados obtenidos en las zonas piloto hasta la zona general de estudio.

En trabajos posteriores se presentarán los criterios físicos diagnósticos utilizados en la zona Noroccidental de Sierra Nevada, pero, a modo de ejemplo ilustrativo, la Tabla XVII muestra cómo pueden definirse en términos físicos cada clase de aptitud.

Consideraciones finales

El método de evaluación elaborado puede definirse como una clasificación cualitativa, física, indirecta y a nivel de reconocimiento de la aptitud actual de la tierra para usos agronómicos generales. Se fundamenta en el esquema para la evaluación de tierras de FAO (1976).

El carácter de clasificación *cualitativa* se debe a que la valoración de la aptitud no se realiza sobre costos y beneficios de los usos propuestos y el resultado final no se expresa en términos económicos. Se basa entonces en el potencial de producción física de la tierra y de ahí su denominación de *física*. Este tipo de clasificaciones, al estar basadas en los caracteres biofísicos exclusivamente —aunque llevan implícitos los aspectos socioeconómicos—, tienen un mayor

TABLA XVII
CARACTERES DE LA TIERRA QUE DEFINEN SU APTITUD PARA USOS FORESTALES.
LABORES MECANIZADAS

Cl y Sb	Tipo S	Pen (%)	Roc (%)	Fr g (%)	E S (cm)	S B (%)	pH	En
No apta*	K, P, Q	> 50	> 50	—	—	—	—	Sí
A2ms	H, J, I, E	< 50	25-50	> 73	—	—	—	No
A2ms	L, E	< 50	25-50	44-73	25-50	< 35	< 5,1	No
A2m	L, E	< 50	25-50	44-73	> 50	< 35	< 5,1	No
A2s	N, B, G, E, F	< 35	< 25	44-73	25-50	< 35	< 5,1	No
A1	N, B, G, E, F	< 35	< 25	< 73	> 50	—	—	No

Cl y Sb: clases y subclases de aptitud. Tipo S: tipos de suelo. K: Aquent. N: Haploxeroll típico. B: Criumbrept típico. G: Xerumbrept típico. L: Criumbrept entico. E: Fluvent. F: Xerochrept típico y dístico. H: Xerumbrept entico. J: Xerorthent típico. P: Criochrept dístico. I: Criorthent típico. Q: Áreas pedregosas y pedregoso-rocosas. Pen: Pendiente. Roc: Rocosidad. Fr g: Contenido en fragmentos gruesos. ES: Espesor del solum. SB: Grado de saturación de bases. En: Encharcamiento. * Cualquier tipo de tierra en pendientes superiores al 50% se considera no apta para este uso.

período de validez al ser inmutables ante los cambios de precios, salarios, etcétera.

El sistema empleado se clasifica como indirecto porque la aptitud de una tierra concreta para un determinado uso se calcula de forma empírica por la estimación de caracteres y cualidades que *a priori* se saben importantes en la consecución de dicho uso y no de forma experimental, mediante la puesta en práctica del uso considerado y evaluando posteriormente los resultados.

La escala de presentación de resultados es la 1:50.000, por lo que se puede considerar el sistema como de *reconocimiento*.

Los tipos de uso que se evalúan son exclusivamente *agronómicos* y de forma general se ciñen a los usos agrícolas, ganaderos y forestales. La consideración de otros usos requeriría el estudio de cualidades diferentes a las que aquí se proponen.

El método de evaluación propuesto conduce a una clasificación de los tipos de tierras en términos de aptitud. Esa aptitud es función de tres aspectos que se reflejan de alguna forma en las subclases. Dichos aspectos son: productividad potencial, riesgos de degradación y dificultades en el manejo. Los caracteres de la tierra considerados para su clasificación son de índole física. El mayor peso en el esquema lo

tienen el suelo, el clima y la topografía. La evaluación de tierras con base física presenta el inconveniente en planificación de dificultar la comparación entre las distintas clases para los diferentes usos evaluados, por no existir un patrón numérico o económico que facilite dicha comparación. Por otro lado, los caracteres físicos son relativamente estables y la clasificación respecto de los mismos tiene una mayor validez en el tiempo; además, la evaluación de carácter económico es una continuación de la de tipo físico.

Un aspecto a discutir es la aplicabilidad del esquema propuesto a otras áreas de montaña. Aunque en la evaluación física no se tienen en cuenta, directamente, los aspectos socioeconómicos de las actividades propuestas, sí son un telón de fondo. Por ejemplo, las necesidades de pasto de verano en el total de la región impiden de forma indirecta considerar los riesgos de degradación por sobrepastoreo como un factor limitante mayor o absoluto; hecho que puede tener un menor peso en otras zonas. Esto quiere decir que cada método de clasificación se debe adaptar a las características concretas de cada zona. No obstante, en este caso las premisas y los parámetros empleados son lo suficientemente poco específicos como para considerar el método como general y aplicable a otras áreas de montaña.

SUMMARY

In this study, a new methodology for biofisis resources evaluation (soil evaluation mainly) in the Northwest area of Sierra Nevada (Spain), has been proposed.

The proposed method is based in the FAO Frama work for land evaluation. Most Biofisis data sources from a soil map at scale 1:50.000 and another was on purpose collected.

The evaluated uses are: 1) Rainfed and irrigated agriculture at three management level, mechanized, partly-mechanized and non-mechanized forming. 2) Forestry at two management level, mechanized and partly-mechanized forming. 3) Grazing in four modalities, scatholds, paddocks, semiartificial pasturages and artificial pasturages.

This process of evaluation can be divided into two principal steps, representing successive interpretative stages. The first steep is the analysis of land characteristics, land qualities, land units and land suitability in the Type zones. The second stage must be to extend the former results to the whole area.

Land characteristics relevant in the agronomic uses are related to the soil, topography and climate. Land Qualities affects, possibilities of Mechanization, plant-growth and degradation with uses.

The proposed method are qualitative, physical, indirect and at reconnaissance level.

BIBLIOGRAFIA

- BARAHONA, E., 1980: *Cartografía de las clases de pendiente por fotointerpretación*. Report. Interno Estación Experimental. Zaidín. CSIC. Granada.
- BORTELLI, L. J., 1978: «Technical Classification System for Soil Survey Interpretation». *Advances in Agronomy*. Vol. 30. Págs. 247-289.
- BORTELLI, L. J., 1979: «Interpreting Soil Data». En: M. T. Beatty, *et al.* (ed.). *Planning the uses and management of land*. *Agronomy*, 21: 91-116. Agron. Madison. Wisconsin.
- BOULAIN, J., 1980. *Pédologie appliquée*. Collection Sciences Agronomiques. Ed. Masson. 215 pp.
- BEGON, J. C., y MORI, A., 1980. *Evaluation of soil suitability for the planning of rural space in France*. Commission of the European Communities. Luxemburgo.
- CARBONELL SEBARROJA, J. C., 1980: «Ordenación de zonas de montaña». *I Curso sobre Ordenación del Territorio*. Escuela Técnica de Ingenieros. Lérida.
- COMISION DE MÉTODOS ANALÍTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGÍA «JOSÉ MARÍA ALBAREDA», 1973. «Determinaciones analíticas en suelos. Normalizaciones de métodos». *An. Edaf. Agrobiol.*, 32. Págs. 1153-1172.
- DAVIDSON, D. A., 1980: *Soil and Land Use Planning. Topics in Applied Geography*. Ed. Longman. London and New York. 129 pp.
- DELGADO CALVO-FLORES, R., 1980: *Edafología y Geoquímica de las alteraciones superficiales en la cuenca alta del río Dilar (Sierra Nevada)*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Univ. de Granada. 668 pp. Inédita.
- DENT, F., y YOUNG, A., 1981: *Soil survey and land evaluation*. Ed. Alleney Unwin. London, 178 pp.
- DÍAZ FIERROS, F.; GIL SOTRES, F., y PUGA PEREIRA, M., 1982: «Primeros resultados de la aplicación del método de evaluación de tierras de la FAO». *An. Edaf. y Agrobiol.* XLI, Págs. 2125-2143.
- FAO, 1974: *Approaches to land classification*. Soil Bull. 22, 120 pp. Roma.
- FAO, 1976: *Esquema para la evaluación de tierras*. Boletín número 32. Roma.
- FAO, 1977: *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. FAO. Roma.
- FAO, 1980: *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos*. Pub. FAO y PNUMA. Roma.
- FAO, 1983: *Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture*. Soils Bull. 52, 237 pp. Roma.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J., 1971. *Cultivos herbáceos*. Ed. Agrocienia. Zaragoza. 534 pp.
- GANDULLO, J. M., y SERRADA, R., 1977: *Mapa de la productividad potencial forestal de la España peninsular*. INIA. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- GAUCHER, G., 1968: *Traité de pédologie agricole*. Ed. Dunod. París. 578 pp.
- HAANS, J. C. F. M., 1978: «Soil survey interpretations in the Netherlands». *Symposium between the Netherlands and Rumania*, sept. 1978.
- HARROD, T. R., 1979: «Soil suitability for grassland». *Soil Surv. Tech. Monogr.* Número 13, págs. 51-70.
- INSTITUTO NACIONAL AGRONÓMICO PARÍS GRIGNON (INA), 1978: «Ficha técnica para la evaluación de la aptitud del suelo para usos agrícolas». En: Fedoroff, N. (Ed.) *Curso sobre Medio Natural y Ordenación del Territorio*. París.
- JONES, R. J. A., 1979: «Soil survey of the Western Midlands Grouped According to ease of cultivation». *Soil Surv. Tech. Monogr.*, núm. 13, págs. 24-42.
- KELLOGG, CH. E., 1951: «Soil and land classification». *J. of Farm. Economics*. Vol. 33, núm. 4, parte 1.ª, 15 pp.
- KELLOGG, CH. E., 1953: «Potentialities and problems of arid soils». *Desert. Research. Proc. Symp. Held.*, in Jerusalem (May 1952).

- MACÍAS VÁZQUEZ, F., y CALVO DE ANTA, R., 1981: «El análisis del medio físico y su aplicación a la ordenación del territorio: Una experiencia piloto en el área de Padrón». *Trabajos Compostelanos de Biol.* 10, págs. 179-208.
- MALETIC, J. T., y HUNTCHINES, T. B., 1967: «Selection and classification of irrigable lands». In: *Irrigation of agricultural lands*. Madison. Págs. 125-173.
- MCRAE y BURNHAN, 1981: *Land evaluation*. Ed. Clarendon press, Oxford. 239 pp.
- MILLER, F. T., y NICHOLS, J. D., 1979: «Soils data». En: ASA-CSSA-SSSA. *Planing of Uses and Management of Land*. Cap. 4, págs. 67-89.
- MONTOYA, J. M., 1983: *Pastoralismo mediterráneo*. Monografías del ICONA número 25. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 182 pp.
- PAPADAKIS, J., 1966: *Climates of the world and their agricultural potentiabilities*. Buenos Aires.
- PORTA CASANELLAS, J., 1980: «El suelo agrícola como recurso no renovable». *I Curso sobre Ordenación del Territorio*. Escuela Técnica de Ingenieros Agrónomos. Lérida.
- PATTERSON, S. S., 1956: *The forest area the world and its potential productivity*. Royal Univ. Goteborg.
- PRITCHETT, W. L., 1979: *Properties and management of forest soil*. Ed. Wiley and Sons. New York. 500 pp.
- RICHARDS, L. A., 1954: *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils*. U. S. Dpt. of Agric. Hand. 60. Washington.
- RIQUIER, J.; BRAMAO, D. L., y CORNET, J. L., 1970: *A new system of soil appraisal in terms of actual and potencial productivity*. FAO, AGL, TERS/70/6.
- SÁNCHEZ MARAÑÓN, M., 1985: *Los suelos del sector noroeste de Sierra Nevada (Granada)*. *Evaluación de su capacidad de uso*. Tesis Licenciatura Univ. de Granada. 310 pp. Inédita.
- SÁNCHEZ MARAÑÓN, M.; DELGADO CALVO-FLORES, G., y DELGADO CALVO-FLORES, R., 1978a: «Distribución de los suelos del sector N-W de Sierra Nevada. Granada». *Ars Pharmaceutica*. En prensa.
- SÁNCHEZ MARAÑÓN, M.; DELGADO CALVO-FLORES, R., y DELGADO CALVO-FLORES, G., 1987b: «Caracterización agroclimática de un área de la alta montaña mediterránea. (Sector N-W de Sierra Nevada. Granada)». *Boletín de la Estación Central de Ecol. ICONA*. Vol. 16, núm. 31, 43-62 pp.
- SÁNCHEZ MARAÑÓN, M.; DELGADO CALVO-FLORES, R., y DELGADO CALVO-FLORES, G. (Granada): «Evaluación de zonas piloto. Definición de criterios físicos diagnósticos. Evaluación de la totalidad del sector». *Ecología*, ICONA. En prensa.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (U. S. Dept. Agric.), 1972: *Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples*.
- SOIL SURVEY STAFF (U. S. Dept. Agric.), 1951: *Soil survey manual*. Handbook 18.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975: *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Soil Conservation Service. U. S. Dpto. Agric. Agriculture. Handbook núm. 436.
- TRICART, J., y KILLEN, J., 1982: *La ecografía y la ordenación del medio natural*. Ed. Anagrama. Barcelona. 288 pp.
- USDA, 1978: *Application of soil survey information*. National Soil Handbook Notice núm. 14.
- VILLAR, L., 1980: «Impactos provocados en las zonas de montaña: su gestión y conservación». *I Curso sobre Ordenación del Territorio*. Escuela Técnica de Ingenieros Agrónomos. Lérida.