

CARLOS AÑO VIDAL*
JUAN SÁNCHEZ DÍAZ*
CARMEN ANTOLÍN TOMÁS*

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EDÁFICO EN EL PAÍS VALENCIANO

RESUMEN

En este artículo se presenta un sistema de evaluación de suelos elaborado en función de las características medioambientales mediterráneas. El estudio del recurso edáfico se aborda desde una concepción holística, diferenciándose varias fases en el proceso evaluador. La primera es la selección y gradación de un conjunto de características intrínsecas y extrínsecas del suelo. La segunda es la agrupación y valoración de los parámetros en dos Indicadores: Capacidad y Vulnerabilidad, piedra angular de la metodología. El Indicador de Capacidad refleja la vocación intrínseca del suelo y del entorno físico que favorecerá o restringirá el uso agrario. El Indicador de Vulnerabilidad muestra las limitaciones potenciales, provocadas por la actividad antrópica, que pueden deteriorar las funciones del sistema edáfico o modificar sus propiedades.

ABSTRACT

This paper presents a soil evaluation system, specifically adapted to the Mediterranean environmental characteristics. The pedologic resource is studied from a holistic point of view, and several stages are distinguished in the evaluation process. Firstly, a set of intrinsic and extrinsic soil characteristics is selected and ranked. Secondly, parameters are assessed and grouped into two Indexes, namely Capability and Vulnerability, which are the corner stone of this methodology. The Capability Index refers to the intrinsic vocation of both soil and its physical surroundings, and it determines land capability for farming use. The Vulnerability Index shows the potential limitations on land use due to human action. The effects of these limitations are, either the deterioration of the pedologic system functions or the modification of its properties.

INTRODUCCIÓN

La caracterización, clasificación, distribución y evaluación de los suelos presentes en un territorio es un requisito previo y esencial para la planificación y gestión sostenible de sus usos. Los reconocimientos edafológicos han aportado el conocimiento, más o menos adecuado, del recurso, utilizando sistemas distintos para transmitir la información gene-

* U.D. Edafología. Departamento de Biología Vegetal. Universitat de València.

rada por los estudios de suelos (IBÁÑEZ *et al.*, 1995) y ofreciendo un tipo de información condicionada por las necesidades socioeconómicas y medioambientales específicas de cada etapa histórica (DUMANSKI, 1993).

En general, los suelos reflejan la actuación del resto de variables que participan en la caracterización ambiental de un territorio, representando el componente fundamental de los ecosistemas terrestres, además de condicionar sus rasgos distintivos y su funcionamiento. Sin adoptar posturas deterministas, el medio edáfico es, en un ámbito climático concreto, el elemento del medio natural con mayor incidencia sobre las posibles utilidades que pueden implantarse en un territorio. Estos aspectos, unidos a las múltiples funciones que puede llegar a desarrollar un suelo (producción de biomasa, regulador del ciclo hidrológico, soporte físico de las actividades antrópicas, sistema depurador, etc.) justifican la necesidad de obtener un adecuado conocimiento del comportamiento del sistema edáfico ante cualquier uso relacionado con las actividades humanas. Por lo tanto, acceder y, sobre todo, comprender la información derivada de los reconocimientos edafológicos es una de las labores previas a la asignación de los usos de un territorio, sobre todo si consideramos que los suelos carecen de un comportamiento uniforme y constituyen, en función de una tasa de renovación muy lenta, un recurso natural no renovable a escala humana.

La información contenida en los documentos cartográficos edafológicos muestra, con mayor o menor exactitud en función de la escala utilizada, la variabilidad y la distribución de las unidades edáficas y, a grandes rasgos, el probable comportamiento del suelo ante cualquier tipo de utilización. La interpretación de la información contenida en los mapas de suelos, organizada a partir de un sistema de clasificación que establece unidades taxonómicas, se realiza, independientemente de la metodología utilizada, por medio de la evaluación de suelos. Los procedimientos de evaluación interpretan las características que confieren al medio edáfico capacidad o vulnerabilidad frente a las actuaciones antrópicas, por consiguiente valoran las potencialidades y limitaciones del suelo presentando alternativas viables de utilización del territorio.

En España, para evaluar el recurso edáfico, se han aplicado los criterios de los métodos más difundidos y aceptados internacionalmente (KLINGEBIEL y MONTGOMERY, 1961; RIQUER *et al.*, 1970; F.A.O., 1976). Estos sistemas de evaluación o la de sus variantes metodológicas que acomodan el método original a las características ambientales locales, aportan, en líneas generales, resultados inadecuados (AÑO *et al.*, 1998). Por lo tanto, hemos optado por diseñar un sistema de evaluación de suelos adaptado a la singularidad medioambiental del País Valenciano y, en general, de las tierras mediterráneas.

En síntesis, se ha confeccionado un método que evalúa, mediante el Indicador de Capacidad y de Vulnerabilidad, la potencialidad y fragilidad de los suelos cartografiados en un territorio. En función de los valores obtenidos en los dos Indicadores se asigna la Orientación de Uso Agrario que establece el tipo de actividad más adecuada en cada una de las unidades cartográficas, sintetizando toda la información generada durante el proceso evaluador (figura 1).

A continuación se desarrollan las dos primeras fases de la secuencia metodológica: gradación de parámetros intrínsecos y extrínsecos del suelo, y agrupación y valoración de los parámetros en el Indicador de Capacidad y de Vulnerabilidad. Actualmente los mapas de suelos que se están realizando en el marco del Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental se elaboran de acuerdo con los dos Indicadores (SÁNCHEZ *et al.*, 1996).

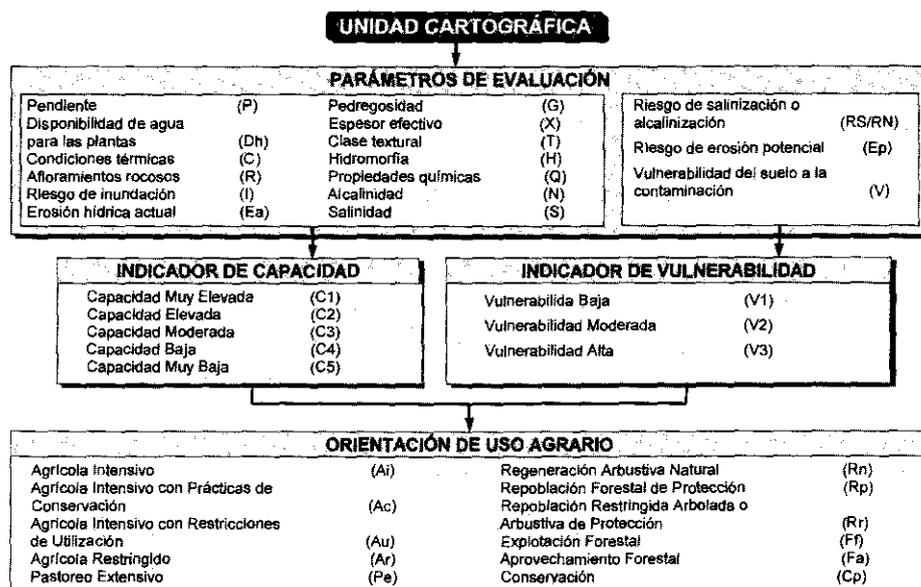


Figura 1. Síntesis metodológica: Parámetros de Evaluación. Indicador de Capacidad y de Vulnerabilidad. Orientación de Uso Agrario.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EDÁFICO: PARÁMETROS

La primera fase del proceso evaluador es la selección de las características intrínsecas y extrínsecas del medio edáfico que permitirán diagnosticar, en cada unidad cartográfica, la capacidad del suelo y su vulnerabilidad a la degradación. Estas características se plasman en una serie de parámetros, de los cuales unos (pendiente, disponibilidad de agua para las plantas, condiciones térmicas, riesgo de inundación, espesor efectivo, afloramientos rocosos, pedregosidad, hidromorfía, clase textural, propiedades químicas, salinidad, alcalinidad y erosión actual) condicionarán la mayor o menor capacidad productiva del suelo, caracterizando el **Indicador de Capacidad**. Por el contrario, otros parámetros inducidos por la actividad antrópica (riesgo de salinización o alcalinización, erosión potencial y vulnerabilidad del suelo a la contaminación) serán responsables de la pérdida o disminución del potencial edáfico, configurando el **Indicador de Vulnerabilidad**. En cada uno de los parámetros hemos establecido una gradación, asignando los intervalos en función de los rasgos más relevantes que caracterizan el medio físico mediterráneo.

En la **Pendiente (P)**, parámetro que condiciona numerosas propiedades edáficas (v.gr., profundidad efectiva del suelo o espesor del horizonte orgánico), los diferentes grados indican los efectos beneficiosos o limitantes en los procesos de mecanización y riego (Tabla 1). También consideramos aquellos casos en que las laderas están acondicionadas para el cultivo mediante la construcción de **Bancales (P')**, valorándolos en función de su longitud y de la pendiente en la cual están situados (Tabla 2).

Tabla 1. Pendiente (P). Gradación del parámetro.

P1	Llana. Mecanización y riego intensivo. Ausencia de limitaciones.	<3 %
P2	Suave. Alto potencial de mecanización. Moderada aptitud para el regadío.	3-8 %
P3	Moderada. Medio potencial de mecanización. Baja aptitud para el regadío.	8-15 %
P4	Fuerte. Bajo potencial de mecanización. Muy baja aptitud para el regadío.	15-25 %
P5	Abrupta. Muy bajo potencial de mecanización. Limitaciones muy severas.	25-45 %
P6	Muy abrupta. Marginal. Limitaciones extremadamente severas.	>45 %

Tabla 2. Presencia de bancales. Gradación del parámetro.

Bancales >50 m	P: 3-8%	P'1. Ningún impedimento a la mecanización.
Bancales 15-50 m	P: 8-15%	P'2. Utilización, con limitaciones, de maquinaria de bajo caballaje.
Bancales >15 m	P: 15-25%	P'3. Utilización, con limitaciones, de maquinaria de bajo caballaje.
Bancales <15 m	P: 15-25%	P'4-a. Mecanización no aconsejable.
Bancales >15 m	P: 25-45%	P'4-b. Mecanización no aconsejable.
Bancales <15 m	P: 25-45%	P'5-a. Mecanización no aconsejable.
Bancales <15 m	P: >45%	P'5-b. Mecanización no aconsejable.

Tabla 3. Disponibilidad de Agua para las Plantas (Dh). Gradación del parámetro.

Dh1. Alta Disponibilidad de Agua para las Plantas.

El déficit hídrico del suelo es mínimo, o bien, no se produce en momentos determinantes para el crecimiento de las plantas. En otros casos, el déficit, elevado, queda amortiguado por la presencia de recursos superficiales o subterráneos abundantes o de fácil acceso.

Dh2. Moderada Disponibilidad de Agua para las Plantas.

El balance de humedad negativo del suelo condiciona los niveles de producción de determinados cultivos. Los recursos hídricos superficiales o subterráneos son escasos o con dificultades moderadas a su utilización.

Dh3. Baja Disponibilidad de Agua para las Plantas.

Déficit hídrico muy severo que afecta al crecimiento y niveles de producción de cualquier tipo de cultivo. Los recursos hídricos superficiales o subterráneos son muy escasos, de muy difícil utilización o de acceso poco rentable económicamente.

La **Disponibilidad de Agua para las Plantas (Dh)** y las **Condiciones Térmicas (C)** son dos parámetros que condicionan el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas o naturales y, en última instancia, determinarán las posibilidades de utilización del suelo. En el primer parámetro, ante la dificultad de establecer adecuadamente la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente de todos los suelos valencianos (la capacidad de retención de agua varía de un medio edáfico a otro), hemos optado por realizar una valoración cualitativa en función del balance hídrico del suelo y de la presencia, ausencia o facilidad de acceso a recursos hídricos superficiales o subterráneos, estimado a partir de informes hidrológicos (Tabla 3). La consideración de este último elemento de evaluación refleja la pobreza de las precipitaciones y la elevada evapotranspiración potencial que provocan, sobre todo en las zonas agrarias más dinámicas, la necesidad de recurrir

al riego para cubrir los déficits hídricos. La información estadística necesaria para valorar en el País Valenciano el balance de humedad del suelo (estimado a partir de la precipitación media mensual, el valor de la reserva útil del suelo y la evapotranspiración potencial media mensual según la fórmula de Thornthwaite) proviene de la caracterización agroclimática provincial efectuada por el Ministerio de Agricultura en las tierras de Alicante (M.A.P.A., 1990a), Castellón (M.A.P.A., 1990b) y Valencia (M.A.P.A., 1990c), y del *Atlas Climático de la Comunidad Valenciana* (PÉREZ CUEVA, 1994).

Por su parte, las **Condiciones Térmicas (C)** se valoran en función de la duración de la estación vegetativa (criterio de Euvete: número de meses con una temperatura media mensual superior a 10°C), el periodo con riesgo de heladas (criterio de Emberger: número de meses con una temperatura media de las mínimas menor de 7°C), los valores de las temperaturas mínimas absolutas invernales y la frecuencia de las heladas primaverales (Tabla 4). La información estadística utilizada está recogida en las mismas fuentes indicadas en el parámetro anterior.

El **Riesgo de Inundación (I)** refleja la frecuencia aproximada de inundaciones ocasionales originadas por precipitaciones de carácter torrencial que pueden provocar un exceso de agua en el suelo. En la gradación del parámetro hemos utilizado los criterios establecidos para elaborar la *Cartografía Geocientífica* de las provincias de Castellón, Valencia y Alicante (CENDRERO *et al.*, 1986), donde se emplea un método mixto geomorfológico-histórico (Tabla 5).

Tabla 4. Condiciones Térmicas (C). Gradación del parámetro.

C1. Condiciones Térmicas Muy Adecuadas.

Periodo vegetativo continuo o largo (estación vegetativa superior a 10 meses).
Riesgo de heladas nulo o inferior a 3 meses.
Las temperaturas mínimas absolutas invernales no son inferiores a -4°C.
Heladas primaverales muy poco frecuentes.

C2. Condiciones Térmicas Moderadamente Adecuadas.

Periodo vegetativo medio (estación vegetativa entre 8 y 9 meses).
Riesgo de heladas entre 4 y 5 meses.
Las temperaturas mínimas absolutas invernales con frecuencia son inferiores a -5°C.
Heladas primaverales frecuentes.

C3. Condiciones Térmicas Poco Adecuadas.

Periodo vegetativo corto (estación vegetativa inferior a 7 meses).
Riesgo de heladas superior a 6 meses.
Las temperaturas mínimas absolutas invernales con frecuencia son inferiores a -10°C.
Heladas primaverales muy frecuentes.

Tabla 5. Riesgo de Inundación (I). Gradación del parámetro.

- I1 Riesgo bajo. Frecuencia de inundaciones en periodos de tiempo superiores a 25 años.
- I2 Riesgo medio. Frecuencia de inundaciones en periodos de tiempo de 10 a 25 años.
- I3 Riesgo alto. Frecuencia de inundaciones en periodos de tiempo inferiores a 10 años.

El **Espesor Efectivo (X)** indica la profundidad útil del suelo. Por lo tanto, la gradación del parámetro muestra la mayor o menor capacidad edáfica para proporcionar, como indica Hudson (1982), un medio adecuado para el desarrollo de las raíces, retener el agua disponible y suministrar los nutrientes existentes a la vegetación (Tabla 6).

El parámetro **Afloramientos Rocosos (R)** muestra la proporción relativa de la superficie del suelo cubierto por roca firme en forma continua o por elementos gruesos mayores de 25 centímetros de diámetro. La gradación se ha realizado en función de las dificultades que el factor puede imponer al aprovechamiento agrario, sobre todo las limitaciones al uso de maquinaria (Tabla 7). En letras minúsculas se indica la distancia en metros entre los afloramientos, según los criterios establecidos por F.A.O. (1990): a (>50 m), b (20-50 m), c (5-20 m), d (2-5 m) y e (<5 m).

En la **Pedregosidad (G)** se han considerado los elementos groseros de más de 10 centímetros, presentes por regla general en la superficie, y los elementos de dimensiones más reducidas que aparecen en la zona de desarrollo radicular. En el primer caso, los diferentes grados señalan las mayores o menores dificultades que el factor impone al laboreo de la tierra y a la utilización de maquinaria. En el segundo caso, que suele constituir un rasgo permanente de algunos suelos, hemos considerado su influencia en las propiedades físicas del medio edáfico, sobre todo la posible reducción del volumen de suelo disponible para el desarrollo radicular o la retención de nutrientes y agua (Tabla 8).

Tabla 6. Espesor Efectivo (X). Gradación del parámetro.

X1	Profundo. Ausencia de limitaciones. Alta disponibilidad para el enraizamiento.	>90cm
X2	Moderadamente profundo. Limitaciones débiles. Mediana disponibilidad para el enraizamiento.	50-90cm
X3	Somero. Limitaciones moderadas. Baja disponibilidad para el enraizamiento.	30-50cm
X4	Poco profundo. Limitaciones severas. Muy baja disponibilidad para el enraizamiento.	10-30cm
X5	Muy poco profundo. Limitaciones muy severas. Muy escasa disponibilidad para el enraizamiento.	<10cm

Tabla 7. Afloramientos Rocosos (R). Gradación del parámetro.

R1	Ausencia o muy escasos. Ausencia de limitaciones para cualquier tipo de uso.	<2%
R2	Escasos. Limitaciones ligeras. No impide el uso de maquinaria.	2-5%
R3	Frecuentes. Limitaciones moderadas. Impide el uso de maquinaria pesada.	5-15%
R4	Numerosos. Limitaciones severas. Serias dificultades para la utilización de maquinaria ligera.	15-40%
R5	Abundantes. Limitaciones graves. Imposible el uso de maquinaria.	40-80%
R6	Dominantes. Limitaciones muy graves.	>80%

Tabla 8. Pedregosidad Superficial/ Zona Radicular (G). Gradación del parámetro.

G1	Ausencia o escasa. Sin limitaciones. No dificulta el laboreo del suelo.	<5%
G2	Frecuente. Limitaciones débiles. Leves dificultades en la utilización de maquinaria.	5-15%
G3	Numerosa. Limitaciones moderadas. Moderadas dificultades en la utilización de maquinaria.	15-40%
G4	Abundante. Limitaciones severas. Graves dificultades en la utilización de maquinaria.	40-80%
G5	Dominante. Limitaciones muy severas. Pavimento pedregoso.	>80%

El parámetro **Hidromorfía (H)** analiza el tipo de drenaje, indicando la mayor o menor saturación con agua del suelo, independientemente de la frecuencia y duración de los periodos de saturación (Tabla 9). El uso de este parámetro permite diferenciar los suelos con un drenaje adecuado respecto a otros donde un drenaje deficiente, originado por una permeabilidad lenta o un nivel freático elevado, determina la saturación temporal o permanente de los poros por el agua, provocando un déficit más o menos prolongado de oxígeno. En general, aunque el grado de tolerancia varía en función de la orientación productiva, el exceso de agua en el perfil edáfico reduce la aireación del suelo, provocando fenómenos de asfixia en las plantas o demorando el crecimiento de las raíces. Además, puede dificultar el acceso de la maquinaria a los terrenos agrarios.

En la **Clase Textural (T)**, composición granulométrica de la fracción tierra fina del suelo, hemos utilizado la nomenclatura, aceptada internacionalmente en estudios edafológicos, de la clasificación textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A., 1951, en M.O.P.T., 1993). En función de las propiedades y características texturales que condicionan el comportamiento del suelo (v.gr. mayor o menor capacidad para almacenar nutrientes; grado de capacidad de retención de agua disponible para las plantas; tasa de infiltración; facilidad para el laboreo; riesgo de formación de costra superficial...) establecemos la gradación del parámetro para estimar la capacidad productiva de medios agrícolas y forestales (Tabla 10).

Tabla 9. Hidromorfía (H). Gradación del parámetro.

- H1 Suelos bien drenados. Síntomas de hidromorfismo a una profundidad superior a 50 cm desde la superficie.
- H2 Suelos moderadamente bien drenados. Síntomas de hidromorfismo a una profundidad ente 30-50 cm desde la superficie.
- H3 Suelos imperfectamente drenados. Síntomas de hidromorfismo a una profundidad inferior a 30 cm desde la superficie.

Tabla 10. Clases Texturales (T). Gradación del parámetro.

T1.Franco-Arcillosa	T2.Franco-Arcillo-Limosa	T2.Franco-Arcillo-Arenosa
T3.Arcillo-Limosa	T3.Arcillo-Arenosa	T4.Arcillosa
T5.Franco-Limosa	T6.Franca	T7.Franco-Arenosa
T8.Limosa	T9.Arenosa	

Las **Propiedades Químicas (Q)** muestran la fertilidad química del suelo. Este parámetro refleja la mayor o menor capacidad del medio edáfico para aportar nutrientes a las plantas, aspecto que no depende tanto de la cantidad de nutrientes (faceta que puede modificarse en una agricultura desarrollada) como de una serie de características, difíciles de variar, que condicionan la disponibilidad. Ésta depende del contenido en materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el pH y los porcentajes de carbonato cálcico y de caliza activa. Estas características se valoran conjuntamente (Tabla 11), adaptando los valores establecidos por Sánchez *et al.* (1984).

La gradación de los parámetros **Salinidad (S)** y **Alcalinidad (N)** se ha realizado en función de los efectos más o menos limitantes que sobre la actividad agraria tienen, respectivamente, la mayor o menor presencia de sales más solubles que el yeso o del ión sodio. En el primer parámetro, los efectos osmóticos (aumenta la presión osmótica del

suelo, dañando a los cultivos por dificultades en la absorción de agua) e ión-específico (incremento en la concentración de determinados iones que pueden resultar tóxicos para las plantas, repercutiendo en su fisiología) provocan que el suelo pueda perder totalmente su capacidad para aportar a las especies vegetales los elementos fundamentales para su desarrollo, en particular el agua. La valoración, en los primeros 30 cm superficiales del suelo, se realiza por medio de la CEE (a 25°C) del extracto de pasta saturada (Tabla 12). En el segundo parámetro, unos valores elevados de sodio intercambiable influyen negativamente en las propiedades físicas del suelo, sobre todo en la estructura, configurando un medio inadecuado para el crecimiento de las plantas. También puede favorecer la disminución de la conductividad hidráulica y el encostramiento y sellado del suelo. La estimación se realiza por medio de la Razón de Absorción de Sodio (Tabla 13).

Tabla 11. Propiedades Químicas (Q). Gradación del parámetro.

Q1. Propiedades Químicas Muy Adecuadas.				
M.O.(%)	CaCO ₃ (%)	Cal.Act.(%)	C.I.C.(meq/100gr)	pH(H ₂ O,1/2,5)
>2	10-20	<5	>20	6.1-7.8
Q2. Propiedades Químicas Adecuadas.				
M.O.(%)	CaCO ₃ (%)	Cal.Act.(%)	C.I.C.(meq/100gr)	pH(H ₂ O,1/2,5)
1-2	20-30	5-10	10-20	5.5-6.1/7.8-8.5
Q3. Propiedades Químicas Inadecuadas.				
M.O.(%)	CaCO ₃ (%)	Cal.Act.(%)	C.I.C.(meq/100gr)	pH(H ₂ O,1/2,5)
<1	30-50	10-15	<10	<5.5->8.5

Tabla 12. Salinidad (S). Gradación del parámetro.

S1	Muy baja. Ninguna limitación.	<2 dS/m
S2	Baja. Limitaciones ligeras.	2-4 dS/m
S3	Moderada. Limitaciones moderadas. Los cultivos muy sensibles son afectados.	4-8 dS/m
S4	Alta. Limitaciones severas. Saladares, desarrollo exclusivo de vegetación natural.	8-16 dS/m
S5	Muy alta. Limitaciones muy severas. Salinas.	>16 dS/m

Tabla 13. Alcalinidad (N). Gradación del parámetro.

N1	Muy baja. Ninguna limitación.	RAS <5
N2	Baja. Limitaciones muy débiles.	RAS 5-8
N3	Moderada. Limitaciones ligeras.	RAS 8-11
N4	Alta. Efectos negativos.	RAS 11-15
N5	Muy alta. Efectos muy negativos.	RAS >15

Actualmente en el ámbito mediterráneo existen suelos con unos valores de salinidad o alcalinidad bajos o moderados, pero están ubicados en zonas donde las características topográficas (áreas llanas o de declive suave) y climáticas (precipitaciones escasas, distri-

buidas irregularmente; evapotranspiración elevada) pueden provocar el aumento de los valores actuales. Además, en algunas ocasiones el sustrato geológico y la presencia de aguas subterráneas con un alto contenido en sales incrementan el riesgo (en determinadas zonas el abastecimiento agrícola se nutre de los recursos hídricos subterráneos) que, incluso, puede afectar a suelos adyacentes con valores actuales de salinidad o alcalinidad muy bajos. Estas circunstancias potencian, a corto o medio plazo, el **Riesgo de Salinización o Alcalinización (RS/RN)**, únicamente atenuado con prácticas de conservación adecuadas.

En conjunto, este proceso origina la degradación interna, física y química, del suelo que, en muchas ocasiones, es irreversible o con unos costes de recuperación muy elevados. Además, su repercusión ambiental, social y económica es muy elevada, tanto por la productividad y valor económico de las tierras afectadas, como por su ubicación que coincide con áreas de intenso desarrollo urbano e industrial, compitiendo por la utilización de los recursos hídricos disponibles, muchas veces escasos y sobreexplotados. La valoración cualitativa del riesgo se ha realizado en función de la posición topográfica, la profundidad de la capa freática, el mantenimiento de la red de riego y drenaje, las necesidades de lavado y la calidad agronómica del agua de riego (Tabla 14), atributos utilizados por Boixadera y Porta (1991) en su propuesta metodológica.

Tabla 14. Riesgo de salinización o alcalinización (RS/RN). Gradación del parámetro.

RS1-RN1. Riesgo de Salinización o Alcalinización Bajo

Presencia de una capa freática salina (>150 cm) que no afecta a los suelos durante todo el año. Mantenimiento muy adecuado de la red de riego y drenaje. Óptima nivelación del terreno a regar. Las necesidades de lavado, satisfechas por el riego, son pequeñas evitando la acumulación de sales. Ausencia de riesgo de toxicidad por Na, Cl o B.

RS2-RN2. Riesgo de Salinización o Alcalinización Moderado

Presencia de una capa freática salina entre 100 y 150 cm. Mantenimiento adecuado de la red de riego y drenaje. Adecuada nivelación del terreno a regar. Las necesidades de lavado, elevadas, no son cubiertas totalmente por el riego. Es previsible un incremento de la salinidad. RAS del suelo entre 10 y 15. Riesgo ligero de toxicidad por Na, Cl o B.

RS3-RN3. Riesgo de Salinización o Alcalinización Alto

Presencia de una capa freática salina a menos de 100 cm. Mantenimiento inadecuado de la red de riego y drenaje. Deficiente nivelación del terreno a regar. Necesidades de lavado muy elevadas que son imposibles de cubrir por el riego normal. Es previsible un incremento elevado de la salinidad. RAS del suelo >15. Riesgo medio o alto de toxicidad por Na, Cl o B.

La erosión participa en los dos Indicadores. El grado de **Erosión Actual (Ea)** es un componente clave en el Indicador de Capacidad y expresa la pérdida aproximada de suelo en función de las condiciones ambientales actuales. Por su parte, el **Riesgo de Erosión Potencial (Ep)** forma parte del Indicador de Vulnerabilidad y expresa la pérdida probable de suelo si cambian algunas de las condiciones que influyen en el proceso, considerando la erosionabilidad potencial del suelo, la desaparición de la cobertura vegetal existente y el abandono de las prácticas de conservación. La valoración (Tabla 15) se rea-

liza cuantitativamente aplicando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (WISCHMEIER y SMITH, 1978) modificada para el ámbito mediterráneo por Rubio *et al.* (1984). El análisis de los factores (suelo, pendiente, torrencialidad, cobertura vegetal y prácticas de conservación) que configuran el modelo utilizado (U.S.L.E.) permite plasmar cuantitativamente el grado y riesgo en cada unidad cartográfica, mostrando los sectores donde la erosión es un factor limitante a la implantación de determinadas actividades antrópicas. También se refleja una valoración cualitativa, analizando la morfología provocada por los procesos erosivos e indicando, para cada tipo, el porcentaje de ocupación superficial: ausencia (0%), ocasional (<10%), frecuente (10-30%), muy frecuente (30-50%), abundante (50-80%) y dominante (>80%).

Por último, la **Vulnerabilidad del Suelo a la Contaminación (V)** indica el riesgo de degradación edáfica originado por la contaminación de origen antrópico, directa o indirecta, con productos fitosanitarios, fertilizantes y metales pesados. El suelo es el destino final de los residuos o desechos industriales, urbanos, agrícolas o ganaderos y, por lo tanto, receptor de sustancias contaminantes que, a partir de unos determinados niveles, distorsionan la función del suelo como sistema depurador natural capaz de asimilar, inactivar o inmovilizar contaminantes (MACÍAS, 1993). La gradación del parámetro se realiza de acuerdo a los planteamientos establecidos por Schmidt (1991), modificados para el ámbito mediterráneo por Sánchez y Año (1993). La valoración se establece en función de la capacidad de absorción del horizonte A (reflejado en el contenido en arcilla, el contenido en materia orgánica y la clase textural); el potencial de lixiviación (analizado a partir de la capacidad de retención de agua) y la mayor o menor movilidad de las sustancias químicas por escorrentía superficial, estimado por medio de la pendiente (Tabla 16).

Tabla 15. Grado de Erosión Actual (Ea). Riesgo de Erosión Potencial (Ep). Gradación.

Ea1-Ep1	Bajo	<5 Tm/ha/año
Ea2-Ep2	Ligero	5-10 Tm/ha/año
Ea3-Ep3	Moderado	10-25 Tm/ha/año
Ea4-Ep4	Acusado	25-50 Tm/ha/año
Ea5-Ep5	Alto	50-100 Tm/ha/año
Ea6-Ep6	Muy alto	>100 Tm/ha/año
E7	—	Fase lítica

Tabla 16. Vulnerabilidad del suelo a la contaminación (V). Gradación del parámetro.

V1. Vulnerabilidad a la Contaminación Baja				
Arcilla(%)	M.O.(%)	Textura	Cap.Ret.(mm)	P (%)
>18	>4	T3/T4	>200	<3
V2. Vulnerabilidad a la Contaminación Moderada				
Arcilla(%)	M.O.(%)	Textura	Cap.Ret.(mm)	P (%)
8-18	1.5-4	T5/T7	100-200	3-7
V3. Vulnerabilidad a la Contaminación Alta				
Arcilla(%)	M.O.(%)	Textura	Cap.Ret.(mm)	P (%)
<8	<1.5	T8/T9	<100	>7

INDICADOR DE CAPACIDAD E INDICADOR DE VULNERABILIDAD

Estos parámetros se agrupan en dos Indicadores que señalarán el nivel de capacidad y el tipo e intensidad de las limitaciones, actuales y/o potenciales, que pueden restringir el uso del suelo. Además, el análisis de las propiedades desfavorables permite plantear el tipo de mejoras necesarias, la mayor o menor dificultad para su eliminación y la necesidad de implantar prácticas eficaces de conservación del recurso edáfico. El comportamiento del suelo y de los atributos del entorno físico considerados se plasman en el grado asignado individualmente a los distintos parámetros. En función del grado establecido en cada uno de los factores de evaluación establecemos el Indicador de Capacidad y de Vulnerabilidad.

El **Indicador de Capacidad** muestra la vocación intrínseca del medio edáfico que permitirá o limitará el uso agrario y, por lo tanto, debería determinar el tipo de actuación antrópica a desarrollar en cada unidad de evaluación. De esta manera condicionará, en combinación con el Indicador de Vulnerabilidad, el tipo de propuesta final de utilización del suelo. En función de los valores establecidos en cada uno de los factores considerados, diferenciamos, a partir del grado máximo que pueden alcanzar los parámetros, entre Capacidad Muy Elevada, Elevada, Moderada, Baja y Muy Baja:

Capacidad Muy Elevada -C1-. Los parámetros nunca superan el grado 1, a excepción de la clase textural, las propiedades químicas, la pedregosidad y el riesgo de inundación que pueden alcanzar el grado 2.

Capacidad Elevada -C2-. Los parámetros nunca superan el grado 2, a excepción de la clase textural, la pedregosidad y el riesgo de inundación que pueden alcanzar el grado 3.

Capacidad Moderada -C3-. Los parámetros no superan el grado 3, excepto la pedregosidad y la clase textural que pueden alcanzar, respectivamente, el grado 4 y el 7.

Capacidad Baja -C4-. El grado de los parámetros que determinan el Indicador (pendiente, espesor efectivo, afloramientos rocosos, pedregosidad, erosión actual, salinidad, alcalinidad y clase textural arenosa) oscilan entre 3 y 4, excepto la granulometría y la pendiente que pueden alcanzar, respectivamente, el grado 9 y 5. El valor establecido en el resto de parámetros no condicionan el carácter del Indicador.

Capacidad Muy Baja -C5-. Los parámetros que determinan el Indicador (pendiente, espesor, afloramientos rocosos, pedregosidad, erosión actual, salinidad, alcalinidad y clase textural arenosa) alcanzan o superan, en un número superior a dos, el grado 5. Los valores establecidos en el resto de parámetros no intervienen en la caracterización del Indicador.

El **Indicador de Vulnerabilidad** muestra las limitaciones potenciales, provocadas por una gestión inadecuada o la ausencia de medidas efectivas de control, que pueden modificar las propiedades edáficas y/o disminuir o deteriorar las funciones ecológicas o agroeconómicas (protección frente a procesos exógenos, producción de biomasa, etc.) que un determinado tipo de suelo es capaz de desarrollar, restringiendo las posibilidades de utilización del medio edáfico. Este Indicador aporta una información, inédita en los proce-

dimientos de evaluación desarrollados hasta el momento en España, que facilita el posterior análisis de las repercusiones de la actividad agraria sobre el sistema edáfico y, en general, el medio ambiente. En función de los valores establecidos en los parámetros riesgo de salinización o alcalinización, riesgo de erosión potencial y vulnerabilidad del suelo a la contaminación, diferenciamos entre Vulnerabilidad Baja, Moderada y Alta, que determinarán distintos niveles de protección del suelo:

Vulnerabilidad Baja -V1-. El riesgo de salinización o alcalinización (RS1-RN1), la vulnerabilidad de los suelos a la contaminación (V1) y/o el riesgo de erosión potencial (Ep1/2) es bajo.

Vulnerabilidad Moderada -V2-. El riesgo de salinización o alcalinización (RS2-RN2), la vulnerabilidad de los suelos a la contaminación (V2) y/o el riesgo de erosión potencial (Ep3/4) es moderado.

Vulnerabilidad Alta -V3-. El riesgo de salinización o alcalinización (RS3-RN3), la vulnerabilidad de los suelos a la contaminación (V3) y/o el riesgo de erosión potencial (Ep5/6) es alto.

La ausencia de factores limitantes en los dos Indicadores amplía las posibilidades de utilización del suelo. Por el contrario, la presencia de limitaciones y, sobre todo, cuando éstas superan un nivel a partir del cual provocan la degradación actual o potencial del suelo, los posibles usos de la tierra se reducen. En función del Indicador de Capacidad y de Vulnerabilidad se asigna la Orientación de Uso Agrario, objetivo final de la evaluación (Tabla 17). La valoración y análisis de las distintas Orientaciones puede consultarse en Año (1996).

Tabla 17. Relación Indicador de Capacidad-Indicador de Vulnerabilidad con las Orientaciones de Uso Agrario.

CAPACIDAD	VULNERABILIDAD	ORIENTACION DE USO AGRARIO
Muy Elevada	Baja	Agrícola Intensivo (Ai)
Muy Elevada	Moderada/Alta	Agrícola Intensivo con Prácticas de Conservación (Ac)
Elevada	Baja/Moderada/Alta	Agrícola Intensivo con Restricciones de Utilización (Au)
Moderada	Baja/Moderada/Alta	Agrícola Restringido (Ar)
Moderada	Baja	Pastoreo Extensivo (Pe)
Muy Baja	Moderada/Alta	Regeneración Arbustiva Natural (Rn)
Baja	Alta	Repoblación Forestal de Protección (Rp)
Muy Baja	Alta	Repoblación Restringida Arbolada o Arbustiva de Protección (Rr)
Moderada	Baja	Explotación Forestal (Ff)
Baja	Moderada/Alta	Aprovechamiento Forestal (Fa)
Moderada/Baja/ Muy baja	Alta	Conservación (Cp)

CONCLUSIONES

En la secuencia metodológica que hemos establecido, un paso previo es la subdivisión del territorio en unidades cartográficas, elemento básico que articula la evaluación de suelos. La creación de porciones homogéneas que sintetizan las características edáficas y las de su entorno medioambiental, pueden constituir piezas claves en la planificación territorial si incorporan un tipo de información que permita interpretar los datos generados por los reconocimientos edafológicos y predecir el comportamiento diferenciado de los suelos, teniendo en cuenta que en los mapas edafológicos el sistema edáfico está descrito, por regla general, en términos exclusivamente científicos y, en función de la terminología empleada, no aportan ninguna indicación sobre las posibilidades de utilización del recurso. Por este motivo, hemos optado por interpretar la información aportada por los mapas de suelos. Así, en función del grado establecido en los parámetros de evaluación (propiedades del suelo y del entorno físico que condicionan el potencial de utilización del edafosistema) diferenciamos el Indicador de Capacidad (Muy Elevado, Elevado, Moderado, Bajo y Muy Bajo) y de Vulnerabilidad (Bajo, Moderado y Alto), piedra angular del sistema de evaluación. Por último, combinando los dos Indicadores asignamos la Orientación de Uso Agrario más adecuada, clasificando el espacio rural en unidades con un funcionamiento uniformes. Por lo tanto, pueden constituir unidades utilizables en la planificación territorial.

Las metodologías de evaluación de suelos suelen ofrecer una recomendación de uso mediatizada por un modelo específico de desarrollo económico. En nuestro caso hemos diseñado un sistema que refleja los principios más importantes derivados de una concepción medioambientalmente sostenible del desarrollo. A partir de estos supuestos proponemos que las unidades cartográficas con un Indicador de Capacidad Muy Elevado, Elevado o Moderado mantengan un sistema agrícola o forestal de utilización de la tierra, condicionado por el Indicador de Vulnerabilidad (Bajo, Moderado o Alto) que determinará la intensidad de su uso. Por el contrario, en las unidades con un Indicador de Capacidad Bajo o Muy Bajo asignamos un tipo de Orientación que mantenga y conserve el recurso edáfico, restringiendo las posibilidades de utilización en función del valor establecido en el Indicador de Vulnerabilidad.

Esta secuencia metodológica se ha aplicado íntegramente (AÑÓ, 1996) a partir de los mapas de suelos de Chelva (RUBIO *et al.*, 1995a), Villar del Arzobispo (RUBIO *et al.*, 1995b) y Sagunto (RUBIO *et al.*, 1995c), incorporando en la leyenda cartográfica (instrumento clave en la organización de las unidades) la valoración de las unidades taxonómicas, indicando su Capacidad y Vulnerabilidad y la respectiva Orientación de Uso Agrario. De este modo se genera una cartografía de suelos que aporta información útil para la evaluación del territorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AÑÓ, C. (1996): *Metodología de Evaluación de Suelos para el ámbito mediterráneo*. Tesis Doctoral. Facultad de Geografía e Historia. Universitat de València. 200 pp.
- AÑÓ, C., SÁNCHEZ, J. y ANTOLÍN, C. (1998): Land evaluation methodology for Mediterranean environments. En J.L. Usó, C.A. Brebbia y H. Power (eds), *Ecosystems and Sustainable Development. Advances in Ecological Sciences*, 1. Bath. Computational Mechanics Publications. pp. 489-498.
- BOIXADERA, J. y PORTA, J. (1991): *Información de suelos y evaluación catastral. Método del Valor Índice*. Madrid. Ministerio de Economía y Hacienda. 151 pp.

- CENDRERO, A., NIETO, M., ROBLES, F. y SÁNCHEZ, J. (1986): *Mapa Geocientífico de la provincia de Valencia. Memoria*. Valencia. Diputación Provincial de Valencia. 71 pp.
- DUMANSKI, J. (1993): Strategies and opportunities for soil survey information and research. *I.T.C. Journal 1*, pp. 36-41
- F.A.O. (1976): *Esquema para la evaluación de tierras*. Roma. Boletín de Suelos nº 32. F.A.O. 66 pp.
- F.A.O. (1990): *Guidelines for soil profile description*. Roma. F.A.O. 70 pp.
- HUDSON, N. (1982): *Conservación del suelo*. Barcelona. Reverté. 335 pp.
- IBÁÑEZ, J.J., GARCÍA-ÁLVAREZ, A. y BOIXADERA, J. (1995): Current paradoxes in soil survey. *Meeting of the soils information focal point's working group on soil information system development*, 23 pp.
- KLINGEBIEL, A.A. y MONTGOMERY, P.H. (1961): *Land capability classification*. Washington D.C. Agricultural Handbook 210. Soil Conservation Service. U.S.D.A. 21 pp.
- MACÍAS, F. (1993): Contaminación de suelos: algunos hechos y perspectivas. *V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, pp. 53-74
- M.A.P.A. (1990a): *Caracterización agroclimática de la provincia de Alicante*. Madrid. D.G. de Producción Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 167 pp.
- M.A.P.A. (1990b): *Caracterización agroclimática de la provincia de Castellón*. Madrid. D.G. de Producción Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 161 pp.
- M.A.P.A. (1990c): *Caracterización agroclimática de la provincia de Valencia*. Madrid. D.G. de Producción Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 191 pp.
- M.O.P.T. (1993): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. Madrid. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 809 pp.
- PÉREZ CUEVA, A.J. (1994): *Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)*. València. Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Generalitat Valenciana. 205 pp.
- RIQUIER, J.; BRAMAO, L. y CORNET, S.P. (1970): *A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity*. Roma. FAO Soil Resources, Development and Conservation Service, Land and Water Development Division. F.A.O. 38 pp.
- RUBIO, J.L., SÁNCHEZ, J., SANROQUE, P. y MOLINA, M^a J. (1984): Metodología de evaluación de la erosión hídrica en suelos del área mediterránea. *I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, pp. 827-836
- RUBIO, J.L., SÁNCHEZ, J. y FORTEZA, J. (1995a): *Proyecto LUCDEME. Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana. Chelva (666)*. València. Conselleria d'Agricultura. Generalitat Valenciana. 133 pp.
- RUBIO, J.L., SÁNCHEZ, J. y FORTEZA, J. (1995b): *Proyecto LUCDEME. Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana. Villar del Arzobispo (667)*. València. Conselleria d'Agricultura, Pesca y Alimentació. Generalitat Valenciana. 144 pp.
- RUBIO, J.L., SÁNCHEZ, J. y FORTEZA, J. (1995c): *Proyecto LUCDEME. Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana. Sagunto (668)*. València. Conselleria d'Agricultura, Pesca y Alimentació. Generalitat Valenciana. 131 pp.
- SÁNCHEZ, J., RUBIO, J.L., MARTÍNEZ, V. y ANTOLÍN, C. (1984): Metodología de Capacidad de Uso de los suelos para la cuenca mediterránea. *I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, pp. 937-948
- SÁNCHEZ, J. y AÑO, C. (1993): Metodología de Capacidad de Uso para la planificación de usos del suelo en el ámbito mediterráneo. *XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, pp. 1391-1398
- SÁNCHEZ, J.; COLOMER, J.C. y NIEVES, M. (1996): *Norma técnica para la elaboración del P.N.C.T.A. Cartografía de suelos escala 1:50.000*. Inédito. 26 pp.
- SCHMIDT, R. (1991): Soil vulnerability assessment and chemical soil degradation in eastern Germany. En N. BATJES y E. BRIDGES (eds.), *Proceedings of the International Workshop on Mapping of Soil and Terrain Vulnerability to Specified Chemical Compounds in Europe at a scale of 1:5M*. Wageningen. International Soil Reference and Information Centre. pp. 77-81
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. (1978): *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Washington, D.C. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. 58 pp.