

## EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL. EJEMPLOS EN LAS REGIONES MEDITERRÁNEA Y TROPICAL HÚMEDA

L. RECATALÁ BOIX<sup>1</sup>, N. M. COSTA MAFRA<sup>1,2</sup>, J. SÁNCHEZ DIAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Planificación Territorial, CIDE-Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CSIC, Universitat de València, Generalitat Valenciana), C/ Camí de la Marjal, S/N; 46470-Albal (Valencia). España.

<sup>2</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Instituto Geociencias. Laboratório de Geografia Física e Solos (LAGEFIS). Grupo de Investigação Solos-Paisagem (GISP) R. S. Francisco Xavier, 524, s/4001-D. Rio de Janeiro, 20559-900. Brasil.

**Abstract.** This paper presents a weighting-rating method to evaluate qualitatively both present and potential soil erosion for land use planning in the Mediterranean and Tropical Rainy Regions. It has been applied in two case studies: Sagunto area (Spain) and Bom Jesus do Itabapoana (Brazil), both on a scale of 1:25.000. For Sagunto, mapping units with high or very high present soil erosion represent 12.3% of the total area, and with high or very high potential soil erosion represent 28.8% of total area. For Bom Jesus do Itabapoana, units with high present soil erosion represent 4.6% of total area, while with very high, 0.5%; and with high potential soil erosion represent 47.9% of the total area, while with very high, represent 7.2%. The evaluation and classification of present and potential soil erosion in the study areas have provided a basis for addressing soil conservation by defining guidelines for land use allocation.

**Key Words:** Erosion risk, cartography, soil conservation, Mediterranean region, Tropical region

**Resumen.** Se presenta un método de valoración-ponderación de evaluación de la erosión hídrica, tanto actual como potencial, para ejercicios de planificación territorial en las regiones Mediterránea y Tropical Húmeda. Se ha aplicado en Sagunto (España) y Bom Jesus do Itabapoana (Brasil), ambos a escala 1:25.000. En Sagunto, las unidades cartográficas que presentan alta o muy alta erosión actual representan el 12.3% del total del área, y las de alta o muy alta erosión potencial el 28.8%. En Bom Jesus do Itabapoana, las unidades cartográficas que presentan alta erosión actual representan el 4.6% del total del área, las de muy alta el 0.5%, y para la erosión potencial las de alta un 47.9% y las de muy alta un 7.2%. La evaluación y clasificación de la erosión actual y potencial en las áreas de estudio proporcionan una base para proponer estrategias de conservación del suelo y directrices para orientación de uso.

**Palabras Clave:** Riesgo de erosión, cartografía, conservación de suelos, Región Mediterránea, Región Tropical Húmeda

### INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Lal (1986; 1990), la erosión hídrica del suelo está presente en todas las regiones dondequiera que la tierra es utilizada más allá de su capacidad de uso, y donde el ma-

nejo del suelo es ecológicamente incompatible con las condiciones regionales.

La erosión hídrica es un problema ambiental crítico en la Región Mediterránea Valenciana. Aunque la relevancia del proceso se debe a las particulares características ambien-

tales de esta región (principalmente en lo que se refiere a clima y relieve), es fuertemente acelerado por las actividades humanas como deforestación, transformaciones para agricultura intensiva, abandono de tierras, pastoreo, incendios forestales, etc. (Rubio, 1991; Rubio *et al.*, 1984; Sanroque *et al.*, 1983; Sanroque, 1987; Recatalá y Sánchez, 1998).

En el caso del ámbito tropical, además de las condiciones climáticas y del medio físico, la erosión del suelo cuenta también con otros dos factores importantes: la presión demográfica ejercida sobre el medio, y las condiciones del manejo de las tierras (Cogo, 1988), las cuales no siempre son adecuadas a la capacidad de uso de las mismas. En muchas zonas, principalmente aquéllas sometidas a monocultivos comerciales para exportación (caña de azúcar y café, por ejemplo), se observan señales de degradación avanzada (surcos y barrancos) en las tierras, incluso en pendientes sobre el 3% (Mafra, 1997).

Así pues, en ambas regiones, resulta relevante incorporar el estudio y evaluación de la erosión hídrica en el ejercicio de la planificación territorial, para tratar de evitar, en la medida de lo posible, la asignación de determinadas actividades en áreas susceptibles a la pérdida de suelo por este proceso. La evaluación tanto de las áreas con mayores niveles de pérdida (erosión actual) como de las más vulnerables (erosión potencial), por posibles cambios en los factores que controlan el proceso (p. ej. destrucción de la cobertura vegetal), debe constituir la base para la propuesta de una asignación de usos que garantice el control de la erosión hídrica del suelo (Claver Farias *et al.*, 1982; Recatalá, 1995; Mafra, 1997).

En general, los métodos de evaluación de la erosión del suelo se refieren básicamente a:

- La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, Wischmeir y Smith, 1962; 1965).

- Investigaciones a escala de campo en

parcelas de erosión (Barnett y Rogers, 1966; Albaladejo y Stocking, 1989);

- Procedimientos de valoración-ponderación, inicialmente desarrollados en el ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, Holanda) (Van Zuidam y Van Zuidam, 1979).

Todas estas aproximaciones han sido aplicadas en el estudio de la erosión del suelo en la Región Mediterránea Valenciana. Por ejemplo, Rubio *et al.* (1984) ajustó la ecuación de la USLE considerando las características ambientales de esta región para explicar tanto los procesos de erosión del suelo tanto de forma cualitativa como cuantitativa. Andreu *et al.* (1991) han llevado a cabo investigaciones a escala de campo en parcelas de erosión para cuantificar la pérdida de suelo. Sánchez *et al.* (1987) modificaron el método del ITC y establecieron dos métodos para evaluar cualitativamente la erosión.

Similarmente, la USLE (p. ej. De Ploey y Gabriels, 1980; Coelho Neto *et al.*, 1988; Guerra y Oliveira, 1995) ha sido también aplicada en la Región Tropical Húmeda.

Los enfoques basados en parcelas experimentales se han utilizado fundamentalmente para modelizar el proceso erosivo más que para incorporar los resultados de la investigación en la práctica de la planificación territorial. Esto se debe básicamente a la complejidad y dificultad que supone la integración de esta aproximación en los esquemas propios de la planificación. Contrariamente, tanto la USLE (p. ej. Sánchez *et al.*, 1995) como los métodos ponderados (p. ej. Recatalá, 1995; Mafra, 1997) se han utilizado en varios ejercicios de planificación. En cualquier caso, el análisis de estos enfoques lleva a la conclusión de que los métodos ponderados parecen ser más factibles para incorporar el estudio de la erosión del suelo en la planificación. Además existen dificultades en la aplicación de la USLE para cuantificar la erosión del suelo tanto en la Región Mediterránea Valenciana (Recatalá, 1995; Re-

catalá y Sánchez, 1998) como en la Tropical Húmeda (Mafra, 1997, 1999).

Este artículo presenta un método ponderado para la evaluación cualitativa de la erosión hídrica del suelo, tanto actual como potencial, para planificación en los ámbitos Mediterráneo Valenciano y Tropical Húmedo. Concretamente, el método se aplica en dos casos de estudio: en Sagunto (España) y Bom Jesus do Itabapoana (Brasil), ambos a escala 1:25.000, como base para realizar propuestas de asignación de usos adecuadas para la conservación del suelo.

## METODOLOGÍA

El procedimiento metodológico se desarrolla partiendo de los métodos de Sánchez *et al.* (1986; 1987), de Recatalá (1995) y de Recatalá y Sánchez (1997; 1998), cuyo precursor es el método del ITC (Van Zuidam y Van Zuidam, 1979). Con respecto al método de partida y a los tomados como base, en esta propuesta metodológica se realizan una serie de modificaciones consistentes en la adición de nuevos factores, adición de otros elementos en ciertos factores, consideración de algunos factores bajo otras perspectivas, ajuste de los valores asignados a algunos elementos, ajuste de la importancia dada a determinados factores, y todo con la finalidad de obtener un esquema metodológico con mayor aplicabilidad para ambos ámbitos.

La metodología considera los siguientes factores: torrencialidad, suelo, litología, vegetación y usos, topografía, morfología erosiva y prácticas de conservación del suelo. Los parámetros para valorar cualitativamente estos factores son respectivamente: erosividad de la lluvia (para la región Mediterránea Valenciana), índices de precipitación (para la región Tropical Húmeda), erosionabilidad del suelo y de la litología, pendiente, tipos de vegetación y usos, tipo de morfología erosiva y tipo de prácticas de conservación (en ambos casos).

Se establecen varias clases para cada parámetro considerando las particulares condiciones ambientales de cada región. Estas clases permiten la clasificación de unidades cartográficas de acuerdo con las características que éstas manifiestan en cuanto a los parámetros considerados. A continuación, se describen los factores considerados y las diferentes clases o categorías definidas para cada parámetro.

### Factores y parámetros

#### *Región Mediterránea Valenciana*

*Torrencialidad:* Antolín y Cuevas (1990) realizan un estudio de este factor en la Región Mediterránea Valenciana, utilizando la ecuación de regresión propuesta por ICONA (1981). Estos autores aplican dicha ecuación a los datos de 198 estaciones termopluviométricas, plasmando los resultados en un mapa de isolíneas a escala 1:400.000, con equidistancia de 20 unidades. Los valores mínimo y máximo de torrencialidad obtenidos en este estudio se toman como base para establecer las distintas clases o categorías de este factor, siendo las siguientes: (1) 80-140 J.m<sup>-2</sup>.cm.mm.h<sup>-1</sup>; (2) 140-220 J.m<sup>-2</sup>.cm.mm.h<sup>-1</sup>; (3) 220-280 J.m<sup>-2</sup>.cm.mm.h<sup>-1</sup>; (4) 280-380 J.m<sup>-2</sup>.cm.mm.h<sup>-1</sup>.

*Erosionabilidad del suelo:* En el ámbito mediterráneo valenciano, Sanroque *et al.* (1990) realizan un estudio sobre la erosionabilidad del suelo (factor K) a partir de 302 puntos de muestreo distribuidos en cuatro comarcas septentrionales de la provincia de Valencia (Camp de Morvedre, Camp de Túria, Los Serranos y Rincón de Ademuz). Esta zona de estudio constituye un transecto que incluye desde la franja litoral a las comarcas más interiores y recoge situaciones muy diversas respecto a la erosión, suelo, uso, topografía y litología; siendo por tanto representativo del ámbito mediterráneo valenciano. En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se establecen las clases o categorías que permiten clasificar los distintos tipos de suelos del ámbito mediterráneo valenciano atendiendo a su erosionabilidad, y

que son las siguientes:

(1) Suelos de muy baja erosionabilidad: Aquéllos que presentan valores muy bajos de K ( $K < 0.15$ ). En general, pertenecen a esta categoría suelos como: Kastanozem háplico, Kastanozem cálcico, Kastanozem lúvico, Chernozems, Phaeozems, Rendzinas, Arenosoles (FAO, 1974).

(2) Suelos de baja erosionabilidad: Aquéllos que presentan valores de K bajos ( $0.15 < K < 0.25$ ). En general, a esta categoría pertenecen suelos como: Luvisol órtico, Luvisol al-bico, Luvisol crómico, Acrisoles (FAO, 1974).

(3) Suelos de moderada erosionabilidad: Aquéllos que presentan valores de K medios ( $0.25 < K < 0.35$ ). En general, en esta categoría se encuentran suelos como: Luvisol cálcico, Fluvisol calcáreo, Fluvisol eútrico, Cambisol gleico, Gleysoles, Solonchacks (FAO, 1974).

(4) Suelos de alta erosionabilidad: Aquéllos que presentan valores de K altos ( $0.35 < K < 0.45$ ). En general, se encuentran en esta categoría suelos como: Regosol eútrico, Xerosoles (FAO, 1974).

(5) Suelos de muy alta erosionabilidad: Aquéllos que presentan valores de K muy altos ( $K > 0.45$ ). En general, en esta categoría se sitúan suelos como: Regosol calcáreo, Regosol dístico (FAO, 1974).

*Erosionabilidad de la litología:* En el ámbito mediterráneo valenciano, existe una gran influencia de los materiales geológicos en el desarrollo del perfil de los suelos. De hecho, la composición mineralógica del material originario, las propiedades físicas, las químico-físicas y las cristalógicas condicionan en gran parte las propiedades que definen la erosionabilidad de los suelos. Por todas las razones, resulta interesante la consideración de este factor. El establecimiento de las diferentes categorías de clasificación para este factor, se realiza considerando fundamentalmente la capacidad de infiltración (permeabilidad) y el grado de consolidación de los distintos materiales litológicos que aparecen en el ámbito mediterráneo

valenciano, ya que estas características condicionan en gran medida su erosionabilidad. Las categorías establecidas son las siguientes:

(1) Materiales litológicos de muy baja erosionabilidad: Se sitúan en esta clase materiales como calizas, dolomías, calizas y dolomías, etc.

(2) Materiales litológicos de baja erosionabilidad: En esta categoría se encuentran materiales como calcarenitas, cuarcitas, etc.

(3) Materiales litológicos de moderada erosionabilidad: Se sitúan en esta categoría materiales como conglomerados, margo-calizas, etc.

(4) Materiales litológicos de alta erosionabilidad: En esta categoría se encuentran materiales como arcillas, limos, margas cretácicas, etc.

(5) Materiales litológicos de muy alta erosionabilidad: En esta categoría se sitúan materiales como margas del Keuper, margas yesíferas, arcillas del Keuper, etc.

Esta clasificación se ha basado en las clasificaciones realizadas por Sánchez *et al.* (1986) y Sánchez *et al.* (1987).

*Tipo de vegetación y usos:* La definición de las categorías para este factor se realiza generalmente atendiendo a la distinta capacidad que tienen los diferentes tipos de vegetación para proteger el suelo frente al proceso erosivo (Recatalá, 1995):

(1) Incluye los siguientes tipos de vegetación y usos: (a) Bosque, (b) Matorral denso con arbolado, (c) Vegetación de marjales, (d) Vegetación de dunas, (e) Vegetación de saladares.

(2) Matorral denso.

(3) Incluye (a) Bosque aclarado y (b) Matorral claro con arbolado.

(4) Incluye (a) Matorral claro, (b) Pastizal con arbolado, (c) Secano arbolado.

(5) Incluye (a) Pastizal, (b) Secano no arbolado, (c) Vegetación muy escasa o sin ella.

*Pendiente:* Atendiendo a la topografía característica de esta región (Cendrero *et al.*,

1990), las distintas categorías establecidas son: (1) < 5%; (2) 5 - 15%; (3) 15 - 25%; (4) 25 - 45%; (5) > 45%.

*Tipo de morfología erosiva:* Sánchez *et al.* (1987) señalan que en la descripción de la morfología erosiva en varias comarcas de la Comunidad Valenciana, se observa la gran correspondencia existente entre grados de erosión elevados y morfologías erosivas acusadas. Considerando este aspecto se distinguen una serie de clases o categorías para este factor, con diferente valor cada una de ellas en la caracterización de la erosión. Las categorías establecidas son las siguientes:

(1) Erosión laminar y/o erosión en pedestal.

(2) Erosión en surcos.

(3) Erosión en cárcavas.

(4) (a) Desplazamientos en masa puntuales; (b) Erosión en túnel de manera puntual.

(5) (a) Desplazamientos en masa no puntuales, es decir, que afectan mayoritariamente a una unidad cartográfica; (b) Erosión en túnel no puntual, es decir, que afecta mayoritariamente a una unidad cartográfica; (c) Erosión en barrancos.

*Tipo de prácticas de conservación:* las clases consideradas son las siguientes:

(1) (a) Terrazas ó bancales. Se refiere a la existencia de terrazas ó bancales funcionales en una unidad; (b) No aplicable el concepto de prácticas de conservación.

(2) Cultivo y laboreo a nivel.

(3) (a) Sin prácticas de conservación; (b) Cultivo y laboreo en el sentido de máxima pendiente; (c) Terrazas ó bancales abandonados en proceso de destrucción.

Se ha introducido la categoría no aplicable, ya que existen casos en los que la consideración del factor prácticas de conservación no tiene sentido, por tratarse de unidades no agrícolas o de unidades agrícolas que no precisan tales prácticas, por desarrollarse en pendientes (p. ej. inferiores al 5%) en las que la erosión hídrica tiene muy poco efecto (Sánchez *et al.*,

1986; 1987).

### **Región Tropical Húmeda**

*Torrencialidad:* Se ha propuesto para este parámetro, una evaluación cualitativa, basada en dos factores: la precipitación media anual y el tipo de clima correspondiente (clasificación climática), los cuales analizados conjuntamente pueden reflejar las condiciones hidrológicas generales a que están sometidas las zonas tropicales húmedas, tomándose como referencia los datos climatológicos de la región Sudeste de Brasil y de la propia Región Norte del estado de Río de Janeiro (Nimer, 1979), los cuales suelen ser extrapolables para otras zonas que presenten condiciones ambientales semejantes en este ámbito. Se consideraron 5 clases:

(1) Precipitación entre 800-1200 mm, correspondiente al Clima Tropical Húmedo con hasta 3 meses secos.

(2) 1200-1600 mm, correspondiente al Clima Tropical Húmedo con hasta 2 meses secos.

(3) 1600-2000 mm, correspondiente al Clima Tropical Húmedo con hasta 1 mes seco.

(4) 2000-2600 mm, correspondiente al Clima Tropical Húmedo e Hiperhúmedo.

(5) Precipitación superior a 2600 mm, correspondiente al Clima Tropical Superhúmedo.

*Erosionabilidad del Suelo:* La jerarquía propuesta para las 5 clases de suelos está basada en las características y propiedades de cada uno de ellos relevantes para su erosionabilidad (Mafra, 1997). Son las siguientes:

(1) Suelos de muy baja erosionabilidad, entre los que se incluyen los Oxisoles (Soil Survey Staff, 1996), que corresponden a los Latosolos Amarelos y Vermelho Amarelos Distróficos típicos, Distróficos húmicos y Distróficos argissólicos (EMBRAPA, 1999).

(2) Suelos de moderada erosionabilidad, entre los que se incluyen gran parte de los Ultisoles y Alfisoles (Soil Survey Staff, 1996) sin carácter abrupto, que corresponden a gran parte de los Argissoles Vermelho Amarelos y Ama-

relo Distróficos y Eutróficos típicos y Nitossoles Vermelho Eutróficos (EMBRAPA, 1999).

(3) Suelos de moderada a alta erosionabilidad, entre los que se incluyen los Ultisoles y Alfisoles (Soil Survey Staff, 1996), con carácter abrupto, que corresponden a los Argissoles Vermelho Amarelo abrupticos.

(4) Suelos de alta erosionabilidad, entre los que se incluyen la mayoría de los Inceptisoles y Entisoles (Soil Survey Staff, 1996), además de los suelos intergradados, bastante comunes en el ámbito tropical (Mafra,1997), los cuales corresponden respectivamente a gran parte de los Cambissoles Háplicos Distróficos y Eutróficos típicos, y Neossolos Litólicos, además de Argissoles Amarelos y Vermelho-Amarelos Distróficos y Eutróficos latossólicos y Latossolos Amarelos y Vermelho-Amarelos Distróficos y Eutróficos argissólicos (EMBRAPA, 1999).

(5) Suelos de muy alta erosionabilidad, en que se incluyen todos los Entisoles (Soil Survey Staff, 1996) ubicados en vertientes abruptas, que correspondan a los Neossolos Litólicos Distróficos típicos (EMBRAPA, 1999).

*Erosionabilidad de la Litología:* En este caso, han sido 4 las clases consideradas:

(1) Materiales arcillosos de litologías gnéissicas u otras.

(2) Materiales arcillo arenosos de litologías granito-gnéissicas, magmatíticas y otras.

(3) Materiales sedimentarios cuaternarios, de texturas areno-arcillosa

(4) Materiales arenosos de litologías de tipo arenítica y semejantes de textura gruesa y materiales sedimentarios cuaternarios de textura arenosa.

*Pendiente:* Las 6 clases de pendientes adoptadas son las consideradas por el Sistema de Capacidad de Uso Brasileño (Lepsch *et al.*, 1991): (1) 0 a 3%; (2) 3 a 8%; (3) 8 a 20%; (4) 20 a 45%; (5) 45 a 70%; (6) > 70%.

Tipo de Vegetación y Usos: Las 5 clases consideradas corresponden a: (1) Bosque Tropical; (2) Matorral tropical; (3) Pastizales; (4)

Zonas cultivadas; (5) Vegetación muy escasa o inexistente.

*Morfología Erosiva:* Han sido 5 las clases consideradas: (1) Sin morfología erosiva; (2) Laminar; (3) Surcos y Cárcavas; (4) Barrancos (5) Desplazamientos de masa.

Prácticas de Conservación: Se han considerado para este factor 6 clases: (1) No aplicable el concepto; (2) Caballones; (3) Cultivo a nivel; (4) Terrazas; (5) Terrazas abandonadas; (6) Sin prácticas de conservación.

**Valoración del grado de erosión actual**

En primer lugar, se asignan valores pares (de 2 a 10) a los distintas categorías o clases de los factores considerados, aumentando el valor en el sentido de definición de mayor erosión. La distribución de valores se ha realizado de manera que se compensara el diferente número de clases definido en los factores, y todas las clases presentaran el mismo intervalo de valores (Tabla 1). Así, tales escalas de orden quedan transformadas en escalas de intervalo, pudiéndose realizar operaciones matemáticas con sus valores.

El valor que define el grado de erosión actual en una unidad cartográfica se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$VEu = \sum \frac{pi \times viu}{n} \quad (1)$$

donde:

VEu = Valor de grado de erosión actual de la unidad cartográfica u; pi = peso del factor i para erosión; viu = valor de erosión que alcanza la unidad u por el factor i; y el n = número de factores considerados.

La distribución de pesos para los distintos factores es la siguiente:

Factor	Peso (Ambito Mediterráneo)	(Ambito Tropical)
Torrencialidad	1	1
Suelo	2	2
Litología	2	2
Vegetación	3	3
Topografía	2	4
Morfología erosiva	3	2
Prácticas de conservación.	2	3

Esta distribución de pesos se ha realizado dando mayor importancia a aquellos factores que tienen un significado más relevante en la caracterización de la erosión. Esto se basa en los resultados alcanzados por algunos autores (Andreu *et al.*, 1987; Sánchez *et al.*, 1987), que han realizado estudios de erosión en determinadas áreas del ámbito mediterráneo valenciano. Estos autores encuentran, por ejemplo, que a igualdad de otras condiciones ambientales (pendiente, suelo, etc.), aquellas unidades cartográficas que poseen una mayor protección del suelo al proceso erosivo, por la vegetación que presentan, se caracterizan por presentar tasas de pérdida de suelo menores que cuando la vegetación es escasa o inexistente. Además, también encuentran una influencia notable del tipo de litología en el grado de erosión que muestran distintas unidades cartográficas.

No obstante, para comprobar la sensibilidad de la distribución de pesos asignada, se llevó a cabo un análisis de retroalimentación en áreas diagnósticas de ambos ámbitos (mediterráneo valenciano y tropical), considerando varias distribuciones de pesos, incluyendo incluso aquella que asignaba un peso igual a uno (1) a todos los factores, mostrándose la distribución anterior como la más significativa para evaluar la erosión. Se denominaron áreas diagnósticas a aquellas áreas, representativas de ambos ámbitos, en las que por sus características territoriales se puede inferir directamente el grado de erosión que presentan, y por tanto, son útiles para ensayar procedimientos explícitos de evaluación. Por ejemplo, una unidad cartográfica en pendiente muy abrupta (mayor del 45%), desprovista de vegetación, sin prácticas de conservación y con un suelo de muy alta erosionabilidad (p. Ej. Regosol calcáreo, FAO, 1974) sería un área diagnóstica del ámbito mediterráneo generalmente caracterizada por presentar un muy alto grado de erosión.

#### **Clasificación del grado de erosión actual**

Los valores VEu que se obtienen al apli-

car la expresión matemática (1) son valores cualitativos adimensionales que si bien no reflejan una pérdida real de suelo si permiten la comparación entre unidades cartográficas en términos del grado de erosión actual al que están sometidas. Para facilitar esa comparación resulta de gran utilidad la definición de un sistema de referencia con varias clases de grado de erosión. Para ello, un procedimiento sencillo consiste, en primer lugar, en calcular los valores máximo y mínimo que pueden alcanzar las unidades cartográficas con los valores asignados a los distintos tipos de los factores considerados. Seguidamente, se calcula la diferencia y se divide por el número de clases de erosión actual a establecer. El valor resultante (x) permite definir entre los valores máximo y mínimo las distintas clases, que en el caso de la Región Mediterránea, se establecen en cinco, distinguiendo entre muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo grado actual de erosión, de manera que se cubre cualitativamente desde muy alto a muy bajo grado de erosión. En el caso de la Región Tropical Húmeda se establecen siete clases, ya que además de los cinco grados anteriores se definen también los grados moderado-alto y bajo-moderado. Las clases establecidas son las siguientes:

#### ***Región Mediterránea Valenciana***

\* Clase I. Unidades con MUY ALTO grado de erosión actual: Aquéllas que alcanzan valores comprendidos entre  $V_{m\acute{a}x} - x$  y  $V_{m\acute{a}x}$ .

\* Clase II. Unidades con ALTO grado de erosión actual: Aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{m\acute{a}x} - 2x$  y  $V_{m\acute{a}x} - x$ .

\* Clase III. Unidades con MODERADO grado de erosión actual: Aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{m\acute{m}n} + 2x$  y  $V_{m\acute{m}n} + 3x$ ; ó  $V_{m\acute{a}x} - 3x$  y  $V_{m\acute{a}x} - 2x$ .

\* Clase IV. Unidades con BAJO grado de erosión actual: Aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{m\acute{m}n} + x$  y  $V_{m\acute{m}n} + 2x$ .

\* Clase V. Unidades con MUY BAJO grado de erosión actual: Aquéllas con valores

comprendidos entre  $V_{\min}$  y  $V_{\min} + x$ .

### **Región Tropical Húmeda**

Clase I. Unidades con MUY ALTO grado de erosión actual: aquéllas que alcanzan valores comprendidos entre  $V_{\max} - x$  y  $V_{\max}$ .

Clase II. Unidades con ALTO grado de erosión actual: aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{\max} - 2x$  y  $V_{\max} - x$ .

Clase III. Unidades con MODERADO-ALTO grado de erosión actual: aquéllas que alcanzan valores comprendidos entre  $V_{\max} - 3x$  y  $V_{\max} - 2x$ .

Clase IV. Unidades con MODERADO grado de erosión actual: aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{\max} - 4x$  y  $V_{\max} - 3x$  ó  $V_{\min} + 3x$  y  $V_{\min} + 4x$ .

Clase V. Unidades con BAJO-MODERADO grado de erosión actual: aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{\min} + 2x$  y  $V_{\min} + 3x$ .

Clase VI. Unidades con BAJO grado de erosión actual: aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{\min} + x$  y  $V_{\min} + 2x$ .

Clase VII. Unidades con MUY BAJO grado de erosión actual: aquéllas con valores comprendidos entre  $V_{\min}$  y  $V_{\min} + x$ .

### **Valoración del riesgo de erosión (erosión potencial)**

El riesgo de erosión o erosión potencial se refiere en este contexto al máximo grado de erosión que se puede alcanzar en una unidad cartográfica como consecuencia de cambios ambientales debidos a la intervención humana que pueden afectar a los factores implicados en el proceso, concretamente al suelo, la cobertura vegetal y las prácticas de conservación, que son los factores sobre los que la acción antrópica puede influir de manera directa provocando un estado de máxima de degradación. Es, por tanto, una estimación del alcance máximo de la erosión acelerada o antropogénica. Se evalúa y clasifica siguiendo el mismo procedimiento que para la erosión actual aunque partiendo de

una serie de supuestos, que en el caso de cada uno de los ámbitos para los que se aplica esta metodología se han establecido los siguientes:

### **Región Mediterránea Valenciana**

(1) En unidades cartográficas con una pendiente inferior al 5%, se considera que el riesgo de erosión coincide con el grado de erosión actual; ya que aunque desaparezca la cubierta vegetal y el suelo alcance un estado de máxima degradación, la existencia de una pendiente tan suave impide, que como consecuencia de tales cambios, se produzca un incremento significativo de pérdida de suelo por erosión.

(2) En unidades no agrícolas y con pendiente superior al 5%, se considera la desaparición de la cobertura vegetal y la degradación máxima del suelo. En consonancia con esto, se asignan a este tipo de unidades los valores correspondientes a ausencia de vegetación y a erosionabilidad muy alta del suelo. Además, en el caso de tratarse de antiguas unidades agrícolas, en las que existían prácticas de conservación del suelo, se considera que tales prácticas han sido abandonadas, aplicándose el correspondiente valor a dicha situación.

(3) En unidades agrícolas y con pendiente superior al 5% pueden darse dos situaciones, que son las siguientes:

(3.1) Si tales unidades no poseen prácticas de conservación, se considera la desaparición de los cultivos y que el suelo alcanza la máxima degradación. En consecuencia con esto, se asignan los nuevos valores correspondientes a tales situaciones.

(3.2.) Si tales unidades poseen prácticas de conservación, además de los supuestos especificados para las unidades del aparatado anterior (3.1), se considera que tales prácticas son abandonadas y se les asigna el correspondiente valor a dicha situación.

### **Región Tropical Húmeda**

(1) En unidades cartográficas con pen-

dientes superiores al 3% se consideran dos situaciones:

(1.1) Si la unidad cartográfica esté sometida a prácticas de conservación, se considera que la vegetación desaparece, el suelo se degrada al máximo, las prácticas de conservación desaparecen y las morfologías erosivas aumentan en una clase más de la presentada para las condiciones ambientales iniciales.

(1.2) Si la unidad cartográfica no esté sometida a prácticas de conservación, se considera que la vegetación desaparece, el suelo se degrada al máximo y las morfologías erosivas aumentan en una clase más de la presentada para las condiciones ambientales iniciales.

(2) En unidades cartográficas en que las pendientes son inferiores al 3%, se considera que la erosión potencial coincide con la erosión actual, excepto para las siguientes situaciones:

(2.1) Para el caso de los Entisoles (Typic Udifluvents, Soil Survey Staff, 1998), que corresponde a los Neossolos Flúvicos ( EMBRAPA , 1999), de relieve plano, que están sometidas a cultivos permanentes o temporales de forma intensiva (por régimen de monocultivos o no), sin prácticas de conservación, se considera el grado de erosión actual Bajo (Clase VI) , y el grado de erosión potencial Bajo-Moderado (Clase V).

(2.2) Para el mismo tipo de suelo citado arriba, y también para los Alfisoles de carácter abrupto (Arenic Albaqualf, Soil Survey Staff, 1998) que corresponden a los Planossolos (EMBRAPA, 1999) que presentan morfologías erosivas en surcos, bajo cultivos perennes o temporales, o en condiciones de abandono, se considera el grado de erosión actual Bajo-Moderado (Clase V), y para la erosión potencial, Moderado (Clase IV).

Además, en las unidades cartográficas que presentan un suelo en fase lítica se considera que tanto el grado de erosión actual como el riesgo potencial son muy altos, en ambos ámbitos.

Una vez modificados los valores de los

factores de acuerdo con los supuestos establecidos, se calcula la erosión potencial de una unidad cartográfica utilizando la misma fórmula que para el cálculo de la erosión actual. El nuevo valor de erosión obtenido corresponde a la estimación cualitativa de la erosión potencial de la unidad en cuestión. La clase de erosión potencial o de riesgo de erosión se obtiene clasificando los valores obtenidos utilizando el mismo sistema de clases que para la erosión actual.

## ÁREAS DE ESTUDIO

### Sagunto

Sagunto está situado al este de la Región Mediterránea Valenciana (Fig. 1). Comprende un total de 114 Km<sup>2</sup> encuadrados entre los 35°45' y 35°40' de latitud norte y entre 0°11' de longitud oeste y la costa. Este territorio limita al norte con la provincia de Castellón, al sur con las comarcas de L'Horta Nord y Camp de Túria, al oeste con la Vall de Segorbe y al este con el Mar Mediterráneo.

Esta área presenta un clima Mediterráneo seco templado caracterizado por un verano seco. La precipitación media anual se sitúa entre 450 y 550 mm, y la temperatura media anual entre 15-18°. La variabilidad climática existente en el área se debe a la influencia local del relieve y del Mar Mediterráneo.

Los materiales geológicos de aproximadamente dos tercios del área se corresponden con sedimentos del Cuaternario, incluyendo depósitos aluviales, coluviales, aluviales-coluviales, arenas del cordón litoral y limos de albufera. En el interior aparecen materiales del Triásico, y en algunos puntos afloramientos del Terciario y del Jurásico.

El relieve resulta variado reproduciendo la complejidad de la estructura geológica. A ambos lados del río Palancia, las estribaciones de la Sierra de Espadán y la Serranía de Serra, con direcciones NO-SE, van decreciendo linealmente hasta alcanzar la extensa llanura litoral, que ocupa más de la mitad de la superficie. El

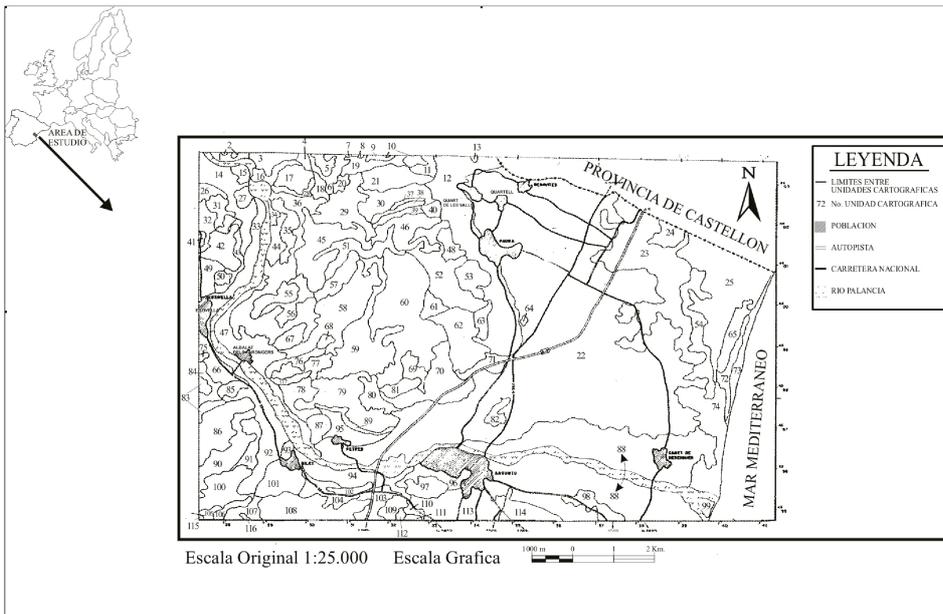


FIGURA 1. Localización y unidades cartográficas del área de estudio en la Región Mediterránea (Sagunto, España).

tránsito de la cadena montañosa hacia la llanura costera está constituido por un coluvión, que orla a la formación anterior. Este coluvión da paso a una amplia llanura costera modelada por las masas de aluviones del río Palancia y sus ramblas. Cerca ya de la costa, aparecen zonas pantanosas constituidas por limos pardos y grises de albufera. Finalmente, se encuentra un cordón dunar litoral en el que se distinguen dunas parcialmente estabilizadas, otras destruidas y playas arenosas. Los depósitos cuaternarios aparecen asociados a una gran variedad de suelos, siguiendo la nomenclatura FAO (1974). Las formaciones aluviales se caracterizan por la presencia de suelos rojos de textura arcillosa, cuya diferenciación morfológica y contenido en carbonatos deriva en su clasificación como Cambisoles crómicos o calcáreos y Luvisoles crómicos. Sobre los limos pardos fluviales se desarrollan Cambisoles gleicos y Fluvisoles calcáreos. Los limos negros de albufera

son depósitos mixtos continentales-marinos, en los que la presencia de la capa freática cerca de la superficie y los niveles de salinidad existentes caracterizan a los Gleysoles calcáreos y Solonchacks gleicos. En el cordón dunar aparecen Arenosoles. En las formaciones terciarias de los valles interiores abundan las costras calizas y los encostramientos calcáreos recubiertos por sedimentos arcillosos de poco espesor, típicos de Cambisoles cálcicos y petrocálcicos. Atravesando estas formaciones terciarias, las terrazas fluviales del río Palancia, se caracterizan por la presencia de distintos tipos de suelo como Cambisoles cálcicos, crómicos y Fluvisoles. En los relieves carbonatados, la litología y el ángulo de la pendiente son determinantes para la aparición de Cambisoles y Luvisoles cálcicos y crómicos. En las formaciones silíceas abundan los Luvisoles álbicos cuando predominan las areniscas del Buntsandstein, mientras que los Regosoles eútricos son carac-

terísticos de los niveles de argilitas de dichas formaciones.

La vegetación potencial de la zona corresponde a la clase Querceta ilicis (Costa, 1986). Fundamentalmente se reconocen tres tipos de comunidades vegetales. La predominante está constituida por un matorral esclerófilo con arbolado de pinos, a la que le sigue en abundancia una comunidad de matorral sin arbolado que constituye una etapa de degradación de la anterior. La tercera comunidad la constituye un pastizal asociado con comunidades de transición características de la degradación del matorral. En la zona litoral aparecen comunidades vegetales edafófilas adaptadas a distintas condiciones locales como las existentes en las zonas de albufera y dunares.

Los usos principales del área son agricultura, urbano-industrial y forestal, sobre todo los dos primeros. Regadío es el uso predominante en la zona costera, donde se desarrolla una citricultura muy especializada y tecnificada. Sin embargo, en el interior predominan los cultivos de secano, apareciendo también superficie dedicada al uso forestal. En general, se trata de un área dinámica debido a la agricultura y a la actividad industrial existente, concentrada mayoritariamente en la zona costera, donde además en las últimas décadas ha ocurrido una intensa expansión de bloques turísticos de segunda residencia. Asimismo, residencias de este tipo han proliferado, aunque no tan intensamente, en áreas forestales del interior. Todos estos usos suponen una amenaza para la conservación del suelo frente al proceso de erosión, particularmente el secano cuando se desarrolla en áreas con pendiente sin las adecuadas prácticas de protección del suelo. El incremento de usos urbanos en áreas forestales también puede intensificar el proceso. Además, los incendios forestales acontecidos en los últimos años suponen una seria amenaza para la erosión de suelos forestales.

Para el análisis y evaluación de la erosión del suelo en esta área se ha partido de un mapa

base a escala 1:25.000 (Fig. 1), elaborado por la Diputación de Valencia, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Universitat de València (1984). Este mapa está subdividido en unidades cartográficas según el método de Sánchez *et al.* (1984), el cual toma como base la fisiografía para la delimitación de las mismas, resultando por ello adecuadas para el análisis espacial del proceso erosivo. Los datos para la evaluación de la erosión mediante la metodología propuesta están descritos y detallados en Recatalá (1995), y proceden de varias fuentes de información, fundamentalmente de la memoria que acompaña al mapa.

### **Bom Jesus do Itabapoana**

La zona de estudio se sitúa al Norte del estado de Río de Janeiro, y constituye el territorio de la provincia de Bom Jesús do Itabapoana, con 700 km<sup>2</sup> de extensión (Fig. 2). Para este trabajo se tomó una parte del territorio de aquella provincia (distrito de Carabuçu), de 220km<sup>2</sup> de extensión, para ejemplificar la metodología aplicada a la zona tropical húmeda.

Los rasgos morfoestructurales y morfológicos de su paisaje están representados por unidades de sierras y sus escalones, colinas poco y muy disectadas y valles, que son el resultado de una tectónica regional que empezó a afectar el cráton brasileño a partir del final del Mesozoico, y de la actuación, en el Pleistoceno, de procesos exógenos de denudación del relieve, bajo condiciones climáticas húmedas y subhúmedas alternadas.

En cuanto a los suelos dominantes en el área, son los Typic Udorthents, Oxic Dystropepts, Typic Hapludox, Typic Paleudults y Paleudalfs, Typic Udifluvents y Typic Tropaquepts (Soil Survey Staff, 1994).

Las condiciones climáticas están determinadas por unas precipitaciones medias entre 1.250 y 1.500 mm anuales para las zonas montañosas, y entre 1.000 y 1.250 para las zonas de colinas más suaves y valles. Las medias anua-

les de las temperaturas suelen estar sobre los 26°C.

En el territorio, de características emi-

nentemente rurales, el proceso de degradación de las tierras se inició en el siglo XVIII, con la deforestación para la explotación de la madera.

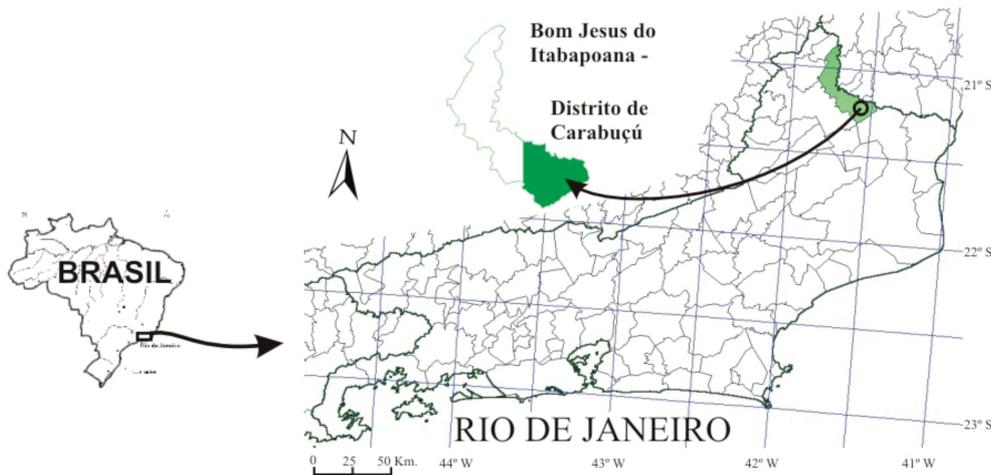


FIGURA 2. Localización del área de estudio en la Región Tropical Húmeda (Bom Jesús do Itabapoana, Brasil).

Más adelante, este proceso siguió avanzando con el cultivo intensivo de la caña de azúcar en los valles y colinas, y con el del café en las sierras; progresó, con el descenso de éstos, y sustitución de los mismos por los pastizales. El manejo de las tierras para gran parte de estas actividades no ha sido adecuado a la capacidad de uso de las mismas, lo que está demostrado por el estado de degradación en que se encuentran los suelos, en algunos de los sectores del territorio. La superficie ocupada por el bosque tropical corresponde al 3.8% de la superficie total; por matorral tropical, al 16.5%; por pastizales, al 57.3%; por cultivos temporales y permanentes, al 18.2%. En lo que se refiere a los usos, para la mayoría de las situaciones, no se verifica la aplicación de técnicas de conservación, de lo que son testigos, las distintas morfologías erosivas, incluso en pendientes inferiores al 3%.

A partir del previo levantamiento de suelos y del establecimiento de unidades morfodinámicas para el territorio (unidades homogéneas en cuanto a su geomorfología, cubierta vegetal y uso) seguido de sus respectivos documentos cartográficos (Mafra, 1997), se pasó a la evaluación de la erosión del suelo de esta área.

TABLA 1. Porcentaje del área total alcanzado por cada clase de erosión actual y potencial en Sagunto.

<b>SAGUNTO</b>		
<b>CLASES</b>	<b>EROSION ACTUAL (%)</b>	<b>EROSION POTENCIAL (%)</b>
I (Muy Alta)	2.1	6.1
II (Alta)	10.2	22.7
III (Moderada)	14.7	18.5
IV (Baja)	13.3	1.8
V (Muy Baja)	59.7	50.9

TABLA 2. Porcentaje del área total alcanzado por cada clase de erosión actual y potencial en Bom Jesús do Itabapoana.

<b>BOM JESUS DO ITABAPOANA</b>		
<b>CLASES</b>	<b>EROSION ACTUAL (%)</b>	<b>EROSION POTENCIAL (%)</b>
I (Muy Alta)	0.5	7.2
II (Alta)	4.6	47.9
III (Moderada-Alta)	41.0	34.7
IV (Moderada)	38.2	3.5
V (Moderada-Baja)	10.1	3.3
VI (Baja)	3.1	0.8
VII (Muy Baja)	2.5	2.6

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las Tablas 1 y 2 muestran el porcentaje de superficie total alcanzado por cada clase de grado de erosión actual y potencial para ambas áreas de estudio. El mapa de la figura 3 muestra la distribución espacial de la erosión actual en las unidades cartográficas de Sagunto, el mapa de la figura 4 la erosión potencial en esta área y el de la figura 5 tanto la erosión actual como potencial en Bom Jesús do Itabapoana.

En Sagunto, las unidades cartográficas con alto o muy alto grado de erosión actual representan el 12.3% del total del área de estudio, y con alto o muy alto riesgo potencial de erosión el 28.8% del total del territorio. En Bom Jesús do Itabapoana, las unidades cartográficas con alto o muy alto grado de erosión actual representan el 5.1% y con alto o muy alto riesgo potencial de erosión el 55.1% del total del territorio. Esto significa que sin las apropiadas prácticas de conservación casi un tercio del territorio del área de estudio en Sagunto y más de la mitad del territorio en Bom Jesús do Itabapoana están bajo la amenaza de

una pérdida prácticamente irreversible de suelo por erosión hídrica. Dado que el suelo es un recurso natural vital para el mantenimiento de los ecosistemas terrestres y para el desarrollo e implementación de la mayoría de actividades humanas, cuya formación no compensa la pérdida por erosión, sobretodo si ésta es acelerada por la intervención humana, resulta de gran interés el establecimiento de estrategias para su conservación.

Una estrategia preventiva antes que reactiva, que supone tratar de evitar el problema más que acometerlo cuando ya se ha producido como es propio de este último tipo de estrategias que suelen ser menos efectivas y más costosas, consiste en incorporar el análisis y evaluación de la erosión en los planteamientos propios de la planificación de los usos del territorio, de manera que la distribución de usos o actividades se realice consecuente con la susceptibilidad del territorio a la erosión, garantizando la conservación del suelo. En relación con ésto, el procedimiento metodológico apli-

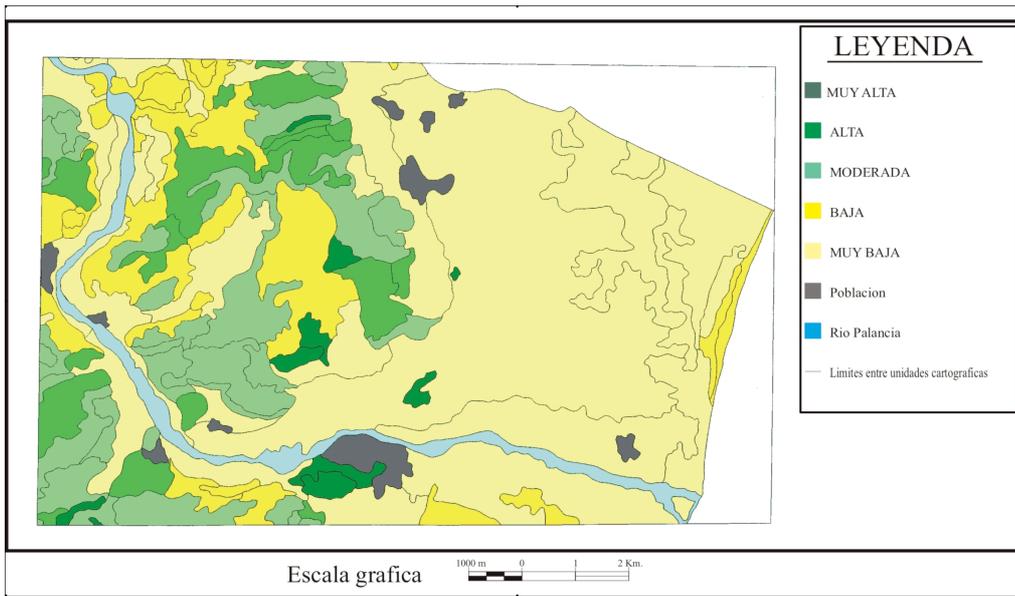


FIGURA 3. Mapa de erosión actual de Sagunto.

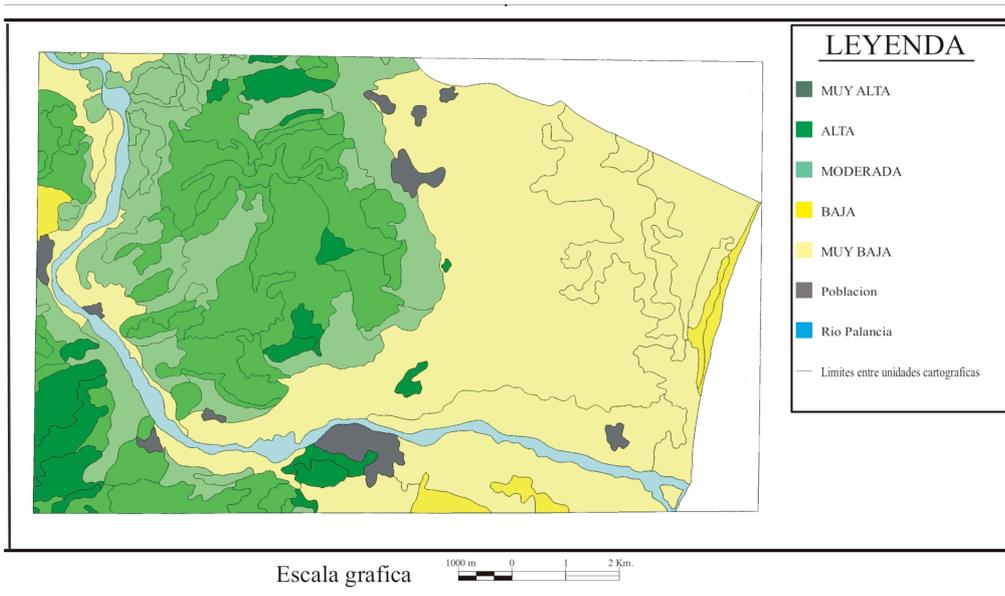


FIGURA 4. Mapa de erosión potencial de Sagunto.

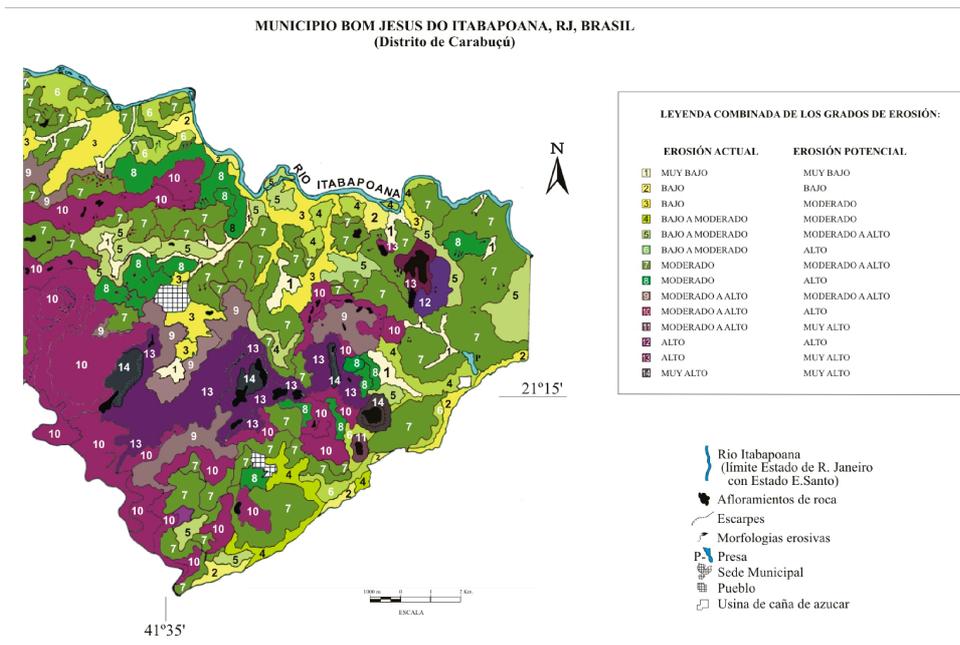


FIGURA 5. Mapa de erosión actual y potencial de Bom Jesús do Itabapoana. Cada número de la leyenda constituye una combinación de erosión actual y potencial (p. ej. las unidades cartográficas con 8 son de nivel de erosión actual moderado y de erosión potencial alto).

cado a las áreas de estudio permite clasificar las unidades cartográficas desde muy bajo a muy alto grado de erosión actual y también desde muy bajo a muy alto riesgo potencial de erosión. Esta clasificación proporciona una base consistente para acometer la conservación del suelo mediante la definición de directrices para la asignación de usos. Por ejemplo, a partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología en Sagunto se definieron, para un ejercicio de planificación territorial realizado en esta área (Recatalá, 1995), las siguientes directrices:

(1) Excluir usos agrícolas y urbano-industriales en unidades cartográficas con alto o muy alto grado de erosión actual.

(2) En cuanto sea posible dar preferencia a repoblación o regeneración natural en unidades cartográficas con alto o muy alto grado de erosión actual.

(3) En cuanto sea posible evitar usos agrícolas y urbano-industriales en unidades cartográficas con alto o muy alto riesgo potencial de erosión.

La aplicación de estas directrices de planificación permitió la generación de varios planes alternativos de asignación de usos, en los que resultaba compatible la asignación de usos con la conservación del suelo. La descripción detallada del ejercicio de planificación puede encontrarse en Recatalá (1995) y Recatalá *et al.* (2000).

Similarmente, los resultados obtenidos en Bom Jesús do Itabapoana mediante la aplicación de la metodología permitió la definición de criterios para la realización de una propuesta de orientación de usos que acometiera el problema de la erosión hídrica del suelo, en la que resultaba compatible la recomendación de usos agrícolas y forestales con la conservación del

suelo. La descripción detallada del ejercicio está en Mafra (1997).

Resulta interesante remarcar que el método presentado no permite una evaluación cuantitativa de la tasa de pérdida de suelo por erosión, como si ocurre con el método USLE, que es sin duda el método cuantitativo más universalmente aplicado, también en la Regiones Mediterránea y Tropical Húmeda, como se ha comentado anteriormente. En realidad, esto no constituye un serio hándicap cuando el objetivo fundamental consiste, más que en cuantificar la tasa de pérdida de suelo, en poder comparar unidades cartográficas en términos de grado de erosión, como base para poder realizar una toma de decisiones en el contexto de la planificación, que posibilite una asignación de usos acorde con la vulnerabilidad del territorio a la erosión, tanto real como potencial.

En cualquier caso, es cierto que la cuantificación supone un acercamiento más fino y realista al problema, en cuanto que el conocimiento de la tasa real y potencial de pérdida de suelo no sólo puede permitir una asignación de usos que garantice la conservación del suelo, sino que además permite una mayor profundidad de análisis en aspectos, por ejemplo, relativos a diseño de las prácticas más adecuadas para evitar o minimizar esa tasa. En contrapartida, la cuantificación exige un mayor conocimiento de los factores implicados y sus interrelaciones. De otra manera, la tasa de pérdida de suelo calculada puede llevar a errores graves tanto en la asignación de usos como en el diseño de prácticas, que podrían traducirse en serios problemas ambientales y en elevados costes económicos de poca efectividad para la conservación del suelo.

Así, la aplicación del método USLE requiere para su correcta aplicación, es decir, siguiendo apropiadamente las premisas sobre las que se fundamentó (Wischmeier, 1976; Wischmeier y Smith, 1978), un nivel de información sobre los factores implicados no siempre disponible fuera del ámbito (al este de las Mon-

tañas Rocosas) en el que se formuló empíricamente este procedimiento. Por ejemplo, en el ámbito Mediterráneo Valenciano no se dispone de suficientes datos para aplicar con rigurosidad el factor C (factor ordenación de los cultivos) de la USLE. En muchas zonas del ámbito Tropical Húmedo, como en el caso de estudio presentado en este trabajo, no se cuenta con suficientes datos para realizar una aproximación estadística del factor R (erosividad de la lluvia) como se precisa para aplicar la ecuación USLE. Por ello, cuando se recurre a estimaciones, sin dejar de mirar a los datos elaborados en Estados Unidos, pueden cometerse errores de cuantificación importantes, como consecuencia de la incertidumbre en la fiabilidad de los datos, que pueden no reflejar adecuadamente las condiciones reales del ámbito en el que se aplican. No es extraño, pues, que la aplicación de la USLE en determinadas áreas del ámbito Mediterráneo Valenciano subvalore la tasa de pérdida de suelo (p. ej. áreas de margas yesíferas), mientras que en otras en las que el espesor del suelo parece un factor relevante para caracterizar el proceso erosivo (p. ej. áreas de Litosoles) la sobrevalore. La aplicación de un método cualitativo como el presentado en este trabajo, aunque aporte un nivel de información más general y cualitativo, resulta más factible y adecuado, sobre todo si ese procedimiento cualitativo parte en su desarrollo del conocimiento que en el ámbito de aplicación se tiene sobre el proceso erosivo como base para la selección de los factores relevantes, y además se ha ensayado en áreas representativas para ajustar su sensibilidad en la evaluación, como ha sido el caso del método presentado.

## CONCLUSIONES

Se ha presentado un procedimiento metodológico para evaluación y clasificación de la erosión actual y potencial en los ámbitos Mediterráneo y Tropical Húmedo, en los que la pérdida de suelo por erosión hídrica constituye

un problema ambiental crítico. El procedimiento se ha aplicado en dos zonas representativas de ambos ámbitos a escala 1:25.000, Sagunto (España) y Bom Jesús do Itabapoana (Brasil), mostrando los resultados alcanzados que casi un tercio del territorio en el primer caso y más de la mitad en el segundo están bajo la amenaza de una erosión alta o muy alta. Aunque el método es cualitativo, y por tanto no permite una cuantificación de la tasa de pérdida de suelo como es propio de los métodos cuantitativos, como es el caso del más universalmente aplicado y conocido como USLE, proporciona un nivel de información suficiente para su incorporación en ejercicios de planificación territorial con la finalidad de establecer una asignación de usos que permita garantizar la conservación del suelo. En cuanto que los métodos cuantitativos suelen requerir un nivel de datos no siempre disponibles ni abordables en un ejercicio de planificación, el método presentado resulta ser más factible en tales planteamientos.

Finalmente, hay que indicar que el método propuesto constituye una primera aproximación a la evaluación y clasificación de la erosión hídrica del suelo en los ámbitos Mediterráneo y Tropical Húmedo. Como todo procedimiento metodológico requiere de más aplicaciones para un mayor ajuste y calibración en lo que respecta a los factores que controlan o regulan el proceso, su importancia relativa y la manera en que se interrelacionan, para así poder ser adecuadamente considerados e integrados en la obtención de valores cualitativos, tanto de grado de erosión actual como de erosión potencial, que reflejen con la mayor precisión posible la realidad. No obstante, siendo conscientes de esto, se podría indicar que el método cualitativo presentado constituye un procedimiento alternativo a los métodos cuantitativos, de utilidad para ser incorporado en ejercicios de planificación de los usos del territorio también en otros ámbitos, en los que se tenga un conocimiento suficiente sobre el pro-

ceso erosivo como para acometer el desarrollo de un procedimiento metodológico de modo similar a como se ha sido llevado a cabo en este trabajo.

## REFERENCIAS

- Albaladejo, J. y Stocking, M. (1989): Comparative evaluation of two models in predicting storm soil loss from erosion plots in semi-arid Spain. *Catena* 16, 227-236.
- Andreu, V., Boluda, R., Moraleda, M. y Sánchez, J. (1987): Contribución al estudio de la erosión hídrica: análisis comparado mediante la aplicación del método USLE y un método cualitativo ponderado en la zona de San Antonio y Villar de Tejas (Valencia). *Actas de la III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, Valencia, Spain, 965-982.
- Andreu, V., Forteza, J. y Cerni, R. (1991): Efecto de la erosión hídrica en la producción de sedimentos en parcelas experimentales durante 1990. (Porta-Coeli, Valencia). *Actas de la XVIII Reunión Nacional de Suelos*, Tenerife, Islas Canarias, 485-492.
- Antolín, C. y Cuevas, A. (1990): Estudio del factor R de la USLE en la Comunidad Valenciana a escala 1:400.000. Inédito.
- Barnett, A.P. y Rogers, J.S. (1966): Soil physical properties related to runoff and erosion from artificial rainfall. *Trans. ASAE* 9 (11), 123-125.
- Cendrero, A., Sánchez, J., Antolín, C., Arnal, S., Díaz de Terán, J.R., Francés, E., Martínez, V., Moñino, N., Nieto, M., Nogales, I., Pérez, E., Rios, C., Robles, F., Romero, A. and Suárez, C. (1990): Geoscientific maps for planning in semi-arid regions: Valencia and Gran Canaria, Spain. *Engineering Geology* 29, 291-319.
- Claver Farias, I, Aguilo, M., Aramburu, M.P.,

- Ayuso, E., Blanco, A., Calatayud, T., Ceñal, M.A., Cifuentes, P., Escribano, R., Francés, E., Glaría, G., González, S., Lacombe, E., Muñoz, C., Otero, I., Ramos, A. y Saiz de Omeñaca, M.G. (1982): Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenidos y metodología, *Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo*, Madrid. 572 p.
- Coelho Neto, A.L., Fernández, N.F., Deus, C.E. (1988): Gullyng in the Southeastern Brazilian Plateau, Bananal, S.P. Proceedings of the Porto Alegre Symposium in Sediment Budgets, *IAHS Public.*, No. 174, 35-42.
- Cogo, N.P. (1988): Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica. En: A.C. Moniz, P.R. Furlani, S.S. Freitas (Eds), *Responsabilidade social da ciência do solo*, 251-262.
- Costa, M. (1986): La Vegetación en el País Valenciano, Servicio de Publicaciones de la Universitat de València, Valencia. 246 p.
- De Ploey, J. y Gabriels, D. (1980): Measuring soils loss and experimental studies. En: M.J. Kirkby y R.P.C Morgan (Eds), *Soil erosion*. Wiley & Sons.
- Diputación Provincial de Valencia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universitat de València (1984): Los suelos de la provincia de Valencia: su evaluación como recurso natural, Hoja de Sagunto, *Diputación Provincial de Valencia*, Valencia.
- EMBRAPA (1999): *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Brasília, Embrapa Produção de Informação, *Embrapa-Solos*. Rio de Janeiro, Brasil, 412 p.
- FAO (1974): Soil Map of the World. Vol 1. Legend. *UNESCO*. Paris.
- Guerra, A.J y Oliveira, M.C (1995): A influencia dos diferentes tratamentos do solo na seletividade do transporte de sedimentos: um estudo comparativo entre duas estações experimentais. Goiania, GO, Brasil.
- ICONA (1981): Estudio del coeficiente R, factor lluvia de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y del factor de agresividad de la precipitación en la vertiente Mediterránea. *Ministerio de Agricultura*, Madrid.
- Lal, R. (1986): Soil Surface Management in the Tropics for intensive land use and high and sustained production. *Advances in Soil Science* 5, 10-97.
- Lal, R. (1990): *Soil Erosion in the Tropics: principles and management*. McGraw-Hill, Inc.
- Lepsch, I.F, Bellinazzi, Jr.R, Bertollini, D y Espínola, C.R. (1991): Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4 Aproximação. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, São Paulo, Brasil.
- Mafra, N.M.C. (1997): Esquema Metodológico para la planificación de usos del suelo en zonas tropicales húmedas: aplicación a la región norte del estado de Rio de Janeiro, Brasil. Tesis Doctoral. *Universitat de València*.
- Mafra, N.M.C. (1999): Erosão e planificação de uso do solo. En: A.J.T. Guerra, A.S. Silva y R.G.M. Botelho (Eds), *Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*, Bertrand Brasil RJ, Brasil, 340 p.
- Nimer, E (1979): Climatologia do Brasil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ed. *IBGE*, Rio de Janeiro. Brasil.
- Recatalá, L. (1995): Propuesta metodológica para planificación de los usos del territorio y evaluación de impacto ambiental en el ámbito mediterráneo valenciano. Tesis Doctoral, Universitat de València, *Servicio de Publicaciones de la Universitat de*

València, Valencia, 797 p.

- Recatalá, L. y Sánchez, J. (1997): A weighting-rating method to evaluate soil erosion for land use planning: a case study in Sagunto area (Spain). *Advances in Ecological Sciences* 1, 521-530.
- Recatalá, L. y Sánchez, J. (1998): A weighting-rating method to evaluate soil erosion in the context of land use planning for the Valencian Mediterranean Region. En: A. Rodríguez Rodríguez, C.C. Jiménez Mendoza y M.L. Tejedor Salguero (Eds), The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures, *Geoforma Ediciones*, Logroño.
- Recatalá, L., Ibe, J.R., Baird, I.A., Hamilton, N. y Sánchez, J. (2000): Land-use planning in the Valencian Mediterranean Region: Using LUPIS to generate issue relevant plans. *Journal of Environmental Management* 59, 169-184.
- Rubio, J.L. (1991): La Desertificación del Territorio Valenciano. En: Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana. *Generalitat Valenciana*, Valencia.
- Rubio, J.L., Sánchez, J., Sanroque, P. y Molina, M. J. (1984): Metodología de evaluación de la erosión hídrica en suelos del área mediterránea. Actas del I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Segovia, *Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo*, Madrid, 827-848.
- Sánchez, J., Arnal, S., Antolín, C. y Rubio, J.L. (1984): Metodología de la Cartografía Básica. Actas del I Congreso Nacional de Ciencia del Suelo, Segovia, Spain, *Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo*, Madrid, 771-782.
- Sánchez *et al.* (1986): Mapas de erosión actual (grado) y erosión potencial (riesgo). En: Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia. *Diputación Provincial de Valencia*. Universidad de Cantabria. Universitat de València.
- Sánchez, J., Pérez, A., Bordás, V. y Pruñonosa, R. (1987): Recomendaciones y limitaciones de uso. Su aplicación en el Valle de Ayora. *Actas de la III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del territorio*, Valencia, 1547-1565.
- Sánchez, J., Lillo, P., Recatalá, L. y Colomer, J.C. (1995): Mapas de grado de erosión actual y riesgo de erosión potencial. En: *Cartografía del Potencial del Medio Natural de la Isla de Gran Canaria, Cabildo Insular de Gran Canaria*, Gran Canaria, 75-95.
- Sanroque, P. (1987): La erosión del suelo. En: Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana, *Generalitat Valenciana*, Valencia.
- Sanroque, P., Rubio, J.L. y Sánchez, J. (1983): Evaluación de la erosión hídrica de los suelos, *Anales de Edafología y Agrobiología* 5-6, 855-875.
- Sanroque, P.; Rubio, J.L. e Izquierdo, L. (1990): Relationships among erodibility, parent material and soil type in areas of the Valencia province (Spain). *Soil Technology* 3, 373-384.
- Soil Survey Staff (1994): Keys to Soil Taxonomy. *USDA S.C.S.* Washington, D.C.
- Soil Survey Staff (1996): Keys to Soil Taxonomy. *USDA N.R.C.S.* Washington, D.C.
- Soil Survey Staff (1998): Keys to Soil Taxonomy. *USDA N.R.C.S.* Washington, D.C.
- Van Zuidam, R.A y Van Zuidam, F.I. (1979): Detailed terrain classification or geomorphological mapping as a basis for erosion susceptibility and (soil) conservation studies. Terrain analysis and classification using aerial photographs. Use of aerial detection in geomorphology and geographical landscape analysis. *ITC Text Book of Photo-interpretation*. Vol VII. Chapter 6. Part IV, International Institute for Aerial Survey and Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands.

- Wischmeier, W.H. (1976): Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 31, 5-9.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1962): Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain. *USDA Agricultural Handbook* 282. U.S. Gov. Printing Office. Washington.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1965): Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. *Int. Ass. Sci. Hydrology Comm. on Land Erosion*. Pub. 59, 85-148-159.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. *U.S. Department of Agriculture Handbook* 537, Washington