

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS PÉRDIDAS DE SUELO EN ANDALUCÍA UTILIZANDO TECNOLOGÍA S.I.G. E IMÁGENES DE SATÉLITE

Manuel Rodríguez Surián
Juan de Dios Sánchez Pérez
Servicio de Evaluación de Recursos Naturales
Dirección General de Planificación y Participación
Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía

1- RESUMEN

Desde el año 1992 la Consejería de Medio Ambiente de Andalucía está trabajando en el "**Proyecto Hydre**" que es un proyecto piloto de la CEE destinado a implantar una metodología para el seguimiento de los recursos hídricos, así como los riesgos asociados a éstos, haciendo uso de modelos agrometeorológicos, imágenes de satélite y datos espaciales, integrados dentro de un Sistema de Información Geográfica.

Dentro de este contexto, y dado que la erosión de suelos constituye uno de los problemas ambientales más graves que se ciernen sobre las regiones mediterráneas, afectando en Andalucía a un alto porcentaje de su territorio; se ha generado una metodología de tipo cuantitativo, que permite el cálculo de las pérdidas de suelo y su distribución espacial y temporal.

El uso de estaciones automáticas para calcular la erosividad de la lluvia en tiempo real y de imágenes de satélites de alta y baja resolución para calcular la protección de la cubierta vegetal, permitirán obtener datos multitemporales relativos a estas pérdidas de suelos, obteniéndose un indicador ambiental de gran interés para territorios amplios a escalas de reconocimiento y semidetalle.

2- OBJETIVOS

La erosión es un proceso natural que junto a otros ha provocado en gran medida el modelado actual de nuestro entorno, generalmente actúa a velocidades que permiten un cierto equilibrio en la relación suelo creado - suelo perdido.

Estos fenómenos erosivos se pueden ver muy acelerados por la mano del hombre. La alta capacidad de éste para efectuar cambios en el entorno natural, fundamentalmente cuando actúa sobre el factor protector del suelo más importante, como es la cubierta vegetal, o cuando mantiene unos usos inadecuados de éste, provoca la pérdida o empobrecimiento de los suelos agrícolas y forestales que en conjunción con unas características climatológicas de tipo árido o semiárido desemboca en la desertificación.

Las nuevas herramientas disponibles en la actualidad, nos han llevado a plantear el tratamiento del cálculo estimativo de las pérdidas de suelo como un proceso dinámico donde un seguimiento continuado de los factores climáticos y de las coberturas vegetales y usos del suelo nos permite no analizar situaciones promedio, sino cuantificar y espacializar este proceso con una periodicidad al menos anual.

Con este fin se ha definido un proceso metodológico de tratamiento de la información y adquisición-actualización, que integrada en un entorno SIG permite un análisis multitemporal de los fenómenos erosivos y de los factores que los provocan.

3- METODOLOGÍA

Herramientas e información

Este proyecto se ha llevado a cabo utilizando el Sistema de Información Ambiental de Andalucía, el cual utiliza como herramientas básicas ORACLE para datos alfanuméricos, ARCINFO para información vectorial y ráster, y AMATEL (Lobato, A. y Moreira, J. M., 1993) para información ráster y tratamiento de imágenes de satélite.

Así mismo se han utilizado diferentes capas de información y bases de datos alfanuméricas de las ya residentes en el Sistema como punto de partida para el cálculo cuantitativo y espacial de los diferentes factores que intervienen en los procesos erosivos:

- Información edáfica espacializada a E 1:400.000 y datos alfanuméricos de perfiles de suelos asociados.
- Información alfanumérica y georeferenciada de datos pluviométricos de estaciones meteorológicas automáticas y diarias.
- Información topográfica sobre el territorio plasmada en un Modelo Digital de Elevaciones (DTM) con una resolución de 75 metros.
- Información relativa varias situaciones temporales de las coberturas y usos del suelo.
- Información referente a las principales alternativas de cultivos existentes en nuestra región, así como de sus distintas fases de desarrollo.
- Imágenes de satélite correspondientes a distintos años agrícolas.

El modelo de pérdidas de suelo

Tras el análisis de diferentes modelos de erosión se optó por aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Wischmeier, 1959), la cual recoge los principales parámetros físicos causantes de la erosión hídrica y que aunque no tiene la precisión de los modelos que trabajan a nivel de cuencas, sí presenta una menor complejidad de aplicación a escalas de reconocimiento y semidetalle, adaptándose perfectamente a un análisis regional (87000 km²) como el que nos ocupa.

La ecuación presenta la siguiente formulación:

$$A = R K L S C P$$

Requiriéndose para su empleo información de la agresividad climática (R), la resistencia de los suelos a ser erosionados (K), el relieve del terreno (LS), del grado de protección de la cubierta vegetal (C) y por último, de la aplicación de medidas de protección (P).

El valor de pérdida de suelo (A) obtenido y expresado en Tm/Ha/Año en el Sistema Internacional será un indicador ambiental de extraordinaria utilidad, permitiéndonos comparar diferentes zonas y realizar estudios temporales dentro de una zona determinada, y en definitiva, conocer la evolución del fenómeno de la erosión.

Tratamiento de la información

Podemos distinguir dos tipologías en la información que vamos a manejar en función de su velocidad de variación temporal.

Por una parte consideraremos información estática la correspondiente al relieve del terreno y a la que nos describe las características de los suelos, ya que sus dinámicas temporales son lo suficientemente lentas como para no experimentar cambios apreciables en períodos más o menos largos de tiempo.

De otra parte la información meteorológica y la de usos y coberturas vegetales del suelo, que será considerada como una información dinámica, especialmente la primera de ellas, que puede presentar cambios temporales y espaciales muy acusados no solo dentro de las lógicas variaciones estacionales. La dinamicidad de los usos y coberturas del suelo puede calificarse de media, salvo en las zonas con dedicación a cultivos herbáceos anuales, no siendo necesario una frecuencia temporal para adquirir los datos básicos tan alta como para el aspecto meteorológico.

Bajo este planteamiento espacio-temporal los datos meteorológicos se integrarán en el Sistema con una alta periodicidad: diaria para red de estaciones pluviométricas del INM, y "cuasi" en tiempo real para los datos derivados de las distintas redes de estaciones automáticas existentes en la región.

El análisis de los diferentes usos y coberturas vegetales del territorio se plantea bajo dos diferentes perspectivas: por una parte el uso de sensores remotos de alta resolución espacial, LANDSAT y SPOT, como medio para la actualización cuatrienal de la cartografía de estos usos y coberturas, y de otra el uso de

satélites de baja resolución espacial y alta periodicidad temporal (NOAA fundamentalmente), para el análisis y resolución estacional de las coberturas vegetales, lo que nos permitirá evaluar el grado de desarrollo-protección de ésta, especialmente en las zonas agrícolas.

Las variables

FACTOR R

La erosividad de la lluvia trata de reflejar la cantidad de energía cinética que tienen las gotas de lluvia que impactan sobre el suelo. Estas tienen un doble efecto sobre el mismo. Por un lado, producen un desprendimiento de partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia, y por otra parte, producen un taponamiento de los poros del suelo que incide en el aumento de la escorrentía y por tanto de la erosión.

Se trata de un parámetro de gran peso en la evaluación de las pérdidas de suelo y se define como el producto de dos características físicas de la lluvia: La energía cinética y la intensidad máxima de precipitación durante 30 minutos consecutivos.

Para la espacialización de la erosividad de la lluvia fue necesario realizar estudios de regionalización climática con el objetivo de descubrir conjuntos homogéneos en relación al parámetro intensidad de la lluvia. Se estableció una regionalización previa en función del comportamiento de los frentes nubosos a su paso por la región, y su interacción con el relieve general, y teniendo en cuenta la cartografía existente de precipitaciones máximas basadas en métodos estadísticos (ICONA. Monografía 21, 1979).

Posteriormente se verificó y corrigió esta regionalización en base a los datos de estaciones pluviométricas, comprobando que las observaciones incluidas en cada grupo eran similares y coherentes entre sí y, al mismo tiempo si las diferencias entre los distintos grupos establecidos eran significativas en términos estadísticos, a través de la realización de test de contraste de hipótesis.

Como resultado de este proceso de trabajo, y mediante aproximaciones sucesivas de la digitalización, se elaboró una cartografía de la región en zonas pluviométricamente homogéneas (*ver Figura 1 en el Anexo de este capítulo*), con validez estadística, a efectos de poder ser utilizada como fuente de información para estimar la espacialización de la erosividad de la lluvia.

Otro punto importante fue la recopilación de información de estaciones automáticas, contándose en principio con la estaciones automáticas procedentes de:

- Instituto Nacional de Meteorología, (INM). 42.
- Consejería de Medio Ambiente, (AMA). 17.
- Confederación Hidrográfica del Sur, (CHS). 90.
- Consejería de Agricultura y Pesca, (CAP). 56.

Tras el análisis de las mismas hubo que desechar la inmensa mayoría de las estaciones por 3 motivos fundamentales:

- Falta de series completas.
- Datos erróneos recogidos por el sensor.
- Falta de suministro de la información.

De las 189 estaciones posibles al final sólo se pudo contar con 10 estaciones automáticas con calidad estadística suficiente.

- | | | | | |
|----------|--------------|---------|---------|-------------------|
| • MORÓN | • FUENGIROLA | • VEJER | • JEREZ | • GRAZALEMA (AMA) |
| • ALAJAR | • ABLA | • ECIJA | • CADIZ | • CABRA |

A partir de estos datos de precipitación registrados cada 10 minutos, durante los cuales la intensidad de lluvia se considera constante, se evalúa la erosividad de la lluvia.

El factor R se define como el valor anual de la suma del índice de erosión EI. El valor EI para una tormenta dada es el producto de la energía cinética E (Mj/ha) por la máxima intensidad de la lluvia caída en 30 minutos I_{30} (mm/h).

$$R_t = E_t \cdot I_{30} = \left[\sum_{k=1}^p (e_k \cdot V_k) \right] \cdot I_{30} = \left[\sum_{k=1}^p [(0.119 + 0.0873 \cdot \log_{10} \cdot (i_k)) \cdot V_k] \right] \cdot I_{30}$$

siendo:

- e_k : Energía cinética correspondiente al intervalo de tiempo t_k y para cada unidad de precipitación. (Mj/ha.mm).
- V_k : Cantidad de lluvia caída en el intervalo de tiempo t_k . k varía entre 1 y p, siendo p el número de intervalos en que está dividida una tormenta.
- i_k : Intensidad de la lluvia (mm/h).

El valor de R para un año completo se obtiene sumando el valor R diario de todos los días, expresándose en las unidades:

$$\frac{\text{Megajulios} \cdot \text{milímetro}}{(\text{hectáreas} \cdot \text{hora} \cdot \text{año})}$$

En la figura 2 (ver Anexo de este capítulo) se representa un ejemplo del proceso de cálculo.

Dado el escaso número de puntos donde se puede calcular el valor R, es preciso el uso de las estaciones pluviométricas para poder realizar una espacialización de los datos de Erosividad.

Para ello se utilizaron 305 estaciones pluviométricas, suficientemente bien contrastadas la calidad de sus datos y espacialmente distribuidas.

El proceso de espacialización seguido, fue como sigue:

1. División de Andalucía en zonas en base a las estaciones Automáticas, mediante la agrupación de la regionalización realizada.
2. Búsqueda de la regresión más adecuada entre los valores de R y alguna variable relacionada con la pluviometría de las estaciones automáticas.

Se probaron varios tipos de regresiones, varios tipos de variables, y varias agrupaciones temporales resultando que: el modelo de regresión que mejor se ajustaba a los datos era el multiplicativo ($y = a \cdot x^b$); que el mejor ajuste se conseguía con la variable precipitación (R-precipitación); y que la agrupación de datos más adecuada era la decenal.

En la figura 3 (ver Anexo de este capítulo) se representan para cada estación, los modelos de regresión, comprobándose el alto valor del coeficiente de correlación para dicho modelo.

3. Cálculo del valor de R a cada estación pluviométrica en función a la regresión realizada entre la precipitación y la erosividad en las estaciones automáticas.
4. Realización en Arcinfo de una poligonación de Thiessen con los datos de R de las 305 estaciones.

Los valores de R obtenidos oscilaron entre 231.9 Mj.mm/ha.h.año en Viator (Almería) con una pluviometría de 215.7 mm y 5639.4 Mj.mm/ha.h.año en Benaocaz (Cádiz) con una pluviometría de 992.5 mm. En la figura 4 (ver Anexo de este capítulo) se recoge el histograma de frecuencias de las 305 estaciones utilizadas.

Como resultado de estos trabajos se presentan los mapas de zonas pluviométricas, isoerosividad de la lluvia para un año medio (30 años), para el año 1992 y, para el mes de abril de 1992 (ver figuras 1, 5, 6 y 7 en Anexo de este capítulo).

FACTOR K

La cuantificación del factor erodibilidad (K) ha sido el propuesto por Wischmeier, Johnson y Cross (1978).

Esta ecuación permite valorar la erodibilidad de los suelos a partir de su textura, contenido en materia orgánica, estructura y permeabilidad, tiene el siguiente desarrollo:

$$K = 10^{-3} * \left[10^{-4} * 2.7 * M^{1.14} * (12 - MO) + 4.2 * (E - 2) + 3.2 * (P - 3) \right]$$

Expresándose el resultado en Tm/Ha por unidad de pluviosidad que teniendo en cuenta las unidades empleadas en la determinación de la erosividad de la lluvia tiene la siguiente expresión:

$$K \longrightarrow \frac{\text{Tonelada}}{\text{Hectárea}} * \frac{(\text{Hectáreas} * \text{Hora})}{(\text{Megajulios} * \text{milímetro})}$$

Para realizar la determinación y espacialización de este factor K, se ha partido de una cobertura digital poligonal donde cada unidad cartográfica se caracteriza por estar representada hasta por tres tipos de suelos distintos, y por tanto por todas las características morfológicas y fisico-químicas de estos.

Para cada uno de los perfiles de suelos empleados se ha realizado el cálculo de K. Toda la información requerida se extrajo de las diferentes bases de datos que conforman el subsistema Suelos, aplicándose directamente los parámetros de textura, contenido en materia orgánica y estructura, e indirectamente el de permeabilidad del perfil.

Los valores de K obtenidos han oscilado entre valores de 0.0005 y 0.088, recogándose en la Figura 8 (ver Anexo de este capítulo) el histograma de frecuencias de los 303 suelos utilizados. Los menores valores se corresponden a suelos de texturas medias, aumentando el valor de K paralelamente al contenido de limos y arena fina, siendo además el parámetro textural el que tiene más peso dentro del cálculo de este factor. Asimismo se observa que cantidades crecientes de materia orgánica influyen en una menor erodibilidad de los suelos.

Con los valores así obtenidos se ha procedido a cuantificar el valor de K para cada unidad cartográfica, realizándose una ponderación de los valores de éste en las unidades que tienen asignado más de un tipo de suelo, en función de la importancia y representatividad de éstos (ver Figura 9 en el Anexo de este capítulo).

FACTOR LS

El factor topográfico que resume el valor de la longitud y el gradiente de la pendiente ha sido calculado a partir de un DTM con una resolución de 75 metros.

Los pasos intermedios para su cálculo han sido por un lado la aplicación a cada píxel del filtro de pendientes de Söbel para el cálculo del grado de la pendiente y por otro lado el cálculo de longitud de ésta a partir de la generación de un mapa de orientaciones del terreno.

Como resultados de estos pasos se obtienen un mapa de pendientes expresado en porcentaje y un mapa de longitudes de pendiente.

El resultado final se ha calculado aplicando a los valores anteriores para cada píxel la ecuación desarrollada por Wischmeier:

$$Ls = \left(\frac{L}{22,13} \right)^m (0,065 + 0,045s + 0,0065s^2)$$

L = Longitud de ladera expresada en metros.

s = Pendiente del terreno expresada en porcentaje.

m = Exponente cuyos valores oscilan:

0,5 si $s \geq 5\%$

0,4 si $3\% < s < 5\%$

0,3 si $1\% \leq s \leq 3\%$

0,2 si $1\% < s$

FACTOR C

El aspecto protector de la vegetación se ha puesto de relieve en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo mediante su cuantificación en un factor "C", denominado de protección de la cubierta vegetal. Los valores que puede tomar variarán en función de la clase y calidad de esta cobertura, oscilando sus valores desde un mínimo del 0,001 para las cubiertas forestales más densas hasta un valor de 1 para el suelo desnudo.

Los valores que puede tomar el factor C presentan una alta variabilidad, fruto tanto de la facilidad de transformación de la cubierta vegetal como de sus distintas fases de desarrollo. En las zonas de vegetación natural C se mantiene relativamente constante durante todo el año en contraposición de lo que ocurre en las tierras dedicadas a uso agrícola. Es en esta última situación cuando el cálculo del factor C se hace más complicado puesto que dependerá de los niveles de protección que ofrezcan las diferentes alternativas de cultivo, de la distribución local de las precipitaciones, de los niveles de productividad de los cultivos, de las distintas fases de desarrollo de éstos, de las prácticas de cultivo y del manejo de los residuos después de la cosecha.

En la asignación de valores de C a las zonas agrícolas se han tenido en cuenta los valores promedio recogidos en Capacidad de Usos y Erosión de los Suelos (Moreira, J. M., 1990) para las alternativas de cultivos más frecuentes en nuestra región, los cuales han sido calculados aplicando una acomodación a nuestra región de las tablas originales de Wischmeier.

Para las áreas de vegetación natural se han empleado los valores propuestos por el U. S. Soil Conservation Service para pastizales, matorrales, arbustados y bosques.

Paralelamente al proceso de espacialización y como consecuencia del tratamiento genérico que se hace de las zonas agrícolas con dedicación a cultivos herbáceos, se ha realizado un ensayo utilizando una secuencia de imágenes NOAA que abarcan el período correspondiente a un año agrícola para analizar el comportamiento del índice de vegetación, encontrándose que es posible asimilar la evolución de este índice a los períodos de crecimiento de diferentes cultivos (*ver Figura 10 en el Anexo de este capítulo*). Estos resultados en combinación con la cartografía de usos del suelo realizada a partir de imágenes landsat nos permitirán conocer que zonas son cultivadas y con que tipo de rotación anual, mejorándose entonces la asignación del factor C.

La espacialización del factor C y a modo de ejemplo se ha llevado a cabo a partir de diferentes supuestos y partiendo de distinta información de base:

- Se ha analizado la protección de la cobertura vegetal en una situación "clímax", suponiendo que los ecosistemas naturales no han sido alterados a través del tiempo y que no ha intervenido el hombre. Esta información se ha inferido a partir de la descripción de las distintas series de vegetación que ha distinguido y cartografiado Rivas Martínez en el Mapa de Series de Vegetación de España E: 1/400.000 y suponiendo etapas no degradadas.
- Una segunda fecha de análisis ha sido la de 1976, año de referencia de la cartografía de Cultivos y Aprovechamientos realizada por el MAPA y donde se recogen los distintos tipos de formas de usos en nuestra región a E: 1/400.000, tanto en zonas agrícolas como forestales.

- Por último, también se ha tomado como referencia la cartografía de Usos y Coberturas Vegetales E: 1/100.000 más recientemente realizada, que tiene a 1987 como año de referencia y que ha sido confeccionada a partir de la interpretación de imágenes de satélite. En ella se distinguen hasta 100 clases diferentes de usos, estructurados en 5 grandes grupos que engloban respectivamente a las zonas edificadas, territorios agrícolas, áreas forestales, zonas húmedas y láminas de agua. En las zonas agrícolas dedicadas a cultivos herbáceos, se han tenido en cuenta las rotaciones de cultivos más frecuentes para el cálculo de C.

Resultados

La utilización de la información de base, así como la aplicación de la sistemática de recogida, elaboración e integración de la información dinámica propuesta en este trabajo en el Sistema de Información Ambiental de la Junta de Andalucía nos han permitido obtener una primera aproximación al problema de la erosión, obteniendo diferentes valoraciones de los distintos factores implicados. En las figuras 1, 5, 6, 7, 9, 11, 12 y 13 (*ver Anexo de este capítulo*) se muestran diferentes salidas que nos permitirán evaluar los diferentes cambios espaciales y temporales que pueden sufrir éstos.

Como ejemplo de la versatilidad de este tratamiento y manejo de la información hemos estimado las pérdidas de suelos bajo varios supuestos diferentes que ponen de relieve la importancia de los factores más dinámicos que intervienen en este cálculo (R y C):

- 1) Situación clímax donde el factor C empleado es el deducido a partir de vegetación descrita por Rivas Martínez.
- 2) Situación al año 1976, donde el factor C empleado se ha deducido de la cartografía simplificada a E: 1/400.000 del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MAPA).
- 3) Situación al año 1987, primer año de referencia de los mapas de Coberturas y Usos del Suelo realizados por la Consejería de Medio Ambiente.
- 4) Situación al año 1992, donde para el cálculo del factor C se asumen los usos del suelo al año 1987 y donde sí se adopta un nuevo mapa de erosividad calculado para este año.

Para las tres primeras situaciones se mantienen constantes las variables R, LS y K, permitiéndonos valorar la evolución de los efectos protectores de la vegetación al utilizarse distintas situaciones de protección de la vegetación para una erosividad promedio. Para la última situación se han considerado constantes LS, K y C respecto al año 1987 permitiéndonos valorar la variabilidad de R en el año 1992 respecto de la erosividad promedio.

Los resultados obtenidos se pueden observar en las figuras 14, 15, 16 y 17 (*ver Anexo de este capítulo*) derivándose igualmente resultados cuantitativos como los expuestos en la figura 18 (*ver Anexo de este capítulo*) y que obviamente deberán interpretarse teniendo en cuenta las lógicas limitaciones que nos impone la ecuación elegida (Wischmeier, 1976).

Analizando las tres situaciones iniciales se pone de manifiesto el papel protector de la vegetación, fundamentalmente en situaciones de altos valores de pendientes y grandes longitudes de ladera.

En la primera las pérdidas de suelos se estiman en unos bajos valores para el conjunto de la región salvo para las formaciones arbustivas y/o herbáceas de la zona almeriense, especialmente cuando concurren altos valores de LS.

Con los niveles más actuales de protección del suelo por la vegetación (año 1976 y 1987) las pérdidas de suelos aumentan en gran manera, afectando especialmente a aquellos paisajes degradados, donde la cobertura arbórea en forma de bosque mediterráneo ha sido sustituida por matorrales más o menos degradados o por aprovechamientos agrícolas-ganaderos en áreas de pendientes relativamente altas. Este fenómeno alcanza sus mayores valores en una franja costera que abarca las sierras béticas, desde la serranía de Ronda hasta Filábres y puntualmente en las Sierras del Sur de Jaén y Córdoba, y áreas al oeste y suroeste de Cazorla en zonas donde coexisten unos usos agrícolas poco protectores sobre relieve relativamente accidentado.

Es de destacar el bajo nivel de pérdidas de suelo en toda Sierra Morena, en comparación con áreas de relieve similar debido al eficaz papel protector de la vegetación.

Comparando la situación entre el año 1976 y 1987 no se aprecia un aumento espectacular de la erosión, pero sí se pone de manifiesto, salvando las lógicas dificultades de comparación de los documentos fuentes para la deducción del factor C realizados con criterios y metodologías diferentes, cambios espaciales compensándose los aumentos de pérdidas con situaciones de disminución.

Si se pone de manifiesto un descenso de los procesos erosivos cuando comparamos 1987 con 1992. El descenso generalizado a nivel regional de la erosividad de la lluvia provoca una bajada de las pérdidas de suelos pero en un nivel menor del que cabría esperar. Si analizamos la distribución espacial de este factor observaremos que las zonas donde su incidencia es menor se corresponden con las áreas occidentales de Andalucía, donde la mayor protección de la vegetación y relieve menos accidentado hacen que este menor nivel erosivo de las precipitaciones adquiera menor importancia.

Conclusiones

El análisis espacial y temporal de la erosión va a depender en gran medida de la calidad y periodicidad de la información que se maneje con el modelo. Bajo esta perspectiva se ha puesto a punto una metodología y estrategia de adquisición de la información que comprende la coordinación, concentración y tratamiento de los datos meteorológicos de estaciones automáticas y diarias y la utilización imágenes de satélite de alta y baja resolución para actualizar en periódicamente la cartografía de usos y coberturas del suelo. Asimismo la próxima puesta en servicio de un DTM con una mayor resolución (20x20 m) junto con un levantamiento de cartografía de suelos a escala más detallada (1:50.000) nos permitirán una mejor espacialización de los procesos erosivos.

Igualmente como tarea fundamental para realizar un análisis temporal de calidad se contempla la idea y necesidad de crear una única red de estaciones meteorológicas automáticas, que realmente estén controladas tanto a nivel informático como a nivel de la fiabilidad de la información que suministren.

Los resultados obtenidos parecen indicar que el valor de pérdidas de suelo puede ser un eficaz parámetro de diagnóstico y comparación espacial entre distintas zonas de la región, permitiendo obtener una espacialización de todos los factores que intervienen en este proceso, especialmente de los que presentan una mayor variabilidad temporal como son la erosividad de la lluvia y la protección de la cobertura vegetal.

El carácter periódico de adquisición de las informaciones permitirá asimismo crear una base de datos histórica de carácter gráfico y alfanumérico que será una herramienta especialmente útil en el estudio de la evolución de los procesos erosivos y su incidencia en la desertificación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaide García M. (1989). Análisis estacional y regional de la precipitación en el Valle del Guadalquivir. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Monografía nº 94. Córdoba.
- Atlas Agroclimático Nacional de España (1986). Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- Atlas Climático de España (1983). Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- Caracterización Agroclimática Nacional de las provincias de ... (Varias) (1989). Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- Elías Castillo F. y Ruiz Beltran L. (1979). Precipitaciones máximas en España. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Monografía 21, Madrid.
- Evaluación Ecológica de Recursos Naturales (1987). Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Galán Gallego E. y Fernández García F. (1992). Metodología del análisis temporal y espacial de los elementos climáticos. Actas V Coloquio de Geografía Cuantitativa. Universidad de Zaragoza.
- Lobato A. y Moreira J. M. (1993). AMATEL un software abierto para el tratamiento de información ráster en un sistema de información ambiental. 5ª Reunión Científica de la Asociación Española de teledetección. Las Palmas.

- Mapas de cultivos y aprovechamientos E: 1/50000 (1976). Secretaria General Técnica. Ministerio de Agricultura.
- Mapas de Estados Erosivos (varios) (1987-1990). Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Mapa topográfico de Andalucía escala 1:400.000 (1991). Consejería de Obras públicas y transportes. Junta de Andalucía.
- Moreira J. M. (1992). Capacidad de uso y erosión de los suelos. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Rivas Martínez S. (1986). Mapas de Series de Vegetación de España. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza.
- U. S. Soil Conservation Service. (1975). Procedure for comouting sheet and rill erosion on project areas. Technical Release 51.
- Wischmeier W. H., Johnson C. B., Cross B. V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Water Cons. 26,189-193.
- Wischmeier W. H. (1977). Soil erodibility by rainfall and runoff. Erosion: Research Techniques, Erodibility and Sediment Delivery. 45-56.
- Wischmeier W. H., Smith D. D., Uhland R. E. (1958). Evaluation of the factors in the soil-loss equation. Agricultural Engineering. 39 (8), 458-462.

Cita bibliográfica:

Rodríguez Surián, M.; Sánchez Pérez, J. D. 1995. "Desertificación y degradación de suelos en España". Asociación Meteorológica Española. XXV Jornadas Científicas. Vila-seca (Tarragona), 27, 28 y 29 de septiembre de 1995.

FIGURA 1
REGIONALIZACIÓN PLUVIOMÉTRICA DEFINITIVA DE ANDALUCÍA

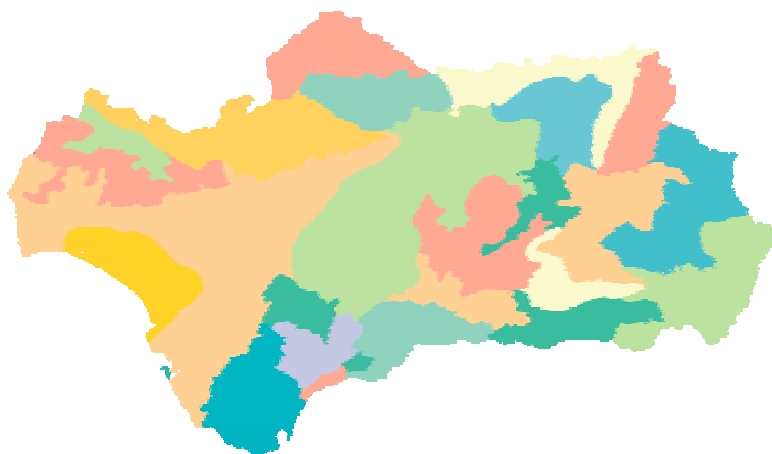


FIGURA 2
EJEMPLO DE CÁLCULO DE EROSIVIDAD DE UNA TORMENTA

CÁLCULO DE EROSIVIDAD DE UNA TORMENTA
ESTACIÓN 5911. GRAZALEMA (CÁDIZ)

EROSIVIDAD ANUAL AÑO 1992

Golpe de lluvia Vk(mm/10*)	Intensidad Lk(mm/h)	Ener. cinética por unidad de lluvia ek = 0,119+0,0873 log 10(lk) (Mj/ha*mm)	Ener. cinética por golpe de lluvia Ek=ek*lk (Mj/ha)	MES	LLUVIA (mm)	R(Mj*mm/ha*h)
0.2	1.2	0.126	0.0252	Enero	5.60	1.55
0	0	0	0	Febrero	77.90	133.66
1.8	10.8	0.209	0.3762	Marzo	71.50	115.61
2.8	16.8	0.226	0.6328	Abril	190.60	607.67
0.8	4.8	0.178	0.1424	Mayo	43.90	50.64
1.2	7.2	0.194	0.2328	Junio	99.60	202.59
0.2	1.2	0.126	0.0252	Julio	0.20	0.01
0	0	0	0	Agosto	10.10	4.21
0	0	0	0	Septiembre	56.60	77.84
0.6	3.6	0.167	0.1002	Octubre	298.00	1294.68
0.8	4.8	0.178	0.1424	Noviembre	27.40	22.80
0.8	4.8	0.178	0.1424	Diciembre	150.10	405.59
1.8	10.8	0.209	0.3762	TOTAL	1031.5	2916.85
0.8	4.8	0.178	0.1424			
0.2	1.2	0.126	0.0252			
0.4	2.4	0.152	0.0608			
0.4	2.4	0.152	0.0608			

EROSIVIDAD DE LA TORMENTA

130 = 2,8+0,8+1,2=4,8 mm/(1/2h)=9,6 mm/H

E*130 = 2,4595Mj/ha. * 9,6 mm/H = 23.6112 Mj*mm/ha*H

FIGURA 3
ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE LA EROSIVIDAD DE LA LLUVIA
DE LAS ESTACIONES AUTOMÁTICAS. AÑO 92

MUNICIPIO	MODELO	VARIABLE	ECUACIÓN	COEFICIENTE	R (%)
MORÓN	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,95796)} * PREC^{1,63878}$	0,983614	96,75
FUENGIROLA	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,52113)} * PREC^{1,59274}$	0,948718	90,01
VEJER	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,76537)} * PREC^{1,72368}$	0,978056	95,66
JEREZ	LINEAL	PREC	$R = (4,6761 * PREC) - 16,3824$	0,989879	97,99
GRAZALEMA	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,39752)} * PREC^{1,47872}$	0,982818	96,59
ALÁJAR	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,53823)} * PREC^{1,53114}$	0,978276	95,70
ABLA	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,99551)} * PREC^{1,59368}$	0,972836	94,64
ÉCIJA	MULTIPLICATIVA	PREC_DÍAS	$R = e^{(-1,70736)} * PREC_DÍAS^{1,64601}$	0,966181	93,35
CÁDIZ	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,59562)} * PREC^{1,66619}$	0,981931	96,42
CABRA	MULTIPLICATIVA	PREC	$R = e^{(-1,78893)} * PREC^{1,60502}$	0,983742	96,77

FIGURA 4
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y EL FACTOR R

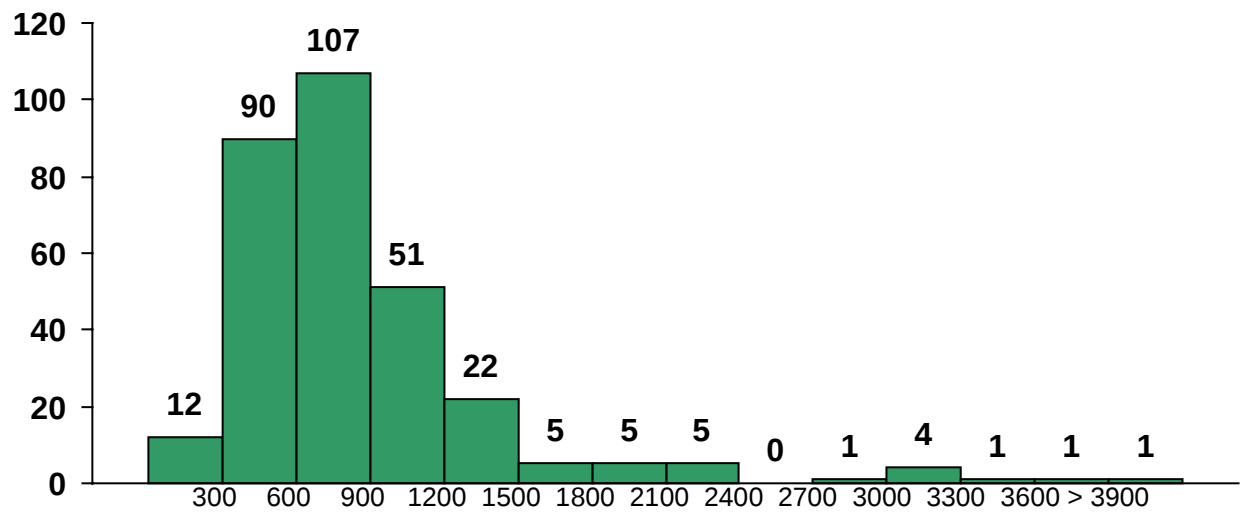


FIGURA 5
ÍNDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA MEDIA (30 AÑOS). Factor R de la E.U.P.S.

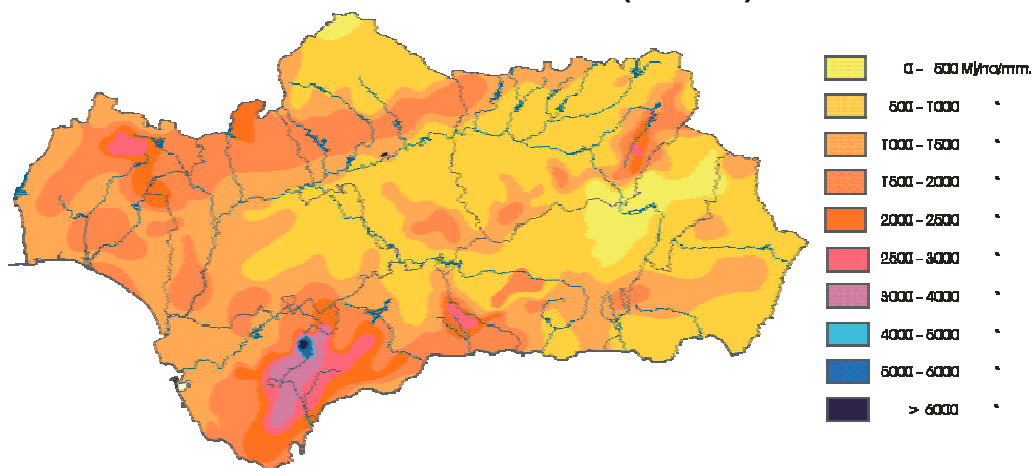


FIGURA 6
ÍNDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA AÑO 1992. Factor R de la E.U.P.S.

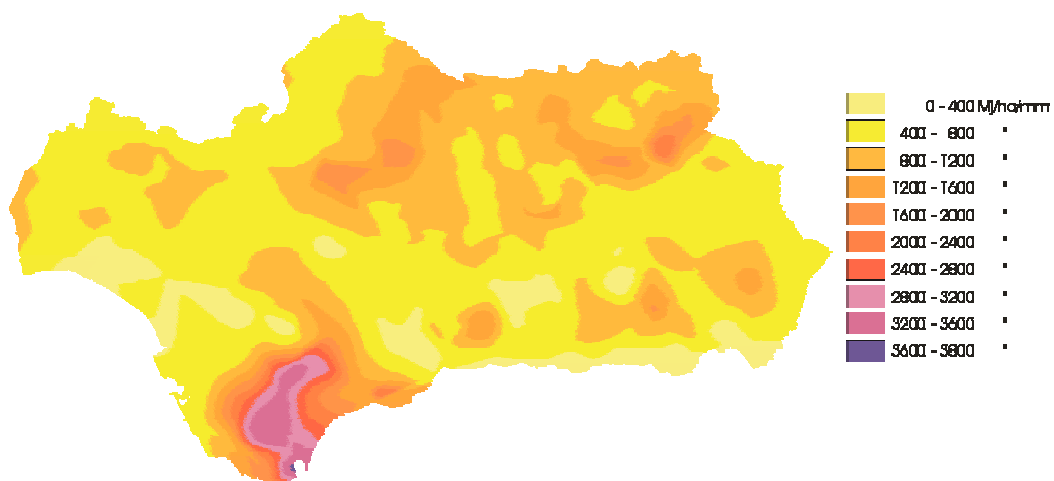


FIGURA 7
ÍNDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA MES DE ABRIL DE 1992. Factor R de la E.U.P.S.

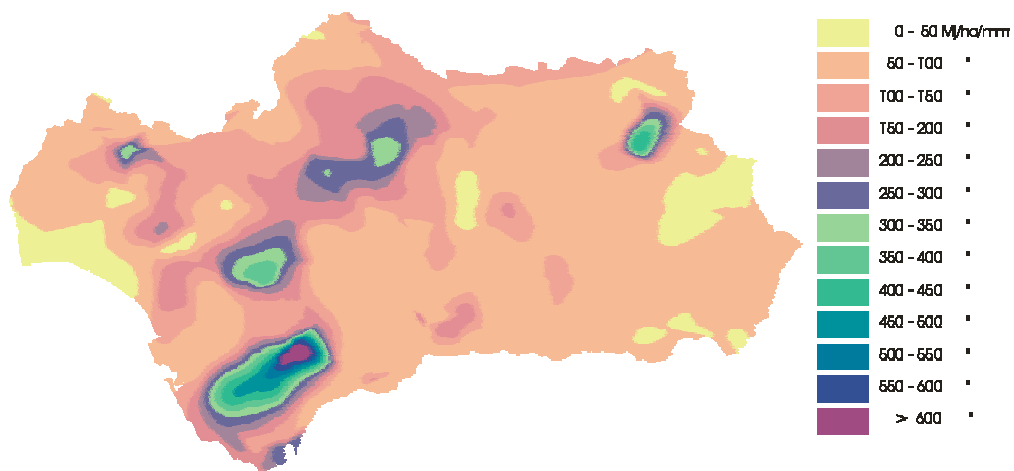


FIGURA 8
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LOS VALORES DE K PARA LOS PERFILES DE SUELOS EMPLEADOS

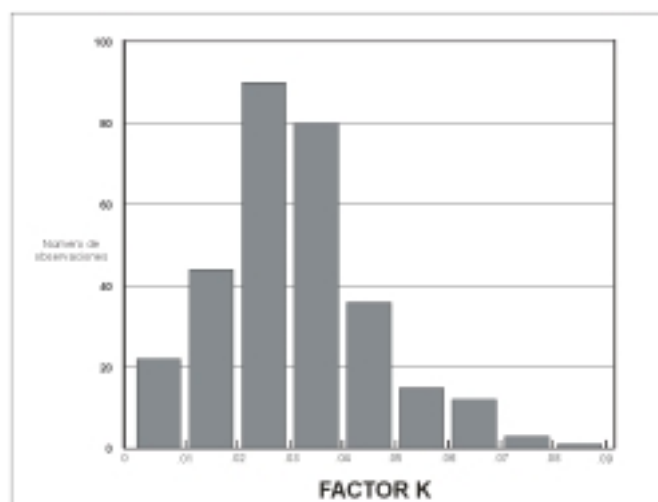


FIGURA 9
EROSIVIDAD DE LOS SUELOS. Factor K de la E.U.P.S.

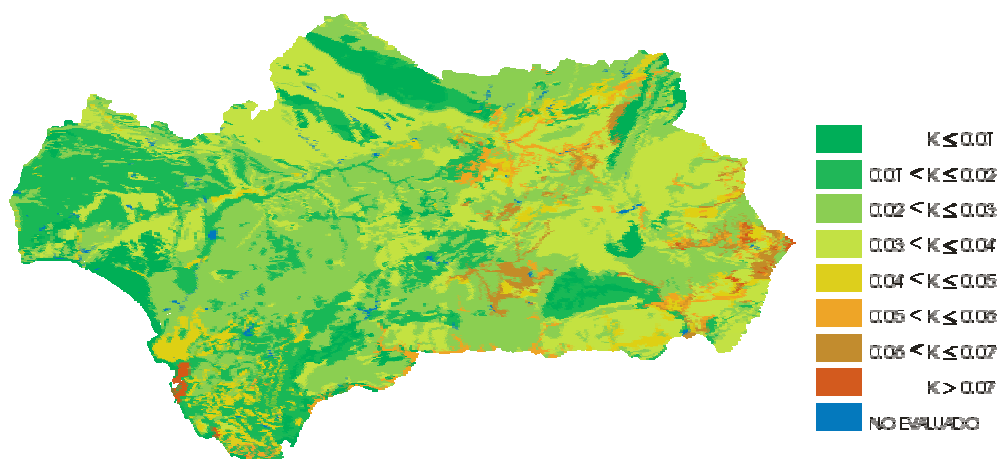


FIGURA 10
COMPARACIÓN DEL CICLO DE CULTIVO CON EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN

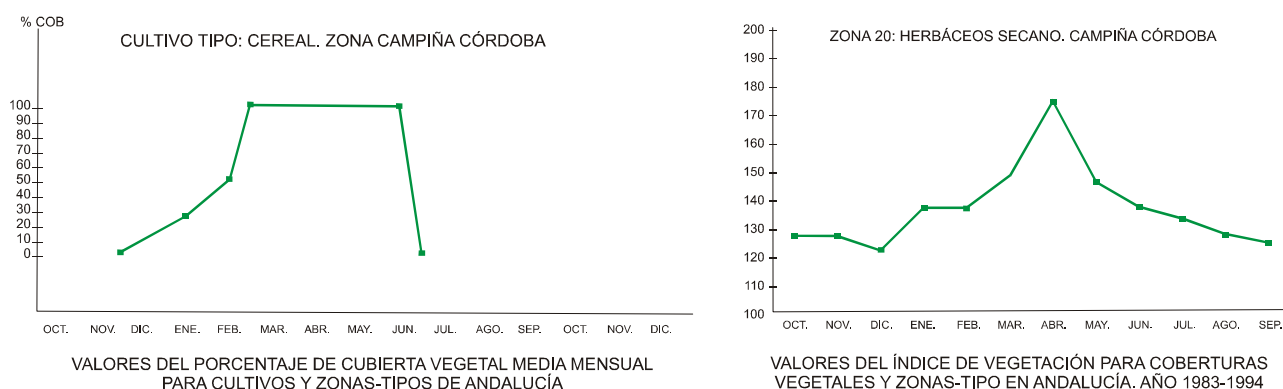


FIGURA 11
PROTECCIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL. FACTOR C. SITUACIÓN CLÍMAX

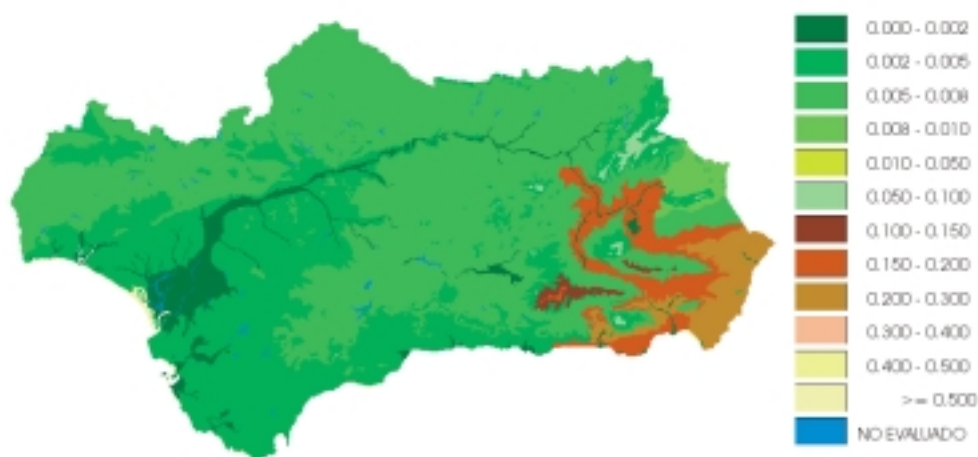


FIGURA 12
PROTECCIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL. FACTOR C. AÑO 1976

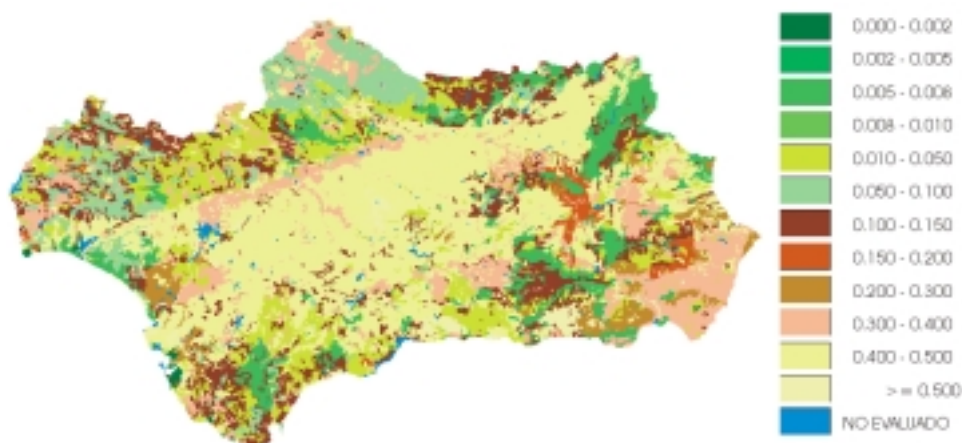


FIGURA 13
PROTECCIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL. FACTOR C. AÑO 1987

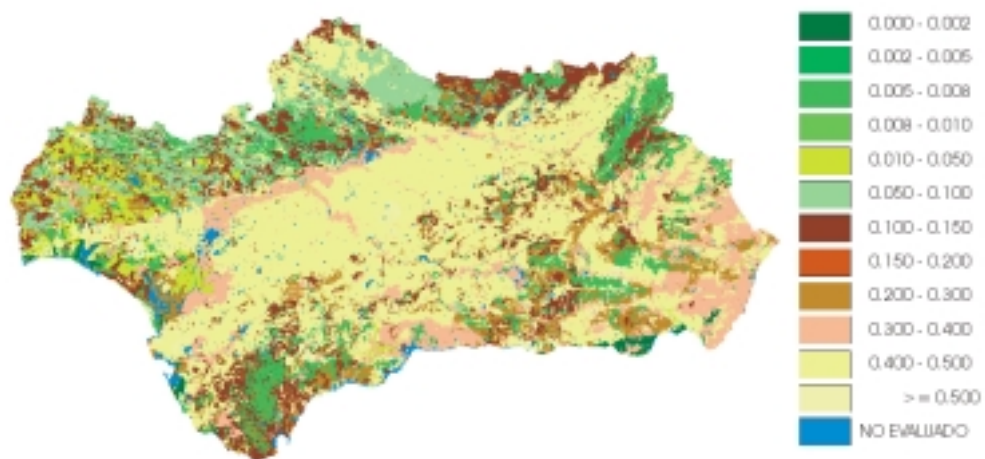


FIGURA 14
PÉRDIDAS DE SUELO ESTIMADAS. SITUACIÓN CLÍMAX (tm/ha/año)

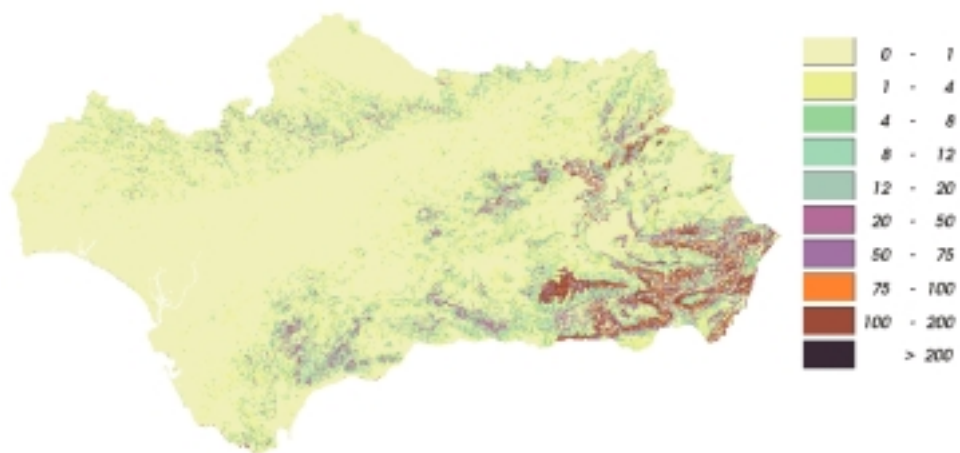


FIGURA 15
PÉRDIDAS DE SUELO ESTIMADAS. AÑO 1976 (tm/ha/año)



FIGURA 16
PÉRDIDAS DE SUELO ESTIMADAS. AÑO 1987 (tm/ha/año)



FIGURA 17
PÉRDIDSA DE SUELO ESTIMADAS. AÑO 1992 (tm/ha/año)

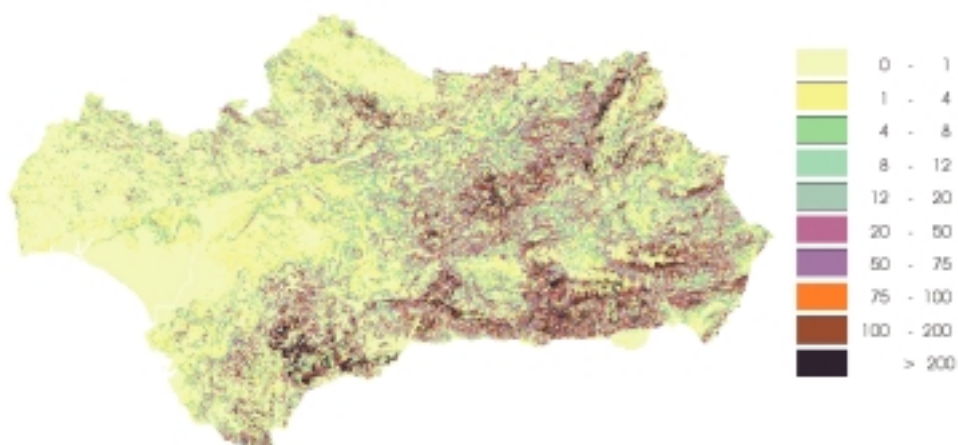


FIGURA 18
RESULTADOS CUANTITATIVOS EXPRESADOS COMO RELACIÓN PORCENTUAL DE LAS
PÉRDIDAS DE SUELOS EN ANDALUCÍA PARA LOS DIFERENTES SUPUESTOS

Pérdidas				Situaciones				
Tm	/	Ha	/	Año	CLIMAX	1976	1987	1992
		<		1	74,92	33,72	32,73	36,80
1		-		4	13,71	21,11	20,21	20,88
4		-		8	4,44	10,71	10,57	9,71
8		-		12	1,78	5,75	5,69	5,35
12		-		20	1,55	6,64	6,62	6,31
20		-		50	1,72	9,67	9,97	9,41
50		-		75	0,57	3,30	3,50	3,30
75		-		100	0,36	1,96	2,18	1,93
100		-		200	0,61	3,57	4,15	3,46
		>		200	0,32	3,57	4,39	2,83