

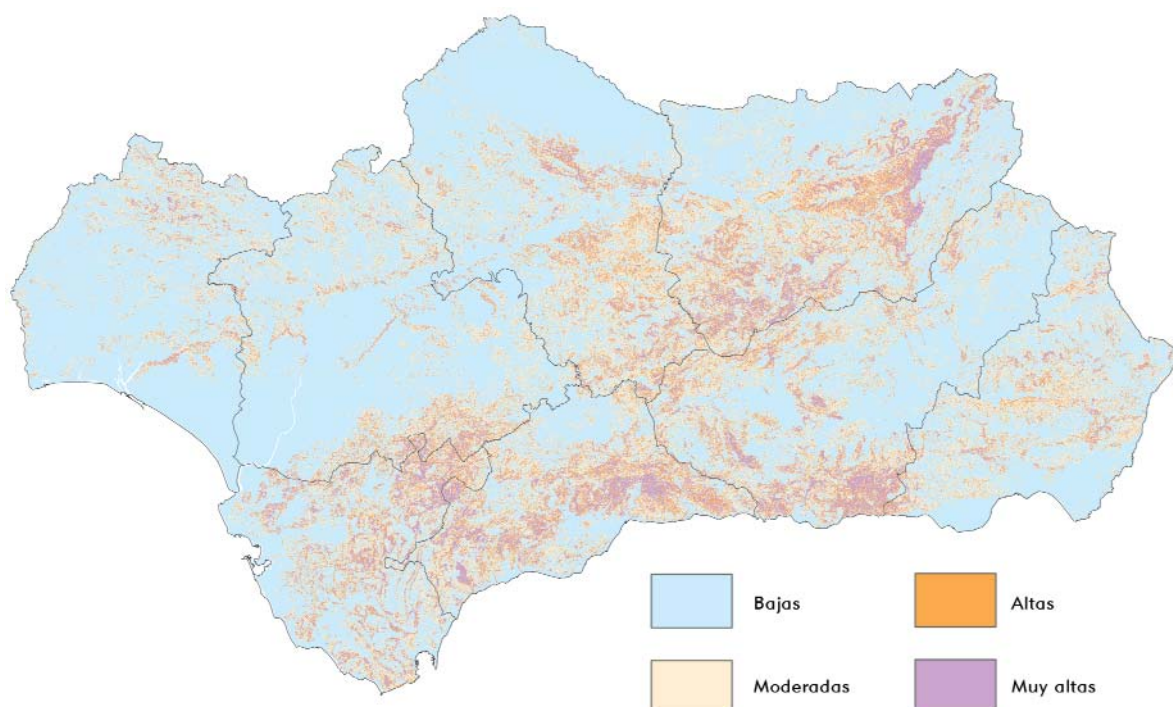
## 3. Suelo

2. Clima
3. Suelo
4. Vegetación y usos del suelo
5. Agua
6. Paisaje

### Datos básicos

Pérdidas de suelo medias en Andalucía, en porcentaje sobre superficie regional	Porcentajes
Bajas	65,8
Moderadas	21,1
Altas	6,8
Muy altas	6,3

### Pérdidas de suelo medias en Andalucía



Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.

## Índice del capítulo

- Evolución temporal de las pérdidas de suelo en Andalucía, 2004.

## Recuadros

- Estudio de elementos traza en los suelos de Andalucía.

## Indicadores ambientales

- 😊 • Índice de erosividad de la lluvia
- 😊 • Indicador de erosión

Este capítulo presenta contenidos tratados desde el punto de vista de indicadores ambientales, para los que se ha aportado información gráfica y estadística en función de los datos disponibles a la fecha de cierre de la presente publicación. Los indicadores aparecen diferenciados mediante el uso de una simbología gráfica (significado ambiental de su evolución respecto al año anterior) y otra cromática (situación ambiental en función de la tendencia deseada):

- 😊 • La evolución ha sido ambientalmente positiva.
- 😞 • La evolución ha sido ambientalmente negativa.
- 😐 • No detecta evolución ambientalmente significativa o no hay datos suficientes.
- (rojo) • La situación ambiental en relación a la tendencia no es la deseada.
- (verde) • La situación ambiental en relación a la tendencia es la deseada.

#### Evolución temporal de las pérdidas de suelo en Andalucía. Año 2004

La erosión de los suelos representa uno de los riesgos ambientales más importantes y extendidos, muchas veces actuando de forma difusa pero constante y que si no es corregido condiciona la capacidad productiva de los mismos, limitando su capacidad para producir biomasa, ya sea con fines productivos o simplemente como soporte del medio natural y primer eslabón de la cadena alimentaria.

De forma natural la erosión actúa modelando nuestro entorno a lo largo de periodos de tiempo muy prolongados, de tal manera que la delgada capa de material que conforma el suelo, producto de la meteorización de las rocas subyacentes y de la acumulación de restos de la actividad vegetal y animal, mantiene un cierto equilibrio que permite que la vida, especialmente la vegetal, se desarrolle sobre él.

Cuando este equilibrio se rompe las tasas de remoción son superiores a su capacidad de regeneración por lo que se produce un empobrecimiento, tanto de su calidad como de su espesor, al desaparecer los horizontes superficiales ricos en nutrientes y materia orgánica, degradándose su capacidad de producir biomasa y por tanto conduciendo a un empobrecimiento de los ecosistemas naturales o a una reducción importante de su capacidad productiva.

Este problema se acentúa cuando confluyen sobre el suelo ciertas variables ambientales especialmente desfavorables (altas pendientes, alta torrencialidad de la lluvia, alta erodibilidad de los suelos) en conjunción con una inadecuada gestión humana. La alta capacidad de éste de alterar el factor protector del suelo que represen-

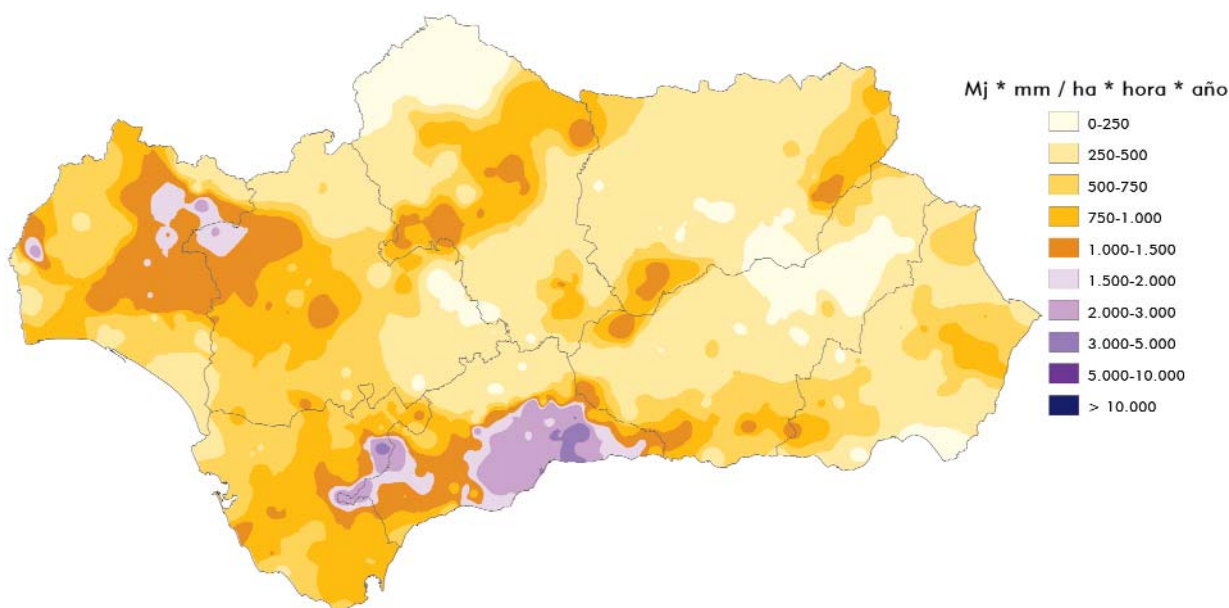
ta las coberturas vegetales, generalmente por un uso inadecuado del recurso suelo, desemboca en su degradación acelerada y difícilmente reversible a corto plazo. En ambientes mediterráneos, donde las características anteriores se aúnan, la erosión de los suelos representa uno de los factores de degradación del medio más importante, siendo una de las principales causas que provocan la desertificación.

No es fácil cuantificar la tasa de pérdidas de suelo que se produce en un territorio, especialmente si lo que se pretende es analizar su evolución a lo largo del tiempo. Por una parte se requiere un seguimiento continuo de los factores ambientales más cambiantes: clima y vegetación, y por otra la utilización de modelos de evaluación indirecta, los cuales a partir de mediciones de las principales variables ambientales que intervienen en los procesos erosivos y mediante simulaciones de la realidad aplicadas a territorios extensos permiten obtener expresiones cuantitativas (modelos paramétricos) o valoraciones de los grados de erosión (modelos cualitativos) para cada punto, área o unidad homogénea del territorio.

Una herramienta especialmente eficaz para la modelización espacial de este fenómeno ha sido el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica, donde se conjugan la aplicación de modelos de evaluación a datos alfanuméricos con la asociación de estas características a entidades o lugares del territorio permitiendo su representación espacial.

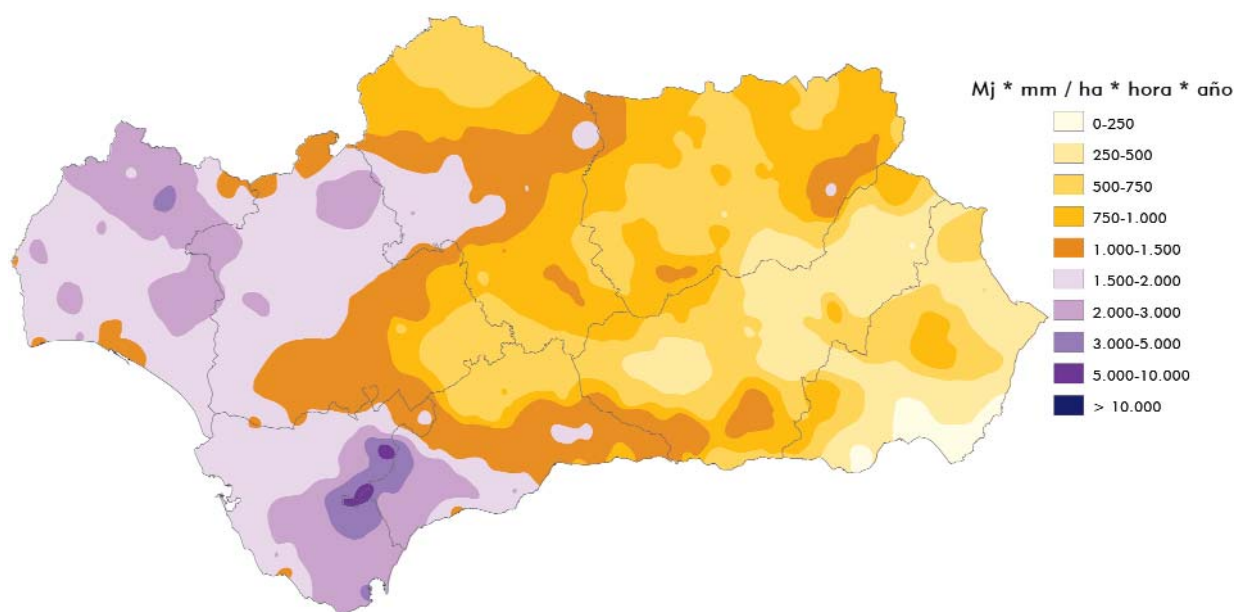
La Consejería de Medio Ambiente dentro del marco de la Red de Información Ambiental de Andalucía y empleando las nuevas tecnologías de la información, especialmente la teledetección y los sistemas de información geográfica, realiza un seguimiento anual de la evolución e incidencia de este fenómeno en la región

Erosividad de la lluvia, 2004



Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.

## Erosividad media de la lluvia



Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.

con objeto de poder realizar comparaciones territoriales y multitemporales, o simplemente ser utilizado en otros procesos de modelización de los riesgos medioambientales.

El modelo paramétrico empleado para la evaluación de la erosión es el conocido como Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, el cual a partir de información referida a seis variables de control (erodibilidad del suelo (K), longitud de la pendiente (L), inclinación de la ladera (S), energía de la lluvia (R), protección del suelo que proporcionan las cubiertas vegetales (C) y la adopción de prácticas de conservación de suelos (P)) estima el valor en tonelada métrica por hectárea y año de la cantidad de suelo removido por la erosión hídrica laminar y en regueros.

Este valor cuantitativo es valorado como un indicador ambiental sin plena expresión cuantitativa, ya que para obtener una plena valoración absoluta sería necesario una calibración experimental en campo para adaptarla a nuestras condiciones locales, no obstante sí puede ser utilizado como una eficaz herramienta para realizar comparaciones espaciales o seguir la evolución temporal de estos procesos.

El indicador de la erosión elaborado se apoya en un programa de actualización y mejora periódica de la información, especialmente de la más dinámica. Así, la información relativa a la erosividad de la lluvia se actualiza con carácter anual, la información de las coberturas vegetales con carácter cuatrienal y la información referente a suelos y relieve, de menor dinamidad se mantiene como información estable, aunque sometida a continuos procesos de mejora de la calidad.

En la elaboración de las pérdidas de suelo referidas al año 2004 se ha empleado información actualizada de

la erosividad de la lluvia, calculada a partir de los registros pluviométricos de la red de estaciones diarias y automáticas del Instituto Nacional de Meteorología, de la Consejería de Agricultura y Pesca y de la Consejería de Medio Ambiente. El factor correspondiente a la protección de la cubierta vegetal se ha elaborado a partir de información actualizada de los usos del suelo referida al año 2003, cobertura ya plenamente operativa y que presenta con sus más de 400.000 polígonos la versión más actual y detallada disponible para el conjunto regional.

Analizando el factor más variable de cuantos inciden en las pérdidas de suelo se observa que el año 2004 ha registrado un bajo nivel de las precipitaciones unido a una baja intensidad de las mismas, el volumen de estas ha sido 100 mm menor que la precipitación media para el conjunto regional y hasta 800 mm menos en las zonas más húmedas como Cazorla, Aracena y Grazalema. Sólo las provincias de Málaga y Almería han mantenido localmente valores superiores de precipitación.

Esta baja pluviometría ha incidido directamente en los niveles de erosividad de la lluvia. Desde 1994 no se alcanzaban unos registros tan bajos para el conjunto de Andalucía donde la media ha sido casi un 50 % inferior a la promedio (666  $\text{Mj} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hora} \cdot \text{año}$  frente a 1.202 de media) registrándose, igualmente un fuerte descenso de la máxima alcanzada, 4.195 frente a 5.947 de media de las máximas y muy lejos de la máxima absoluta (16.802  $\text{Mj} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hora} \cdot \text{año}$ ) alcanzada en el año 1997 en Grazalema.

En cuanto a su distribución provincial en todas las provincias, salvo Almería donde se registra un nivel ligeramente por encima de los valores medios, se alcanzan valores de la erosividad por debajo de la media.

### 3. Suelo

El descenso más acusado se produce en la provincia de Cádiz, donde a pesar de seguir siendo la provincia con los niveles más altos: (presenta el máximo regional con 3.124), el descenso ha sido superior al 60 % respecto de la erosividad promedio (864 frente a 2.223 de media).

Córdoba, Huelva y Sevilla presentan unos registros inferiores en un 50 % a la erosividad promedio alcanzándose valores de 524, 893 y 669  $Mj \cdot mm / ha \cdot hora \cdot año$ , respectivamente.

En Jaén el descenso llega a ser del 40 % de la erosividad media y en Granada del 28 % siendo los valores medios registrados de 459 y 446  $Mj \cdot mm / ha \cdot hora \cdot año$ . Estas dos provincias registran de forma excepcional los menores niveles regionales de la erosividad, tradicionalmente asociados a las áridas tierras almerienses..

Málaga, a pesar de presentar un nivel de precipitaciones ligeramente superior a la normalidad, se sitúa ligeramente por debajo de la situación media (1.390  $Mj \cdot mm / ha \cdot hora \cdot año$  frente a 1477 de media), variando sólo la distribución espacial de la misma respecto del año medio: los eventos de mayor erosividad se han desplazado de la zona occidental de la provincia a la oriental.

En cuanto a Almería es la única provincia donde se registra unos valores ligeramente por encima de la media (489 frente a 482), pero siempre dentro de la normalidad de su situación de extrema sequedad.

Las pérdidas de suelo que ha deparado estos limitados niveles de erosividad se han situado en uno de los niveles más bajos de la serie analizada (1992-2004). Sólo el extremadamente seco 1994 presenta unos registros tan escasos de pérdidas de suelo no superando el 3,3 % de la superficie regional las pérdidas muy altas, el 3,9 % las

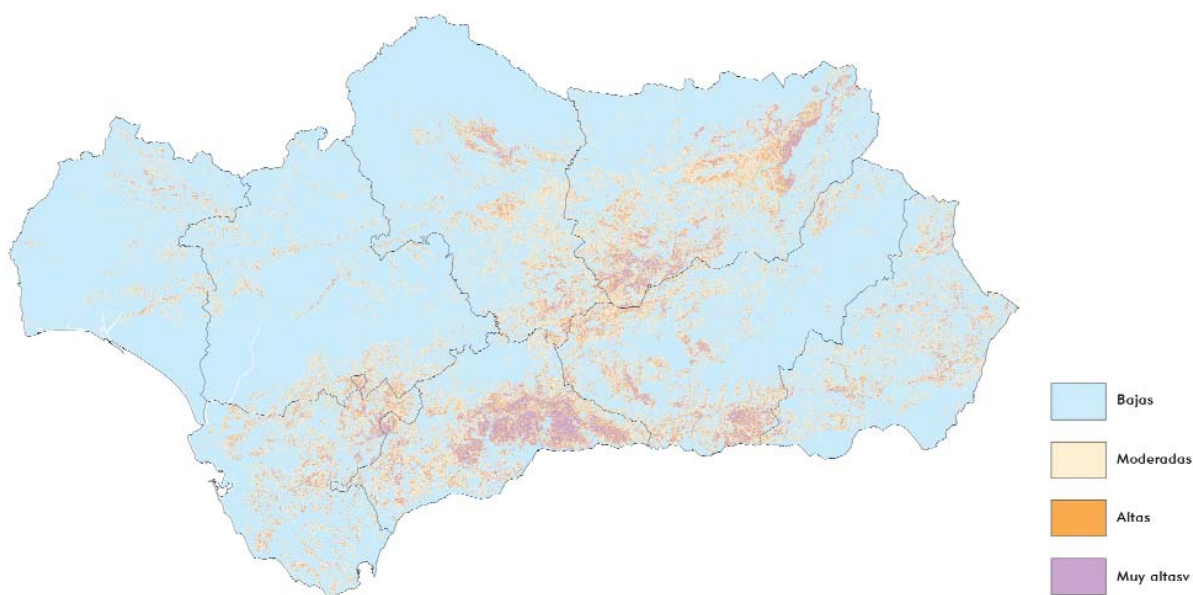
altas, estando el resto del territorio afectado por pérdidas bajas (77,3 %) y moderadas (15,6 %). Estos valores son bastante inferiores a los registrados en un año medio (65,8 % bajas, 21,1 moderadas, 6,8 altas y 6,3 muy altas). Este acusado descenso ha sido más acentuado en las provincias occidentales de forma paralela a los descensos de la erosividad de la lluvia y salvo en Málaga, donde los valores de esta última se aproximan a la normalidad, en el resto de provincias las áreas más afectadas se circunscriben a las agrícolas de mayor pendiente.

Todas las provincias presentan valores inferiores a la media, siendo los descensos especialmente significativos en las provincias de Huelva y Sevilla donde superan el 70 % respecto de la situación promedio, estando prácticamente la totalidad de estas dos provincias no afectadas por las pérdidas de suelo (98,1 y el 99,1% respectivamente con un nivel bajo y moderado frente a un 83,2 y 95,5 % del año promedio).

Córdoba y Cádiz se sitúan con reducciones cercanas al 60 % de lo que sería la normalidad resultando afectadas un 4,3 % y un 8,7 % de la superficie provincial por pérdidas altas y muy altas. En Granada y Jaén el descenso es cercano al 45 % registrándose un 8 % y un 10,4 %, respectivamente, de sus territorios afectados por niveles altos y muy altos. Sólo existe un ligero repunte de la erosión en los términos de Alcalá la Real y Montefrío, áreas colindantes en el límite interprovincial.

Almería, a pesar de ser la única provincia con valores de la erosividad superiores a la media, registra un descenso de las pérdidas de suelo cercano al 30 %. Esta particularidad sólo puede ser explicada por un desplazamiento espacial de los eventos erosivos que acontecen en las Sierra de Filabres y Las Estancias hacia áreas de

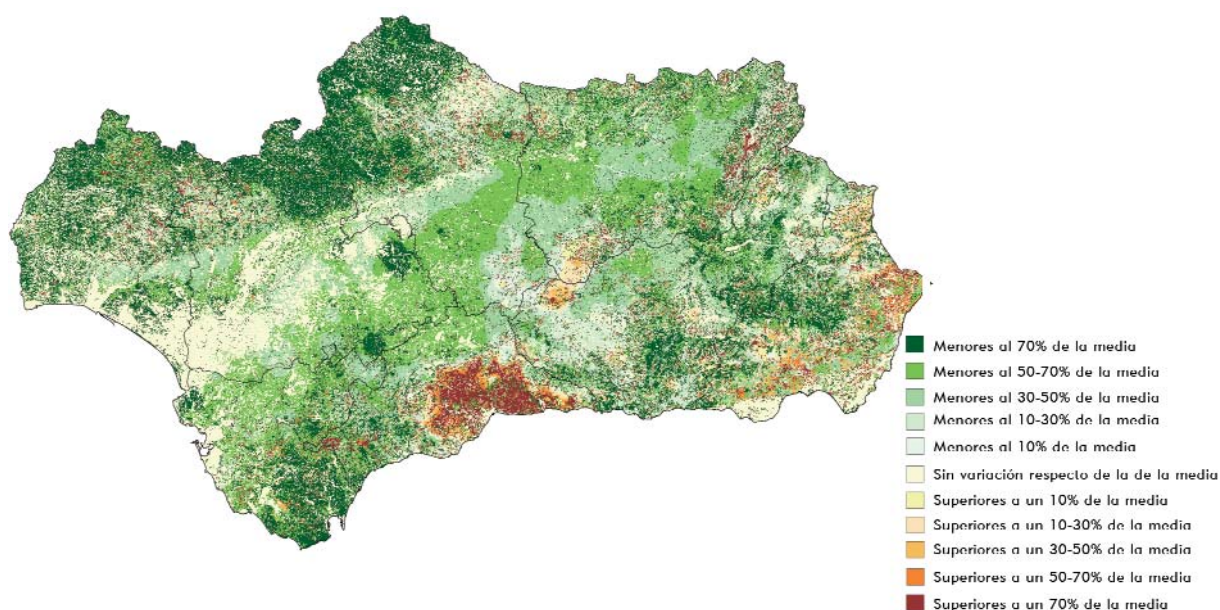
Pérdidas de suelo en Andalucía, 2004



Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.



## Diferencial de pérdidas de suelo en 2004 respecto de la media

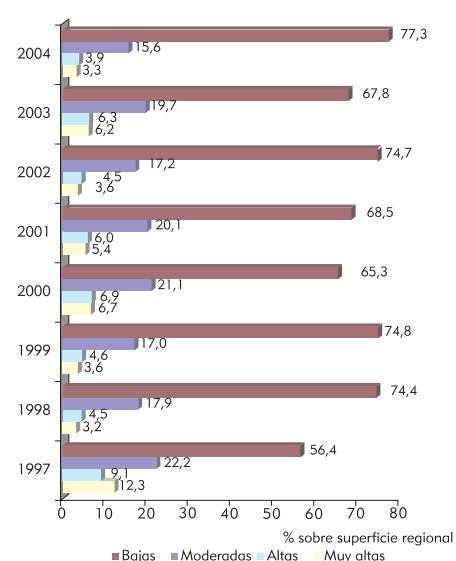


Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.

menor pendiente del levante almeriense (Huerca Overa y Alto y Bajo Almanzora). La superficie afectada por pérdidas altas y muy altas no supera el 6 % de la superficie provincial.

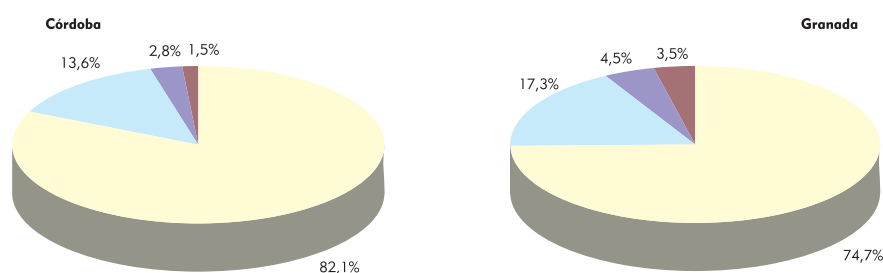
Por último, Málaga es la provincia con un menor nivel de descenso de las pérdidas de suelo, sólo un 16 % respecto de la situación promedio, resultando afectada un 22,8 % de la superficie provincial por pérdidas altas y muy altas (26,9 % de promedio). En el 2004 ha sido la provincia que presenta los mayores niveles de pérdidas de suelo, produciéndose un desplazamiento espacial de las zonas más afectadas desde las serranías de Ronda y Sierra Bermeja hacia la parte sur oriental de la provincia: Valle del Guadalhorce, Montes de Málaga y Axarquía, y compensándose el aumento de pérdidas de estas últimas zonas con el descenso en el zona oriental y norte de la provincia. Con todo, el descenso de las pérdidas de suelo ha sido superior al esperable por el ligero descenso de la erosividad de la lluvia y sólo explicable por la menor pendiente de las zonas afectadas.

## Evolución temporal de las pérdidas de suelo, 1997-2004

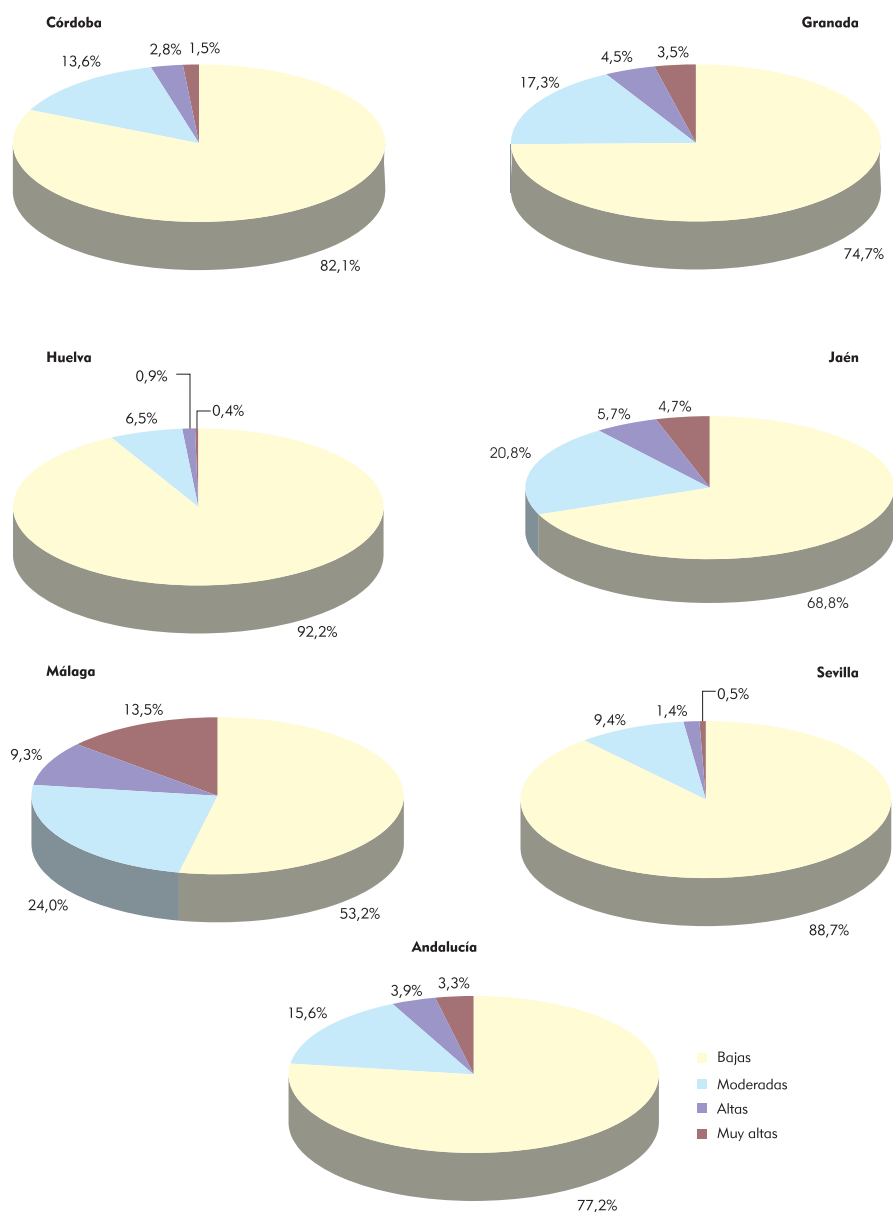


Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.

## Pérdidas de suelo en Andalucía, 2004



Pérdidas de suelo en Andalucía, 2004 (continuación)



Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.

#### Estudio de elementos traza en los suelos de Andalucía

El Estudio de elementos traza en los suelos de Andalucía ha sido realizado por las universidades de Granada, Huelva y Sevilla en el marco de acuerdos específicos con la Consejería de Medio Ambiente. En esencia, este estudio persigue el conocimiento de las concentraciones que, de forma natural, presentan una serie de elementos químicos en los suelos de la Comunidad Autónoma de Andalucía. El presente texto sintetiza los aspectos metodológicos de este estudio.

Los elementos químicos que integran la corteza terrestre se encuentran mayoritariamente combinados en especies minerales, que a su vez se agrupan formando rocas.

En la parte superficial de la corteza terrestre, las rocas sufren una serie de procesos de alteración, genéricamente agrupados bajo el nombre de meteorización, que provocan su disgregación y la transformación de parte de los minerales preexistentes, generándose así la materia prima para la formación de los suelos. Los elementos químicos existentes en las rocas se incorporan al suelo, siendo esperable por lo tanto encontrar diferentes concentraciones de los mismos en función de la roca origen del suelo, denominada *roca madre*.

Entre los elementos químicos presentes en minerales y rocas que pasan a formar parte del suelo, cabe distinguir entre unos con carácter mayoritario (silicio, hierro, aluminio, calcio, magnesio) y otros que normalmente se presentan en muy bajas concentraciones (cobalto, mercurio, selenio, arsénico) denominados elementos traza, en clara alusión a la dificultad de su detección y cuantificación antes de que existieran los potentes métodos analíticos actuales.

El término *elemento traza* se utiliza con frecuencia en la literatura científica, siendo sin embargo su definición algo imprecisa. Pueden encontrarse definiciones que califican de traza a un elemento o compuesto de un sistema natural, cuando se encuentra por debajo de un cierto umbral de concentración, siendo el valor de este umbral variable según los objetivos de estudio.

Algunos de los elementos considerados trazas en los suelos (por ejemplo cobre, cinc y molibdeno) son esenciales para el crecimiento de las plantas, por lo que en ocasiones se ha utilizado el término micronutriente como sinónimo de elemento traza. Este último tiene sin embargo una acepción más amplia y de hecho, independientemente de que tengan o no una función fisiológica conocida, los elementos traza presentan con frecuencia efectos tóxicos si son asimilados por los seres vivos en concentraciones superiores a ciertos niveles. Otros términos usados con frecuencia en este tipo de estudios, como *metales traza* o *metales pesados*, resultan igualmente restrictivos respecto a los elementos traza, toda vez que no siempre se trata de metales en sentido estricto o no tienen una densidad suficiente para entrar en la categoría de los metales pesados.

Aunque no de forma exclusiva, los elementos traza objeto de este Estudio son mayoritariamente metales que, si bien suelen encontrarse en muy bajas concentraciones, localmente y debido al tipo de roca de la que derive el suelo (*roca madre*), pueden encontrarse en concentraciones relativamente altas de forma natural. Se trata esencialmente de arsénico, cobalto, cromo, cobre, níquel, plomo, cinc y eventualmente de otros menos frecuentes y sólo ocasionalmente presentes, como plata, berilio, cadmio, mercurio y selenio.

El Estudio se ha planteado en dos fases:

En la primera fase, se ha realizado un muestreo con una distribución razonablemente homogénea de la totalidad de la Comunidad Autónoma, de forma que estén representados los diferentes suelos y rocas madre existentes. Se establecieron 750 puntos de muestreo, excluyéndose aquellos lugares con indicios aparentes de actividades antrópicas potencialmente contaminantes. En cada punto se procuró tomar dos muestras a diferente profundidad (entre 0 y 20 cm y entre 20 y 40 cm). En ocasiones, el escaso espesor del suelo imposibilitó la recogida de la muestra más profunda, por encontrarse ya a ese nivel la roca madre. De esta forma, el número total de muestras asciende a 1.350, de las cuales 750 corresponden al nivel superficial y 600 al profundo.

Las muestras fueron preparadas y analizadas en el laboratorio para determinar las concentraciones de los elementos citados, así como el pH del suelo, recogiendo en el campo sobre una ficha normalizada las coordenadas del punto de muestreo, la localidad y las características del entorno (tipo de suelo, sustrato geológico y vegetación dominante, entre otras observaciones de interés).

Los resultados analíticos obtenidos han sido sometidos a tratamientos estadísticos siguiendo metodologías avaladas por la comunidad científica para este tipo de estudio geoquímico y que en síntesis, determinan los valores que pueden considerarse como niveles de fondo para la región y aquellos que resultan, en mayor o menor medida, anómalos respecto al conjunto de datos disponibles.

En aras de una mayor claridad, los resultados obtenidos se han vertido en una serie de mapas. Mediante una gradación de colores que representan intervalos de concentraciones, se indica tanto para el nivel superficial del suelo como para el profundo, el intervalo de concentraciones que corresponde a cada punto muestreado.

Se han elaborado dos tipos de mapas: mapas del conjunto de la Comunidad Autónoma y mapas provinciales.

*Mapas del conjunto de la Comunidad Autónoma.* Es una colección de mapas con base topográfica en los que el tratamiento estadístico se ha realizado sobre la totalidad de las muestras analizadas, consiguiéndose una visión global de las tendencias que muestran los suelos de Andalucía.

Para cada elemento analizado, el nivel de fondo geoquímico se asigna a la mediana de la población de datos disponibles, asignación que se realiza de forma independiente para los resultados analíticos correspondientes a las muestras del nivel superficial y para las del profundo. Por definición, el 50% de las muestras de cada nivel presentan una concentración igual o inferior al correspondiente fondo geoquímico así obtenido. Se ha seleccionado la mediana como valor de fondo regional, ya que es un parámetro estadístico que minimiza la influencia de valores extremos.

Para las concentraciones superiores al fondo geoquímico, se establecen tres intervalos basados en los percentiles 90 y 95, con lo que la gradación de los valores, y el porcentaje de datos que representa cada intervalo, obedecen al siguiente diseño:





## 4. Suelo

Cabe insistir en que esta distribución de los rangos de concentraciones, siendo la misma para el nivel de muestreo superficial y el profundo, está delimitada por valores que difieren o pueden diferir de uno a otro nivel, es decir, la mediana y los percentiles 90 y 95 normalmente tendrán distinto valor para un elemento dado en la población de datos de muestras superficiales y profundas.

La representación de los resultados analíticos obtenidos en los puntos de muestreo viene dada por un círculo dividido en dos, correspondiendo los colores de relleno de los semicírculos superior e inferior a los intervalos de concentraciones en los que se sitúan las muestras analizadas. Cuando no se ha obtenido muestra del nivel profundo, el semicírculo inferior aparece sin color de relleno (en blanco).

Los resultados del muestreo así sintetizados, se han situado sobre una base topográfica a escala 1:400.000 que incluye los principales núcleos de población, carreteras y red hidrológica. En la figura se muestra esquemáticamente la forma de representación adoptada.

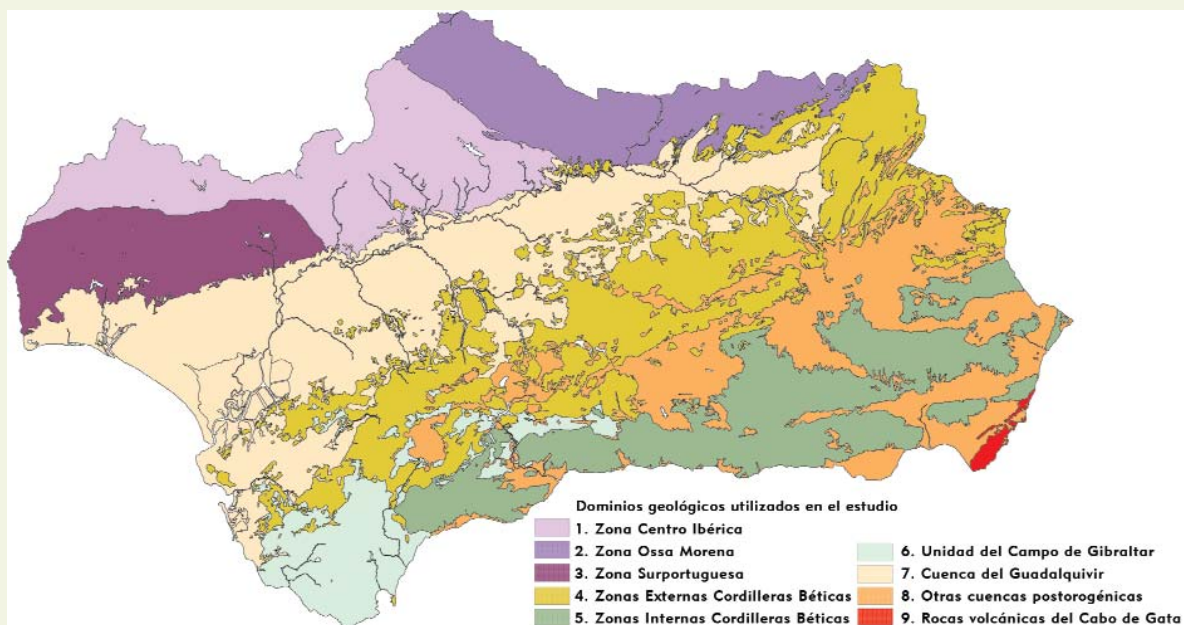


*Mapas provinciales.* Sobre un mapa provincial cuyo fondo incluye la misma información topográfica que en el caso anterior, se han añadido los dominios geológicos que cubren su superficie y se sitúan de nuevo los puntos muestrales, con una simbología propia relativa al contenido geoquímico de cada dominio.

Los niveles de fondo se deben obtener para cada unidad geológica porque el contenido geoquímico de un dominio geotectónico es propio y diferenciador, y los suelos desarrollados sobre ellos reflejarán las anomalías geoquímicas de la unidad sobre la que se han formado.

Por ello, se ha dividido Andalucía en una serie de dominios geológicos, que son los que se reflejan en el mapa adjunto:

### Dominios geológicos de Andalucía



Fuente: Red de Información Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, 2006.

Para definir el nivel de fondo geoquímico de un elemento en cada dominio geológico, se calcula el punto medio (LMS) del tramo donde se encuentran el 50% de las observaciones más próximas (shortest-half). El estimador LMS (least median square) constituye la mínima mediana de los cuadrados de las desviaciones de la mediana del conjunto de los valores respecto de las medidas muestrales.

Este estimador no se refiere al valor central de las *buenas* medidas, cuando hay valores anómalos, sino a la ubicación de la posición central donde los valores  $x_i$  se encuentran más próximos, densos o compactos.

Para las concentraciones superiores al fondo geoquímico de cada dominio geológico (LMS), se establecen tres intervalos basados en el límite superior del shortest-half ( $b$ ) y el percentil 90, con lo que la gradación de los valores y el porcentaje de datos que representa cada intervalo obedecen al siguiente diseño:



Es destacable el hecho de que en este diseño no se establecen porcentajes fijos de la población de datos para cada uno de los intervalos. Dichos porcentajes son variables para los distintos elementos en un mismo dominio y evidentemente, entre dominios diferentes, lo cual abunda en la idea de representar la variabilidad de las pautas de distribución de las concentraciones de estos elementos según el marco geológico en el que se encuentren.

A efecto de disponer de una visión global de dichos dominios, los mapas provinciales incluyen una representación de los mismos sobre un fondo del total de la Comunidad Autónoma.

En una segunda fase de este estudio, y sobre zonas concretas que muestran singularidades, se está finalizando un estudio de detalle conducente a establecer con mayor precisión las características de la distribución de metales en los suelos. La Consejería de Medio Ambiente dispondrá de los resultados de esta segunda fase a comienzos del año 2006.

#### Principales resultados obtenidos y aplicación práctica

A pesar de ser Andalucía una región con una historia en minería metálica que se remonta a varios miles de años, no se disponía hasta el momento de un estudio de la distribución de los principales elementos traza en nuestro territorio. Así, cabe señalar que la metodología aplicada refleja la diversidad geoquímica existente en la Comunidad Autónoma.

Como ejemplo, se muestran a continuación los valores de fondo geoquímico del arsénico y los intervalos de concentraciones superiores al mismo, tanto para el conjunto de Andalucía como para los dominios geológicos correspondientes a la Zona Surportuguesa y la Cuenca del Guadalquivir. Todos los valores están expresados en mg/kg y se refieren al nivel de muestreo más superficial (entre 0 y 20 cm).

#### Conjunto de la Comunidad Autónoma de Andalucía

Elemento	Fondo geoquímico (M) (Mediana=10)	M	P90	P95
Arsénico	$\leq 10$	$> M \text{ y } \leq \text{P90}$ (10-36]	$> \text{P90 y } \leq \text{P95}$ (36-54]	$> \text{P95}$ > 54
Dominio de la Zona Surportuguesa				
Elemento	Fondo geoquímico LMS=20	LMS-b	b-P90	$> \text{P90}$
Arsénico	$\leq 20$	(20-30]	(30-157]	> 157
Dominio Cuenca del Guadalquivir				
Elemento	Fondo geoquímico LMS=20	LMS-b	b-P90	$> \text{P90}$
Arsénico	$\leq 6$	(6-9]	(9-16]	> 16

La principal aplicación práctica que se pretende extraer de este Estudio se refiere al establecimiento de una metodología para la evaluación de emplazamientos afectados por metales pesados, mediante la comparación de las concentraciones existentes en el emplazamiento y en su entorno natural, así como sobre el comportamiento de los metales pesados presentes.

