

Gestión de los recursos

EROSIÓN DEL SUELO Y PROCESOS DE URBANIZACIÓN

José Damián Ruiz Sinoga.

AGENDA 21 MÁLAGA



Ayuntamiento
de Málaga



El contenido de este informe corresponde a la visión profesional que el autor considera relevante sobre esta materia, no siendo el Ayuntamiento, con carácter general, responsable de las opiniones vertidas en el mismo.

Introducción.....	4
Concepto	4
Antecedentes.....	4
La erosión en la Agenda 21	6
La erosión en el municipio de Málaga.....	8
Torrencialidad.....	8
Tipología de los eventos torrenciales.....	9
Recurrencia y tendencia de los eventos torrenciales	11
La degradación del suelo. Una crisis silenciosa.....	12
Los procesos de erosión en el municipio de Málaga.	
Unidades fisiográficas	15
Los Montes de Málaga	15
La Vega.....	20
Los Arroyos Orientales	23
Propuestas	26
Referencias	27

Introducción

Concepto

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la erosión “es el desgaste o destrucción producidos en la superficie de un cuerpo por la fricción continua y violenta de otro”. Así, por erosión del suelo se entiende normalmente la remoción del material terrestre, en superficie o a escasa profundidad, por acción del agua (erosión hídrica) o del viento (erosión eólica).

Conviene distinguir, en cualquier caso, entre la “erosión natural”, o proceso natural continuo dependiente de factores climáticos, tectónicos, topográficos, litológicos y biogeográficos que contribuyen a modelar la superficie de la tierra y a originar suelos, respecto a la “erosión inducida”, o la erosión acelerada por el hombre, destruyendo o degradando la cubierta vegetal protectora, con marcadas consecuencias negativas de tipo ambiental, económico y social.

Puede distinguirse entre erosión laminar, erosión en regueros y erosión en cárcavas o barrancos. Este tipo de erosión consta básicamente de dos fases: desgaste o disgregación del suelo por la acción del agua de lluvia y transporte de las partículas por el flujo de agua en sus distintas formas. En términos generales, los factores que intervienen en la erosión hídrica son, en síntesis, cinco: Intensidad de precipitación o torrencialidad, características del suelo, relieve, vegetación y uso del suelo.

En ambientes mediterráneos, la erosión del suelo, en sus diversas manifestaciones, puede considerarse como uno de los principales procesos e indicadores de la degradación de los ecosistemas, con importantes implicaciones de índole ambiental, social y económica. En tanto que importante agente de degradación del suelo, constituye además uno de los principales agentes en los procesos de desertificación, entendiendo por desertificación «la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas», según la definió la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (París, 1994).

En la provincia de Málaga, con las características de sequía, desprotección de suelos, compartimentación del relieve y torrencialidad propias de toda la cuenca mediterránea, la erosión puede causar tanto daño por los efectos a distancia de los arrastres que por mermar la potencialidad productiva del suelo, contribuyendo a su degradación. Es decir, no se trata solo de un proceso de degradación ambiental, que lo es, sino también de índole económica. Es la pérdida de capacidad productiva de los suelos.

Antecedentes

La problemática derivada de los procesos de erosión del suelo en Málaga no es reciente. En el Siglo XVIII, la fábrica de hoja de lata (1726) en Juzcar y la ferrería en Marbella (1826) utilizaban como combustible la madera y el carbón vegetal procedentes de los bosques occidentales de la provincia.

Se instalaron fábricas textiles y químicas, además de fundiciones más pequeñas que utilizaban madera en el puerto del Robledal (Fuenfría Alta), Rairrelas (Alpandeire), Encina

Ladeada (Benaoján), fundición de cañones en Jimena de la Frontera propiedad de los Gálvez de Macharaviaya, mina San Eugenio (Yunquera), Encarnación, Trinidad y un martinete en Alpendeire. Todas estas instalaciones tenían una importante connotación ambiental dada su fuente de energía, la destrucción del ecosistema natural, acabando con encinares de forma irreversible, de los que una buena muestra son los Riscos de Cartajima.

Juan María Rivera, Comisario del Santo Oficio de Ronda relató en 1766, “El hierro y el fuego han limpiado en varias partes más de cuatro leguas, con pérdida de dos millones y medio de árboles; acuérdomos haber hecho de Fiscal en la causa fulminada contra un carbonero, que en distintas ocasiones él solo había cortado en el risco de Cartajima más de treinta mil encinas albarranas frutales”.

Esta riqueza entró en una profunda crisis desde que en el año de 1879 penetró la filoxera, que arruinó los cultivos de vid, ya en decaimiento de producción debida a la pérdida de fertilidad de los suelos, al situarse estos cultivos en zonas de altas pendientes con altas pérdidas de suelo. Los materiales arrancados de las laderas, destruían periódicamente las poblaciones en la zona baja de las cuencas, debido al empuje de los sedimentos dentro de las avenidas. Esta crisis de la agricultura arrastró a la industria, lo que motivó incluso un decrecimiento de la población provincial.

Este conjunto de acciones tenía a esta provincia con un paisaje desértico, siendo sus ríos destructores torrentes-ramblas por la falta de cubierta forestal en sus cuencas y la gran presencia de materiales en sus cauces. Así se recuerdan como fechas históricas las inundaciones con víctimas que asolaban periódicamente a los pueblos y aún en mayor medida a la capital.

Estos problemas, obligaron a sus gobernantes a tomar medidas para frenar y controlar sus procesos erosivos, una de ellas fue la formación del Catálogo de Montes Protectores en su parte oriental la más afectada por procesos erosivos, en los términos municipales denominados Alcaucín, Canillas de Aceituno, Sedella, Salares, Canillas de Albaida, Cómpeta, Frigiliana y Nerja, por Decreto del Ministerio de Agricultura el 28 de febrero de 1935. El grupo de montes protegidos que se denominó “Pontevedra” abarcaba 25.000 hectáreas, en su mayor parte de propiedad particular.

La actuación más importante sin duda fue la repoblación del río Guadalmedina, que asolaba periódicamente la ciudad de Málaga con grandes daños económicos, desde la dominación árabe, pero de forma cada vez más acusada según fue creciendo la deforestación de su cuenca. Se tienen registradas inundaciones siendo las más destacadas en el siglo XVI (1544, 1548, 1561, 1580 y 1597), en el siglo XVII (1608, 1611, 1614, 1628 con más de 600 muertos, 1635, 1649 y 1661 con más de 300 muertos), en el siglo XVIII (1723, 1764 con tres, 1784, 1786, 1789), en el siglo XIX (1802, 1803, 1804, 1814, 1816, 1821, 1852 y 1881) y en el siglo XX (1901, 1902, 1905, 1906 y la famosa “riá” de la noche del 23 al 24 de septiembre de 1907).

Cuando el problema se hizo insostenible después de la “riá” de 1907 de la que se ha cumplido más de un siglo, se optó por la canalización y rectificación del lecho del torrente, desde la desembocadura de Arroyo Hondo al mar, estrechando su anchura entre los muros de canalización. Completándose aguas arriba con la construcción del Pantano del Agujero de 5,2 Hm³ de capacidad, clasificado como del tipo de regulador automático de crecidas, dimensionado para desaguar un flujo de 360 m³/s completado con una regulación de maniobra suplementaria, hasta 600 m³/s, capacidad máxima de la canalización.

Después de terminada la canalización, y como consecuencia de copiosas lluvias, se

produjo el día 16 de noviembre de 1918 una nueva avenida del río, en mayores proporciones que las registradas anteriormente. Cuando desaparecieron las aguas, observaron todos, con sorpresa, que en el nuevo cauce, durante las horas que había durado la avenida, se había depositado sobre toda la longitud de la canalización, una capa de arena de un metro de altura sobre su antiguo nivel.

Visto que la solución de obra civil era insuficiente, se acometió al fin la compra de terrenos y su posterior repoblación, actuándose sobre 4.500 hectáreas de las 12.835 propuestas, que corrigieron en una gran medida el problema. Bosque que ha dado lugar al Parque Natural de los Montes de Málaga, pulmón y lugar de esparcimiento de los vecinos de la ciudad, además de salvaguarda de la misma contra las inundaciones.

Este entorno está sufriendo un proceso de urbanización acelerada y descontrolada de su litoral y zonas más bellas, en las que se está procediendo a instalar multitud de urbanizaciones, en claras zonas forestales, rodeadas de zonas boscosas y de matorral más o menos degradado.

Según el INE, existe una disminución del 8,89 por ciento de la superficie provincial con pérdidas de suelo por encima de 10 toneladas, debido en parte al considerable aumento de la superficie forestal que pasa de 301.626,18 hectáreas en 1995, según los datos del IFN2, a 359.852,64 hectáreas en el año de 2007, según los datos del MFE50, representando un incremento de cerca del 20 por ciento.

Consecuencia del abandono de tierras marginales, por el incremento del nivel de vida de la población, dato muy positivo pero que aumenta el riesgo de incendios forestales, de forma similar a lo ocurrido en el mediterráneo francés, italiano y griego. Las pérdidas de suelo medias provinciales son de 52,37 toneladas por hectárea y año, siendo la comarca de la Axarquía la que más sufre este proceso, con nueve municipios con pérdidas de suelo por encima de las 100 toneladas por hectárea y año. Esta comarca es la asignatura pendiente de la provincia en la lucha contra la erosión.

Asimismo resalta que la erosión en la cuenca del Guadalmedina, con ser importante ha bajado en el último periodo debido a la regeneración natural de gran parte de su cuenca, siendo muy alta en los cultivos de Colmenar y Casabermeja. En los arroyos urbanos de Málaga ha descendido de forma notable, debido al abandono de los cultivos y a la urbanización de una parte importante de su superficie.

En resumen, la toma de conciencia en relación a la problemática de los procesos de erosión en Málaga no es reciente, sobretodo porque se la ha estado vinculando a la degradación paisajística, medioambiental y agrícola, con implicaciones económicas directas. Cuando precisamente consideramos que la actividad económica malagueña pasa por el mantenimiento de sus altos valores ambientales, que constituyen soporte al desarrollo turístico, sostén de la producción y arraigo de la población rural. Valores que con ser importantes, se ven superados por los efectos ambientales indirectos de nuestros espacios, especialmente importantes en la contención del cambio climático, debido a las importantes tasas de absorción de CO₂ por parte de los suelos de áreas forestales (Ruiz Sinoga y Romero Diaz, 2010), y sus implicaciones directas en los balances de CO₂, como así lo atestiguan las últimas cumbres del IPCC.

La erosión en la Agenda 21

En los indicadores de sostenibilidad de la Agenda 21 de Málaga, correspondiente al año

2012 aparece por primera vez la erosión del suelo con capítulo propio dentro del apartado de “Gestión de Recursos Naturales”. Mediante este indicador se calcula el mapa de índice de erosión del suelo para el término municipal de Málaga, a través del análisis obtenido por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica, y la aplicación de la USLE/RUSLE (Universal Soil Loss Equation/Revised Universal Soil Loss Equation).

Aunque se trata de una aparición tardía, dada la importancia que los procesos de erosión tienen en el municipio de Málaga, es necesario vincularlos no solo a condiciones ambientales, agrologicas, o edáficas, sino también infraestructurales, como consecuencia de las sucesivas inundaciones padecidas por la ciudad de Málaga.

Y esta aparición en la Agenda 21 de Málaga con entidad propia está bien justificada. Según el umbral de erosión tolerada de 12 Tm/Ha/ año, definida por ICONA (1991), el municipio de Málaga posee más de un 50% de su superficie con esta característica, siendo las pérdidas medias de 69,3 Tm/Ha/ año. Sin embargo, podríamos establecer la existencia de un diferencial de erosión en el término municipal, con 3 zonas bien definidas: la vega, los Montes y los arroyos orientales. Las zonas con baja tasa de erosión coinciden con el valle del Guadalhorce con escasa pendiente y con una protección provocada por el cultivo, y el Parque de los Montes de Málaga, que pese a su alta pendiente, está protegido por un bosque denso.

Sin embargo, existen determinadas zonas en el término de Málaga que presentan unos niveles de erosión medios, altos o muy altos, provocado por una orografía más abrupta y una escasa cobertura vegetal, diferenciándose principalmente por el sustrato que posee, como toda la franja montañosa al norte de la capital, en donde se encajan los ríos Campanillas y Guadalmedina, o los arroyos orientales.

Las actuaciones relacionadas con la prevención de pérdida de suelo por erosión son necesarias para intentar minimizar los procesos de desertificación, y como medio preventivo de inundaciones, ya que las precipitaciones con frecuencia tienen un carácter torrencial, arrastrando grandes cantidades de sedimentos por la falta de vegetación hasta la desembocadura de los ríos y arroyos, provocando desbordamientos en dichas zonas, y afectando a las urbanizaciones del litoral.

La erosión en el municipio de Málaga

Los procesos de erosión del suelo no son exclusivos del término municipal de Málaga, sino que se insertan en un contexto de degradación del suelo en el sur de España, y por supuesto en el marco de una determinada tendencia. Ruiz Sinoga y Romero Diaz (2010) han mostrado cuales son los factores generadores de los procesos de degradación del suelo en el sur de España vinculándolos con la incidencia del gradiente pluviométrico a lo largo del mismo.

La erosividad del suelo (Factor K de la USLE) se reduce conforme se incrementa la pluviometría, mientras que el contenido de materia orgánica, como propiedad indicadora de la salud del ecosistema, se incrementa conforme lo hace la pluviometría. Es decir, son las áreas menos lluviosas aquellas en las que la erosividad del suelo es mayor, y viceversa.

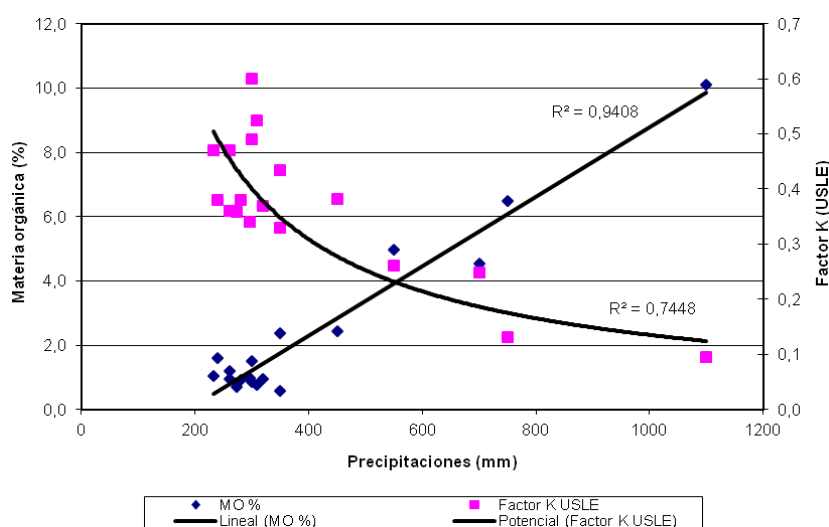


Figura 1. Umbral de degradación del suelo.

En este contexto, el municipio de Málaga, con una precipitación que oscila entre 550-600 mm/año, se ubica justo en el umbral de equilibrio entre lo que podríamos denominar el control de los factores abióticos (degradación por erosión hídrica) y los bióticos (incremento de materia orgánica del suelo). A este escenario, hemos de añadir la incidencia de los efectos del cambio climático en un área de transición como la del Mar de Alboran. La reducción de la pluviometría anual (Ruiz Sinoga et al., 2010) puede tener consecuencias sobre una pérdida de biodiversidad y biomasa, con un dominio de los procesos de escorrentía y erosión sobre los de infiltración, y la consolidación de procesos de degradación del suelo.

Torrencialidad

La configuración urbana de la capital a lo largo de la costa, perpendicular a todos los arroyos que vierten aguas directamente en el litoral oriental, y aprovechando los fondos de valle de los ríos Guadalmedina y Guadalhorce, unido a la configuración orográfica, confiere al fenómeno torrencial una extrema importancia en el TM de Málaga, manifestada a través de toda una serie de inundaciones padecidas por la misma. Dadas las características eco-geomorfológicas de Málaga, es la torrencialidad, el principal agente desencadenante de los procesos de desmantelamiento de suelo.

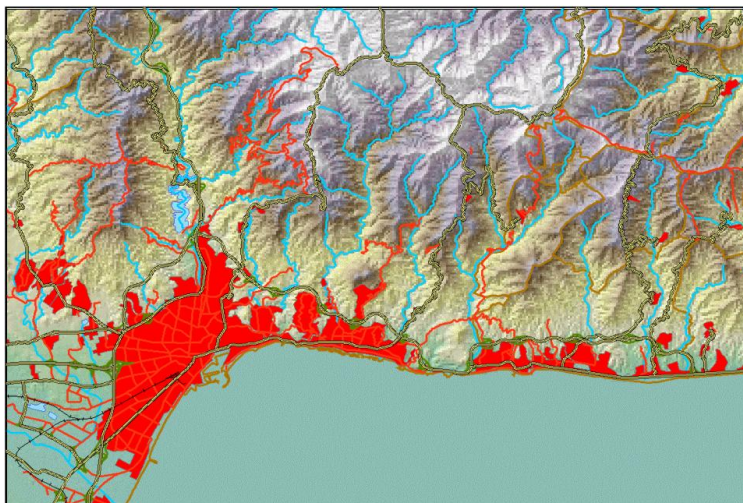


Figura 2. Localización de las áreas urbanas de Málaga

La variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones de clima mediterráneo ha sido analizada en numerosos estudios (Pons y Soriano, 1994; De Luis et al., 1997; Pascual et al., 2001; Martín Vide, 2004; Llasat et al., 2005; Neppel et al., 2007; Rodrigo y Barriendos, 2008; Lana et al., 2009; Turco y Llasat, 2011), así como los episodios de la dinámica atmosférica que suelen intervenir en tales eventos (Llasat et al., op. cit.; Martín et al., 2006; Martín Vide et al., 2008; Camarasa et al., 2010). Sin embargo, aun considerando la gran variabilidad espacial que estos mismos estudios reconocen, algunas áreas del Mediterráneo apenas se han estudiado en profundidad, a pesar de que existen datos más que suficientes. Es el caso de la ciudad de Málaga, donde se cuenta con datos pluviométricos continuos y diarios desde 1935 (y totalizados desde 1878).

Son escasos pero útiles los estudios concretos realizados sobre la ciudad de Málaga. Elías y Ruiz (1979), en su análisis sobre precipitaciones máximas en España, abordan varias estaciones de la ciudad, aunque se trate de un trabajo antiguo. Senciales (1995 y 1997), aborda la intensidad de las precipitaciones en Málaga o en su entorno. También es imprescindible el trabajo de Capel (1990), que analiza un episodio de especial intensidad en la historia reciente de la ciudad.

Entendemos por eventos torrenciales, aquéllos que superan 100 mm en 24 horas, y por tanto, tienen una extraordinaria capacidad de removilización de materiales y de erosión, en definitiva. El mapa de precipitación máxima en 24 horas elaborado por Elías y Ruiz (1979) asignaba a la ciudad de Málaga un valor máximo de entre 220 y 240 mm para un periodo de retorno de 100 años; y un valor máximo de 60 mm/h. para un periodo de retorno de 10 años. Las estimaciones probabilísticas para la ciudad de Málaga (estación Málaga-CASE) realizadas por Senciales (1997) señalan una recurrencia de entre 10 y 25 años para tales eventos; pero al tratar un mayor número de estaciones, esta recurrencia parece ser mucho más corta, por lo que se aborda el estudio de todas las estaciones periféricas e internas a la ciudad con objeto de realizar una estimación múltiple y no basada en un único punto que pueda estar condicionado por su localización (Senciales Gonzalez y Ruiz Sinoga, 2013).

Tipología de los eventos torrenciales

Se han registrado 30 eventos torrenciales en la ciudad de Málaga entre 1950 y 2008. El tipo de tiempo que suele provocar estos eventos (Tabla 1) se asocia a situaciones de levante

(en superficie) con diferente componente (E + SE+ S), ya que el tipo de tiempo que predomina es el suroeste, el mismo que frecuentemente genera precipitaciones ordinarias en Málaga (Senciales, 1995). Ambos se asocian con frecuencia a perturbaciones africanas reactivadas y cargadas de humedad en el Mediterráneo, en tanto que el sur, aunque puede estar asociado a perturbaciones de origen netamente atlántico (del golfo de Cádiz), afecta a Málaga después atravesar el norte de África y el Mediterráneo, por lo que presenta un comportamiento semejante al levante.

Tabla 1. PORCENTAJE DE EVENTOS > 100 MM/24 H SEGÚN TIPO DE TIEMPO

Tipo de	O	SO	S	SE	E
% casos	3.33	40.00	10.00	23.33	23.33

A ello hay que añadir otros fenómenos combinados con el tipo de tiempo, como son la asociación con sistemas frontales de gran actividad, sistemas frontales ocluidos, flujo de aire frío en altura (descenso latitudinal del chorro polar) y existencia de gota fría típica (ver Tablas 2 y 3) o DANA (Depresión Aislada de Niveles Altos) (Martín León, 2003).

Tabla 2. SITUACIÓN EN ALTURA DURANTE EVENTOS > 100 MM/24 H

Situación a 500 HPa	Flujo frío	DANA
% casos	40	60

Del total de 30 casos analizados, predomina ligeramente la presencia de DANAs en altura, si bien no deja de ser importante la presencia de flujo frío no aislado. Al combinarlo con la situación en superficie (Tabla 4) destaca el hecho de que la situación más frecuente es la presencia de eventos torrenciales relacionados simplemente con flujo frío en altura y la llegada de un sistema frontal, normalmente de procedencia atlántica. Sin embargo, al combinarlo con el viento predominante destaca la DANA asociada a levante (E y SE) y secundariamente el flujo frío con poniente.

Tabla 3. SITUACIÓN COMBINADA DURANTE EVENTOS > 100 MM/24 H

Situación combinada	Flujo frío + Frente	Flujo frío + Frente ocluido	DANA + Frente	DANA + Frente ocluido	DANA + Depresión
% casos	30	10	13.33	23.33	23.33

Tabla 4. SITUACIÓN EN ALTURA Y TIPO DE TIEMPO EN EVENTOS DE > 100 MM/24 H

Tipo de tiempo Situación en superficie	O	SO	S	SE	E
Flujo Frío	3.3	23.3	6.6	3.3	3.3

DANA	0	16.6	3.3	20.0	20.0
-------------	---	------	-----	------	------

(Datos en porcentajes. Elaboración propia)

Así pues, existe una mayor frecuencia de frentes activos (ocluidos o no) con lluvias violentas ligadas a flujo frío que a DANAs, aunque también es destacable la presencia de DANAs ligadas a depresiones, o a frentes ocluidos, efectos ambos comunes en las lluvias torrenciales del levante peninsular. Esta variabilidad de situaciones conduce al hecho de que la torrencialidad no sea un factor aislado, y sus consecuencias en los procesos de desmantelamiento de suelos, tampoco.

Recurrencia y tendencia de los eventos torrenciales

La probabilidad de que se registre en uno o varios lugares del TM de Málaga un episodio torrencial cuando en cualquier lugar del entorno de Málaga se produce un evento similar es mayor en los Montes de Málaga (70%), seguido de la vega del Guadalhorce, la zona este de la ciudad y, por último, la zona oeste (33,3%). No obstante, la probabilidad de que el evento registrado sea inferior a 100 mm es siempre más elevada, alcanzándose los valores más altos en Montes y zona Este, y los más bajos en Guadalhorce y Zona Oeste (Senciales Gonzalez y Ruiz Sinoga, 2013).

La recurrencia calculada para 30 aguaceros torrenciales en 59 años es de 0'306, o lo que es lo mismo, 1 evento cada 3'27 años en cualquier punto del término municipal de Málaga. De los 30 aguaceros analizados, 20 fueron registrados en más de un lugar simultáneamente. Sólo 10 se localizaron en el casco urbano de Málaga, lo que implicaría un periodo de retorno medio de un aguacero torrencial cada 5'9 años en algún punto interno de la ciudad.

Sólo 5 de los 30 aguaceros pueden considerarse generalizados, es decir, que han registrado una lluvia torrencial en la mayoría de las estaciones pluviométricas. En este caso sí que coincide la estimación de recurrencia realizada para una única estación. La aplicación del modelo de Poisson estimaría la recurrencia de aguaceros generalizados en uno cada 12'8 años.

La recurrencia de los eventos torrenciales en conjunto para el entorno de la ciudad de Málaga (Figura 3), muestra una tendencia al incremento más allá de la linealidad que expresaría un gráfico de valores acumulados homogéneos en una serie temporal. Se obtiene un $R^2 = 0.9927$ en la ecuación polinómica:

$$Y = 0.0046x^2 + 0.2055x + 0.9909$$

Se muestra así una clara tendencia a un incremento progresivo de la frecuencia y número de eventos torrenciales. Los datos en sí son expresivos: entre 1950 y 1979 se registraron en el entorno de Málaga 12 eventos de este tipo; sin embargo, en el mismo periodo de 30 años, desde 1980 a 2009, se registraron 18 casos, es decir, un 50% más. En ello hay que considerar, además, que el número de estaciones disponibles en ambos periodos viene a ser similar (entre 8 y 13 estaciones hasta 1979, y entre 8 y 15 hasta 2009), lo que permite que los datos sean comparables. El punto de inflexión en los años 80 coincide con lo planteado por Ruiz Sinoga y Leon Gross (2012) en su análisis de las sequías en el mismo entorno y periodo. Esto puede ser remarcado, de acuerdo con el análisis lineal hasta el año 81 y desde dicho año a la actualidad, con unos coeficientes de determinación muy elevados.

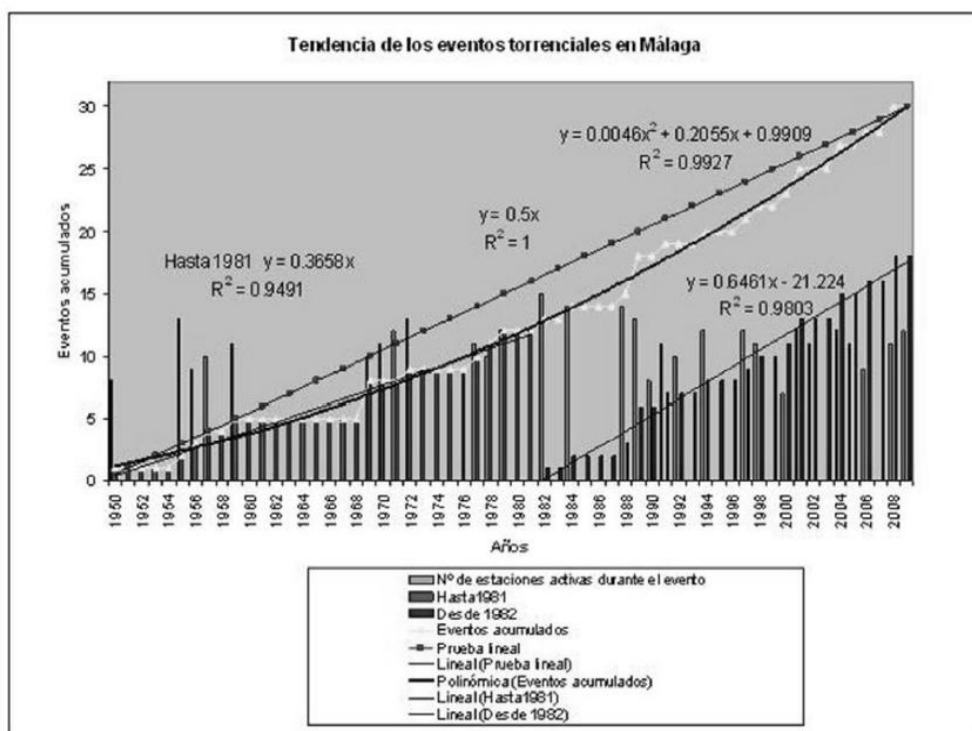


Figura 3. Tendencia de los eventos torrenciales en Málaga.

No obstante, el análisis de los volúmenes de precipitación de cada evento, muestra una cierta tendencia a la disminución, semejante (incluso en su baja fiabilidad estadística) a la tendencia general al descenso de los volúmenes anuales de precipitación en la ciudad de Málaga, estimada por Ruiz Sinoga et al. (2010) en 0'57 mm/año. También es significativa la tendencia a la disminución de los aguaceros torrenciales generalizados a todo el entorno de Málaga. Ambos efectos contribuyen a la disminución del módulo pluviométrico anual en un medio como el mediterráneo, que tanto depende en sus volúmenes finales de las lluvias torrenciales. Tales eventos se produjeron en los años 1955, 1956, 1978, 1982 y 2004. Sin embargo, hubo otros, que por su magnitud fueron importantes, aunque solo se produjeron en una o pocas estaciones en la ciudad de Málaga; es el caso de octubre de 1988 o 14 de noviembre de 1989, en los que se sufrieron inundaciones en el Guadalhorce que, como es el caso del segundo, llegaron a repercutir en la ciudad de Málaga.

La degradación del suelo. Una crisis silenciosa

Ante la falta de cartografía temática de detalle, al menos a escala 1:10.000, con objeto de abordar un estudio exhaustivo, para determinar los procesos de erosión y degradación de suelo en Málaga hemos recurrido al INES (Inventario nacional de Evaluación de Suelos) recientemente publicado. Las pérdidas de suelo tolerables se estiman en torno a 12 Ton/Ha/año. Sin embargo, si exceptuamos las superficies artificiales y las laminas de agua, muy poca extensión se sitúa por debajo de dichos umbrales de tolerancia. Prácticamente la zona de las vegas del Guadalhorce y Campanillas y las áreas reforestadas, incluido el Parque Natural de los Montes de Málaga.

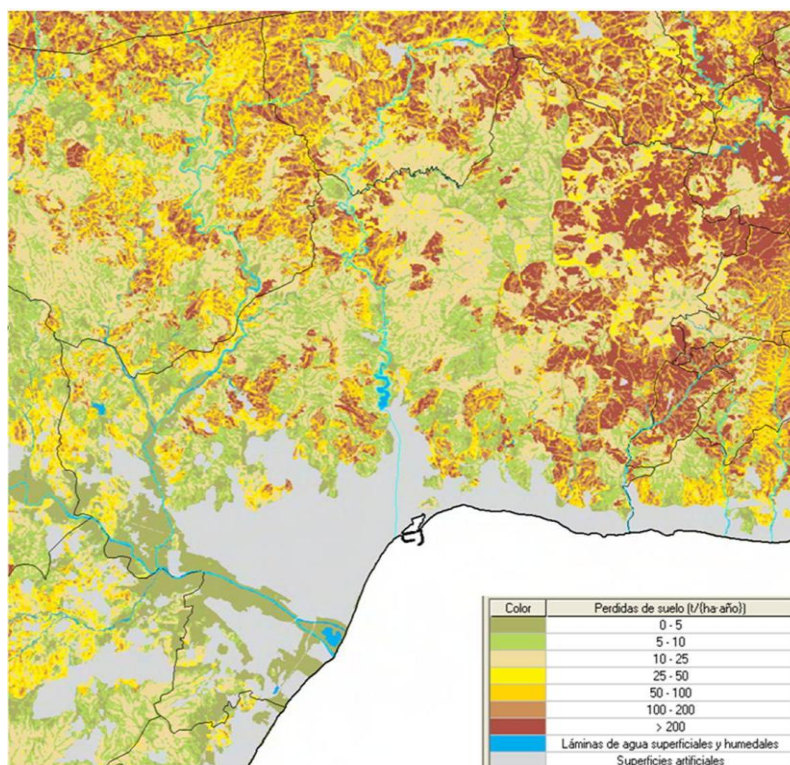


Figura 4. Pérdidas de suelo en el Término Municipal de Málaga.

El resto, dominio de materiales del paleozoico, se trata de áreas con fuertes pendientes, cuya longitud supera los 200 m., escasos suelos y poco profundos, cuya vocación natural es la forestal, pero que están cultivados por un olivar y almendro residual, o incluso campos abandonados hace una serie de años, en vías de recuperación mediante la expansión de un matorral de bajo porte. En estas áreas se producen pérdidas de suelo por encima de las 100 Ton/Ha/año, especialmente en las cabeceras de los arroyos de La Caleta, Jaboneros y Gálica.

La existencia de unas elevadas tasas de erosión, en algunos casos desorbitadas, debiera hacer pensar la aparición de unos paisajes inhóspitos, sin embargo, la comparación de las fotografías aéreas del último medio siglo (1956 y 2011) apenas si muestra grandes cambios paisajísticos. Aparentemente, el paisaje actual no está más degradado que el de medio siglo atrás, según se desprende del análisis fotogramétrico.

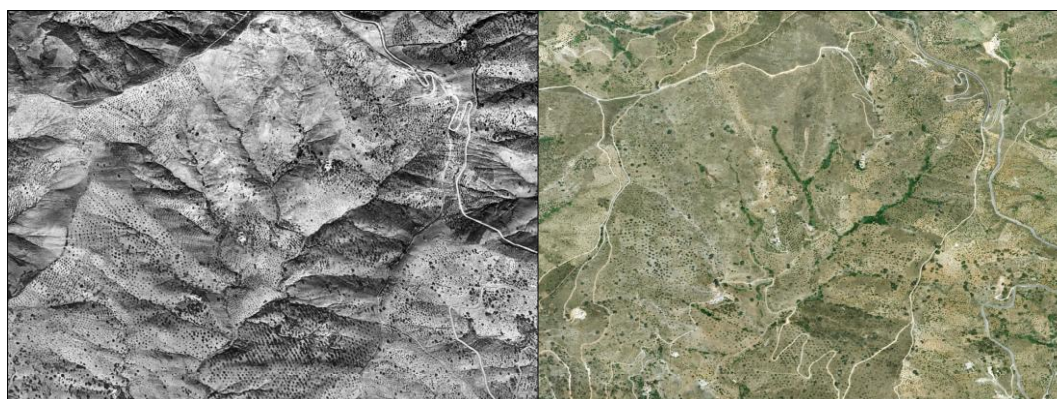


Figura 5. Comparación de fotografías aéreas 1956-2011. Cabecera Arroyo Gálica.

Este hecho supondría una contradicción cuando los diferentes mapas de estados erosivos que se han realizado en la zona, más o menos recientes, muestran unas importantes tasas de pérdidas de suelo anual. La explicación consiste en la consolidación de un paisaje residual, especialmente en las áreas cultivadas por leñosos, olivares de mas de 60 años de antigüedad, en muchos casos.



Figura 7. Rebaje superficial del suelo.

La realidad, es que durante el último medio siglo, se ha producido un rebaje de suelo superior a 60 cm de media, a lo largo de las laderas, lo que supondría una tasa de pérdida de suelo anual superior a un cm.

Es en este punto donde conviene hacer una reflexión. La gran diferencia existente entre la tasa de formación y de pérdida del suelo, motiva la ejecución de estudios cuyos resultados se respalden programas de prevención de la erosión en sus diferentes formas. En esta dirección apunta la definición de una tasa tolerable de pérdida de suelo (FAO, 1967; 1988). La existencia de fuertes pendientes, encajamiento de la red de drenaje muy próxima al mar, una litología muy erosionable, compuesta por filitas y esquistos del Paleozoico, unido a un cultivo que no permite competencia como el olivar, de un lado, y al abandono del campo, de otro, y en definitiva, con una muy escasa cubierta vegetal, y la proximidad a la ciudad de Málaga, le confieren un marcado carácter de baldío social. La dinámica erosiva de estas áreas podría considerarse como de degradación, tanto más, si tenemos en cuenta, los frecuentes intensos aguaceros que padece, típicos de regiones mediterráneas, por otra parte.

Por tanto, es necesario profundizar en el concepto de Tolerancia de Pérdidas de Suelo, para poder llevar a cabo una evaluación certera de los procesos de erosión y degradación de suelo en Málaga. Así, puede aceptarse como el máximo nivel de erosión del suelo que permite un elevado nivel de productividad del cultivo, sostenible económica e indefinidamente (SCHMIDT et al., 1982).

La principal dificultad reside en la determinación del máximo nivel de erosión permisible, el cual a su vez está condicionado por la tasa de formación del suelo. Esta, puede ajustarse desde diferentes ópticas (JOHNSON, 1987). Bajo condiciones ideales de manejo del suelo, éste podría formarse a una tasa de 0,8 mm año⁻¹ (HUDSON, 1982); bajo condiciones naturales, la tasa de formación podría ser de 1-2 mm por década (ROELS y JONKERS, 1983); bajo prácticas agrícolas normales, la tasa de formación puede ser de 25 milímetros en 100 años (0,25 mm

año-1). Por su parte, Morgan en diversos trabajos (1979, 1986) y Morgan et al., (1984) consideran que una tasa de formación adecuada para un suelo agrícolamente productivo, es del orden de 0,1 mm año-1, equivalente a 0,1 kg m-2 año-1 (1 ton ha-1 año-1), asumiéndose una densidad del suelo de 1 Mg m-3 y basándose en estimativos de meteorización de las rocas.

Aceptando estos planteamientos de partida, podríamos decir que la tasa de pérdida de suelo en estos ambientes montañosos periurbanos de Málaga está siendo 10 veces superior a la teórica tasa de formación, con lo que asistimos a un proceso continuo de degradación del suelo, cuya consecuencia final puede ser irreversible, es decir, la desertificación. Sin embargo, esto no es generalizado a todo el término municipal, pudiendo establecer 3 grandes unidades eco-geomorfológicas.

Los procesos de erosión en el municipio de Málaga. Unidades fisiográficas

Los Montes de Málaga

Aunque tiende a confundirse con el Parque Natural del mismo nombre, por este espacio entendemos a toda aquella zona que se extiende, al norte de la capital, desde la vega por el oeste a las cabeceras de los arroyos orientales de Málaga. El Parque Natural de los montes de Málaga fue declarado en la Ley 2/89, el 18 de julio de 1989, por la Junta de Andalucía. Se localiza al norte de la ciudad de Málaga y está casi en su totalidad dentro de su término municipal. Esta unidad limita al norte, con el Corredor de Colmenar, de disposición oeste-este; al oeste, con el valle del río Guadalhorce; al este, con el Valle del río Vélez; y al sur, con el valle bajo del río Guadalhorce y el litoral que limita con el mar de Alboran. Es una unidad constituida fundamentalmente por un zócalo metamórfico paleozoico, sobre el cual la escorrentía concentrada, como principal agente erosivo, ha ido labrando un relieve de cierta monotonía y compartimentado en numerosos valles, que denotan un intenso proceso de abarrancamiento, y en el que se ha desarrollado durante siglos una actividad humana de tipo agrícola muy intensa. Desde el punto de vista de los procesos de erosión, ha sido la zona más conflictiva del TM municipal de Málaga, puesto que ha canalizado a todos los arroyos y ríos que con dirección N-S cruzaban el zócalo paleozoico. Todos los factores inciden en enfatizar tanto los procesos de erosión, como sus consecuencias.

Geología

El sustrato geológico que constituye esta unidad está conformado por el zócalo bético paleozoico, de la Zona Interna de la Cordillera Bética. Estos materiales pertenecen al Complejo Maláguide, en el que dominan los materiales paleozoicos. Las formaciones presentes son muy erodibles:

a) Formación detrítica inferior: Filitas oscuras y grauvacas de edad precámbrica a ordovícica, presenta, con un espesor superior a 350 m.

b) Formación de calizas alabeadas: Calizas alabeadas, intercaladas con filitas y grauvacas, de edad silúrica.

Los materiales post-orogénicos ocupan extensiones de superficie muy reducidas en el conjunto total de los Montes de Málaga, y prácticamente quedan reducidos a los fondos de los barrancos.

Relieve

Estamos ante una unidad natural cuyos caracteres topográficos se resumen en: compartimentación, elevadas pendientes hacia el fondo de los valles y más suaves hacia las cimas, articulándose ambas unidades fisiográficas mediante laderas convexas. Es decir, el máximo potencial energético para la activación de los procesos de erosión. Los Montes de Málaga apenas superan los 1.000 metros de altura, siendo las principales cimas los picos de El Viento (1.030 m) y la Reina (1.029 m). Por ello, podría considerarse como una montaña media, si bien la cercanía al mar y la elevada pendiente de sus laderas, le dan una imagen de mayor entidad. Esta topografía tan sólo se rompe en determinadas áreas, coincidiendo con afloramientos de materiales sedimentarios más resistentes a la erosión, como areniscas, calizas y dolomías, que originan un relieve más escarpado y abrupto.

Geomorfología y procesos erosivos

La geomorfología de los Montes de Málaga está dominada por los procesos de escorrentía, fundamentalmente superficiales, y de forma más localizada y esporádica, los movimientos en masa, tanto deslizamientos como desprendimientos. Estos procesos de escorrentía han dado lugar a un relieve muy compartimentado en el que se desarrolla de una profusa red de drenaje, donde coexisten infinidad de barrancos, con vertientes con tendencia a la convexidad y pendientes muy pronunciadas. Además, la cercanía del mar provoca que los cursos fluviales tengan que salvar en apenas unos kilómetros importantes desniveles altitudinales en busca de un próximo nivel de base.

En la actualidad la erosión y los acarreos en los Montes de Málaga están muy controlados gracias a las reforestaciones hechas a partir de 1933, y a la presa del Limonero. Estas han supuesto que se hayan restringido las grandes inundaciones de barro en la capital, aunque las pérdidas de suelo puedan estar generando un proceso de colmatación de la presa del Limonero. A ello hay que unir los arroyos no regulados por el embalse.

Suelos

En el caso de los suelos son fundamentalmente Regosoles y Leptosoles, es decir, suelos poco desarrollados y muy afectados por la erosión hídrica en laderas de elevada pendiente. También aparecen Cambisoles en aquellos lugares donde las condiciones topográficas de pendiente lo permiten. Estos pueden evolucionar si el agua se infiltra y produce el lavado de partículas arcillosas, las cuales se depositan originando un horizonte B de iluviación, pudiendo aparecer un suelo tipo Luvisol.

Clima

En general, el régimen climático de los Montes de Málaga es de tipo mediterráneo, con inviernos suaves, veranos cálidos, y unas precipitaciones, normalmente intensas, que se

concentran en los meses de otoño e invierno, dejando una estación seca en los meses estivales, como es característica de este clima. Las masas de aire que más afectan a esta zona son las procedentes del océano Atlántico, con dirección S y SO, que llegan cargadas de humedad, aportando un alto porcentaje del volumen total de las precipitaciones. También debemos mencionar las masas de aire cálidas que llegan desde el norte de África, fundamentalmente en verano, con tiempo anticiclónico, aportando cierta humedad y fresco en el litoral pero sequedad y calor hacia el interior por el efecto föhn que se genera a sotavento de esta unidad (Martínez-Murillo y Senciales, 2003).

El régimen térmico de los Montes de Málaga arroja una temperatura media de 16,4 °C y una amplitud media de 15,0 °C. En la zona litoral aparecen las temperaturas medias más elevadas, mientras que las temperaturas mínimas se alcanzan en las zonas interiores más altas, en el entorno de la Fuente de la Reina (Las Contadoras, 13,7 °C; Torrijos, 13,3 °C). Los veranos son más calurosos en las zonas más alejadas del mar, en cuanto a temperaturas máximas, aunque los valores medios más altos corresponden a la zona más cercana a la costa. Los inviernos, en general, son suaves, salvo en las zonas de umbría y mayor altitud, donde pueden tener lugar heladas, llegándose a mantener el suelo en sus capas más superficiales helado durante algunos días, coincidiendo con advecciones frías del Norte (aire polar y ártico, menos frecuente). Así, en los meses de enero, las temperaturas pueden quedar por debajo de los 7,0 °C de media, como en las zonas de Benefique-Torrijos y Las Contadoras, en la zona central más elevada de los Montes de Málaga.

En cuanto al régimen de precipitaciones, la precipitación media anual de los Montes de Málaga puede establecerse en 584,0 mm. Sin embargo, si atendemos a la distribución espacial de las precipitaciones, observamos la presencia de un gradiente pluviométrico desde las zonas más bajas, con unos volúmenes que oscilan de 400 a 500 mm, hasta las zonas centrales más elevadas, en el eje Fuente de la Reina-Colmenar, donde se superan los 700 mm. La distribución anual de las precipitaciones es concentrada pues más de la mitad del volumen anual se recoge entre los meses de octubre y abril. Así, los máximos pluviométricos tienen lugar en los meses de noviembre y diciembre. Después, tras un ligero mínimo en enero, se alcanza un segundo máximo en primavera, en marzo o abril. Por el contrario, los mínimos absolutos se alcanzan en los meses estivales, siendo el mes de julio el más seco. En este período estival, son normales los eventos tormentosos, sobre todo en junio y en septiembre.

La intensidad media de las precipitaciones en 24 horas, activo factor geomorfológico, enmascara en gran medida la realidad de la precipitación mediterránea, que suele concentrarse en apenas unas horas e incluso minutos. En su conjunto, los Montes de Málaga se caracterizan por unas intensidades que oscilan entre 10 y 17 mm d⁻¹.

Por último, el balance hídrico, controlado por los regímenes térmicos y de precipitación, presenta unos valores anuales siempre negativos, si bien se observa un gradiente de descenso hacia las zonas más elevadas, donde casi se alcanzan valores positivos. Por el contrario, son las zonas costeras y más bajas las que se quedan por debajo de los 400 mm anuales de déficit.

Red hidrográfica

La naturaleza metamórfica de los materiales que constituyen el sustrato hace que se comporten de forma impermeable ante el agua, por lo que su respuesta hidrológica suele ser rápida ante las precipitaciones intensas mediterráneas. La red fluvial se articula en una serie de cuencas hidrográficas, cuyo funcionamiento hidrológico “agresivo” es de gran trascendencia dada la cercanía de importantes núcleos de población.

En un medio de topografía tan accidentada como son los Montes de Málaga, el exorreísmo resulta evidente. La tupida red hidrográfica determina una alta densidad de drenaje que da lugar a una fácil y rápida generación de avenidas, a lo que ayuda la elevada pendiente del relieve.

Escaso caudal y acusada irregularidad son las características que mejor definen el régimen de estos ríos, siendo el régimen de tipo pluvial.

Vegetación actual y potencial

Desde el punto de vista biogeográfico, la zona se encuentra situada en el sector Malacitano-Axarquense. Los pisos bioclimáticos que aparecen altitudinalmente son: el termo-mediterráneo, que a solana puede llegar hasta unos 650-700 m, con presencia de palmitos y algarrobos; y el meso-mediterráneo, a partir de la altitud anterior hasta las cimas más altas, aunque puede comenzar a aparecer a una menor, según la orientación y las condiciones de humedad del suelo. La serie climatófila preponderante en todo el sector Malacitano-Axarquense corresponde a los encinares termomediterráneos (*Smilaco mauritanicae*-*Querceto rotundifoliae* S.). La fuerte y antigua acción del hombre ha motivado la práctica desaparición de estos encinares termófilos de los que sólo quedan algunos bosquetes, estando el territorio ocupado por etapas de sustitución.

Así, la vegetación natural propiamente dicha queda restringida a pequeños rodales de bosque mediterráneo, de alcornoques, donde las condiciones de humedad son más favorables (entorno de la Reina y Colmenar), y encinas, acompañados por formaciones arbustivas de jaras (*Cistus* spp.), tomillos (*Thymus* spp), aulagas (*Ulex parviflorus*), coscojas (*Quercus coccifera*) y lavandas (*Lavandula* spp.) entre otras especies. No obstante, debido a las reforestaciones llevadas a cabo fundamentalmente con pino carrasco desde la década de los años treinta del siglo XX, los Montes de Málaga constituyen una masa forestal arbolada casi en su totalidad. Donde las condiciones son menos favorables, son las formaciones arbustivas las que mejor se desarrollan, proliferando los bolinares, retamares, romerales, tomillares y en algunas zonas espartales y pastizales.

Evolución temporal de los usos del suelo

Los Montes de Málaga fueron objeto de una muy temprana colonización, con una utilización intensa por parte del ser humano, que lo puso en cultivo, previa roturación del bosque mediterráneo, sobre todo desde la ocupación musulmana. Esta roturación de la vegetación natural se extendió aún más cuando la presión demográfica lo hizo necesario en el siglo XVI, tras la reconquista cristiana. Durante varios siglos se mantuvo esta dinámica, en la que el cultivo de viñas era el que predominaba. Esto ocasionó un aumento de los procesos de erosión del suelo dado que no había resistencia ante la acción dismanteladora de las aguas superficiales. A finales del siglo XIX, el mercado viñero entra en crisis por la plaga de la filoxera y las tierras, bien son abandonadas, o bien son cambiados los tipos de cultivo, pasando a ser mayoritario el de olivo y almendro. Los campesinos abandonaron las tierras, dejándose de poner en marcha técnicas para su mantenimiento, de modo que los procesos erosivos hídricos se intensificaron. Un ejemplo es la agresiva avenida que inundó la ciudad de Málaga en 1907, y otras en torno a esta fecha, por desbordamiento del río Guadalmedina, que arrastraba abundante caudal sólido procedente de las estribaciones desnudas y sin manejo de los Montes de Málaga. Estas inundaciones provocaron la muerte de cientos de personas y fue el inicio del

desarrollo de las reforestaciones de los arroyos de cabecera de la margen izquierda del río Guadalmedina en los Montes de Málaga, si bien no comenzarían hasta 1933. Desde mediados del siglo XX en paisaje del Parque Natural Montes de Málaga no ha sufrido grandes variaciones, quedando consolidado en una condición relicta.

Debido a estas repoblaciones, el Parque Natural de los Montes de Málaga presenta un paisaje bastante homogéneo, ya que casi el 90 % del espacio está ocupado por bosques de mayor o menor densidad. Estos bosques consisten casi en su totalidad en masas de pino carrasco (*Pinus halepensis*) procedentes de las citadas repoblaciones (75 % del P.N). Los bosques de quercíneas, autentica vegetación potencial del territorio, ocupan apenas el 6 % del Parque Natural. Las zonas sin árboles ocupan únicamente poco más del 10 % del espacio protegido, consistiendo fundamentalmente en zonas de matorral y pastizal. Los cultivos quedan restringidos a zonas muy concretas, fundamentalmente en los márgenes del Parque Natural.

Los procesos de escorrentía

La determinación de la escorrentía del suelo es clave para establecer el comportamiento hidrodinámico del mismo, y en consecuencia la activación de los procesos de erosión. Se trata de conocer cómo se comporta un suelo tras el inicio de la precipitación, especialmente de la “Precipitación tipo”, aquella con una hora de duración y con una intensidad de 55 mm h^{-1} .

Hemos llevado a cabo simulaciones de lluvia en 4 puntos representativos de los Montes de Málaga al objeto de determinar, el inicio de la escorrentía tras el encharcamiento, la tasa de escorrentía, y la de erosión. Puede observarse a la vista de los resultados obtenidos, la importancia de los Componentes Superficiales de Suelo en la hidrodinámica de los mismos.

Los resultados obtenidos muestran lo siguiente:

1.- La respuesta hidrológica del suelo es inmediata, y en todos los casos se inicia la escorrentía superficial en los primeros 10 min tras el inicio de la simulación, incluso en uno de ellos, en el segundo minuto.

2.- Una vez que se inicia la escorrentía superficial, en la mayor parte de los casos, se mantienen tasas muy altas, en algunos casos superando los 40 mm h^{-1} , lo que se traduce en una mínima tasa de infiltración del suelo.

3.- Con el inicio de la escorrentía se activa el proceso de desmantelamiento de suelos. En este caso, las tasas serán muy variables tanto espacial como temporalmente, y así en algunos ambientes se obtienen tasas de $5 \text{ g l}^{-1} \text{ min}$ al final del experimento, cuando al inicio de la escorrentía era solo de $2 \text{ g l}^{-1} \text{ min}$. Además, la existencia de pedregosidad superficial sobre el suelo, actúa como efecto tejado, dadas las características de las rocas (Pizarras), evitando la movilización de partículas de suelo.

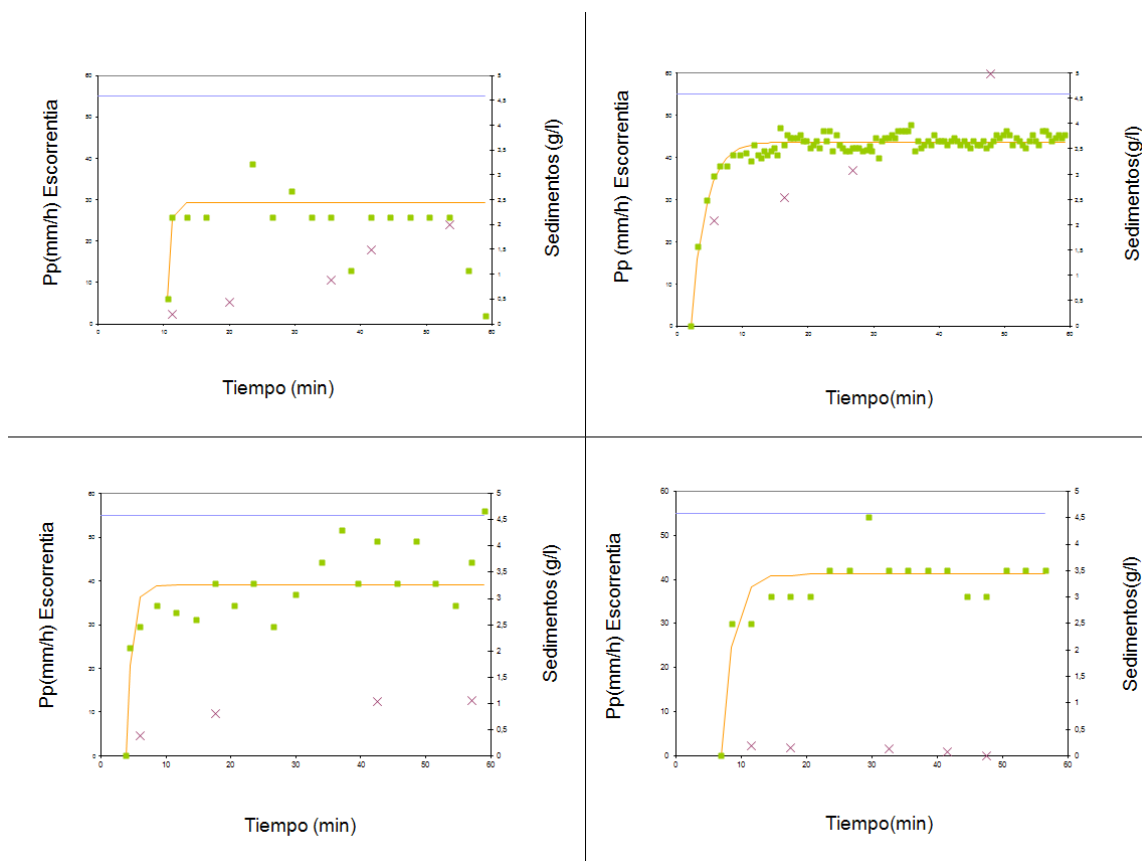


Figura 8. Comparación de simulaciones de lluvia. Montes de Málaga.

En definitiva, se trata de un area en la que las características del sistema eco-geomorfológico son muy proclives a la existencia de importantes procesos de erosión y degradación de suelos. El encajamiento de la red de drenaje salvando un importante desnivel en muy pocos metros, y la proximidad al mar, confieren a la misma un marcado carácter torrencial, lo que se agrava aun mas al considerar la ubicación del casco urbano de Málaga. Numerosas inundaciones han tenido su origen en la cuenca del Guadalmedina, motivo por el que han sido necesarios diversos trabajos de acondicionamiento hidráulico; embalses del Agujero y Limonero, y obras de corrección hidrológico forestal en arroyos aguas debajo de las citadas presas.

La Vega

El sector occidental del TM de Málaga se trata de una llanura aluvial que conforman principalmente los ríos Guadalhorce y Campanillas, junto a toda una serie de pequeños arroyos que vierten aguas directamente al mar. Es el dominio de la acumulación de materiales procedentes de las cabeceras de las cuencas, una zona por tanto no erosionable. Pero, paralelamente, se trata de la zona inundable por excelencia dadas sus características fisiográficas.

Geología

Los materiales que afloran en esta unidad consisten en depósitos aluviales cuaternarios. Forman considerables extensiones en la región, pero su estudio viene dificultado por constituir

la base de cultivos muy intensos, como es el caso que nos ocupa. La superficie plana de los aluviales que representa el lecho máximo de inundación. Estos depósitos se encuentran encajados entre:

- Al oeste: arcillas y margas fosilíferas del plioceno inferior y piedemonte tipo raña del plioceno superior y el cuaternario.

- Al este: grauwacas, filitas, pizarras, microconglomerados poligénicos y radiolaritas pertenecientes al zócalo maláguide (devónico, carbonífero y principios del pérmico); areniscas y arcillas rojas, conglomerados de cuarzo. Maláguide paleozoico (pérmico y primera mitad del triásico).

Relieve

Se trata de una zona básicamente llana. Son los lechos de inundación del complejo Guadalhorce-Campanillas, en donde el único desnivel reseñable es el que encontramos entre el cauce del río y su llanura de inundación.

Geomorfología y procesos erosivos

Debido a la ausencia de desniveles los procesos de erosión quedan restringidos a las márgenes de los cauces de los ríos y arroyos que ya divagan por sus tramos finales. Es el dominio de los procesos de transporte y sedimentación. Estos se producen cuando las lluvias son lo suficientemente abundantes como para acumular escorrentías en laderas y generar caudales en el cauce. Hasta hace unos años estos procesos podían llegar a ser importantes, pero en la actualidad, debido a la regulación aguas arriba mediante la presa de Casasola, las avenidas están muy controladas.

Suelos

Los suelos que encontramos se pueden clasificar como Fluvisoles. El material original lo constituyen depósitos, predominantemente recientes, de origen fluvial, lacustre o marino.

Se encuentran en áreas periódicamente inundadas, a menos que estén protegidas por diques, de llanuras aluviales, abanicos fluviales y valles pantanosos. El perfil es de tipo AC con evidentes muestras de estratificación que dificultan la diferenciación de los horizontes, aunque es frecuente la presencia de un horizonte Ah muy conspicuo.

Clima

El clima, como en el resto de la región, es mediterráneo, en concreto mediterráneo templado-cálido, con ombrotipo seco superior y termotipo termomediterráneo. La precipitación media anual es de aproximadamente 490 mm, concentrándose ésta entre septiembre y junio, dejando una estación seca y cálida que coincide con el verano. La temperatura media es de 17.6 °C.

Vegetación actual y potencial

Se trata del sector Malacitano-Almijareense de la Provincia Bética. La vegetación potencial es la correspondiente a la serie de vegetación *Salici pedicellatae*-*Populetum albae*, consistente en una comunidad arbórea de cobertura media y alta talla dominada por el chopo blanco (*Populus alba*) y propia de cursos bajos de ríos de escaso caudal sobre sustratos en los que se mezclan materiales básicos y ácidos.

Actualmente, la vegetación consiste casi en su totalidad en cultivos de regadío, principalmente cítricos y melones, y de forma más puntual sandías, alcachofas y patatas.

En las márgenes de los ríos y arroyos encontramos vegetación natural de ribera, aunque muy degradada. La especie más abundante es la caña (*Arundo donax*). Además podemos encontrar pequeños grupos de eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) y algunas adelfas (*Nerium oleander*).

Evolución temporal de los usos del suelo

Se trata de un área ocupada por cultivos de regadío, dadas sus características fisiográficas, y con una clara vocación agrícola en el último medio siglo, según se desprende de la fotografía aérea de 1956.

Los procesos de escorrentía

Debido a las características eco-geomorfológicas de la zona, los procesos de infiltración predominan sobre los de escorrentía, con unas tasas de erosión muy bajas. No obstante, si conviene reseñar algunos matices.

1.- La escorrentía está presente en todos los experimentos de simulación, a pesar de tratarse de unos suelos bien estructurados. Sin embargo, los valores que alcanza son muy bajos.

2.- Las tasas de emisión de sedimentos también son muy bajas, y salvo en un caso que llegan a alcanzarse los 3 g/l/min, en la mayor parte de los experimentos apenas si rebasan 1 g/l/min.

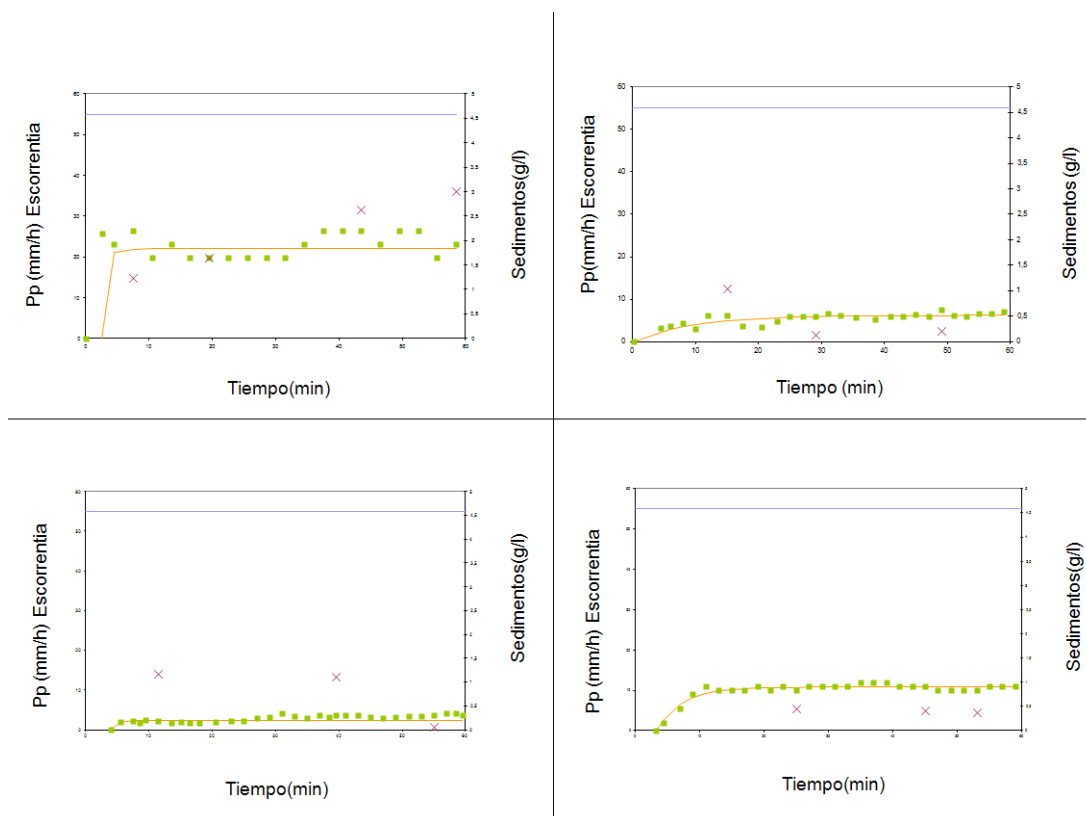


Figura 9. Comparación de simulaciones de lluvia. La Vega del Guadalhorce.

Los Arroyos Orientales

Se trata de una serie de cuencas que se disponen perpendiculares a la línea de costa oriental y que abarcan desde el Arroyo de la Caleta, Arroyo de Jaboneros, Arroyo de Gállica, siendo su límite oriental en Arroyo de Totalán. Todas salvan desniveles importantes en muy poco espacio, lo que le confiere un extraordinario carácter torrencial.

Geología

Los materiales pertenecen al denominado complejo Maláguide. En una gran parte de las cuencas encontramos rocas del conjunto inferior de este complejo, denominado zócalo. Estos materiales presentan metamorfismo regional débil y datan del periodo paleozoico. En concreto, encontramos grauwacas, liditas, filitas y conglomerados poligénicos del carbonífero y el devónico. Esta formación se conoce como formación detrítica superior.

En algunas zonas, aparecen materiales que pertenecen a un conjunto estratigráfico diferente, la cobertera maláguide, que no tiene metamorfismo alguno y se apoya de forma discordante sobre el zócalo. La formación que encontramos se conoce como facies rojas y consiste en areniscas, conglomerados, arcillas y yesos y datan del triásico.

Relieve

La orografía se caracteriza por un relieve compartimentado, con pendientes heterogéneas que van desde zonas llanas a otras pronunciadas del orden del 45-50%. Las

características son similares a las de los Montes de Málaga, aunque con mayores pendientes dada la proximidad al mar.

Geomorfología y procesos erosivos

La geomorfología de los arroyos orientales está dominada por los procesos de escorrentía, que han configurado el relieve compartimentado anteriormente descrito. Los procesos de erosión pueden ser puntualmente importantes debido a los efectos del pastoreo por parte del ganado. En las zonas cultivadas no son importantes debido a la construcción de terrazas. Hay que reseñar la importancia de los procesos de erosión en las márgenes de los cauces, desencadenados por las frecuentes avenidas que en ellos tienen lugar.

Suelos

Hacia el fondo de las vertientes encontramos, según la nomenclatura de la WRB, Cambisoles Endolépticos Crómicos (CM lep skp cr) y Cambisoles Endolépticos Epiesqueléticos Crómicos (CM len skn cr).

En contraste, desde las zonas medias hacia las altas de las vertientes, hallamos asociación de Regosoles Háplicos y Éutricos (RG lep skn ha y RG lep skn eu) y Leptosoles Éutricos (LP eu).

Clima

El clima puede catalogarse como Mediterráneo templado-cálido, con ombrotipo seco superior y termotipo termomediterráneo. La precipitación media es de aproximadamente 530 mm/año y la temperatura media de 17.4 °C. Como es característico del clima Mediterráneo, las precipitaciones se concentran entre otoño y primavera, siendo el verano caluroso y seco, por lo que la vegetación tiene que estar adaptada a situaciones de intenso estrés hídrico. Además estas precipitaciones son en muchas ocasiones de tipo torrencial, concentrándose mucha cantidad y poco tiempo. Esto puede originar procesos intensos de erosión y avenidas.

Vegetación actual y potencial

Biogeográficamente la zona se encuentra en el sector Malacitano-Almijareense. La vegetación potencial es la perteneciente a la serie Smilaco mauritanicae – Querceto rotundifoliae. Esta consiste en un encinar termófilo denso, con numerosos arbustos y un estrato lianoide bien desarrollado y rico en elementos termófilos.

Debido a la cercanía del núcleo urbano de Málaga y a las profundas transformaciones en su entorno, la vegetación natural dista mucho de parecerse a la potencial anteriormente descrita. Se podría definir como matorral mediterráneo, siendo las especies más abundantes la esparraguera (*Asparagus albus*), el matagallo (*Phlomis purpurea*), la aulaga (*Ulex baeticus*), la retama (*Retama sphaerocarpa*) y la bolina (*Genista umbellata*). También encontramos de forma puntual lentisco (*Pistacia lentiscus*) y espino (*Rhamnus oleoides*). La vegetación arbórea está reducida a individuos aislados de encinas (*Quercus rotundifolia* y algarrobos (*Ceratonia siliqua*). Hay que reseñar que en los márgenes de los arroyos encontramos vegetación de ribera bastante degradada, compuesta principalmente por cañaveral (*Arundo donax*) y zarzas (*Smilax*

aspera).

Respecto a las especies agrícolas, dos de ellas se han integrado en el entorno después de ser abandonadas, pudiéndose considerar especies quasi-naturales; estas son el olivo (*Oliva europaea*) y el almendro (*Prunus dulcis*). Otro grupo de vegetación son los cultivos activos, principalmente compuestos por aguacates (*Persea americana*) e higueras (*Ficus carica*). Puntualmente encontramos nísperos (*Eriobotrya japonicae*) incluso algún individuo de cerezo (*Prunus cerasus*).

Evolución temporal de los usos del suelo

Respecto a la evolución histórica, ya en 1956 mantenía un paisaje muy similar al actual, con presencia puntual de olivos y almendros, campos abandonados tras la filoxera y la crisis finisecular del Siglo XIX, encinares dispersos, y matorral mediterráneo. Presentaba pocas diferencias con el entorno y con algunas zonas actualmente incluidas dentro del Parque Natural de los Montes de Málaga. La presión antrópica no era tan alta como lo es actualmente ya que el núcleo urbano de Málaga aun se encontraba a cierta distancia.

Hacia 1977, ya se habían llevado a cabo ciertas repoblaciones forestales, a semejanza de lo realizado en el Parque Natural de los Montes de Málaga a principios de siglo. Se han realizado plantaciones de almendros respecto a 1956, aunque la vegetación seguía siendo escasa.

Desde entonces la presión antrópica no ha hecho sino aumentar. La urbanización en el también experimentó un gran crecimiento, aunque actualmente se haya detenido debido a la crisis que afecta al sector de la construcción.

En cualquier caso, la no intensificación de la cubierta vegetal ha contribuido a una importante desprotección de las laderas, siendo la zona más problemática desde el punto de vista de los procesos de erosión. Las pérdidas de suelo oscilan según el INES entre 88.19 y 136.8 Ton/Ha/año, muy por encima de las 12 Ton/Ha/año tolerables.

Los procesos de escorrentía

Las características eco-geomorfológicas convierten a las cabeceras de los arroyos orientales de Málaga en el dominio por excelencia de los procesos de escorrentía, erosión y degradación de suelos. Todo ello en el marco de una fenomenología torrencial, partiendo del principio de unos muy escasos tiempos de concentración de las aguas, siempre inferiores a 20 min.

Ante precipitaciones intensas, como ya han sido analizadas, una vez salvadas las cabeceras de los diferentes arroyos y concentradas las aguas de escorrentía en el cauce en forma de caudal, la conducción del agua hacia la desembocadura adopta las características de un torrente.

Las simulaciones de lluvia han sido acordes con dicho comportamiento mostrando unos muy cortos tiempos de respuesta hidrológica, unas altas tasas de escorrentía y por tanto muy bajas de infiltración, y una continua movilización de partículas y emisión de sedimentos.

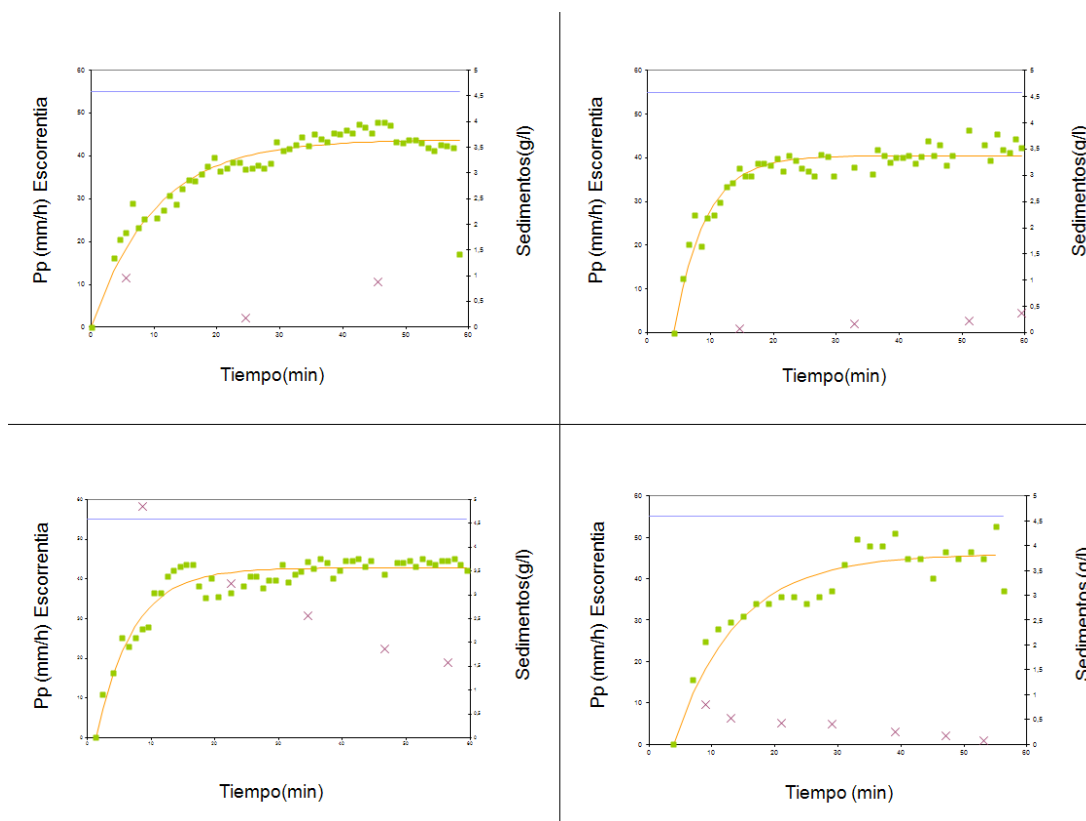


Figura 10. Comparación de simulaciones de lluvia. Arroyos orientales de Málaga.

1.- La existencia de fuertes pendientes, con escasos y muy compactos suelos, y sin apenas cubierta vegetal supone la activación inmediata de los procesos de escorrentía con el inicio de la precipitación, siendo por consiguiente mínimos los tiempos de desfase.

2.- Las tasas de escorrentía siempre se sitúan por encima de los 40 mm/h^{-1} , lo que significa que la infiltración, y probablemente la retención de agua por parte del suelo, apenas si tiene importancia, con las consecuentes repercusiones desde el punto de vista biofísico.

3.- Las tasas de erosión son variables, aunque en términos generales los valores son elevados. De nuevo, la litología pizarrosa activa procesos de blindaje superficial de suelos, en lo que podríamos denominar efecto tejado, lo que se traduce en unas altas tasas de escorrentía que no se corresponden con otras en la misma línea de emisión de sedimentos.

Propuestas

1.- Es necesario llevar a cabo una aproximación a escala de proyecto, es decir, con capacidad de actuación técnica posterior, de la problemática de la erosión en el TM de Málaga. Para ello es imprescindible la elaboración de una cartografía a 1:10.000 de los distintos estados erosivos existentes, así como de su dinámica a horizontes de 10, 25 y 50 años, con el fin de determinar el grado de vulnerabilidad de los suelos.

2.- Establecer, y como resultado de lo anterior, una cartografía priorizada de actuaciones de lucha contra la erosión. Se trata de actuar solo allí donde se estén produciendo procesos de degradación del suelo., mediante la puesta en marcha de un “Plan de actuación” involucrando también a los propietarios de las fincas afectadas por procesos de erosión y degradación de

suelos.

3.- En zonas públicas que estén afectadas por procesos de erosión y degradación de suelos, es necesario activar un “Plan de Incremento de biomasa”, que también supondrá un elemento añadido en la lucha contra el cambio climático, mediante el incremento de la absorción de CO₂ por parte del suelo.

4.- Debe incentivarse la reforestación mediante el uso de especies de matorral mediterráneo, de fácil adaptación a condiciones xéricas, así como a suelos de escaso perfil. Las clásicas reforestaciones con especies arbóreas son muy costosas, y de respuesta lenta.

5.- En los arroyos orientales de la Capital han de llevarse a cabo actuaciones hidráulicas al objeto de frenar caudales de avenida, ya sean sólidos o líquidos.

6.- Debe adecuarse la infraestructura urbana al objeto de agilizar evacuación de caudales. Los paseos marítimos se convierten en algunos lugares en áreas de represa, con dificultad para la evacuación de caudales, anegando importantes áreas de la ciudad.

Referencias

ALBENTOSA SÁNCHEZ, L. (1991): El clima y las aguas. Col. Geografía de España. Ed. Síntesis. Madrid. 240 pp.

BOISSIER, P. E. (1837). Voyage botanique dans le midi de l’Espagne pendant l’année 1837.

CAPEL MOLINA, J.J. (1990): Ciclogénesis violenta en el Mediterráneo. La inundación de Málaga de Noviembre de 1989. Papeles de Geografía, nº 16: 9-33. Univ. de Murcia.

CAPEL MOLINA, J.J. (2000): El clima de la península ibérica. Ariel Geografía. Barcelona, 281 pp.

Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación Fuente: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68723161> Contribuyentes: Abián, Cerebellum, Charlotte Voigt, Leonpolanco, Natalia0202, Nicolestewart11, 5 ediciones anónimas

DIALOGOS DE MEMORIAS ERUDITAS PARA LA HISTORIA DE LA NOBILISIMA CIUDAD DE RONDA. Dr. Juan Maria Rivera Valenzuela, Comisario del Santo Oficio de la Inquisición. Titular de dicha ciudad, Cordoba.

DIARIO SUR: <http://servicios.diariosur.es/fijas/esp/malagasigloXX>

ELÍAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRAN, F. (1979): Precipitaciones máximas en España. Minist. Agricultura. Madrid. 545 pp.

EL PAÍS: <http://www.elpais/articulo/espana/MALAGA>

FONT TULLOT, I. (1983): Climatología de España y Portugal. I.N.M., Madrid.

INVENTARIO NACIONAL DE EROSION DE SUELOS. (2007). Dirección General de Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.

LLASAT, M.C., BARRIENDOS, M., BARRERA, A., RIGO, T. (2005): Floods in Catalonia (NE Spain)

since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *Journal of Hydrology*, 313: 32-47. Elsevier.

LÓPEZ GÓMEZ, A. (1969): El supuesto monzón de la Península Ibérica. En: *Aportación española al XXI Congreso Geográfico Internacional*. Inst. Geog. y Catastral. Madrid. pp 72-88.

LÓPEZ GÓMEZ, A. (1983): Las lluvias catastróficas mediterráneas. *Estudios Geográficos*, nº 44: 170/171: 11-29.

MARTÍN LEÓN, F. (2003): Las gotas frías / DANAS. Ideas y conceptos básicos. Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción. INM. 14 pp.

MARTÍN, M.L., SANTOS-MUÑOZ, D., MORATA, A, LUNA, M.Y., VALERO, F. (2006): An objectively selected case study of a heavy rain event in the Mediterranean Basin: A diagnosis using numerical simulation. *Atmospheric Research*, 81: 187-205. Elsevier.

NEPPEL, L., ARNAUD, P, LAVABRE, J. (2007): Connaissance régionale des pluies extrêmes. Comparaison de deux approches appliquées en milieu méditerranéen. *C.R. Geosciences*, 339: 820-830. Elsevier.

RODRIGO, F. S. y BARRIENDOS, M. (2008): Reconstruction of seasonal and annual rainfall variability in the Iberian peninsula (16th–20th centuries) from documentary data. *Global and Planetary change*, 63: 243-257. Elsevier.

RUIZ SINOGA, J.D., GARCÍA MARÍN, R., MARTÍNEZ MURILLO, J.F., GABARRÓN GALEOTE, M.A. (2010): Precipitation dynamics in southern Spain: trends and cycles. *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.2235.

RUIZ SINOGA, J. D. Y ROMERO DIAZ, A. (2010). Soil degradation factors along a mediterranean pluviometric gradient in southern Spain. *Geomorphology*, 118, 359-368.

RUIZ SINOGA, J. D. Y LEON GROSS, T. (2012). Droughts and their social perception in the mass media (southern Spain). *International Journal Of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.3465

SENCIALES GONZÁLEZ, J.Mª (1995): La cuenca del Río Vélez. Estudio Hidrográfico- Univ. de Málaga. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Univ. de Málaga. Ed. Microfichas.

SENCIALES GONZÁLEZ, J.Mª (1997): La intensidad de las precipitaciones en la ciudad de Málaga. *Baetica*, 19: 301-312. Número Extraordinario “Homenaje al Profesor García Manrique”.

SENCIALES GONZÁLEZ, J.Mª y FERRE BUENO, E. (1996): Tratamiento estadístico de las precipitaciones en la ciudad de Málaga. En: *Modelos y Sistemas de Información en Geografía*. AGE. Actas del VII Coloquio de Geografía Cuantitativa. Vitoria, pp. 137-146.

SENCIALES GONZÁLEZ, J.Mª y PERLES ROSELLÓ, Mª J. (1994): Análisis del riesgo de precipitaciones intensas en la cuenca del río Vélez (prov. de Málaga). En: *Perfiles actuales de la Geografía Cuantitativa en España*. AGE, Málaga, pp. 215-226.

SENCIALES GONZALEZ, J. Mª Y RUIZ SINOGA, J. D. (2013). Análisis espacio-temporal de las lluvias torrenciales en la ciudad de Málaga. *BAGE* 61, 7-24.

WETTERZENTRALE (2010): <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsraeur/html>

ZIPSER, E.J. (1982): "Use of a conceptual model of the life-cycle of mesoscales convective systems to improve very-short range forecast", en Browning, K. (ed.): Nowcasting. Academic Press, New York, 191-204.