

SENSIBILIDAD AMBIENTAL A LA DEGRADACIÓN EN EXTREMADURA (ESPAÑA)

J. F. Lavado Contador, S. Schnabel, A. Gómez Gutiérrez y M. Pulido Fernández

Universidad de Extremadura

RESUMEN

Se ha realizado un análisis de la sensibilidad ambiental a la degradación en Extremadura (SO España) mediante un modelo desarrollado en el proyecto europeo MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use). En base a la metodología aplicada se identifican áreas con diferente grado de sensibilidad ambiental por medio del cálculo de un índice (ESA) que incorpora información relativa a factores de calidad ambiental (clima, suelo y vegetación), así como otros de origen antrópico relacionados con el uso y el manejo del suelo. Como resultado final se han generado dos mapas de diferente resolución temática: 4 y 8 clases de sensibilidad ambiental.

Palabras clave: Degradación de las tierras, desertificación, Extremadura, Sensibilidad, Calidad ambiental

ABSTRACT

An assessment of the sensitivity to land degradation have been carried out in the Extremadura region, SW Spain, by means of a modelling approach developed in the European Commission funded MEDALUS project (Mediterranean Desertification and Land Use) which identifies such areas on the basis of an index (ESA index) that incorporates data on environmental quality (climate, vegetation, soil) as well as anthropogenic factors (management). Two maps of environmental sensitivity to degradation with different legend resolution (4 and 8 classes of sensitivity) have been made.

Key words: Land degradation, Desertification, Extremadura, Spain, Environmental sensitivity, Environmental quality.

Fecha de recepción: septiembre 2008.

Fecha de aceptación: junio 2010.

I. INTRODUCCIÓN

Los paisajes están sometidos a transformaciones entre las que se cuentan un buen número de formas de degradación de origen natural. No obstante, estos procesos naturales de degradación suelen ser compensados mediante el potencial inherente a estos sistemas para recuperarse (resiliencia). De forma neta, un sistema natural se degrada cuando estos procesos de degradación exceden significativamente a la capacidad natural de recuperación. Dichos excesos suelen estar relacionados con presiones sobre el sistema procedentes de actividades antrópicas, por lo que la degradación ambiental suele considerarse causada por el hombre en la mayoría de sus formas (Blum 1998).

El fenómeno complejo conocido como degradación de las tierras implica la reducción de los recursos naturales, que se pone de manifiesto como consecuencia una serie de procesos. Estos recursos están relacionados principalmente con los niveles de productividad primaria, la capacidad agraria y las funciones bióticas del sistema (Sombroek y El Hadji 1993). El suelo es uno de los recursos que en mayor medida se ven afectados por la degradación, que se manifiesta como una pérdida de calidad que afecta al potencial biológico y a la productividad del conjunto del sistema natural y que implica aspectos relacionados con propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Imeson 1998). Entre las propiedades físicas, se observan modificaciones del grado de compactación del suelo y de otras propiedades estructurales como la textura y la estabilidad de los agregados. Las alteraciones sobre las propiedades biológicas implican la reducción en la cantidad de materia orgánica y un deterioro de la estructura ecológica y composición de los elementos biológicos. La química del suelo puede verse afectada mediante cambios en las proporciones de elementos importantes para el mantenimiento de la productividad como el carbono, el nitrógeno y el fósforo.

Todos estos aspectos, junto con otros, están interrelacionados y conllevan cambios muy importantes que trascienden entre diferentes compartimentos del sistema natural, como los producidos sobre las propiedades hídricas, la resistencia a la erosión, la disponibilidad y el reciclado de los nutrientes y la capacidad de almacenamiento de carbono.

La degradación ambiental supone por tanto un fenómeno destacable por su relevancia y que se extiende por buena parte del planeta, en áreas en las que los suelos han perdido resiliencia y capacidad de producción por factores naturales y antrópicos (Blum 1998, Mainguet 1994). Este fenómeno se relaciona frecuentemente con elementos climáticos adversos en áreas en las que la aridez supone una de las principales limitaciones ambientales. A lo largo de toda la cuenca mediterránea la acción humana se señala como una de los principales causantes de degradación ambiental y, en casos más extremos, desertificación (Trisorio-Liuzzi y Hamdy 2002).

Si se considera la complejidad de las interrelaciones entre los numerosos factores ambientales y antrópicos, explicar la susceptibilidad de un área (a cualquier escala) a la degradación o, en casos críticos, a la desertificación, es bastante difícil. Al mismo tiempo, la sostenibilidad medioambiental necesita que los riesgos relacionados con la degradación sean bien analizados en función de los procesos dominantes a escala local o regional. Es importante identificar los procesos conducentes a la degradación para comprender localmente el fenómeno. Centrados en esa idea, en las últimas décadas se han desarrollado numerosos estudios que pretenden clarificar los elementos críticos de la degradación y las formas de abordar su

análisis a diferentes escalas espaciales y temporales (Trisorio-Liuzzi y Hamdy 2002, Brandt 2003).

El concepto de sensibilidad ambiental (ES) surgió en los países desarrollados y ha sido potenciado recientemente ante la creciente preocupación por la degradación del suelo y la desertificación y sus consecuencias (Rubio 1995, Basso et al. 2000). Un área sensible a la degradación o la desertificación (ESA) se considera como una superficie con unas características ambientales determinadas, en la que algunos aspectos clave relacionados con su sostenibilidad a largo plazo se encuentran en desequilibrio, comprometiendo la sostenibilidad del medio (Basso et al. 2000).

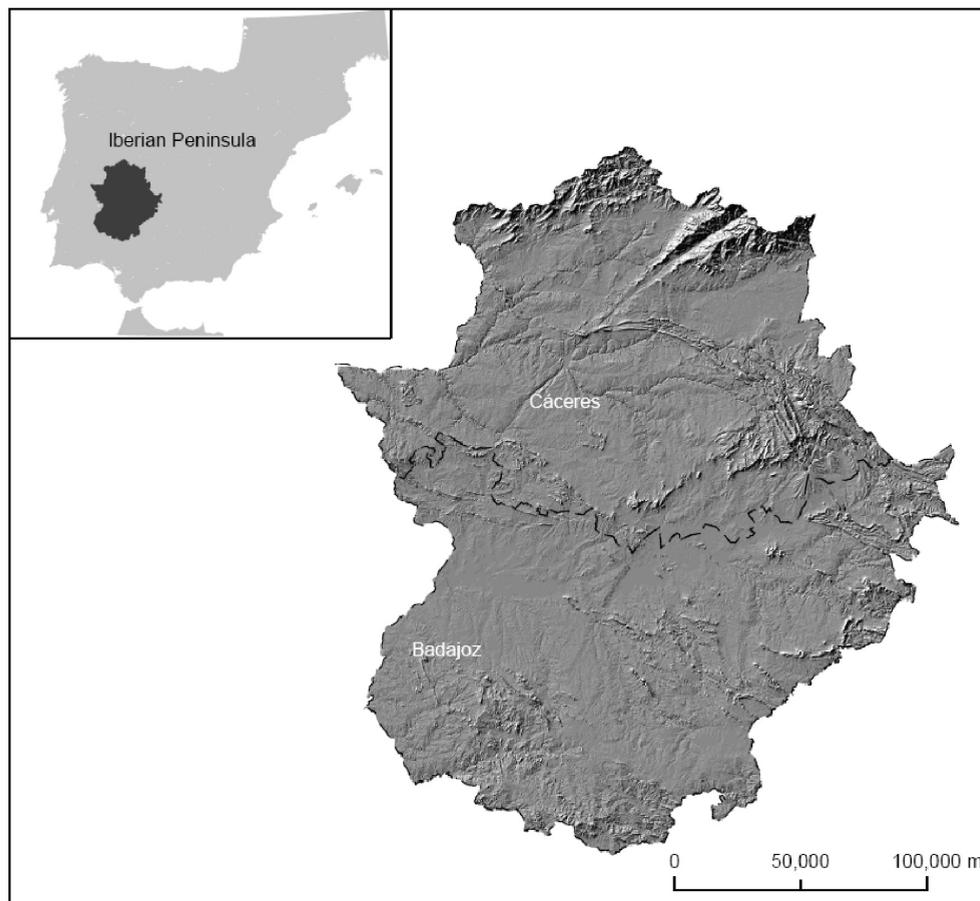
El objetivo principal de este trabajo consiste en identificar áreas con diferente sensibilidad ambiental a la degradación en Extremadura (España) y plantear la metodología empleada para su delimitación. Para ello se utiliza un marco de trabajo basado en un modelo desarrollado en el contexto de Proyecto MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use) subvencionado por la Comisión Europea. La identificación de las áreas con diferente grado de sensibilidad ambiental se realiza en forma cartográfica mediante un índice (Índice de Sensibilidad Ambiental, ESAI), para cuyo cálculo se consideran elementos de calidad ambiental (clima, vegetación, suelo) y factores antrópicos (relacionados con la calidad del manejo y la gestión). Kosmas et al. (1999) y Brandt et al. (2003) destacan la sencillez del método, su robustez y relativa facilidad de aplicación. La selección de los parámetros componentes del ESAI debe ser realizada en función de su disponibilidad, economía y capacidad de actualización, al tiempo que el conjunto del modelo debe ser fácilmente adaptable a cambios en la disponibilidad de datos y a la posible adición de otros nuevos de interés.

II. EL ÁREA DE ESTUDIO

La Comunidad Autónoma de Extremadura se localiza hacia el Suroeste de España y se encuentra rodeada de Castilla-León, Castilla-La Mancha, Andalucía y Portugal (Figura 1). Con una altitud promedio de 350 m sobre el nivel del mar, la mayor parte de Extremadura se encuadra morfológicamente sobre una serie de penillanuras de relieve ondulado y de depresiones fluviales, esculpidas las primeras sobre pizarras y grauwacas geológicamente antiguas y las segundas sobre sedimentos aluviales más modernos dispuestos en las zonas más bajas de las cuencas de los principales ríos (particularmente el Guadiana) y sus afluentes. Los relieves dominantes en las áreas de montaña (principalmente S. de Tentudía en el Sur de la región, comarcas de Sierra de Gata, Las Urdes, Valle del Ambroz, Valle del Jerte y la Vera en el Norte y Sierras de Miravete y Villuercas en el centro) son de tipo estructural y persisten como relictos de los materiales graníticos y cuarcíticos, más duros y dispuestos entre las ondulantes llanuras.

En este contexto orográfico diverso, el clima dominante en la mayor parte de la región es de tipo mediterráneo, con variante semiárido a subhúmedo seco y con algo de influencia oceánica. Ello configura un panorama climático heterogéneo y de fuertes variaciones espaciotemporales en las precipitaciones, registrándose por término medio unos 450 mm de lluvia total anual en la mayor parte de la región y un mínimo de tres meses de práctica ausencia de lluvias en verano, lo que contrasta fuertemente con los más de 1.000 mm de algunas áreas de montaña, al tiempo que no son raros los eventos de sequía más o menos

Figura 1
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



cíclicos. Las temperaturas, altas en verano y relativamente bajas en invierno, también varían con la altitud. Los promedios anuales más fríos se localizan en el Noroeste de la provincial de Cáceres (13°C) y se incrementan progresivamente hacia el Sur. Las temperaturas anuales promedio más cálidas se localizan en la depresión del Guadina con 17°C. El mes más cálido es Agosto y el más frío Enero. A excepción de algunas pequeñas áreas en el Norte de la provincia de Cáceres, los valores promedio mensuales son positivos, sin embargo, las mínimas absolutas alcanzan valores negativos con facilidad durante el invierno. El contexto climático general semiárido determina balances hídricos negativos que, con frecuencia, imposibilitan la recarga de los acuíferos durante las épocas de sequía.

Con estos determinantes del medio físico y la influencia de las diferentes civilizaciones que han dejado su huella en el territorio, se ha propiciado un juego dinámico

de milenios entre el marco físico-ambiental y las circunstancias sociales y económicas, cuyo resultado se ha plasmado en lo que hoy observamos como un rico patrimonio de tipologías y especies de vegetación y de paisajes. Estos paisajes, su estructura y su composición son, por su génesis, paisajes culturales, ya que, al igual que en el conjunto de las civilizaciones mediterráneas en que se encuentra Extremadura, estos no podrían ser comprendidos mediante un análisis excluyente de alguno de los componentes del binomio hombre-medio.

III. MÉTODOS

Para la determinación de las ESA se utilizó una metodología basada en la elaboración de un sistema de información geográfica según se describe en Kosmas et al. (1999). Entre las capas constituyentes de dicho sistema se consideraron una serie de elementos clave desde el punto de vista de la degradación que fueron analizados por medio de parámetros fácilmente obtenibles de las bases de datos y del la cartografía temática disponible, así como de otras desarrolladas *ex profeso* para el estudio. Estos elementos clave están fuertemente relacionados con el grado de sensibilidad ambiental a la degradación y abarcan tanto aspectos ambientales: suelo, clima y vegetación; como otros sociales o antropogénicos: formas de uso y manejo del suelo.

Cada uno de estos elementos clave se estudió mediante índices parciales de calidad para el suelo, clima, vegetación y usos/manejos respectivamente en cuyo cálculo se consideraron los parámetros mostrados en la Tabla 1. Cada uno de estos parámetros fue clasificado en función de rangos o tipos de valores y a cada clase se asignó un peso en función de su relevancia o influencia en los procesos de degradación. Estos pesos variaron entre 1 para la mejor clase y 2 para la peor (Tabla 2). Para una mejor comprensión acerca de cómo los diferentes parámetros repercuten en los procesos de degradación consultar Kosmas et al. (1999).

El suelo es uno de los principales elementos en lo que se refiere al funcionamiento de los ecosistemas y productividad de la biomasa, y está fuertemente involucrado, al tipo que se ve afectado por el fenómeno de la degradación. Los indicadores (parámetros) utilizados en el estudio para la determinación de la sensibilidad ambiental están relacionados fundamentalmente con la disponibilidad de agua y la resistencia a la erosión. Dichos parámetros pueden ser fácilmente obtenidos a partir de la cartografía edáfica, topográfica y geológica disponible para el área de estudio (Tabla 1).

La calidad del clima se determinó empleando indicadores sencillos de la disponibilidad de agua para las plantas como la precipitación total anual (mm), la orientación topográfica y la aridez del clima. La clasificación y los pesos asignados a las clases de precipitación total anual se realizó considerando 280 mm anuales como un valor umbral científicamente consensuado en lo referente al crecimiento de las plantas y la erosión del suelo (Kosmas et al. 1999). La evaluación de la aridez climática se realizó mediante el cálculo del índice de Bagnouls-Gaussien (1). El cálculo de este índice resulta sencillo ya que sólo se requieren los valores medios mensuales de temperatura y la precipitación total mensual, fácilmente obtenibles de los registros meteorológicos comunes. El índice de aridez se dividió en seis clases a las que se asignaron pesos en función de su influencia en los procesos de degrada-

ción (Tabla 2). Las clases y pesos considerados para los valores de orientación topográfica fueron dos: NO-NE y SO-SE (Tabla 2).

$$(1) \quad BGI = \sum_{i=1}^n (2ti - Pi) \cdot K$$

Donde n = meses del año, Pi = precipitación total del mes i , ti = temperatura promedio del mes i y K es un índice que expresa el número de meses en que $2(ti - Pi) > 0$.

En lo que se refiere a la calidad de la vegetación, su estudio se abordó en términos del riesgo de incendio, potencial de recuperación tras el incendio, capacidad de protección frente a la erosión y cobertura del suelo (Kosmas et al. 1999). Para ello se confeccionaron una serie de clases de vegetación y tipos de cubierta en base a la cartografía del CORINE Land Cover (escala 1:100.000, año 2000) y del Inventario Forestal Nacional (Tabla 2).

La calidad del manejo y la gestión se consideró en términos del uso dominante en cada área y de las políticas de manejo desarrolladas en las mismas. Se consideraron cuatro formas de uso principales en base a las teselas disponibles del CORINE Land Cover 2000: áreas agrícolas (cultivos y pastizales), áreas de vegetación «natural» (bosques y matorrales), áreas de extracción minera y áreas de uso turístico o recreativo. Una vez fueron delimitados los usos principales, se realizó una evaluación de la intensidad de uso. Los pesos asignados las clases de uso principal así como los parámetros considerados en la estimación de la intensidad del uso se muestran en la Tabla 2. Con vistas a la caracterización de las políticas de manejo, se realizó también un análisis de la medida en que se implementan las diferentes políticas de protección en cada tipo de uso.

El cálculo de los cuatro índices parciales de calidad y del índice final de sensibilidad ambiental de la degradación (ESAI) se obtiene como la media geométrica de los diferentes parámetros implicados según se expresa a continuación:

SQI (Índice de Calidad del Suelo) = (Material parental * Textura * Profundidad del suelo * Pendiente * Capacidad de drenaje)^{1/5}

CQI (Índice de Calidad del Clima) = (Precipitación total anual * Aridez * Orientación)^{1/3}

VQI (Índice de Calidad de la Vegetación) = (Riesgo de incendio * Protección frente a la erosión * Resistencia a la sequía * Grado de cobertura)^{1/4}

MQI (Índice de Calidad del uso/manejos) = (Intensidad de uso del suelo * Políticas de manejo)^{1/2}

ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}

Para la realización de los cálculos, las diferentes capas de información integrantes del SIG, tanto ráster como vectoriales, fueron transformados en datos ráster con un tamaño de pixel de 25x25 m, correspondiente al tamaño de píxel del modelo digital de elevaciones empleado para el cálculo de la pendiente y la orientación topográficos.

El mapa final de sensibilidad ambiental a la degradación se obtuvo compartimentalizando los valores del ESAI obtenidos para toda el área de estudio en cuatro clases principales de valores, ordenados en función del grado de sensibilidad como: áreas no afectadas (N), áreas potenciales (P), áreas frágiles (F) y áreas críticas (C). Las áreas críticas y frágiles pueden ser subdivididas a su vez en tres subclases numeradas entre 3 (sensibilidad más alta), 2 (sensi-

Tabla 1
 TIPO DE INFORMACIÓN, ESCALA Y FUENTE DE LOS PARÁMETROS USADOS COMO CAPAS TEMÁTICAS PARA EL CÁLCULO DE LOS ÍNDICES PARCIALES DE CALIDAD DEL SUELO (SQI), CLIMA (CQI), VEGETACIÓN (VQI) Y USOS/MANEJOS (MQI).

	Tipo de parámetro	Escala	Fuente
SQI	Textura	1:250,000	Mapa de suelos. Departamento de Agrobiología y Edafología. CSIC. España
	Profundidad del suelo	1:250,000	Mapa de suelos. Departamento de Agrobiología y Edafología. CSIC. España
	Material parental	1:250,000	Mapa de suelos. Departamento de Agrobiología y Edafología. CSIC. España. Mapas geológicos 1:50.000 (MAGNA). Instituto Geológico y Minero. España.
	Capacidad de drenaje	1:250,000	Mapa de suelos. Departamento de Agrobiología y Edafología. CSIC. España
CQI	Pendiente	Raster 25x25 m pixel size	Clasificación a partir de from MDE de 25 m de equidistancia hipsométrica.
	Índice de aridez de Bagnouls Gausson	Raster 25x25m pixel size	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (Ninyerola et al, 2005)
	Precipitación anual	Raster 25x25m pixel size	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (Ninyerola et al, 2005)
VQI	Orientación	Raster 25x25m pixel size	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (Ninyerola et al, 2005)
	Riesgo de incendio	1:100,000	CORINE Land Cover 2000 revisado con el Inventario Forestal Nacional de España.
	Capacidad de protección frente a la erosión	1:100,000	CORINE Land Cover 2000 revisado con el Inventario Forestal Nacional de España.
	Resistencia a la sequía	1:100,000	CORINE Land Cover 2000 revisado con el Inventario Forestal Nacional de España.
MQI	Grado de cobertura	1:100,000	CORINE Land Cover 2000 revisado con el Inventario Forestal Nacional de España.
	Intensidad del uso principal	1:100,000	Reclasificación a partir del CORINE Land Cover 2000.
	Políticas de manejo (figuras de protección)	1:100,000	Mapas temáticos e información procedente de la Administración Autonómica.

Tabla 2
CLASES Y PESOS ASIGNADOS A CADA UNO DE LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD PARCIALES.

	Clase	Descripcion	Peso
Material parental	1	Shale, schists, basic, ultrabasic, conglomerates, unconsolidated.	1
	2	Limestone, marble, granite, rhyolite, ignibrite, gneiss, siltstone, sandstone.	1.7
	3	Clayey	2
Textura	1	L, SCL, SL, LS, CL	1
	2	SC, SiL, SiCL	1.2
	3	Si, C, SiC	1.6
	4	S	2
Profundidad (cm)	1	>75	1
	2	75-30	1.33
	3	15-30	1.66
	4	<15	2
Capacidad de drenaje	1	Well darined	1
	2	Imperfectly drained	1.2
	3	Poorly drained	2
Pendiente (%)	1	<6	1
	2	6-18	1.2
	3	18-35	1.5
	4	>35	2
Riesgo de incendio	1	Bare land, perennial agricultural crops, annual agricultural crops	1
	2	Annual agricultural crops, deciduous oak, (mixed), mixed Mediterranean macchia/evergreen forest	1.3
	3	Mediterranean macchia	1.6
	4	Pine forests	2
Protección frente a la erosión	1	Mixed Mediterranean macchia/evergreen forests	1
	2	Mediterranean macchia, pine forests, permanent grasslands, evergreen perennial crops	1.2
	3	Deciduous forests	1.4
	4	Deciduous perennial agricultural crops	1.7
	5	Annual agricultural crops, annual grasslands, vines	2
Resistencia a la sequía	1	Mixed Mediterranean macchia/evergreen forests, Mediterranean macchia	1
	2	Conifers, deciduous, olives	1.2
	3	Perennial agricultural trees	1.4
	4	Perennial grasslands	1.7
	5	Annual agricultural crops, annual grasslands	2

Cobertura (%)	1	>40	1
	2	10-40	1.8
	3	<10	2
Aridez (según índice de Bagnouls-Gaussen)	1	<50	1
	2	50-75	1.1
	3	75-100	1.2
	4	100-125	1.4
	5	125-150	1.8
	6	>150	2
Precipitación anual (mm)	1	>650	1
	2	650-280	1.5
	3	<280	2
Orientación	1	NW-NE	1
	2	SW-SE	2
Cultivos	1	Low land use intensity	1
	2	Medium land use intensity	1.5
	3	High land use intensity	2
Pastizales	1	ASR*>SSR*	1
	2	ASR=SSR* to 1.5*SSR*	1.5
	3	ASR>1.5*SSR	2
Zonas de vegetación «natural»	1	A*/S*=0	1
	2	A/S<1	1.5
	3	A/S=1 or greater	2
Zonas de extracción minera	1	Adequate implementation of erosion protection measures	1
	2	Moderate implementation of erosion protection measures	1.5
	3	Low implementation of erosion protection measures	2
Áreas recreativo/turísticas	1	ANV*/PNV*>1	1
	2	ANV/PNV=1 to 2.5	1.5
	3	ANV/PNV>2.5	2
Políticas de manejo	1	High degree of implementation of environmental protection policies	1
	2	Moderate degree of implementation of environmental protection policies	1.5
	3	Low degree of implementation of environmental protection policies	2

* ASR=Capacidad de carga real, SSR=Capacidad de carga sustentable, A=Productividad real, S=Productividad sustentable, ANV=Numero de visitantes real, PNV=Numero de visitantes permitidos o sustentable.

lidad media) y 1 (sensibilidad baja) (Tabla 3); es decir: C3, C2, C1 y F3, F2 y F1. Mediante estos procedimientos se obtienen dos mapas finales de sensibilidad, uno que refleja las cuatro clases principales (N, P, F, C) y otro ampliado más exhaustivo que considera ocho clases de sensibilidad (N, P, F1, F2, F3, C1, C2, C3).

Con el fin de testar los resultados de sensibilidad ambiental obtenidos y estimar la capacidad del modelo para predecir los valores de sensibilidad asignados, se realizó un análisis en el que se observó la relación existente entre los valores de sensibilidad (obtenidos del mapa final de áreas sensibles a la desertificación de cuatro clases) y una serie de datos de campo extraídos de la base de datos desarrollada para el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (TRAGSATEC por encargo del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Provincias de Cáceres y Badajoz).

De dicha base de datos se seleccionaron 2.698 registros, dispuestos espacialmente sobre una malla regular de 5x5 km de tamaño de celdilla obtenida de una simplificación de la rejilla UTM para el conjunto de Extremadura. Esta operación espacial supone un punto de muestreo cada 2.500 hectáreas aproximadamente. Los nodos de esta malla se usaron como coordenadas geográficas sobre las que se dispusieron los 2.698 puntos de muestreo representativos cada uno de un área de 500 m alrededor de cada nodo.

Los datos obtenidos de los registros corresponden a cuatro variables que fueron usadas como variables de testeo. La selección se realizó en base a la relevancia reconocida de las mismas como indicadores en procesos de degradación/desertificación, ya sea de manera directa o indirecta. Por ejemplo, valores elevados en las observaciones de erosión laminar constituyen un indicador directo de degradación edáfica, mientras que valores elevados de carga ganadera pueden constituir un indicador indirecto, al repercutir sobre aspectos relacionados con la capacidad del suelo de resistir frente a otros agentes directamente degradantes. Las variables finalmente seleccionadas fueron:

Tabla 3
CLASIFICACIÓN REALIZADA DE LOS VALORES DEL ESAI PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES CLASES DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL A LA DEGRADACIÓN.

Clase	Subclase	Rango de ESAI
Crítica	C3	>1.53
“	C2	1.42-1.53
“	C1	1.38-1.41
Frágil	F3	1.33-1.37
“	F2	1.27-1.32
“	F1	1.23-1.26
Potencial	P	1.17-1.22
No afectada	NA	<1.17

- Fracción de cabida cubierta por la vegetación leñosa en el área de muestreo expresada en forma de porcentaje. La cubierta vegetal juega un papel importante en la protección del suelo frente al efecto de las gotas de lluvia al tiempo que incrementa la cantidad de materia orgánica, la estabilidad de los agregados, la capacidad de retención de agua y la conductividad hidráulica. Muchos autores han demostrado la reducción exponencial que se produce en las pérdidas de suelo por erosión en relación con el incremento de la cubierta vegetal (Dunne et al. 1978; Stocking 1988; Brandt et al. 2003).
- Erosión laminar expresada en escala cuantitativa para cada unidad de muestreo entre muy intensa y no afectada. La erosión laminar en vertientes se considera como uno de los principales procesos erosivos en Extremadura (Schnabel, 1997) y uno de los agentes conducentes a la degradación de las tierras, generalmente como respuesta a manejos incorrectos de áreas cultivadas y zonas de pastoreo.
- Densidad aparente del suelo expresada en unidades de mg/cm^3 . Valores elevados de densidad aparente se reconocen habitualmente como indicadores de degradación al estar relacionados, entre otros, con el sobrepastoreo, reducción de la cubierta vegetal, cantidad de materia orgánica y conductividad hidráulica.
- Cantidad de materia orgánica expresada en porcentaje. Particularmente en la región Mediterránea, la materia orgánica del suelo juega un papel fundamental en relación con la degradación del suelo. De acuerdo con el European Soil Bureau, cerca del 75% del total del área analizada en el Sur de Europa muestra valores bajos (3.4%) a muy bajos (1.7%) en el contenido de materia orgánica (Brandt et al. 2003).

Mediante técnicas SIG, se realizó una consulta de los valores de sensibilidad asignados a cada punto de muestreo sobre el mapa de 4 clases de sensibilidad (NA, P, F, C). Con la finalidad de analizar la coherencia del mapa en función de los datos reales de campo (no modelizados), los datos de sensibilidad así obtenidos para cada uno de los 2.960 puntos de muestreo se compararon con los de las cuatro variables de testeo seleccionadas. Debido a la naturaleza no paramétrica de los datos, se calcularon correlaciones R de Spearman para observar la relación entre las variables y la sensibilidad. Si el mapa es suficientemente coherente con los datos de campo y por consiguiente el modelo empleado es capaz de predecir los datos de sensibilidad asignados, el valor y signo de la correlación obtenida debe ser concordante con lo esperado en base al conocimiento que se tiene del comportamiento de las variables de testeo en relación con los procesos de degradación. Por ejemplo, es de esperar que los muestreos localizados en una zona de sensibilidad crítica muestren, en promedio, mayores valores de erosión laminar y menor contenido de materia orgánica en el suelo que otros puntos localizados en áreas de menor sensibilidad; lo que se traduciría en valores de correlación de R de Spearman en el sentido: a mayor sensibilidad→mayor erosión (valor positivo) o a mayor sensibilidad→menor contenido de materia orgánica (valor negativo).

La integración, manejo y procesado de los datos para el estudio se realizó mediante el uso de software SIG y de análisis de datos: ArcGIS® v.9.0, IDRISI® v.3.2 y STATISTICA® v 7.0.

IV. RESULTADOS

La figura 2 muestra la cartografía elaborada mediante el cálculo de los índices parciales de calidad del clima, suelo, vegetación y manejo/gestión. La figura 3 muestra los mapas finales de cuatro y ocho clases que expresan la sensibilidad ambiental a la degradación en el área de estudio.

A la vista de los resultados (Figura 4), la mayor parte de la región (67%) pertenece a alguna de las clases críticas, de mayor sensibilidad (C1, C2 o C3), el 29% a alguna de las clases frágiles (F1, F2 o F3) y un 3% se consideran áreas potenciales. Solamente el 1% del área de estudio se consideró no sensible. La clase C2 domina en el territorio abarcando el 43% de la superficie, mientras que las clases C1 y C3 suponen el 15% y 13,2% respectivamente. Entre las áreas frágiles, el 14% corresponde a la clase F3, el 10% a F2 y el 3% a F1.

La distribución de los valores de sensibilidad en el área de estudio se muestra claramente relacionada (dependiente) de las características fisiográficas dominantes, que juegan un fuerte papel determinante en la configuración de muchos de los elementos y parámetros empleados en la construcción del modelo. Por ejemplo, la topografía, determinada por la altitud, las pendientes y la orientación, afecta a las características climáticas (precipitación), a las propiedades edafogénicas y al potencial de generación de biomasa; determinando incluso las formas de uso del terreno y la características del manejo. Algunas de estas características generales del modelo y los efectos relacionados con ellas pueden deducirse de la Figura 5, en la que se representan los valores promedio de altitud, precipitación total anual y pendiente por cada una de las clases principales de sensibilidad. En base a la Figura 5, se deduce claramente que las áreas menos sensibles (N y P) se localizan en las zonas montañosas del área de estudio, con mayores valores de precipitación, que en última instancia determinan los valores de algunos de los parámetros empleados en el cálculo de los índices parciales de calidad de los cuales se deriva la sensibilidad.

Los valores promedio de cada uno de los índices de calidad (SQI, CQI, VQI, MQI) aparecen representados por clases de sensibilidad en la figura 6 (valores elevados de los índices corresponden a calidades bajas). Las áreas caracterizadas como críticas y frágiles muestran los menores valores de calidad para todos los índices, mientras que las áreas potenciales y no afectadas muestran las mayores calidades parciales. Se observa por tanto una tendencia marcada al incremento de calidad entre las áreas críticas y las no afectadas, a excepción de la calidad del clima, que mostró un descenso entre las áreas potenciales y las no afectadas, siendo, eso sí, claramente mayor que en las áreas críticas y frágiles.

En lo que se refiere a la comprobación del funcionamiento del modelo, según los datos obtenidos del análisis de correlación R de Spearman realizado para el conjunto de la región (como se describe en la metodología) se observa una notable coherencia en el comportamiento de la relación obtenida frente a la esperada (Figura 7). La correlación obtenida fue significativa para un nivel de probabilidad $p < 0.01$ con las cuatro variables y todas las variables mostraron además un signo de correlación coherente con lo esperado, lo que informa de que la clasificación realizada responde bien en términos globales a lo que se espera de un buen funcionamiento general en la asignación de las clases de sensi-

Figura 2
CARTOGRAFÍA DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD PARCIALES PARA CLIMA, SUELO, VEGETACIÓN Y MANEJO/GESTIÓN QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE FINAL DE ÁREAS MEDIOAMBIENTALMENTE SENSIBLES A LA DEGRADACIÓN.

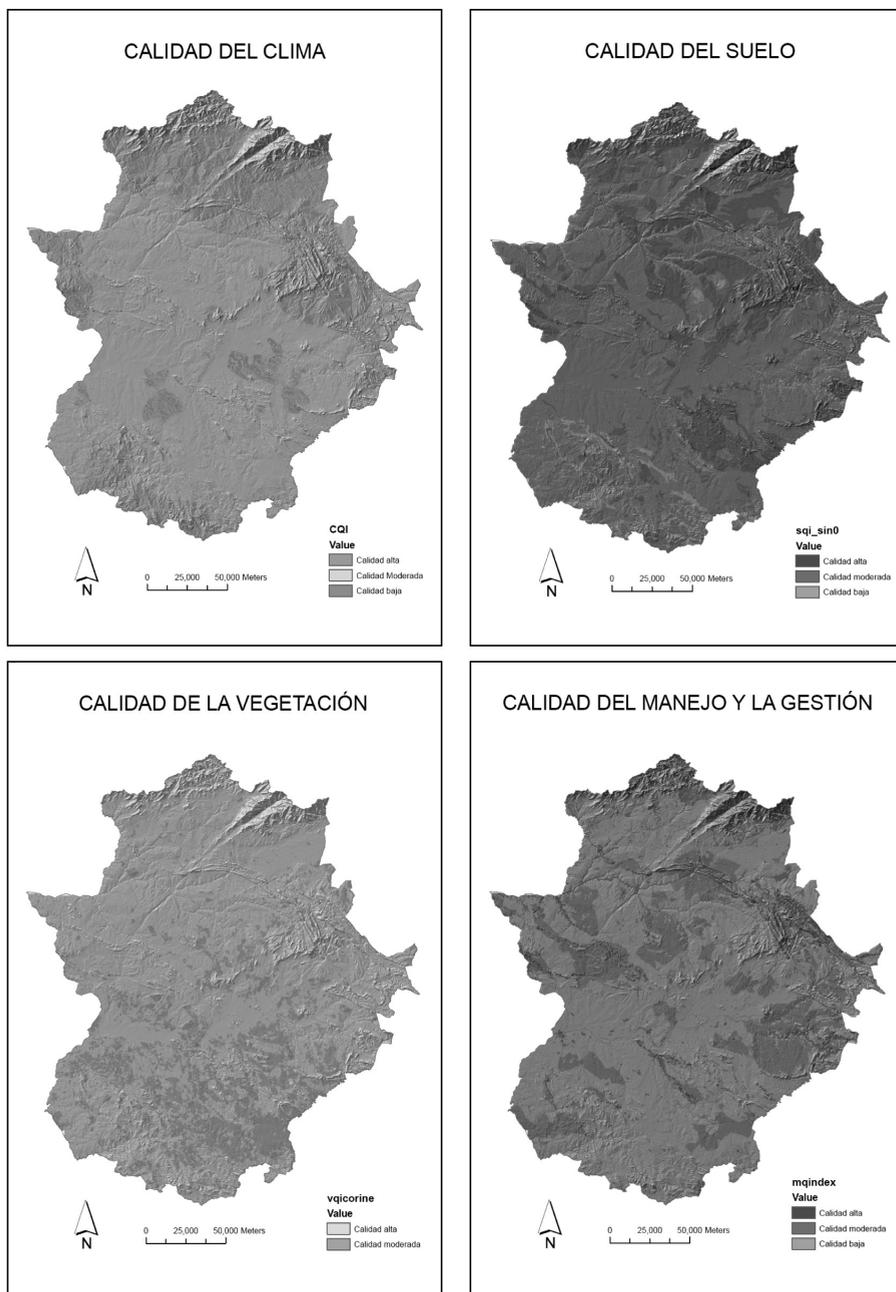
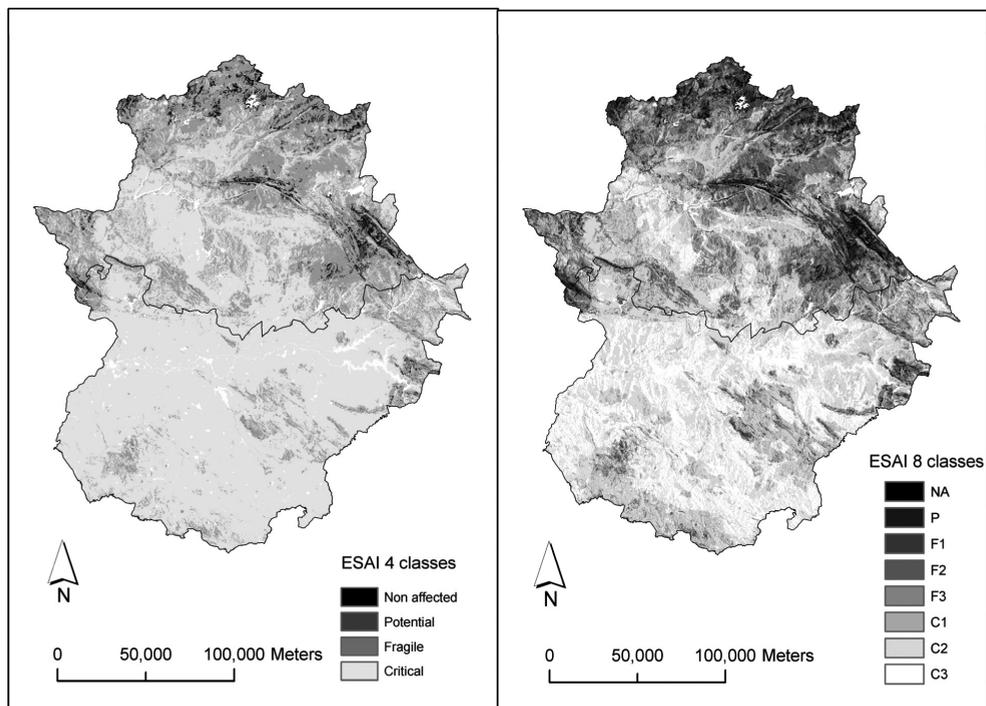


Figura 3
MAPAS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL A LA DEGRADACIÓN DE 4 Y 8 CLASES DE SENSIBILIDAD.



bilidad. Un método similar al empleado en el presente trabajo fue utilizado por Basso et al. 2000 en el Sur de Italia, obteniendo igualmente resultados bastante satisfactorios. Debe considerarse, no obstante, que la comprobación realizada mediante este procedimiento y las relaciones encontradas entre las variables, sólo informan que, en general, el modelo produce medidas de la sensibilidad que responden de manera congruentes con lo observado. No obstante, resta aún trabajo por realizar para comprobar la coherencia del mapa de ocho clases de sensibilidad, y analizar también en qué medida la asignación de rangos de ESAI por clase de sensibilidad realizada (Tabla 3) es la más adecuada para reflejar de la mejor manera el comportamiento sobre el terreno de los indicadores de degradación, tanto los cuatro empleados en el trabajo como otros adicionales que puedan complementar la fiabilidad en la validación del modelo.

Figura 4
 PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DEL ÁREA DE ESTUDIO OCUPADO POR CADA UNA DE LAS CLASES DE SENSIBILIDAD SEGÚN EL MAPA DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL DE CUATRO (A) Y OCHO CLASES (B).

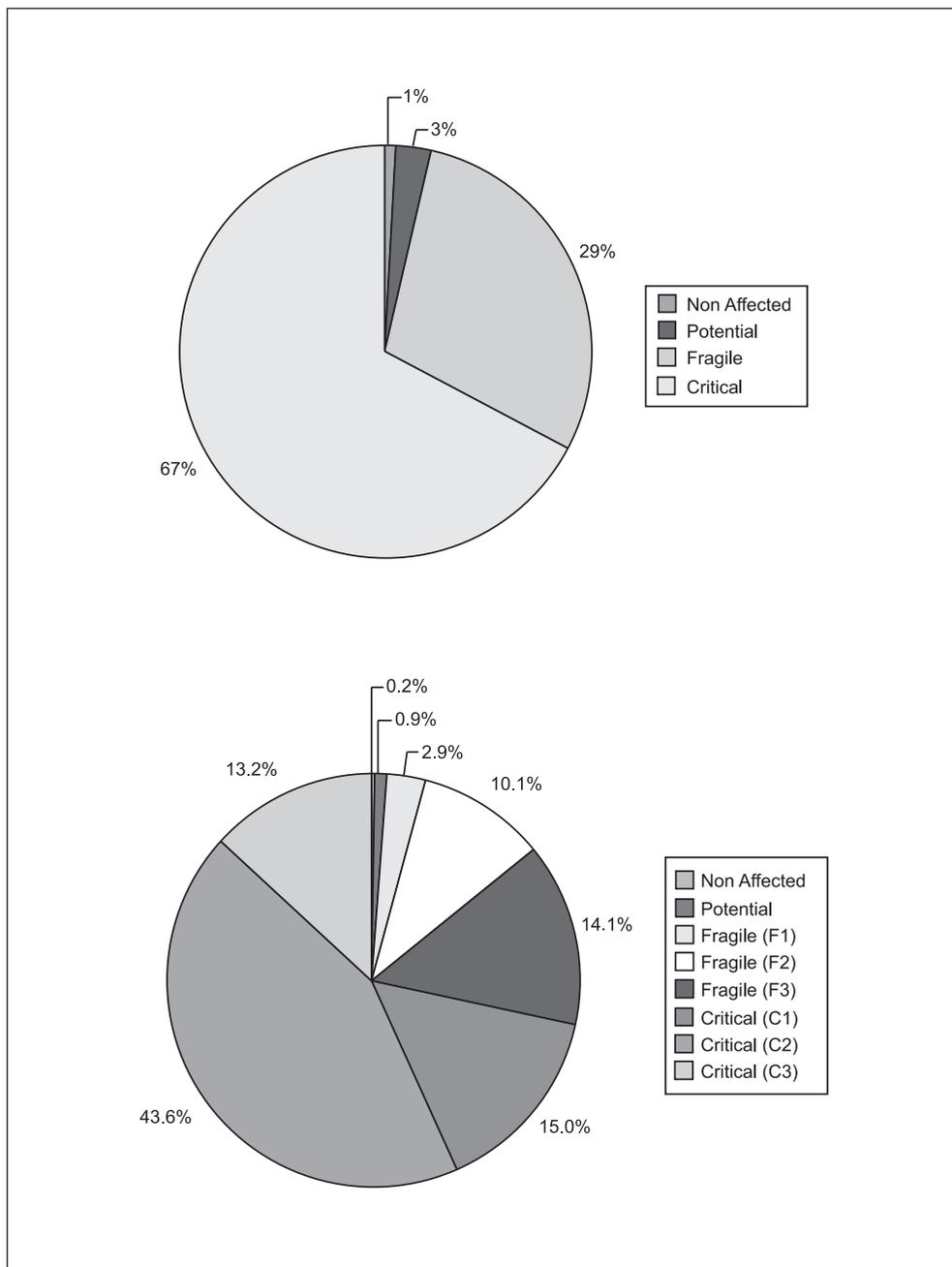


Figura 5
VALORES PROMEDIO DE ALTITUD (M), PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (MM) Y PENDIENTE (%) PARA CADA UNA DE LAS CLASES PRINCIPALES DE SENSIBILIDAD

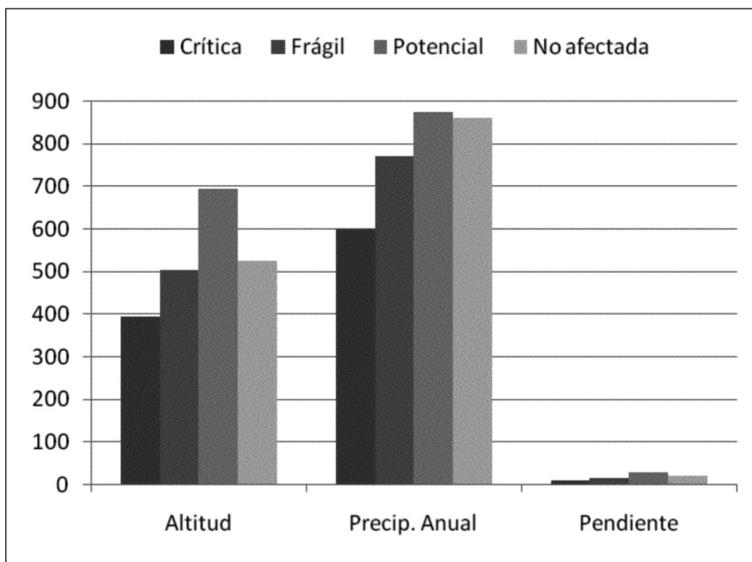


Figura 6
VALORES DE LOS ÍNDICES PARCIALES DE CALIDAD: SUELO (SQI), CLIMA (CQI), VEGETACIÓN (VQI), Y USO Y GESTIÓN (MQI). SE EXPRESAN COMO VALOR PROMEDIO POR CLASE DE SENSIBILIDAD (VALORES MAS ELEVADOS CORRESPONDEN CON CALIDADES MÁS BAJAS)

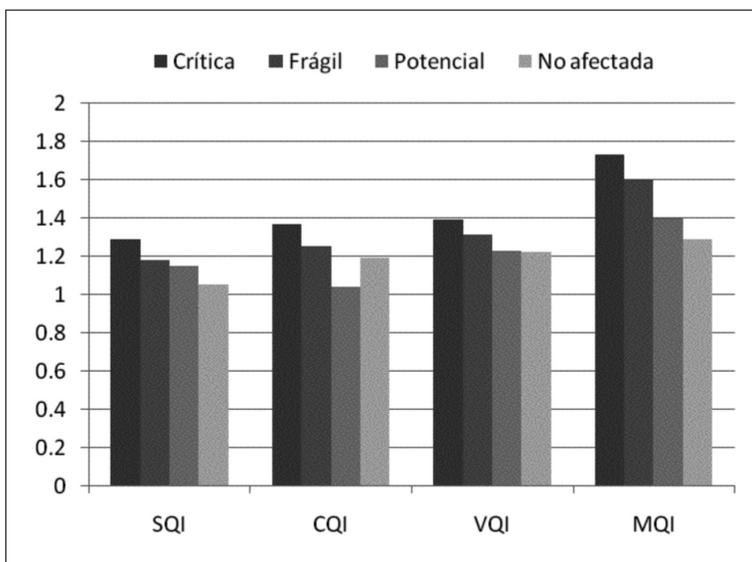
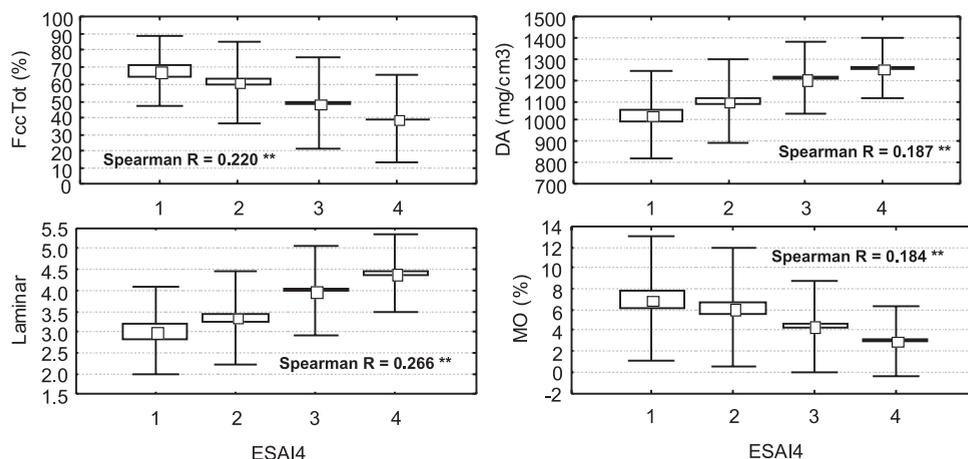


Figura 7

EVOLUCIÓN DEL VALOR MEDIO, EL ERROR Y LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS DIFERENTES VARIABLES DE VALIDACIÓN SEGÚN CLASE DE SENSIBILIDAD PARA EL MAPA DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL DE 4 CLASES. SE MUESTRA TAMBIÉN EL VALOR OBTENIDO PARA LA R DE SPEARMAN. ** $P < 0.01$. 1, CLASE NA; 2, CLASE P; 3, CLASE

F, 4, CLASE C. ■ MEDIA □ MEDIA±SE ┆ MEDIA±SD



BIBLIOGRAFÍA

- BASSO F, BOVE E, DUMONTET A, FERRARA A, PISANTE M, QUARANTA G, TABERNER M. (2000): «Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy)». *Catena* 40:19-35.
- BLUM, W.H. (1998): Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: Lal R, Blum WH, Valentine C, Stewart BA (eds.), *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Ratón, pp. 1-16.
- BRANDT, J., NICHOLA, G., IMESON, A. (2003): *A desertification indicator system for the Mediterranean Europe*. <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/downloads.htm>
- DUNNE, T., DIETRICH, W.E., BRUNENGO, M.J. (1978): Recent and past erosion rates in semi-arid Kenya. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd.* 29: 130-140.
- IMESON, AC. (1988): Una vía de ataque eco-geomorfológica al problema de la degradación y erosión del suelo. In: *Desertificación en Europa* (MOPU, ed.), Madrid, pp. 161-181.
- KOSMAS, C., FERRARA, A., BRIASOULI, H., IMESON, A. (1999): Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification. In: *The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification* (Kosmas, C.; Kirkby, M.; Geeson, N. eds), European Union 18882, ISBN 92-828-6349-2, pp. 31-47.
- MAINGUET, M. (1994): *Desertification: Natural background and human mismanagement*. Springer-Verlag, Berlin.

- RUBIO, J.L. (1995): Desertification: evolution of a concept. In: Fantechi R, Peter D, Balabanis P, Rubio JL (Eds.), EUR 15415 *Desertification in a European Context: Physical and Socio-economic aspects*, Brussels, Belgium. Office for Official Publications of the European Communities, pp. 5-13.
- SCHNABEL, S. (1997): *Soil erosion and runoff production in a small watershed under silvo-pastoral landuse (dehesas) in Extremadura, Spain*. Geoforma Ediciones, Logroño.
- SOMBROEKAND, W., SCENE, E.H. (1993): *Land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas: rainfed and irrigated lands, rangelands and woodlands*. FAO presentation at INCD, Nairobi, 24-28 May 1993. <http://www.fao.org/docrep/X5308E/x5308e00.htm#Contents>
- STOCKING, M.A. (1988): Assessing vegetative cover and management effects. In: R. Lal (eds.): *Soil erosion research methods*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 163-187.
- TRISORIO-LIUZZI, G., HAMDY, A. (2002): *Desertification: Causes and strategies to compete*. *Options Méditerranéennes*, Serie A n° 50.