

Cómo citar este trabajo: Gallegos Reina, A., & Perles Roselló, M.^a J. (2019). Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957–2007). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 2740, 1–38. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2740>

Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957–2007)

Relationships between changes in land use and increased risks of flooding and erosion: diachronic analysis in the province of Malaga (1957–2007)

Antonio Gallegos Reina 

a.gallegos@uma.es

María Jesús Perles Roselló 

mjperles@uma.es

Departamento de Geografía

Universidad de Málaga (España)

Resumen

Las características rexiológicas de los sistemas eco-geomorfológicos en entornos mediterráneos predisponen a la existencia de riesgos ciertos de inundabilidad y erosión de suelos. Se trata de geo-sistemas de respuesta rápida frente al cambio en cualquiera de sus componentes y muy sensibles a los cambios en los usos del suelo. Este trabajo usa una región extensa y significativa como es la provincia de Málaga para evaluar el modo en que el aprovechamiento del territorio ha actuado positiva o negativamente sobre dichos riesgos. Para ello se realiza un análisis diacrónico de ambos procesos y se evalúan las variaciones de su intensidad. Se han utilizado como indicadores el umbral de escorrentía y la erosión potencial de suelos, y se ha trabajado a dos escalas, la provincial, para obtener una visión comparativa de la distribución de los procesos, y una

de más detalle para identificar de forma concreta cuáles son los cambios territoriales que explican los principales incrementos y decrementos en la erosión y la inundabilidad. Los resultados muestran el reparto geográfico de ambos riesgos en los dos periodos seleccionados, y permite concluir las variaciones espaciales a las que la evolución del territorio ha dado lugar, y la influencia que procesos como la litoralización, el turismo, la periurbanización, los incendios forestales o las reforestaciones.

Palabras clave: inundabilidad; erosión de suelos; análisis diacrónico; usos del suelo; litoralización.

Abstract

The rexic characteristics of eco-geomorphological systems in Mediterranean environments predispose to the existence of certain risks of flooding and soil erosion. These are fast answer geosystems to change and very sensitive to land uses changes. This paper uses a large and significant region such as Malaga province to assess how the land uses has acted positively or negatively on these risks. A diachronic analysis of both processes is carried out and the variations in their intensity are evaluated to do this. Runoff threshold and the potential erosion of soils have been used as indicators, and two scales have been worked on, the provincial one, to obtain a comparative vision of the distribution of the processes, and a more detailed one, to identify accurately which are the territorial changes that explain the main increases and decreases in erosion and flooding. In the two selected periods, the results show the geographic distribution of both risks, and, on the other hand, the influence that processes such as littoralization, tourism, periurbanization, forest fires or reforestations have had on them.

Key words: flooding; soil erosion; diachronic analysis; land uses; littoralisation.

1 Introducción

Las características rexicas del sistema eco-geomorfológico de los entornos mediterráneos convierten las crecidas de los ríos y arroyos en eventos de alta intensidad morfodinámica y la erosión de suelos en una problemática igualmente de primera magnitud. La elevada concentración horaria de la precipitación y su torrencialidad dificulta la infiltración de una escorrentía superficial de generación muy rápida. La escasez de cobertura vegetal, especialmente tras la sequía estival, no facilita los procesos de infiltración radicular, ni los de interceptación del suelo frente al *splash*, por lo que el suelo y capas superficiales de alteritas quedan expuestas al arrastre por la arroyada, y además de perderse ese potencial edáfico también éste acaba por constituir la carga sólida de los caudales de avenida. El incremento de arrastres en el caudal incrementa considerablemente la peligrosidad de la crecida, por distintas vías. Por una parte, los procesos de sedimentación de acarreo en el propio cauce y llano de inundación, así como en rellanos o desembocadura

produce la sobrelevación de nivel de base que se traduce, en primer lugar, en una elevación relativa del calado. La dinámica de depósito es la responsable igualmente de desvíos del trazado, avulsiones, bloqueos y atascos de drenajes e infraestructuras transversales artificiales, tales como embovedamientos o puentes. Por otra parte, el incremento de la carga y consecuente aumento de la energía erosiva del caudal, hace más eficaces los procesos de zapado de márgenes y piedemontes, aumentando la posibilidad de incorporar más acarrees al caudal, tanto directamente de las orillas como por movimientos gravitacionales, y retroalimentar así la peligrosidad de la avenida. De este modo, las condiciones de escorrentía y producción de arrastres constituyen los factores clave en la génesis de la avenida. Ambos factores están condicionados a su vez por factores determinantes múltiples, entre los que se cuenta el uso del suelo. El tipo de uso del suelo es el factor más coyuntural de los que condicionan el paisaje de una cuenca, y los procesos dinámicos consecuentes (Tricart, 1968), habida cuenta que, en buena parte, está condicionado por la intervención artificial humana a lo largo de la historia. La evolución de los usos en las zonas causantes de la inundación condiciona de forma drástica la dinámica hidrogeomorfológica que incrementa o disminuye la peligrosidad de la avenida.

Los estudios de evolución de los usos del suelo y su incidencia en la inundabilidad y en la pérdida potencial de suelos son de especial interés en entornos como el mediterráneo, dado que la escasez de suelos llanos ha fomentado la ocupación histórica de las cuencas altas de los ríos, dónde se sitúa la génesis del problema. La alta capacidad transformadora del medio de las actuales técnicas constructivas e ingenieriles, así como la instalación de modelos territoriales especulativos y de ocupación intensiva, propician la expansión acelerada de usos en las cabeceras de cuencas de alta peligrosidad, con repercusiones graves en la pérdida de dichos suelos y en la dinámica de la inundación aguas abajo. En el actual contexto de cambio climático, estos procesos adquieren especial significación, por el previsible incremento de episodios de DANAs sobre la ribera de un Mediterráneo sobrecalentado, e incremento de las rachas secas, que dificultan aún más la pervivencia de la vida vegetal a lo largo del año.

En este contexto, el trabajo analiza las condiciones de infiltración y pérdida de suelos, y su consecuente producción de sedimentos, en la provincia de Málaga en 1957 y en 2007, dos escenarios condicionados por modelos de ocupación y uso del territorio marcadamente diferenciados. El año 1957 se ha tomado como ejemplo característico de una sociedad de base rural por la existencia del conocido “vuelo americano” y la capa de usos del suelo asociada a dicho vuelo, y la segunda fecha, el año 2007, ha sido seleccionada por tratarse del vuelo fotogramétrico más reciente con cartografía de usos de suelo equiparable en escala y coherencia metodológica, dada la existencia del denominado ‘Mapa de Usos y Coberturas vegetales de Andalucía a escala 1:25 000 (MUCVA25) de los años 1956, 1977, 1984, 1999, 2003 y 2007’. Si bien el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE) dispone de

cartografía de usos del suelo más reciente, del año 2013, se ha descartado usar esta por no coincidir ni la escala ni el modelo de datos ni los códigos de ocupación del suelo, por lo que la comparativa con el año 1957 daría lugar a imprecisiones suficientemente importantes como para invalidar los resultados. De otro lado, desarrollar una cartografía de usos del suelo a escala 1/10 000 con un modelo de datos y códigos semejantes a los del SIOSE se hace inviable para una extensión como la considerada en este trabajo.

Junto al análisis provincial, el estudio se centra también en la observación de detalle de las zonas que han experimentados cambios más sustanciales en los parámetros citados, para evaluar si las consecuencias del cambio de usos han sido positivas o negativas en relación a la inundabilidad y erosión de suelos, e identificar las tendencias de cambio de uso que las han provocado.

1.1 Objetivos

El objetivo último del presente trabajo es analizar las repercusiones que los cambios en los usos del suelo en la provincia de Málaga han podido tener sobre el funcionamiento de la inundabilidad y la pérdida potencial de suelos. Para ello se abordan de forma más concreta los siguientes objetivos parciales:

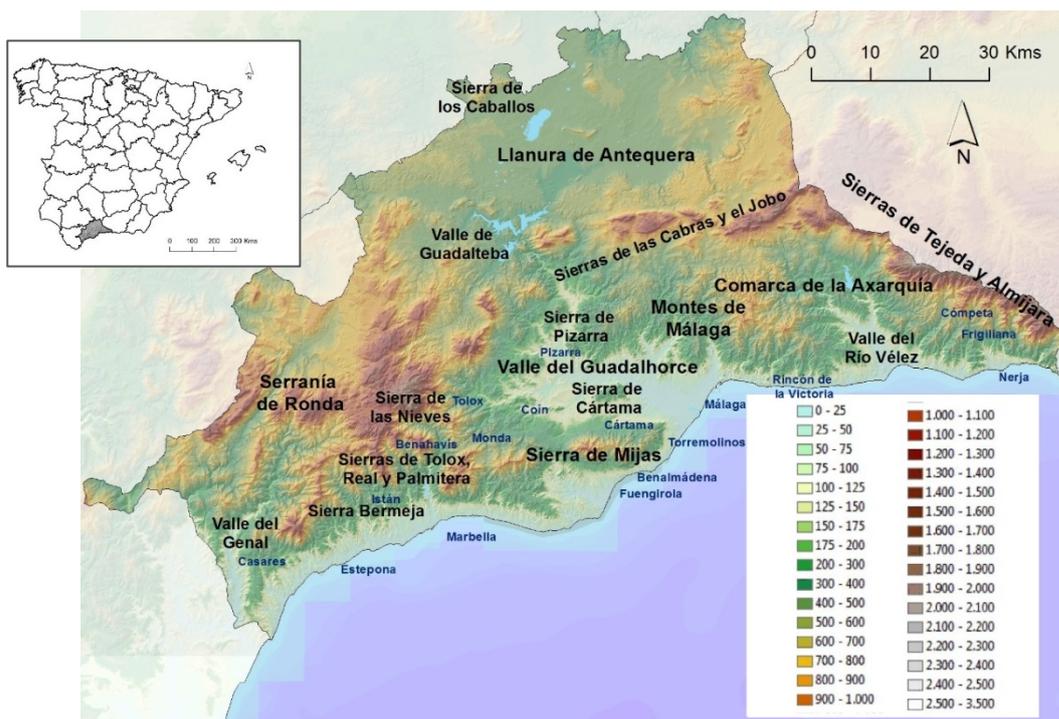
- Estimación del umbral de escorrentía correspondiente a la situación del territorio en la provincia de Málaga en dos escenarios con modelos de ocupación y uso del suelo claramente diferenciados: 1957 y 2007.
- Estimación de las pérdidas de suelo potenciales en la provincia a través de la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Wischmeier et al., 1971) con esta misma perspectiva diacrónica.
- Análisis de la distribución espacial de la escorrentía y erosión de suelos en el conjunto de la provincia y evaluación de cambios positivos o negativos en ambos parámetros en los escenarios temporales seleccionados (1957–2007).
- Identificación de los espacios con cambios más drásticos para los parámetros reseñados, y estudio a escala de detalle de las zonas en cuestión.
- Identificación de los cambios en el modelo de uso del territorio que están produciendo un avance de las peligrosidades de avenidas y pérdidas de suelo, o, por el contrario, contribuyendo a su mitigación.

1.2 Área de estudio

El área de estudio considerada en este trabajo es la provincia de Málaga, situada en el extremo meridional de la península Ibérica, en el contexto de la fachada y clima mediterráneos, donde la inundabilidad y la erosión hídrica son los riesgos naturales más importantes en términos sociales y económicos (Gallegos, 2015). La torrencialidad pluviométrica y los notables relieves en el ámbito

de las cordilleras Béticas condicionan un territorio en el que se producen intensas escorrentías y gran movilización de sedimentos por arrastre de suelos, que más allá de la pérdida de suelos en sí, también con frecuencia aterran cauces e infraestructuras, agravando las inundaciones. La pendiente media provincial, según análisis de su modelo digital del terreno, es del 25,7 %. Se trata por tanto de una de las provincias con un relieve más acusadamente montañoso de España (ver Figura 1).

Figura 1. Localización, relieve, hipsimetría y núcleos de población de la provincia de Málaga citados en este trabajo



Fuente: elaboración propia

Su relieve se distribuye en una franja pre-litoral correspondiente a la cordillera Penibética y otra franja paralela septentrional correspondiente a la cordillera Subbética. En este último contexto de la cordillera Penibética también aparecen las depresiones intrabéticas de Ronda y Antequera. En el litoral, apenas dos depresiones tienen cierta relevancia espacial, las de las vegas de los ríos Guadalhorce, donde se sitúa la ciudad de Málaga, y del río Vélez. El rasgo más destacado de la organización del relieve es su compartimentación. Las zonas elevadas se disponen generalmente en alineaciones largas y estrechas, a menudo aisladas entre zonas deprimidas. El tercio occidental de la provincia, la Serranía de Ronda, supone una excepción a esta estructura articulada, estando conformado por numerosas sierras contiguas que dan lugar a una disposición masiva (Durán, 2007).

En relación a sus condiciones climáticas, cabe distinguir notables diferencias geográficas, siempre bajo el común denominador del espacio mediterráneo, encontrándonos un clima mediterráneo

subtropical en la costa oriental, mediterráneo oceánico en su extremo litoral occidental, y mediterráneo continentalizado en el interior, más allá de las barreras montañosas litorales.

2 Metodología

Para evaluar las variaciones en el tiempo de las peligrosidades consideradas en este trabajo se han seleccionado dos parámetros dependientes de forma directa del uso del suelo de la cuenca: el umbral de escorrentía y la tasa potencial de pérdida de suelo. Se han utilizado métodos de estimación de ambos parámetros adaptados a una escala de trabajo provincial. La comparación, evaluación y visualización de cambios en el territorio se ha realizado con el apoyo de ortofotografías y cartografía derivada de ésta, herramientas de análisis espacial del entorno SIG y aplicación de estadísticos básicos para determinar en términos absolutos y relativos los cambios producidos tanto en los distintos usos del suelo como en la producción de escorrentía y sedimentos sólidos por erosión hídrica.

2.1 Antecedentes metodológicos

Los trabajos sobre estimación de tasas de infiltración y escorrentía, así como de pérdida de suelo cuentan con una dilatada experiencia tanto a nivel mundial como español. Pueden citarse, entre otras, las aportaciones primeras de Fournier (1960), Wischmeier (1958, 1971), Thornes (1976, 1985), Imeson (1984) o Lavee (1998) entre otros, o las aportaciones en España de López (1979, 1982), García (1980), Conesa (1989), Schnabel (1987) o Romero (1988, 1992). Más recientemente los estudios iniciales de pérdida de suelos han ido ampliando su perspectiva hacia las relaciones más complejas agua-suelo-planta, (Ruíz, 2010; Cerdá, 2004, 2007; Martínez, 2005; Hueso, 2014; Gómez, 2016; o Hammani, 2016, entre otros), orientando los resultados desde la investigación básica hacia la propuesta de medidas de mitigación y mejora de utilidad aplicada. No obstante, esta línea de trabajo se fundamenta en el monitoreo y la escala de detalle, por lo que los resultados, por su especificidad y dificultades de extrapolación, aún no han tenido una transferencia generalizada a la gestión del riesgo. Se han desarrollado, igualmente, líneas de trabajo que tienden a conectar el riesgo de erosión hídrica con otros riesgos asociados, como es el caso del de incendios, con estudios sobre las repercusiones de las condiciones hidrofóbicas post-incendio en producción de sedimentos (Martínez, 2015; Francos, 2016).

No obstante, Perles (2006) observa como la conexión de los riesgos de inundabilidad y erosión hídrica sigue siendo una asignatura pendiente del estudio de los riesgos. Para avanzar en esta línea es necesario reunir conocimientos extrapolables sobre la incidencia de los cambios en los usos del suelo en el incremento o decremento de la peligrosidad de la avenida, línea que cuenta con aportaciones como los trabajos de Navarro et al. (2016), López et al. (2007), Martínez et al. (2016), Romeu y Segura (2016) o Camarasa et al. (2018). La compilación de estos trabajos

permite hacer un acercamiento aproximado a los niveles de inestabilización que producen distintos usos del suelo, pero se observa un marcado sesgo hacia el estudio del papel como condicionantes de la erosión hídrica de usos del suelo esencialmente relacionados con la vegetación, ya sea natural o cultivos, y con las prácticas agrarias. Sin embargo, para conectar la gestión de las áreas causantes del riesgo de inundación sigue siendo necesario avanzar por la identificación del papel como activadores de la peligrosidad de otros usos del suelo menos estudiados, como la urbanización (Ruíz et al., 2011; Romero, 2011), las actividades extractivas (Llena et al., 2016), y otros que, por su intensidad transformadora de la morfología del terreno, producen alteraciones muy drásticas de las condiciones de infiltración y movilización de suelos. Ortega (2008) llama la atención sobre el poder de la acción antrópica sobre el territorio como factor de peligrosidad, no sólo de exposición o vulnerabilidad frente al riesgo de inundación. Perles (2010, a y b) destaca la necesidad de aplicar esta visión integrada de la acción humana sobre el territorio y las repercusiones sobre la erosión, habida cuenta que el nivel actual de alteración antrópica genera espacios mixtos de funcionamiento complejo. En esta línea de trabajo, destacan trabajos recientes (Gallegos, 2015; Cantarero, 2013; Gallegos y Perles, 2015) que plantean visiones integradas de los distintos riesgos unidos por el vector de la crecida fluvial, y que indagan en el papel de usos del suelo de diverso signo como productores de acarreos y condicionantes de la inundación.

2.2 Elaboración de cartografía diacrónica de la capacidad de infiltración en la provincia de Málaga (1957–2007)

La cartografía de capacidad de infiltración se ha realizado para los años 1957 y 2007, atendiendo a la metodología que se describe en este apartado. El coeficiente de escorrentía o capacidad de infiltración de suelos es la variable que más directamente se relaciona con la inundabilidad, más allá del evento pluviométrico. Este coeficiente es el porcentaje de lluvia que no puede ser asumida por el suelo, y pasa a generar la escorrentía de laderas, que luego se concentrará en los cauces a modo de flujo. Se ha obtenido a partir del método del número de curva, del *Soil Conservation Service* (USSCS, 1972). El método, modificado y adaptado para el caso español por Témez (1978, 1991), es ampliamente utilizado por la facilidad para estimar sus parámetros a partir de criterios fácilmente evaluables, como la pendiente, los usos del suelo, sus características hidrológicas o una clasificación basada en la potencia, textura y drenaje del suelo, y que se ha sintetizado a partir de la litología. Su aplicación en España está regulada por la Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial, del Ministerio de Fomento (2017), que incorpora las siguientes tablas para su evaluación (ver Tablas 1 y 2):

Tabla 1. Estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm)

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franca	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa	Imperfecto
D ^a	Muy lenta	Pequeña (litosuelos) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota a: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el grupo D.

Fuente: Ministerio de Fomento (2017)

Tabla 2. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía

Uso de la tierra	Tipo	Pendiente (%)	Características hidrológicas ^b	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
Barbecho	1	>=3	R	15	8	6	4
	2	<3	N	17	11	8	6
	3	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	4	>=3	R	23	13	8	6
	5	<3	N	25	16	11	8
	6	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	7	>=3	R	29	17	10	8
	8	<3	N	32	19	12	10
	9	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación cultivos pobres	10	>=3	R	26	15	9	6
	11	<3	N	28	17	11	8
	12	<3	R/N	30	19	13	10
Rotación cultivos densos	13	>=3	R	37	20	12	9
	14	<3	N	42	23	14	11
	15	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	16	>=3	Pobre	24	14	8	6
	17		Media	53	23	14	9
	18		Buena	—	33	18	13
	19		Muy buena	—	41	22	15
	20	<3	Pobre	58	25	12	7
	21		Media	—	35	17	10
	22		Buena	—	—	22	14
	23		Muy buena	—	—	25	16

Tabla 2. Continuación

Uso de la tierra	Tipo	Pendiente (%)	Características hidrológicas ^b	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
Plantaciones regulares (aprovechamiento forestal)	24	≥3	Pobre	62	26	15	10
	25		Media	—	34	19	14
	26		Buena	—	42	22	15
	27	<3	Pobre	—	34	19	14
	28		Media	—	42	22	15
	29		Buena	—	50	25	16
Masas forestales (bosque, monte bajo, etc.)	30		Muy clara	40	17	8	5
	31		Clara	60	24	14	10
	32		Media	—	34	22	16
	33		Espesa	—	47	31	23
	34		Muy espesa	—	65	43	33
Tipo de terreno	Tipo	Pendiente (%)	Umbral de escorrentía				
Rocas permeables	35	≥3	3				
	36	<3	5				
Rocas impermeables	37	≥3	2				
	38	<3	4				
Firmes granulares sin pavimento	39	—	2				
Adoquinados	40	—	1.5				
Pavimentos bituminosos o de hormigón	41	—	1				

Nota B: N: cultivo según líneas de nivel; R: cultivo según máxima pendiente.

Fuente: Ministerio de Fomento (2017)

Resultado de lo anterior se obtiene un umbral inicial de escorrentía, que define a partir de qué momento el suelo deja de infiltrar y comienza a producir escorrentía.

Las variables de partida usadas han sido las siguientes:

- Mapa topográfico de Andalucía a escala 1/10 000. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Mapa geológico de España a escala 1/50 000. Instituto Geológico y Minero (IGME).
- Mapa de usos y coberturas vegetales de Andalucía a escala 1/25 000 del año 2007. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Mapa de usos y coberturas vegetales de Andalucía a escala 1/25 000 del año 1956. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.

Para la incorporación en un Sistema de Información Geográfica de dichas variables se han elaborado previamente mapas de usos del suelo, geología, y pendientes de toda la provincia,

clasificando cada una de ellos en los intervalos que se ajustan a las tablas consideradas en el método. Las adaptaciones de los usos del suelo y la geología a los valores recogidos en las tablas de la citada instrucción se han realizado atendiendo a las tablas propuestas por la Agencia Catalana del Agua, que realiza una correlación de códigos utilizados en la cartografía de usos de suelo editada por el Institut Cartogràfic y Geològic de Catalunya y códigos de usos del suelo considerados en el método del SCS y códigos de la cartografía geológica del ICGC, tanto en formato papel como digital, correspondientes a los distintos grupos de suelo de la clasificación del SCS (Agència Catalana de l'Aigua, 2003).

Una vez obtenido un valor individual para cada combinación posible, se ha traído a una hoja de cálculo que decodifica el umbral correspondiente. Los mapas citados se han homogeneizado a una escala 1/10 000, y se han *rasterizado* con un tamaño de celda de 10x10 metros, lo que supone una resolución suficiente ya no solo para usar sus datos a nivel provincial, sino también para ámbitos municipales o inferiores. Al valor resultante posteriormente se le ha aplicado un coeficiente corrector que refleje la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de los aguaceros. Con ello, finalmente, y para cada celda, obtenemos el umbral, en litros por metro cuadrado, a partir del cual, un evento pluviométrico comienza a generar escorrentía.

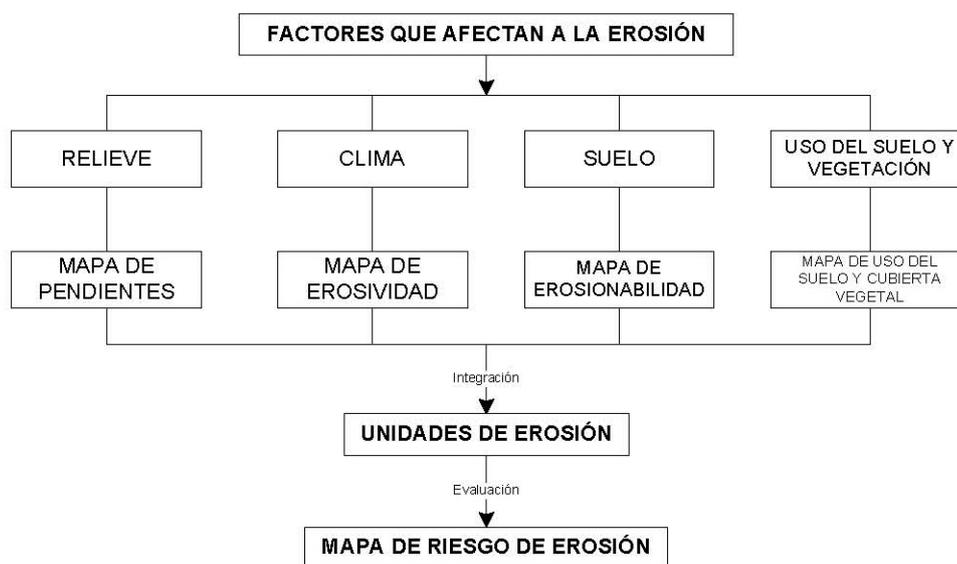
2.3 Cartografía diacrónica de estimación potencial de erosión hídrica según la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

La erosión hídrica tiene una significativa relación con los objetivos de este trabajo, en su doble vertiente de riesgo natural en sí mismo y de incorporación de sólidos a la escorrentía y flujo de los cauces, y con ello, al incremento de la peligrosidad de la inundabilidad. No obstante, la relación entre esta generación de sedimentos y la inundación va más allá del mero incremento de peligrosidad al aumentar la densidad de su flujo. El aporte de estos sólidos al caudal aumenta la energía erosiva en el propio cauce, especialmente en las márgenes cóncavas de los meandros, propiciando con ello el desbordamiento en estos puntos. Esto, a su vez, redundará en el aumento de acarreo procedentes de la erosión del cauce, de modo que el proceso se retroalimenta (Gallegos, 2018). Llegado a cierto punto, se puede producir el zapamiento de la base de la ladera, lo que da lugar al movimiento gravitacional de ésta. De igual modo, el aporte de sólidos limita la capacidad de evacuación del cauce, y en determinados casos incluso lo colmata. Con ello se pierde capacidad de evacuación del caudal, desbordamiento y expansión de la lámina de agua. Por otro lado, en estrechamientos naturales o artificiales del cauce se pueden producir colapsos del drenaje y represamiento temporal, que al resolverse mediante rotura por incremento de la presión del flujo represado, generan un pico de crecida muy destructivos (Perles et al., 2006). Junto a lo anterior, debemos tener presente que algunas de las comarcas de la provincia de Málaga tienen unas condiciones climáticas regionales de carácter semiárido, en las que el fenómeno erosivo derivará en

un proceso de desertificación del territorio, con graves repercusiones ya no solo en los biotopos pre-existentes, sino también en el aprovechamiento agrícola o económico del territorio.

Esta variable se ha estimado en el presente trabajo mediante el cálculo de erosión potencial por la Ecuación universal de suelos revisada, que nos da valores de toneladas métricas de suelo por hectárea y año. La erosión potencial o erosionabilidad hace referencia a la susceptibilidad a la erosión que se prevé va a tener lugar en el futuro bajo unas características geográficas y antrópicas determinadas. No se mide directamente, sino que se obtiene a partir de las variables que van a condicionar el proceso erosivo (ver Figura 2).

Figura 2. Esquema metodológico para la definición de paisajes erosivos



Fuente: ICONA (1982)

La cuenca mediterránea, y la región que nos ocupan en particular, se caracterizan por la coincidencia de los periodos de sequía con los eventos de precipitaciones torrenciales, que se convierte con ello en el principal agente erosivo y causante prioritario del arrastre del mayor volumen de sedimentos. El análisis de la generación de sedimentos se ha hecho por ello mediante un modelo de erosión hídrica. El método de más difusión es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Cabe tener presente que la calibración de esta ecuación para el área mediterránea podría tener sensibles inadaptaciones, a pesar de lo cual se tomará por su valor comparativo y estimativo (Perles, 1997), válido asimismo para áreas de análisis extensas, como es el caso que nos ocupa. La USLE (Wischmeier y Smith, 1958) y, más concretamente, la revisión de la anterior, conocida como RUSLE (ver Figura 3), responde a la siguiente expresión matemática:

Figura 3. Pérdida de suelo promedio anual según USLE revisada (RUSLE)

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

A = pérdida de suelo media anual por unidad de superficie ($T \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)

R = factor de erosividad de las lluvias ($KJ \cdot mm \cdot m^{-2} \cdot hora^{-1} \cdot año^{-1}$)

K = factor de erodabilidad del suelo ($T \cdot m^2 \cdot hora \cdot ha^{-1} \cdot KJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

L = factor longitud de pendiente (adimensional)

S = pendiente (%) (adimensional)

C = factor de cubierta vegetal (adimensional, tabulado según las características de la vegetación)

P = factor de prácticas de conservación de cultivo

Fuente: elaboración propia

Cada factor responde a lo siguiente (Gallegos, 2013):

El factor 'R' se define como el índice medio anual de la erosividad de la lluvia. De los diversos métodos de cálculo que existen, se ha optado por el más usado, mediante la ecuación de Lombardi y Moldenhauer (1980), tomando los mapas de precipitación media anual y media mensual máxima de la provincia de Málaga.

El factor 'K', o de erodabilidad del suelo, expresa la susceptibilidad de un suelo para ser erosionado. Generalmente son menos erosionables los suelos profundos permeables de arenas gruesas. Los más erosionables serán los suelos arenosos y poco profundos sobre subsuelo impermeable. Para facilitar el cálculo de K, Wishmeier et al. (1971) han elaborado un nomograma que resuelve gráficamente la ecuación que liga las variables del proceso de erosión. A partir de la relación porcentaje de limo y arcillas, materia orgánica y permeabilidad podemos extraer el valor de K, que luego a su vez ha sido sintetizado y adaptado a la geología regional.

El factor 'L', o longitud de del declive, viene definido una formulación matemática que incluye la distancia desde el *talweg* hasta el interfluvio y un exponente influenciado principalmente por la interacción entre la longitud de declive y la pendiente. El factor 'S', o factor de inclinación de la pendiente, responde a otra formulación matemática basada en la pendiente. Ambas variables suelen agruparse en una tercera formulación, bajo la denominación de factor topográfico 'L·S', como factor que integra el efecto del relieve, longitud del declive o ladera y pendiente.

El factor 'C' mide la influencia de la cobertura vegetal sobre el terreno, lo que resulta especialmente relevante al ser el medio más eficaz para que la erosión disminuya. El factor C está basado en el concepto de desviación estándar, siendo el estándar un área bajo condiciones de barbecho con

cultivo limpio en cuyo caso su valor es 1. Inicialmente con este factor se consideró el manejo del cultivo, pero por extensión, para suelos no agrícolas, se ha asimilado al valor de protección ejercido por la cubierta vegetal, con cuyo porcentaje de cobertura del suelo se relaciona de manera inversa la tasa de erosión. Su valor varía entre 0 y 1, y disminuye a medida que aumenta la cobertura vegetal. La cubierta vegetal es determinante en el flujo de retención del suelo, y su valor aparece en el modelo como constante, introducido manualmente a partir de una tabla propuesta por el ICONA. Esto llevó a que, en el planteamiento de los estudios del proyecto LUCDEME, cuyos resultados fueron publicados por ICONA en 1982, el factor C fuese analizado igualmente de forma simplificada. De este modo, los diferentes tipos de vegetación cartografiados en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, realizado por el Ministerio de Agricultura, fueron agrupados y valorados en una serie de tipos de cubiertas que han sido usadas en este trabajo. Estos valores reflejan como las zonas de vegetación natural, en la cual existe una cierta potencia en el desarrollo de la misma, los suelos están bastante protegidos porque suelen tener una densa vegetación en la parte aérea, las copas, y en la parte subterránea, las raíces, disminuyendo con ello la energía cinética de la lluvia y evitando la desestructuración del suelo.

En último lugar, el factor de prácticas de conservación de suelos, o factor 'P', expresa la influencia que ejercen las prácticas de cultivo, corrección y conservación de la erosión hídrica. Algunas de estas prácticas de conservación de suelos pueden ser los aterrazamientos en zonas de montaña, buscando disminuir la pendiente, favorecer la infiltración y reducir la velocidad de la escorrentía, o bien alternar especies poco densas con especies más densas en laderas de gran longitud. Cuando no existen ninguna medida de protección el valor Standard de 'P' es igual a 1. A medida que se practican medidas de contorno el valor de 'P' actúa como un atenuador del valor final de la erosión.

De manera paralela al mapa de capacidad de infiltración provincial, la ecuación universal de pérdidas de suelo se ha aplicado tanto para la fecha de 1957 como para la fecha de 2007. Estas variables se han obtenido a partir de las siguientes fuentes de datos:

- Modelo digital del terreno, con tamaño de celda de 20x20 metros, a partir del mapa topográfico de Andalucía 1/10 000. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Mapa geológico de España a escala 1/50 000. Instituto Geológico y Minero (IGME).
- Mapa de usos y coberturas vegetales de Andalucía a escala 1/25 000 del año 2007. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Mapa de usos y coberturas vegetales de Andalucía a escala 1/25 000 del año 1956. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Evolución e incidencia de la erosividad de la lluvia (Factor R) en Andalucía. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.

- Ortofotografía regional 2007 en color de 1 metro. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Ortofotografía regional 1956–57 en blanco y negro de 1 metro (vuelo “americano”). Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.

Para la elaboración del mapa se ha trabajado con un total de 7453 cuencas fluviales, que cubren la totalidad de la superficie provincial (Figura 4). Estas cuencas se han obtenido mediante un proceso automático gracias al uso de las Tecnologías de la Información Geográfica, usando un modelo digital del terreno calculado tras reunir todas las curvas de nivel provinciales a escala 1/10 000.

Figura 4. Cuencas fluviales usadas para los cálculos del factor topográfico



Fuente: elaboración propia

Los pasos de este proceso han consistido en el reacondicionamiento del modelo digital, el relleno de depresiones o pozas, la generación del modelo de direcciones del flujo, la generación del modelo de acumulación de flujo, la definición automática de las líneas de corriente, la segmentación de éstas en divisorias hidráulicas, y por último la definición de las cuencas fluviales. Una vez obtenida esta información y *vectorizada*, se han aplicado individualmente en cada una de las cuencas las variables desarrolladas en el apartado anterior, obtenidas a partir de cartografía provincial, elaborada o no, de geología, altimetría, morfometría de laderas, erosividad de la lluvia,

usos del suelo o cubiertas vegetales. Para el factor 'LS', por su complejidad matemática, ha sido necesario obtener los valores mediante hoja de cálculo, exportando los resultados a la cartografía en subcuencas o polígonos de valores homogéneos. La cartografía resultante final, con el valor de la erosión potencial medida en toneladas por hectárea y año, ha sido *rasterizada*, para favorecer los estudios estadísticos zonales, con celdas de 10x10 metros. Se han obtenido sendos mapas de erosión potencial para las fechas de 1957 y 2007.

3 Resultados

3.1 Estimación del umbral de escorrentía en la provincia de Málaga en dos escenarios con modelos de ocupación y uso del suelo claramente diferenciados: 1957 y 2007

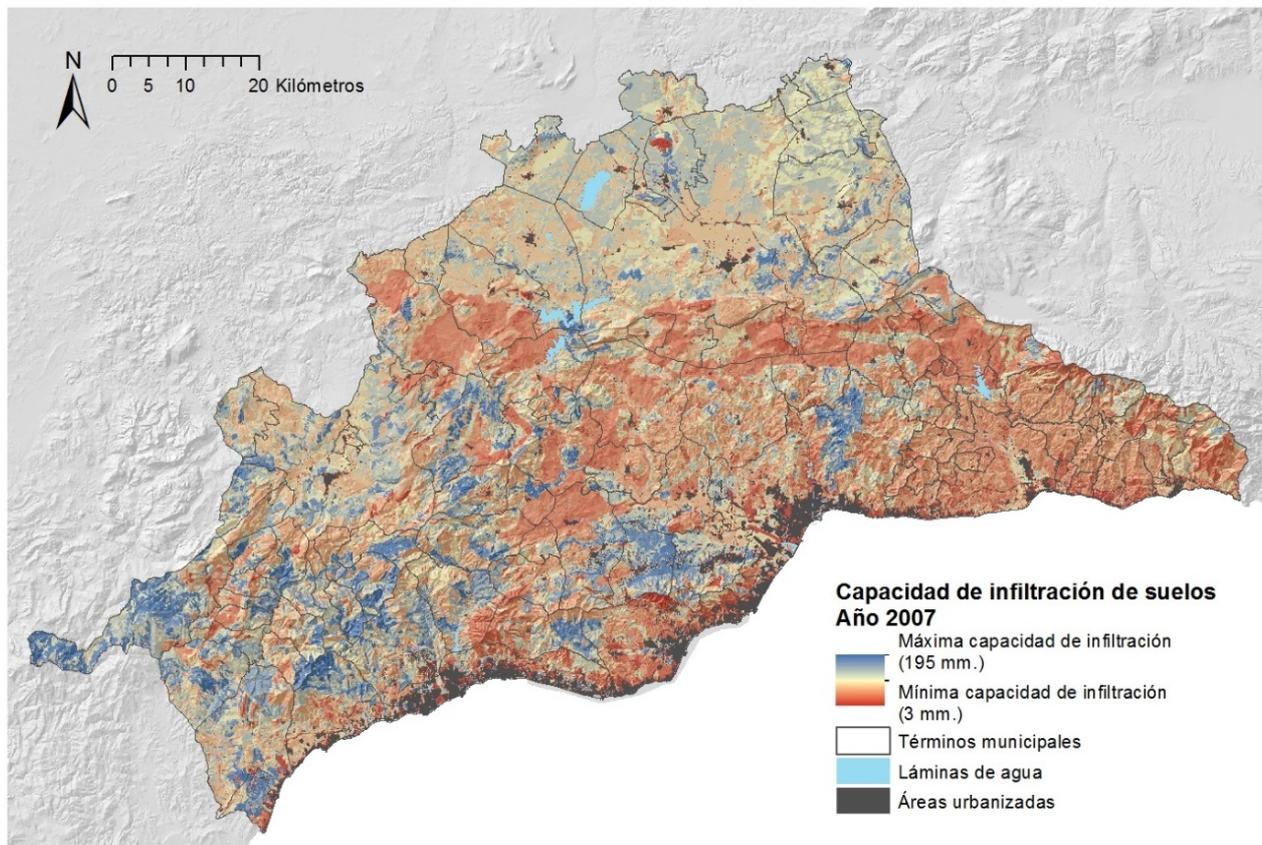
Como resultado de la cartografía de escorrentía superficial, se desprenden sendos valores medios provinciales del umbral de escorrentía de 70,45 y 70,47 mm respectivamente para los años 1956 y 2007. Atendiendo a ello, por tanto, podría concluirse una variación muy poco significativa que puede dar una idea equivocada de la realidad. Un análisis zonal muestra por el contrario diferencias muy notables según el área de la provincia que consideremos.

Para el año 2007 los municipios con menor capacidad de infiltración son los correspondientes a la comarca de la Axarquía, situada en el extremo suroriental de la provincia. En éstos, y como término medio, los suelos convierten en escorrentías lluvias superiores a 47 l/m². Otros municipios con problemática similar son Rincón de la Victoria, Torremolinos, Benalmádena o Fuengirola, situados en el litoral central y occidental, donde lluvias inferiores a 40 l/m² ya generan escorrentía. Por el contrario, los suelos más aptos para infiltrar las precipitaciones son los de la Serranía de Ronda, donde la media es de 90,3 l/m² (ver Figura 5).

Esta distribución responde fundamentalmente al reparto geográfico de pendientes y aprovechamientos del territorio, con las principales masas forestales de la provincia en las serranías rondeña, de Tejeda y Aljara, del cinturón calizo y de los Montes de Málaga, donde se contrarrestan la capacidad de retención de los suelos forestales con la mayor pendiente de estas regiones. Tiene mayor peso de cara a la infiltración, no obstante, el primero de los factores, el uso del suelo. Junto a ello, la distribución de valores finales del umbral atiende también a la división de grupos hidrológicos de suelos, con formaciones edafológicas de excelente drenaje, compuestas fundamentalmente por materiales arenosos o areno-limosos, en el alto y medio Valle del Guadalhorce y determinados valles del litoral occidental; suelos de drenaje moderado en el bajo Valle del Guadalhorce, llanura antequerana y buena parte de las serranías occidentales de la provincia; suelos de imperfecto drenaje, de materiales esquistosos y marmóreos, en la comarca de la Axarquía, Valle del Genal y entorno de la Sierra de Mijas; y suelos pobremente drenados,

fundamentalmente arcillas y margas, en las laderas meridionales del cinturón serrano calizo y valles del Guadalteba y Turón.

Figura 5. Cartografía de distribución del umbral de escorrentía, medida en litros/m², en la provincia de Málaga para el año 2007



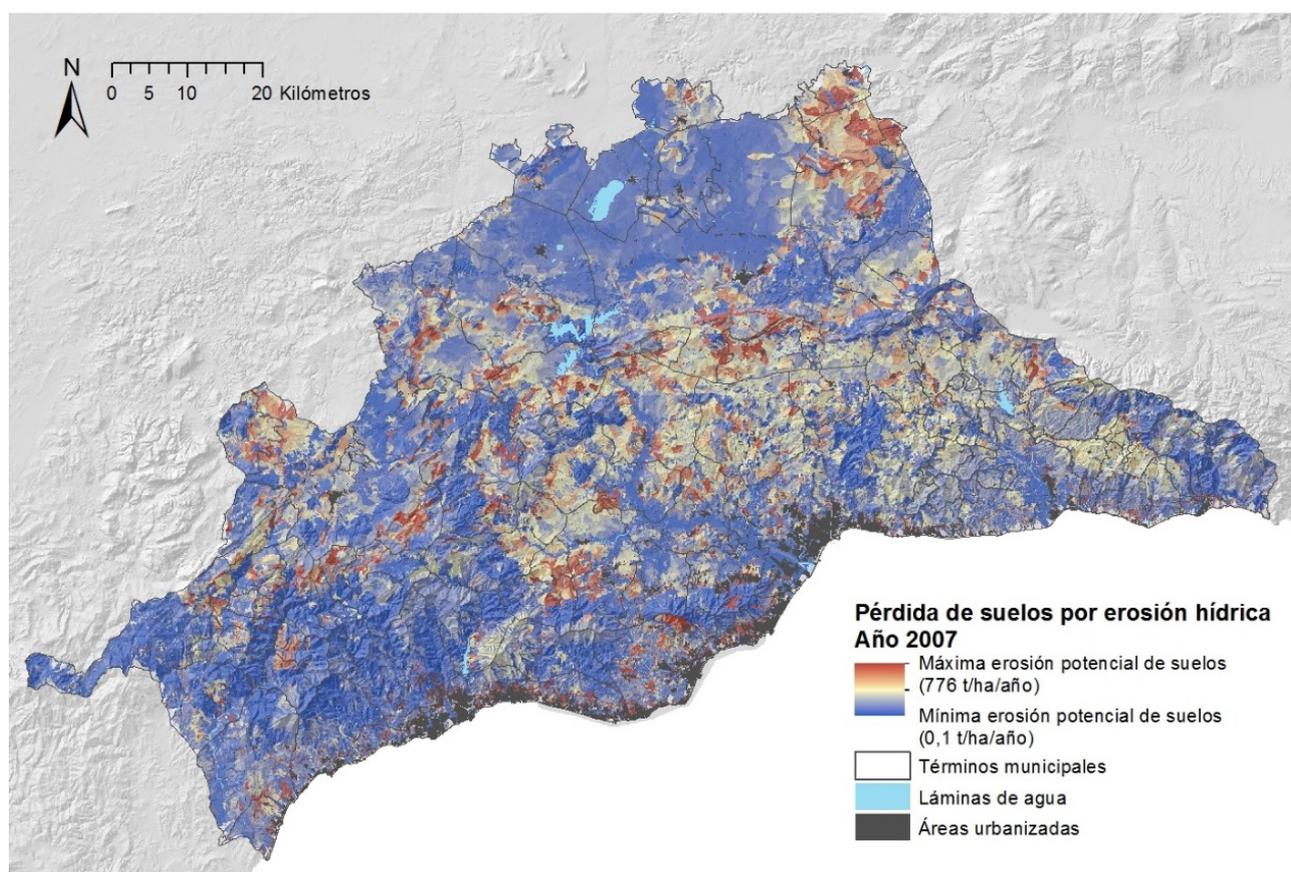
Fuente: elaboración propia

Frente a los datos de 2007, el análisis correspondiente al año 1957 muestra notables diferencias, con umbrales de escorrentía más altos en toda la franja periurbana del litoral y en los principales valles litorales, como el del Guadalhorce o el río Vélez. Otras zonas con cambios significativos son las laderas montañosas meridionales de la Serranía de Ronda o de la Sierra de Tejeda, en las proximidades de núcleos costeros turísticos, con importante pérdida de porte vegetal desde entonces hasta 2007, o con zonas concretas que han sufrido grandes incendios forestales. En sentido contrario, el umbral de escorrentía ha aumentado en zonas reforestadas o espacios agrícolas abandonados que se han renaturalizado, tal como ha ocurrido en la Sierra de Mijas o amplias zonas de la Serranía de Ronda y Sierra de Almijara.

3.2 Distribución territorial con perspectiva diacrónica de las pérdidas potenciales de suelo en la provincia de Málaga tras la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos

Sobre la base de los resultados obtenidos por la aplicación de la formulación USLE a la provincia de Málaga, se obtienen valores bastante expresivos (ver Figura 6), que sitúan a la erosión de suelos como una problemática muy importante en la región. Así, en el año 2007 la pérdida de suelos anual alcanza los 39,3 millones de toneladas métricas, de lo que resulta una media de 53,64 toneladas métricas de suelo perdido por hectárea y año. En 1957, la cifra total de suelo perdido estimado es de 38,06 millones de toneladas, y la media por hectárea y año es de 52,09. De manera similar a cómo se ha comentado en el anterior apartado, y aunque sea evidente el aumento de erosión de suelos en el lapso temporal considerado, las moderadas diferencias no reflejan la realidad de la región, que una vez más muestra grandes contrastes en ambos sentidos.

Figura 6. Cartografía de distribución del riesgo potencial de erosión de suelos, medido en t/ha/año, en la provincia de Málaga para el año 2007



Fuente: elaboración propia

Antes de entrar a describir dichos contrastes, no obstante, deberíamos establecer el significado real de estas cifras citando el concepto de Tolerancia de Pérdidas de Suelo, que indica el máximo nivel de erosión o pérdidas anuales que permite que un suelo se considere sustentable, admitiendo su

regeneración. Al respecto Ruíz Sinoga (2011) cita a Jonhson (1987), que establece dicha tolerancia en las 11 toneladas por hectárea y año, y a Müller y Castillo (1997), quienes indican que en terrenos montañosos con alta agresividad pluviométrica puede admitirse dicha tolerancia hasta valores promedios entre 30 y 40 toneladas por hectárea y año. Los datos obtenidos en la modelación provincial superan en cualquier caso ampliamente ambas consideraciones.

Retomando los resultados obtenidos para el año 2007, un 50,5 % de la superficie provincial tiene una erosión potencial alta o muy alta, y ésta es especialmente intensa en la Axarquía-Montes de Málaga, en las laderas del entorno del Valle del Guadalhorce, en la fachada litoral occidental y en la comarca nororiental de Málaga. El municipio con mayor erosión potencial es Benalmádena, con valores superiores a 130 toneladas por hectárea y año, mientras que en el extremo contrario se sitúan municipios de la Serranía de Ronda, cuya pérdida de suelos llega a bajar de las 20 toneladas por hectárea y año. Esta distribución se justifica fundamentalmente por condicionantes como la mayor desprotección forestal de Axarquía y otras zonas agrícolas abandonadas de los Montes de Málaga, o la existencia de geologías más susceptibles a la erosión en las calizas subbéticas de la comarca nororiental de la provincia. Otros condicionantes negativos, pero con un menor peso relativo a la hora de configurar la distribución de la erosión potencial provincial, son la morfometría de las cuencas o el factor de erosividad de la lluvia, que es más desfavorable en la serranía rondeña o vega antequerana.

Para el año 1957 las diferencias se localizan principalmente en la fachada costera urbana y periurbana, donde la erosión se ha incrementado notablemente, ampliándose dicho territorio a zonas concretas como los municipios del extremo oriental de la provincia, Nerja, Frigiliana y Cómpeta, fundamentalmente, donde el desarrollo turístico y de residencia secundaria en suelo no urbanizable ha sido muy destacable (Almeida & Cortés, 2011). Algo similar ha ocurrido en zonas montañosas de los municipios turísticos del extremo occidental (Istán, Benahavís, Estepona o Casares) y en los municipios que se sitúan entre la Serranía de Ronda y el Valle del Guadalhorce, donde agricultura y turismo han modificado notablemente los patrones poblacionales y económicos: Coín, Monda y Tolox. En sentido contrario, las repoblaciones o desarrollos forestales endógenos, como las acontecidas en Montes de Málaga, Sierra de Mijas, laderas de la Serranía de Ronda o de las sierras Tejeda y Almijara, y sierras del entorno del Guadalhorce, como las de Pizarra o Cártama, han supuesto una disminución de la erosión potencial en el intervalo de 50 años considerado.

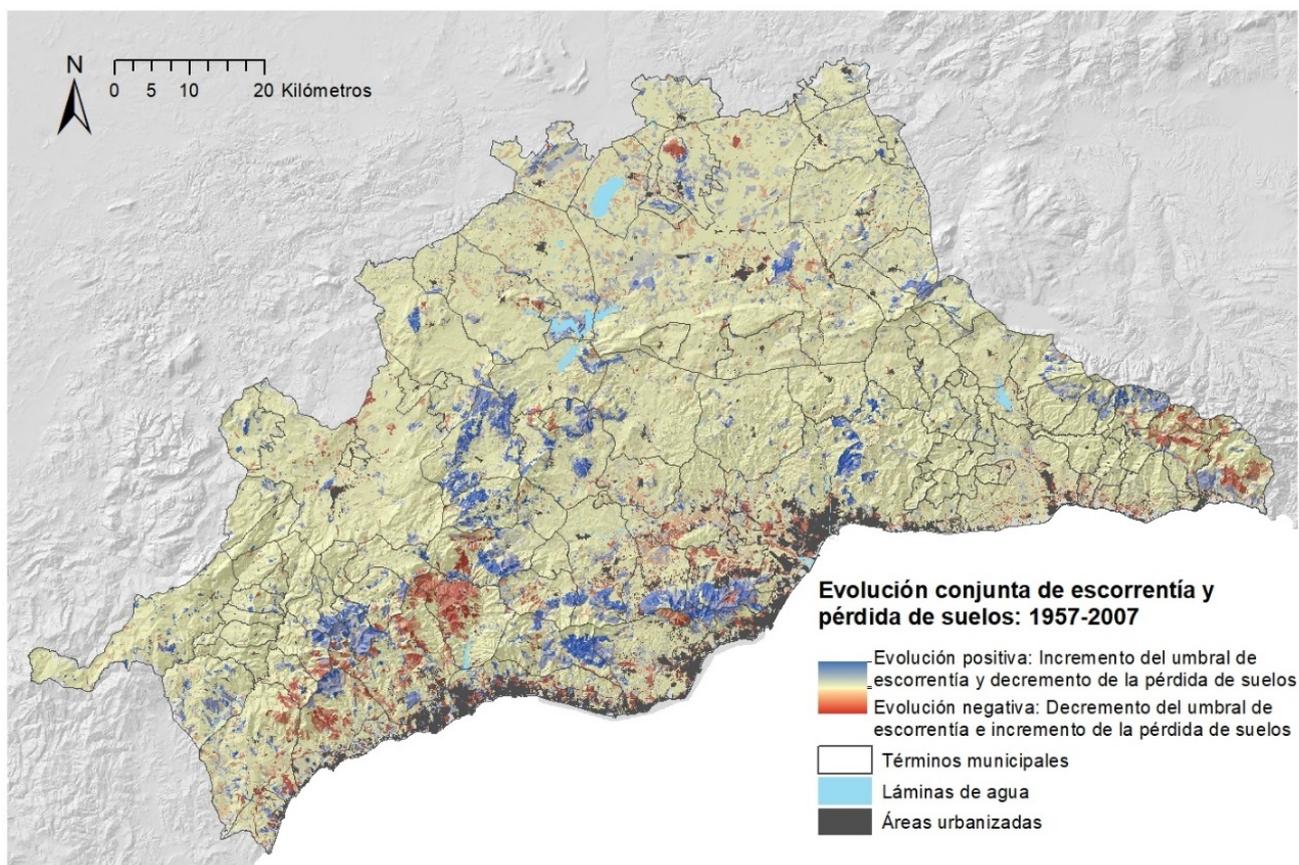
3.3 Evaluación cartográfica conjunta de los parámetros de escorrentía y pérdida de suelo en los años 1957 y 2007

La estimación conjunta de las peligrosidades derivadas del coeficiente de infiltración y la erosión potencial de suelos se ha realizado mediante la adición de los valores de litros por metro cuadrado y toneladas por hectárea y año, si bien esta suma no se ha realizado directamente, sino mediante

un índice que pondere y dé el mismo peso a ambos parámetros. Posteriormente, la comparativa diacrónica se ha realizado mediante la sustracción de los valores de 2007 a los de 1957, de modo que se ha considerado evolución positiva del umbral de escorrentía cuando este ha aumentado entre 1957 y 2007, y evolución positiva de la erosión hídrica cuando esta ha disminuido entre 1957 y 2007.

Si bien existen particularidades que diferencian tanto la distribución territorial de las problemáticas de infiltración y pérdida de suelos como su evolución temporal, se puede considerar que hay cierto paralelismo entre ambos riesgos naturales, de modo que pueden sintetizarse ambos resultados en una cartografía de evaluación conjunta de sendas peligrosidades (ver Figura 7).

Figura 7. Variación conjunta de la capacidad de infiltración y pérdida potencial de suelos en la provincia de Málaga entre los años 1957 y 2007



Fuente: elaboración propia

Las repoblaciones y los desarrollos forestales endógenos en los Montes de Málaga, Sierra de Mijas, laderas orientales y meridionales de la Serranía de Ronda, Sierras de Tejada y Almijara, y sierras de la cordillera de Antequera han mejorado la predisposición natural de dichos territorios ante ambas peligrosidades, mientras que los desarrollos turísticos, periurbanos y de segunda residencia han incrementado la posibilidad de inundaciones y la pérdida de suelos en toda la franja costera litoral, ascendiendo laderas arribas dicha problemática en determinados municipios como Nerja, Frigiliana,

Estepona, Casares, Benahavís o Istán; así como también en otros municipios partícipes del desarrollo turístico o de la aglomeración urbana de Málaga, como Tolox, Alhaurín de la Torre o Cómputa.

Estos cambios muestran concordancia con los cambios generales de población, poblamiento y usos del suelo que se han dado en la provincia de Málaga en el periodo considerado, que en términos generales han visto disminuciones del 0,8 % en áreas naturales y seminaturales y del 4,9 % en territorios agrícolas, y un espectacular aumento desde el 0,6 % hasta el 6,3 % en áreas urbanas e infraestructuras, lo que equivale a un crecimiento que llega a superar el 1000 %, tal como se desprende de los análisis cartográficos y estadísticos realizados en el presente trabajo en relación a los cambios en los usos del suelo entre ambas fechas. Pero una vez más las cifras medias pueden dar lugar a interpretaciones erróneas, que poco tienen que ver con realidades concretas y muy contrastadas relacionadas con la distribución territorial. El crecimiento poblacional y los cambios en los usos del suelo han seguido evoluciones dispares, frecuentemente opuestas, pues mientras el interior ha sufrido importantes procesos emigratorios y pérdida poblacional, el litoral ha sido receptor de esta población (Bermejo et al., 2011). Esta concentración ha respondido al fuerte crecimiento del sector turístico, pero también al desarrollo de la construcción y la agricultura intensiva. Más allá del turismo, fenómenos paralelos como la residencia secundaria y la periurbanización han ayudado en este proceso, con frecuencia trayendo también población extranjera y de fuera de Andalucía, que han dado lugar a que municipios como Benalmádena crezca poblacionalmente un 135 % en el periodo de tiempo considerado y tenga un 27 % de su población nacida fuera de Andalucía. A ello se ha sumado la creciente importancia económica y cultural de la ciudad de Málaga, cuyo poblamiento ha convertido la capital en una gran aglomeración urbana que se extiende por los ejes litorales oriental y occidental, y por el eje del Guadalhorce.

Más allá de las regiones que incrementan las peligrosidades de inundación y erosión debido al crecimiento del poblamiento, otras actúan de manera dual y compensando los valores medios finales. Esto lo encontramos en los cambios relacionados con las superficies agrícolas y las superficies naturales. En relación con el mismo éxodo rural que hemos citado, los territorios agrícolas han disminuido en 36 847 hectáreas, especialmente por la desaparición de cultivos de secano, como el almendral, que posteriormente se han reforestado de manera natural, en un proceso que incrementa los riesgos de inundabilidad y erosión en los años inmediatamente posteriores, pero que a medida que se desarrolla el nuevo porte vegetal lo van atenuando lentamente. En otros casos, la superficie agrícola ha sido directamente sustituida por desarrollos urbanísticos. Por otro lado, las áreas forestales y naturales se han mantenido relativamente estables en su cifra total, pero esto responde al proceso de compensación entre unas y otras regiones. En el periodo comprendido entre 1956 y 1999 existe un incremento de superficie seminatural próximo a

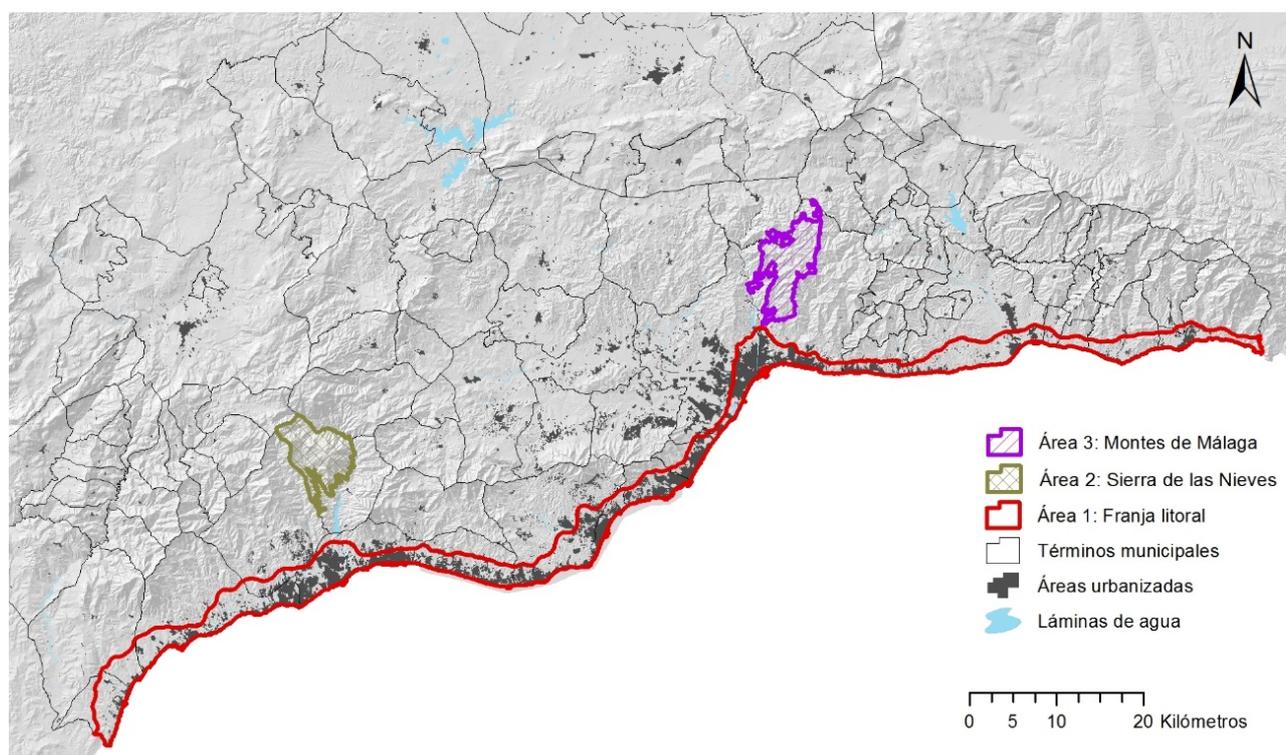
las 3000 hectáreas, a consecuencia de la regeneración de la vegetación natural en terrenos agrícolas abandonados. También es significativo la transformación de 37 000 hectáreas de matorral sin arbolado a formaciones arboladas, principalmente por las repoblaciones forestales con coníferas llevadas a cabo fundamentalmente en la década de los ochenta. Algunas de estas repoblaciones se hicieron precisamente con el objetivo de evitar las inundaciones, como es el caso de la reforestación parcial de la cuenca del Guadalmedina, en las proximidades de la ciudad de Málaga.

3.4 Identificación de los territorios con cambios más notables en las peligrosidades de inundabilidad y erosión: cambios principales que se han producido en el modelo de uso del suelo en dichos espacios

El reparto de territorios que mejoran o empeoran la predisposición a las peligrosidades de inundabilidad y erosión es muy complejo y fragmentado. No obstante, podrían identificarse determinadas zonas por su significación superficial. Entre las zonas con cambios en negativo estarían las laderas meridionales de la Sierra Almijara y Sierra de Cómpeta; el entorno periurbano de los municipios turísticos litorales, destacando Nerja, Torrox, Málaga, Mijas, Estepona y Casares; las laderas meridionales de la Serranía de Ronda, especialmente en los municipios de Istán, Benahavís y Estepona; el complejo de sierras de Tolox, real y Palmitera; y determinadas zonas que han sufrido grandes incendios, como las laderas meridionales de las sierras de Mijas, Almijara o Las Nieves. Y las principales zonas, en cuanto a extensión, con cambios positivo serían la Sierra de Mijas; los tercios central y septentrional de las Sierras Tejeda y Almijara; el actual Parque Natural Montes de Málaga; Sierra Bermeja; las sierras de las Cabras y el Jobo; y la Sierra de los Caballos, en el municipio de Sierra de Yeguas.

Seguidamente se realiza un estudio en detalle de una zona representativa de evolución positiva y otras dos zonas de evolución negativa (ver Figura 8), identificando el tipo de cambios que se han producido en el aprovechamiento del territorio y cómo dichos cambios afectan de uno u otro modo a los riesgos de inundabilidad y erosión de suelos.

Figura 8. Áreas de estudio seleccionadas: franja litoral, laderas meridionales de la Sierra de las Nieves y Parque Natural Montes de Málaga



Fuente: elaboración propia

a) Área de estudio 1: Franja Litoral

El área más significativa en cuanto al empeoramiento de tasas de escorrentía y erosión ha sido la franja costera. Se ha definido dicha franja tomando como límite septentrional la autovía A-7 y la autopista de peaje AP-7, que marca la frontera de los desarrollos urbanísticos en buena parte de los planeamientos generales de ordenación urbanística de los municipios costeros y en los planes de ordenación del territorio subregionales. Esta franja litoral tiene una superficie de 377 km² y una anchura media de 2 kilómetros, alcanzando los 4 kilómetros en la ciudad de Málaga (ver Figura 8).

El proceso de litoralización que se ha dado en toda España, en la provincia de Málaga ha tenido una relevancia aún mayor, y no solo relacionado con el turismo, sino también con la residencia secundaria, la agricultura intensiva, las infraestructuras o las áreas comerciales y deportivas, especialmente campos de golf. En esta estrecha franja litoral, con evidentes limitaciones geomorfológicas y de capacidad de acogida, se han dado importantes procesos de inmigración, tanto por éxodo rural desde la propia provincia y el resto del país, como por llegada de extranjeros con fines turísticos o residenciales. Con ello se ha producido una demanda de recursos territoriales difícilmente equiparables a otras regiones de Europa (Gallegos, 2015). La superficie dedicada a infraestructuras, por ejemplo, ha pasado de 4,2 a 35,2 km².

El principal aprovechamiento en el año 1957 eran las superficies agrícolas de secano, que cubrían el 33 % del total, pero en el año 2007 se habían reducido únicamente al 4,2 %. Por el contrario, las superficies urbanas e infraestructuras han pasado de cubrir apenas un 5 % de la superficie hasta casi el 50 %, lo que supone un crecimiento próximo al 1000 %. A excepción de las áreas construidas y los invernaderos, y de las formaciones de matorral con arbolado, que han mantenido su extensión, todos los restantes usos han disminuido en mayor o menor medida (ver Tabla 3 y Figura 9).

Tabla 3. Tabla de cambios en los usos del suelo en el área de estudio entre los años 1957 y 2007

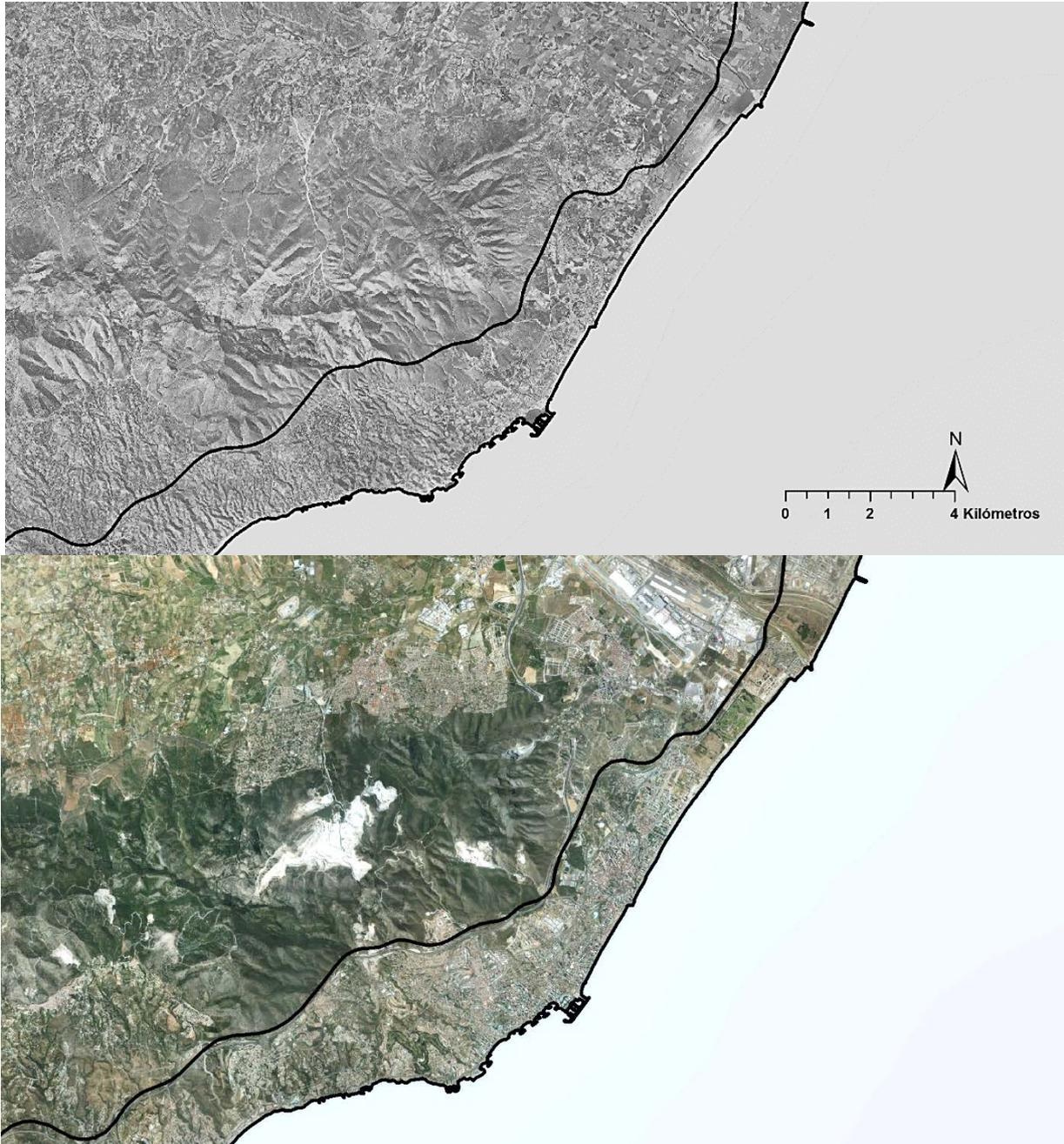
Aprovechamiento del territorio	Superficie (km ²)		% de la superficie zonal		Variación superficial 1957-2007 (Km ²)	% superficial del uso en 2007 con respecto a 1957
	1957	2007	1957	2007		
Superficies agrícolas en secano	124,2	15,7	32,96	4,18	-108,5	13 %
Formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado	99,2	84,6	26,32	22,45	-14,6	85 %
Superficies agrícolas en regadío	49,3	32,5	13,09	8,62	-16,8	66 %
Áreas agrícolas heterogéneas	43,9	23,4	11,65	6,22	-20,5	53 %
Superficies construidas y alteradas	21,3	176,5	5,66	46,81	155,1	827 %
Formaciones de matorral con arbolado	12,4	13,3	3,28	3,52	0,9	107 %
Espacios abiertos con escasa vegetación	11,8	10,2	3,12	2,71	-1,5	87 %
Formaciones arboladas densas	9,8	7,9	2,60	2,11	-1,8	81 %
Zonas húmedas y superficies de agua	4,2	2,2	1,11	0,59	-2,0	53 %
Formaciones de pastizal con arbolado	0,7	0,3	0,18	0,07	-0,4	39 %
Cultivos forzados bajo plásticos	0,2	6,7	0,05	1,79	6,5	3495 %
Superficies agrícolas abandonadas	—	3,5	—	0,94	3,5	—

Fuente: elaboración propia a partir de catálogo de servicios REDIAM (Junta de Andalucía, 2018)

Traducido lo anterior en términos de riesgos naturales, y considerando los datos de infiltración y erosión de suelos obtenidos por el proceso metodológico descrito, resulta un incremento de la erosión potencial de suelos en la franja estudiada de casi el 100 %, habiendo pasado de una media de 50,9 toneladas por hectárea y año hasta las 96,4 toneladas en 2007. La infiltración ha sufrido una evolución muy negativa igualmente, pasando de un umbral de escorrentía de

65,6 l/m² hasta 36,4 l/m², lo que implica que la peligrosidad de inundaciones igualmente casi se ha duplicado.

Figura 9. Imágenes diacrónicas (1957 arriba, 2007 abajo)
de detalle de la franja litoral. Área de estudio 1



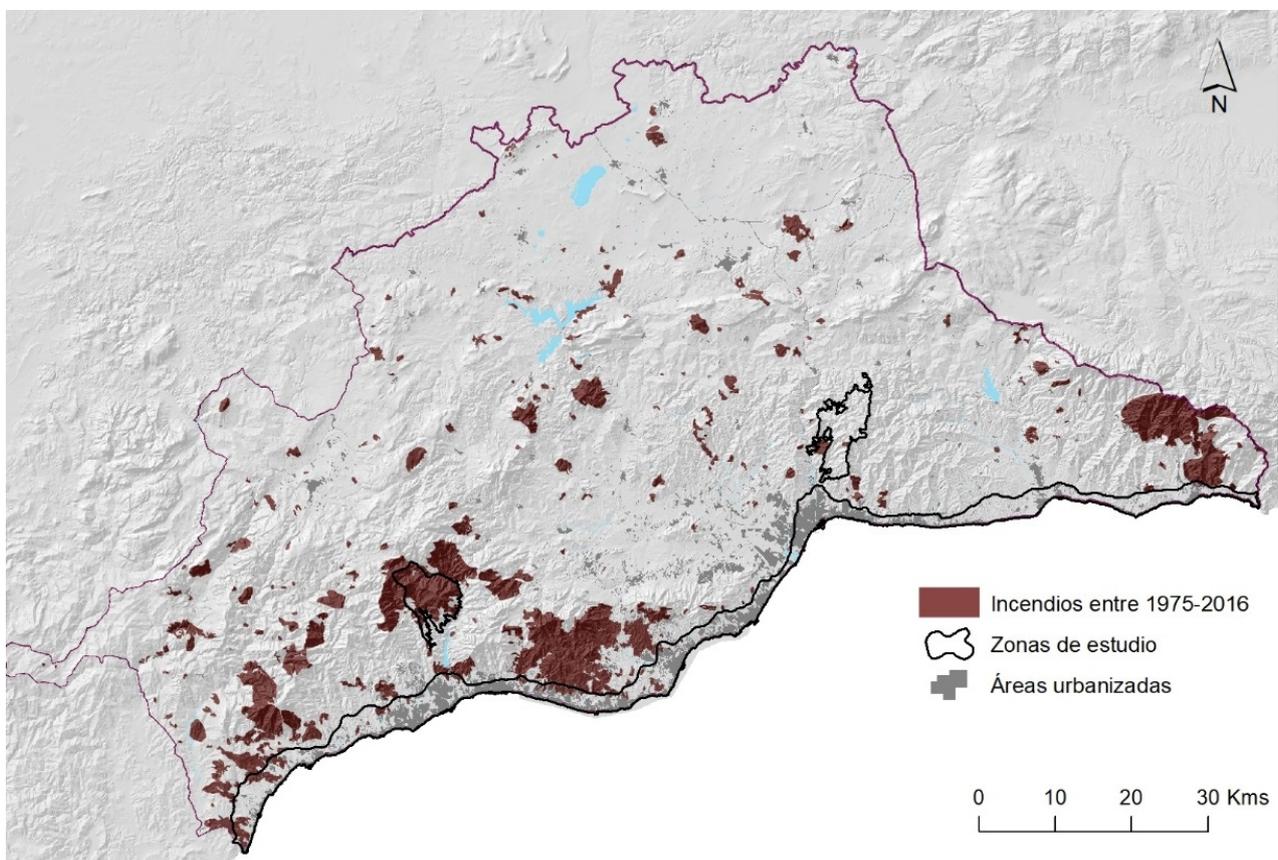
Fuente: elaboración propia a partir de catálogo de servicios REDIAM (Junta de Andalucía, 2018)

b) Área de estudio 2: Laderas meridionales de la Sierra de las Nieves

Junto a la litoralización y el desarrollo urbano y periurbano por los fenómenos del incremento poblacional, el turismo y la segunda residencia, el segundo patrón en importancia en cuanto a incremento de las peligrosidades de inundación y erosión durante los 50 años considerados han

sido los incendios forestales. Éstos sufrieron un incremento exponencial durante las décadas de los 60, 70 y 80 en España (Martínez, 2015), cubriendo superficies muy extensas ya no solo en el ejemplo citado, sino en muchas otras zonas de la provincia, como puede observarse en la Figura 10, que recoge la cartografía histórica de incendios desde el año 1975. Si bien es cierto que el fuego es un factor ecológico natural en los ecosistemas mediterráneos, que ha contribuido a modelar el paisaje que conocemos, cuando su recurrencia se altera, como ocurrió en las décadas citadas, las consecuencias son muy notables desde diferentes puntos de vista, como el de los riesgos naturales (Bodi et al., 2012).

Figura 10. Áreas recorridas por el fuego en los incendios ocurridos entre 1975–2016 en la provincia de Málaga, delimitados mediante técnicas de teledetección por imágenes de satélites



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2018)

Al respecto, se analizará la zona correspondiente a la mitad septentrional del municipio de Istán, en el cordón montañoso litoral, comprendiendo parte del flanco sur del futuro parque nacional de la Sierra de las Nieves. Esta zona sufrió un importante incendio forestal en agosto de 1991, que afectó a 8156 hectáreas. Como área de estudio se ha tomado los límites del término municipal de Istán y la cota de altitud de 400 metros, de lo que resulta una zona de 46,7 km² (ver Figura 8). El

territorio estudiado está ocupado en su práctica totalidad tanto en las fechas de 1957 como en la de 2007 por áreas naturales, si bien, el tipo de cubierta ha cambiado muy sensiblemente a causa del incendio, de modo que el 74,9 % de la superficie eran formaciones de matorral con arbolado al inicio del periodo, y en 2007 éstas se han reducido al 19,2 %, predominando ahora las formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado, con un 72,1 % de la superficie (ver tabla 4).

Tabla 4. Tabla de cambios en los usos del suelo en el área de estudio entre los años 1957 y 2007

Aprovechamiento del territorio	Superficie (km ²)		% de la superficie zonal		Variación superficial 1957-2007 (Km ²)	% superficial del uso en 2007 con respecto a 1957
	1957	2007	1957	2007		
Formaciones de matorral con arbolado	35,04	8,97	74,92	19,17	-26,08	25,6
Formaciones arboladas densas	8,60	3,96	18,39	8,46	-4,64	46,0
Formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado	3,11	33,74	6,64	72,14	30,63	1086,2
Espacios abiertos con escasa vegetación	0,01	0,07	0,03	0,15	0,06	577,4
Superficies agrícolas en secano	0,01	0,00	0,02	0,00	-0,01	0,0
Áreas agrícolas heterogéneas	—	0,01	—	0,01	0,01	—
Formaciones de pastizal con arbolado	—	0,03	—	0,06	0,03	—

Fuente: elaboración propia a partir de catálogo de servicios REDIAM (Junta de Andalucía, 2018)

El cambio uso del suelo o cubierta vegetal en esta segunda área de estudio es sin duda bastante menos significativo que en el área litoral. No obstante, la afección en términos de capacidad de infiltración y erosión potencial de los suelos desprende resultados igual de alarmantes. Así, en 1957 la erosión potencial media de la zona era de apenas 8,5 toneladas por hectárea y año, y en 2007 sube hasta 29,5 toneladas. En relación a la capacidad de infiltración, el umbral de escorrentía baja desde los 132,1 l/m² hasta 79,4 l/m². Tanto una como otra variable en términos absolutos siguen estando por debajo de los niveles de amenaza representados en la franja litoral, pero el incremento de la peligrosidad en términos relativos es semejante o incluso superior. Esto refleja la importancia de los incendios en las propiedades físicas de los suelos. Tras el incendio, estos pueden sufrir cambios directos producidos por el calentamiento y la combustión, e indirectos como consecuencia de la situación microclimática después de la pérdida de la cubierta vegetal y recubrimiento de las cenizas (Bodí et al., 2012). La afección sobre la capacidad de infiltración y sobre la propia estructura edáfica es notable e inmediata. No obstante, debe citarse el hecho de que la hidrofobicidad es variable según la temperatura alcanzada por el suelo, y puede llegar a reducirse

si la temperatura supera los 300 °C (Debano, 1981). De igual modo, la tasa de escorrentía inmediatamente después del incendio es muy baja debido a la capa de cenizas que cubre el suelo (Cerdà & Doerr, 2008). Pero en términos generales, la capacidad de infiltración se reduce como consecuencia del aumento de la hidrofobicidad, la reducción de la materia orgánica, la disminución de la porosidad y estabilidad de los agregados, y el sellado por partículas minerales y cenizas (MacDonald et al., 2008). Además, debe sumarse el posterior y muy posible encostramiento del suelo, que solo se irá rompiendo a medida que lentamente vaya resurgiendo la vegetación.

c) Área de estudio 3: Parque Natural Montes de Málaga

Tal como se ha descrito en apartados anteriores, los cambios en los usos del suelo en el periodo considerado no siempre han actuado en sentido negativo para los riesgos naturales, sino que por el contrario, determinadas transformaciones en los aprovechamientos del territorio, diferentes a las hasta ahora descritas, han compensado en buena medida el incremento de los riesgos, actuando en sentido positivo. Estos cambios son fundamentalmente las reforestaciones, y en menor medida la naturalización o matorralización de espacios agrícolas abandonados años antes por diversas razones, como la crisis de la filoxera o el inicio del éxodo rural en la provincia (Justicia, 1987).

Las reforestaciones a nivel nacional empiezan en los años 40, con el Plan Nacional de Repoblación Forestal, que promueve la recuperación de las masas forestales usando especies de crecimiento rápido, como eucaliptos y coníferas. Confluyen para ello distintos objetivos, como la generación de empleo, la obtención de materia prima para la industria papelera y las actuaciones hidrológico-forestales para actuar frente a las inundaciones. A ello se suma la llegada del estatuto de autonomía de Andalucía y la transferencia de competencias en materia de medio natural, lo que introduce nuevos enfoques en la gestión selvícola y ambiental, incluyendo el Plan Forestal Andaluz, que se aprueba en 1989 y se marca un plazo de 60 años para lograr la regeneración forestal y ecológica del campo andaluz (Bermejo et al., 2011). Junto a ello actúa igualmente la creación de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA), que se pone en marcha el mismo año, con la promulgación de la ley 2/89, aprobando el inventario de espacios protegidos y una serie de medidas para su protección. Y complementando todo lo anterior, las políticas comunitarias, especialmente la política agraria común (PAC), aprobada en 1992, también actúa en positivo, con reforestación de tierras agrarias y otras medidas agroambientales.

Como ejemplo de estas áreas se ha seleccionado el territorio actualmente ocupado por el Parque Natural Montes de Málaga, que tuvo su origen en las repoblaciones forestales que se hicieron para actuar frente a los problemas de inundaciones en la ciudad de Málaga. El Parque incluye una zona interior conformada por los bosques de coníferas resultantes de la repoblación forestal, y una zona exterior con formaciones de matorral y cultivos (Navarro et al., 2008). La superficie de esta área de

estudio es de 49,9 km², y los cambios producidos en los usos del suelo pueden observarse en la siguiente tabla (Tabla 5):

Tabla 5. Tabla de cambios en los usos del suelo en el área de estudio entre los años 1957 y 2007

Aprovechamiento del territorio	Superficie (km ²)		% de la superficie zonal		Variación superficial 1957–2007 (Km ²)	% superficial del uso en 2007 con respecto a 1957
	1957	2007	1957	2007		
Formaciones arboladas densas	20,13	34,98	40,29	70,02	14,8	173,8
Formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado	14,12	2,78	28,26	5,57	-11,3	19,7
Formaciones de matorral con arbolado	6,96	9,19	13,93	18,39	2,2	132,1
Superficies agrícolas en secano	4,34	0,36	8,68	0,72	-3,9	8,3
Áreas agrícolas heterogéneas	3,72	1,34	7,44	2,68	-2,3	36,0
Espacios abiertos con escasa vegetación	0,68	0,82	1,36	1,65	0,1	121,0
Superficies construidas y alteradas	0,01	0,03	0,02	0,07	23,1	299,3
Superficies agrícolas abandonadas	–	0,21	–	0,42	207,9	–
Formaciones de pastizal con arbolado	–	0,18	–	0,36	180,6	–

Fuente: elaboración propia a partir de catálogo de servicios REDIAM (Junta de Andalucía, 2018)

En 1957 las formaciones arboladas densas cubrían una quinta parte de la superficie, y en 2007 habían ascendido casi hasta el 40 %, mientras que las formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado, bajan desde el 14 % al menos del 3 %. Junto a las reforestaciones, también se sustituyen zonas agrícolas de secano por áreas cubiertas por matorral, cobertura que tiene una mayor capacidad de retención de suelo y una mejor tasa de infiltración. Resultado de ello, la erosión potencial entre una y otra fecha baja de 27,5 a tan solo 9,1 toneladas por hectárea y año, y el umbral de escorrentía asciende desde 98,1 hasta 132,3 l/m².

4 Discusión y conclusiones

El avance de las tecnologías de la información geográfica facilita análisis cada vez más complejos y a escalas más ambiciosas, lo que permite avanzar en la gestión y ordenación territorial extrayendo conclusiones que pueden y deben extrapolarse a las administraciones locales y regionales para construir territorios cada vez más seguros y con mayor desarrollo económico y de calidad de vida.

Y ello va en la línea de lo expuesto por la Asociación de Geógrafos Españoles en su adenda al Manifiesto por una Nueva Cultura del Territorio (AGE, 2018), donde se reconoce la necesidad de incorporar mapas de riesgo natural en la evaluación de la sostenibilidad ambiental y territorial, y de manera específica en las propuestas de transformación urbanística del suelo. Poder trabajar con un laboratorio de la extensión y características de la provincia malacitana, donde se han producido algunos de los cambios urbanísticos, sociales y ambientales más importantes de todo el territorio nacional, es una oportunidad que debe explotarse para acceder a dichas conclusiones y atendiendo a ello poder exponer soluciones que serán válidas para Málaga y para todas aquellas provincias que, aunque a distinto ritmo, están repitiendo procesos similares.

El presente trabajo parte de las dos consideraciones anteriores -el cada vez mayor potencial de las tecnologías de la información geográfica y la necesidad de explotar dicho potencial para obtener análisis territoriales en forma de mapas de riesgos naturales- para concluir con una doble aportación metodológica y de contenido. La primera consiste en la adaptación de metodologías estandarizadas en trabajos a nivel de cuenca para escalas provinciales o regionales, y la segunda se basa en los resultados obtenidos del análisis anterior en el ámbito espacial de la provincia de Málaga, como representativos de un territorio altamente dinámico en relación a su poblamiento y con importantes riesgos naturales.

El análisis de los parámetros de capacidad de infiltración y erosión potencial de suelo se ha implementado sobre una superficie de 7306 km², usando una cartografía a escala 1/10 000 y trabajando de manera automatizada, pero individualizada, en más de 7000 cuencas fluviales, con una superficie media inferior a las 100 hectáreas. Además, el análisis se ha realizado de manera diacrónica. Las metodologías de cálculo para una y otra variable son adaptaciones y procesos automatizados de los métodos más extendidos tanto en ámbitos técnicos como científicos: el cálculo de umbral de escorrentía recogido por la Instrucción de Carreteras 5.2-IC (Ministerio de Fomento, 2017) y la ecuación universal de pérdida de suelos. Cabe aceptar inexactitudes en la modelación, como es el hecho de que la formulación RUSLE no tenga en consideración factores estratigráficos o estructurales, como la alternancia de capas permeables/impermeables o la existencia de fallas, planos de cizallamiento o capas fuertemente inclinadas (Robredo, 1993). No obstante, sí debe darse por válido su valor estimativo, que a la luz de los resultados obtenidos no deja lugar a demasiadas dudas en cuanto a las distintas evoluciones de las peligrosidades de inundabilidad y erosión y su relación con los cambios en los usos del suelo. De igual modo, la escala usada y la metodología adaptada a dicha escala, marcan diferencias respecto a trabajos anteriores que ponen en relación igualmente los cambios en los usos del suelo y su repercusión en la erosión y/o inundabilidad trabajando en una cuenca o un conjunto limitado de cuencas, permitiendo obtener en este caso un abanico de resultados en espacios muy contrastados y valores medios más representativos.

Atendiendo a los resultados, cabe concluir que tanto el umbral de escorrentía como los valores de erosión potencial de suelos muestran variaciones muy distantes de las que cabía esperar para los intensos cambios producidos en el periodo temporal considerado. De tal modo, el umbral de escorrentía se ha mantenido prácticamente igual para los años 1956 y 2007. No obstante, estas diferencias tan moderadas responden realmente a un proceso de compensación regional, que enmascara una realidad de intensos cambios en uno u otro sentido según la comarca o zona considerada. El análisis zonal descrito en el apartado de resultados expone estos contrastes que subyacen tras el dato inicial. Considerando esto encontramos zonas cuya evolución general de las peligrosidades de inundabilidad y erosión es muy negativa, y otras zonas donde se ha producido una clara mejora del suelo y el territorio frente a ambas peligrosidades.

Observando lo anterior, se puede considerar que existen tres modelos principales de cambios sistémicos de usos del suelo. En sentido negativo, manteniendo siempre la referencia a los riesgos naturales, estarían las zonas urbanizadas o periurbanizadas y las regiones que han sufrido incendios de mayor extensión. Las primeras se han analizado en detalle en el área de estudio 1, de franja litoral, y las segundas en el área de estudio 2, de laderas meridionales de las Sierras de las Nieves. La franja litoral ha visto casi desaparecer su principal aprovechamiento en los años 50, las superficies agrícolas de secano, mientras que las superficies urbanas e infraestructuras han multiplicado su superficie por 1000. Con ello, se han incrementado notablemente las tasas de producción de escorrentía y sedimentos edafológicos por los procesos de impermeabilización de cuencas y desestructuración de suelos ya de por sí delgados y débilmente estructurados. Así, la pérdida potencial de suelos se ha duplicado, hasta las 96 toneladas por hectárea y año, y el umbral de escorrentía en esta área ha bajado desde 65 l/m^2 hasta 36 l/m^2 , lo que implica que un alto porcentaje de las lluvias que se producen dan lugar a escorrentías en mayor o menor medida. A ello se suma el hándicap de ser ésta una zona de elevadísima exposición y vulnerabilidad. En relación al área de estudio 2, correspondiente a las laderas meridionales de la Sierra de las Nieves, dónde aconteció un importante incendio en el año 1991 que acabó con buena parte del arbolado, se ha evaluado un cambio que ha supuesto que la erosión potencial se haya triplicado en el intervalo considerado y que la capacidad de infiltración, haya bajado desde la destacable cifra de 132 l/m^2 hasta los 79 l/m^2 .

En último lugar, y ya en sentido positivo, estarían las zonas reforestadas o aquellas otras en las que el matorral ha recuperado espacios previamente antrópicos. Éstas se han recogido en el área de estudio 3, del actual parque natural Montes de Málaga. Diversos factores históricos como el Plan Nacional de Repoblación Forestal, con objetivos dispares como la creación de empleo o la obtención de materia prima para la industria papelera, el cambio de enfoque en la gestión silvícola y ambiental materializado en el Plan Forestal Andaluz y en la creación de la Red de Espacios Naturales Protegidos, y la llegada de las políticas comunitarias, especialmente la agrícola, han re-

naturalizado durante la segunda mitad del siglo XX muchas zonas rurales abandonadas o degradadas, permitiendo con ello su recuperación edafológica, y consecuentemente aumentando la capacidad de infiltración y la estructura y estabilidad de los suelos. En el área de estudio 3, que presenta la particularidad de que precisamente uno de los factores fundamentales de la reforestación fuese precisamente la mitigación de las avenidas que históricamente venía sufriendo la ciudad de Málaga, se concluye cuantitativamente que el umbral de escorrentía ha ascendido en el periodo considerado desde los 98 l/m² hasta los 132 l/m², y que la erosión potencial ha pasado de 27 a tan solo 9 toneladas por hectárea y año.

Incorporando estos resultados en el contexto de otros trabajos similares que se han realizado en los últimos años, encontramos coherencia con ellos tanto en los datos cuantitativos como en valoraciones y discusiones. Así, la principal analogía es el hecho de que los valores promedios obtenidos para el conjunto de la cuenca o región no es un buen indicador, ya que enmascara comportamientos diferentes según los sectores que consideremos (López et al., 2007), aunque dichos trabajos también destacan otros aspectos coincidentes, como el muy importante incremento del riesgo de inundabilidad en áreas costeras por el crecimiento poblacional brusco y el poblamiento desordenado, en contraste con la reducción de peligrosidades en cuencas altas por la matorralización o reforestación de espacios agrícolas abandonados (Romeo y Segura, 2016). Es conclusión compartida, igualmente, la situación de inestabilidad que la desordenada evolución de los usos del suelo están provocando en los recursos agua y suelo, con peligrosidades que además actúan sinérgicamente (Camarasa et al., 2018). En atención, por otro lado, a los resultados cuantitativos, se aprecian pérdidas de suelo equivalentes a los establecidos por Ruíz Sinoga et al. (2011) en la provincia de Málaga y umbrales de escorrentía similares a los obtenidos en cuencas de la comunidad valenciana, que se sitúan entre 60 y 80 litros por metro cuadrado (Mateu, 1982; Segura, 1990; López et al., 2007; Camarasa et al., 2018). Cabe citar en relación a esto último que los estudios diacrónicos en dichas cuencas muestran una diferencia del umbral de escorrentía entre la fechas de 1956 y 2011 superiores a las obtenidas en este trabajo, pero este contraste se enmarca en la escala de unos y otros trabajos, dado que en áreas de estudio menores no se llega a producir la compensación territorial que aquí sí se da.

Con el mismo objetivo de insertar la problemática planteada en este trabajo en otros similares, resulta especialmente relevante citar el presentado por Camarasa et al. en 2018, que parte de la idea compartida de la necesidad de diagnosticar tendencias en los procesos de erosión y escorrentía para poder diseñar medidas de actuación. Dicho trabajo se desarrolla sobre una cuenca fluvial representativa del litoral mediterráneo, con una metodología similar, si bien para la pérdida de suelos usa la estimación de paisajes erosivos desarrollada por ICONA en el proyecto LUCDEME (1982). Concluye de igual modo con la estrecha interrelación existente entre los usos del

suelo y los procesos de escorrentía y pérdida de suelo, ya sea en sentido positivo o negativo, detallando los resultados a una escala mayor, pero con patrones similares a los aquí obtenidos.

En resumen, la provincia de Málaga ha experimentado cambios muy notables en el comportamiento de sus principales peligrosidades naturales, en uno y otro signo, y ello con el agravante de las peculiares características resistísticas de un sistema eco-geomorfológico frágil como es el mediterráneo. La principal variable para explicar estos cambios es la evolución de los usos del suelo. La posibilidad de cuantificar los resultados de dichos cambios en los usos del suelo debe ser aprovechada para reorientar las políticas y la gestión territorial por parte de las administraciones locales y regionales más allá también del interés que pueda suscitar entre geógrafos y otros investigadores o especialistas en el estudio del territorio. En dicha reorientación deberían incorporarse la consideración de los usos del suelo y cambios territoriales que producen un mayor incremento de las peligrosidades consideradas y la necesidad de estrategias transversales que consideren de manera conjunta los riesgos de erosión e inundabilidad.

Declaración responsable: Las/os autoras/es declaran que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo. Antonio Gallegos Reina ha diseñado, desarrollado y aplicado la metodología, así como ha redactado resultados y conclusiones. María Jesús Perles Roselló ha realizado la búsqueda de antecedentes metodológicos y conceptuales, ha redactado la introducción y ha realizado una revisión crítica, con correcciones y aportaciones sobre resultados y conclusiones.

Bibliografía

- AGE (2018). En defensa del territorio ante los nuevos retos del cambio global. Adenda al 'Manifiesto por una nueva cultura del territorio'. In *Asociación de Geógrafos Españoles*. Retrieved from <https://www.age-geografia.es/site/manifiesto-nueva-cultura-del-territorio/>
- Agència catalana de l'Aigua (2003). *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local*. Barcelona: Agència Catalana de l'Aigua.
- Almeida, F., & Cortés, R. (2011). Transformaciones urbanísticas y territoriales en la Costa del Sol Oriental: ¿Otra Costa del Sol occidental? Geografía y desafíos territoriales en el siglo XXI. In V. Gozávez Pérez Árbol & J. A. Marco Molina Árbol (Coords.), *Urbanismo expansivo: de la utopía a la realidad. Comunicaciones* (pp. 15–28). Alicante: Universidad de Alicante.
- Bermejo, D., Cáceres, F., & Moreira, J.M. (2011). *Medio siglo de cambios en la evaluación de usos del suelo en Andalucía: 1956–2007*. Sevilla: Ed. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Bodi, M., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., & Doerr, S. (2012). Efecto de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, 33–55. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2058>
- Camarasa, A.M., Caballero, M. P., & Iranzo, E. (2018). Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea (Barranc del Carraixet, 1956–2011). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 127–153. <http://dx.doi.org/10.21138/2714>
- Camarasa, A.M., López García, M.J., & Pascual, J.A. (2004). *Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía*. Valencia: Departamento de Geografía, Universidad de Valencia.
- Cantarero, F. (2013). *Relaciones entre el patrón territorial y la generación del peligro de inundación. Análisis comparado de casos en Málaga (España) y Motozintla (México)* (Doctoral dissertation, Universidad de Málaga, Spain).
- Cerdà, A. (2004). Lessons and experience of soil conservation in Spain. 55–70. *Scape*.
- Cerdà, A. (2007). Impacto del abandono del cultivo sobre la pérdida de suelo y agua en un ambiente semiárido. Cuenca del río Guadalentín, Murcia. In *XIV Congreso Nacional de Geografía* (pp. 74–79). Salamanca: Univ. de Salamanca.
- Cerdà, A., & Doerr, S.H. (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena*, 74, 256–263.

- Conesa, C. (1989). Aplicación del modelo de erosión GAMES a cuencas de drenaje del sureste peninsular. *Norba*, 8–9, 565–584.
- DeBano, L. F. (1981). Water repellent soils: a state of the art. In *United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report PSW-46*. California, Berkeley.
- Durán, J.J. (Coord.) (2007). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Fournier, F. (1960). *Climat et erosion*. Paris: Ed. Presses Unisitaeres de France.
- Franco, M., Pereira, P., Alcañiz, M., Mataix-Solera, J., Arcenogui, V., & Úbeda, X. (2016). Efecto de una lluvia torrencial post-incendio en la repelencia al agua y la velocidad de infiltración de un suelo en un ambiente mediterráneo (NE España). In J. J. Durán, M. Montes, A. Robador, A. Salazar (Eds.), *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro*. Publicaciones del instituto Geológico y Minero de España. *Geología y Geofísica* 5 (pp. 81–88). Retrieved from <https://geomorfologia.es/publicaciones-socios/comprendiendo-el-relieve-del-pasado-al-futuro-actas-de-la-xiv-reuni%C3%B3n-nacional->
- Gallegos, A. (2013). Cuantificación y distribución cartográfica de la generación de escorrentía y sedimentos en la provincia de Málaga. *Baética*, 35, 57–74.
- Gallegos, A. (2015). *Caracterización de cuencas fluviales periurbanas con riesgo de inundación en ámbitos mediterráneos y propuesta de cartografía de peligrosidad adaptada* (Doctoral dissertation, University of Málaga, Spain). Retrieved from <http://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/10576>
- Gallegos, A. (2018). *Caracterización y análisis de los riesgos naturales en el planeamiento urbanístico del litoral mediterráneo español*. Malaga: Ed. Universidad de Málaga.
- Gallegos, A., & Perles Roselló, M.J. (2015). Erosión hídrica y modificación del caudal de inundación en ambientes mediterráneos. Aproximación metodológica. *Monfragüe resiliente*, 4(1), 153–163.
- García Ruíz, J.M., Puigdefábregas, J., & Creus, J. (1980). Influencia de las características físicas de las cuencas hidrográficas en la frecuencia e intensidad de crecidas. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 6, 19–36.
- Gómez Gutiérrez, A., Schnabel, F., Lavado, J. J., Atkinson, A. D., & Pulido, M. (2016). Evaluación de técnicas de recuperación de zonas acarcavadas en Extremadura mediante modelos 3D de alta resolución: resultados preliminares. In *XIV Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 97–104). Málaga.

- Hamani, M., Gracia, F. J., Benavente, J., & Gomiz, J. J. (2016). Estimación inicial de la producción hidrosedimentaria en la cuenca hidrográfica del Guadalete (Cádiz, España). In *XIV Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 81–88). Malaga.
- Hueso, P., Ruíz Sinoga, J.D., Martínez Murillo, J. F., & Lavee, H. (2014). Overland flow mechanisms generation affected by topsoil treatment: application to soil conservation. *Geomorphology*, *228*, 796–804.
- ICONA (1982). *Paisajes erosivos en el sureste español. Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación* [Map]. Madrid: Proyecto Lucdeme.
- Imenson, A. C. (1984). *Una vía de ataque ecomorfológica al problema de la degradación y erosión del suelo. Desertificación en Europa*. Madrid: Monografías de la D.G.M.A.
- Johnson, L.C. (1987). Soil loss tolerance: fact or myth? *Journal of soil and water conservation*, *42*, 155–160.
- Justicia, A. (1987). Éxodo rural y descapitalización humana del campo: la provincia de Málaga. *Baética*, *10*, 31–66.
- Lavee, H., Imenson, A. C., & Sarah, P. (1998). The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean arid transect. *Land Degradation and Development*, *9*, 407–422.
- Llena, M., Vericat, D., & Martínez Casanovas, J. A. (2016). Cambios geomorfológicos en el alto Cinca. In *XIV Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 339–349). Malaga.
- Lombardi, F., & Moldenhauer, W.C. (1980). *Erosividade da chuva: sua distribuiçaco e relação com perdas de solo em Campinas*. Presented at the Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. Recife.
- López Bermúdez, F., & Gutiérrez Escudero, J.D. (1982). Estimación de la erosión y aterramientos de embalses en la cuenca hidrográfica del río Segura. *Cuadernos de investigación geográfica*, *8*, 3–18.
- López Bermúdez, F. (1979). Inundaciones catastróficas, precipitaciones torrenciales y erosión en la provincia de Murcia. *Papeles del Departamento de Geografía*, *8*, 49–91.
- López García, M.J., Camarasa Belmonte, A.M., & Mateu Bellès, J.F. (2007). Cambios en los usos del suelo y producción de esorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956–1998). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, *44*, 69–94. Retrieved from <https://www.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/610>
- Macdonald, L.H., Larsen, I.J., Brown, E., Rough, D., Welsh, M.J., Pietraszek, J.H., & Schaffrath, K. (2008). *What causes runoff and sediment yields to increase after Wildfires. Final Cost 634*

Presented at the International Conference “On- and Off-site Impacts of Runoff and Erosion”. Aveiro (Portugal), June 30–July 4.

Martínez Fernández, V., González del Tánago, M., & García de Jalón, D. (2016). El uso de la potencia hidráulica del río como indicador de procesos geomorfológicos. In *XIV Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 357–364). Malaga.

Martínez Murillo, J. F. (2005). Variabilidad espacio temporal del sistema ecogeomorfológico mediterráneo en un ambiente ecotono semiárido/subhúmedo de los montes de Málaga. Implicaciones hidrológicas y erosivas (Doctoral dissertation, Universidad de Málaga, Spain). Retrieved from <https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=393798>

Martínez Murillo, J.F. (2015). Los incendios forestales y la configuración del paisaje de la montaña mediterránea. Un caso de estudio. In *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (pp. 1083–1091). Universidad de Zaragoza-AGE. Actas del XXIV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles. Zaragoza, 28, 29 y 30 de octubre de 2015. Retrieved from http://congresoage.unizar.es/eBook/trabajos/114_Martinez%20Murillo.pdf

Martínez Murillo, J.F., Remond, R., Hueso González, P., & Ruíz Sinoga, J.D. (2016). Resiliencia de la cubierta vegetal en un área de montaña mediterránea afectada por el fuego: el caso del incendio de Río Verde (Provincia de Málaga, Sur de España). *Pirineos*, 171, e024. <http://dx.doi.org/10.3989/pirineos.2016.171008>.

Mateu, J. (1982). *El norte del País Valenciano*. Geomorfología litoral y prelitoral. Valencia: Universitat de Valencia.

Ministerio de Fomento (2017). Orden FOM/185/2017, de 10 de febrero, por la que modifican la Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2-IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras y la Orden FOM/534/2014, de 20 de marzo, por la que se aprueba la norma 8.1-IC señalización vertical de la Instrucción de Carreteras. BOE núm. 55 de 06 de Marzo de 2017. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-2390>

Müller, K., & Castillo, J. (1997). *Labranza mínima, una tecnología para las laderas en Colombia*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. Madrid: Mundi-Prensa.

Navarro, R., Guzmán, J.R., Clavero, I., Moyano, A., & Salas, R. (2008). Efecto de las repoblaciones de pino carrasco en el cambio de usos del suelo en el Parque Natural Montes de Málaga. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 28, 89–94. Retrieved from http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/download/9778/9696/

- Navarro, A., Sanchís, C., & Segura, F. (2016). Cambios morfológicos en el cauce del río Serpis tras la construcción del embalse de Beniarrés (Alicante, 1958–2013). In XIV Reunión Nacional de Geomorfología (pp. 399–406). Malaga.
- Ortega Becerril, J. A. (2008). Implicaciones de las actividades antrópicas en el riesgo de inundaciones. Consecuencias para la cartografía de riesgos. In J. L. González García (Coord.), *Mapas de riesgos naturales en la ordenación territorial y urbanística* (pp. 85–92). Madrid: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
- Perles, M.J. (1997). *Medir la erosión: fragilidad erosiva en el valle del río Vélez*. Malaga: Centro de ediciones de la Diputación de Málaga.
- Perles, M.J., & Mérida Rodríguez, M. (2010). Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia Este de la ciudad de Málaga. *Scripta Nova*, XVI, 329. <http://dx.doi.org/10.1344/sn2010.14.1635>
- Perles, M.J., & Cantarero, F. (2010). Problemas y retos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio. Propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 52, 245–271. Retrieved from <https://www.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1171>
- Perles, M.J., Gallegos, A., & Cantarero, F. (2006). Análisis del ajuste del área inundable obtenida mediante una evaluación integrada de la peligrosidad de inundación y peligros asociados. *Baética. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 28, 527–545.
- Robredo, J.C. (1993). *Erosión*. E.T.S. Madrid: Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Romero, M. A., Cabezas, F., & López Bermúdez, F. (1992). Erosion and fluvial sedimentation in the River Segura basin. *Catena*, 19(3–4), 379–392.
- Romero, M.A., Fisher, G. C., López Bermúdez, F., Thornes, J. B., & Francis, C. (1988). Variability of overland flow erosion rates in a semi-arid Mediterranean environment under matorral cover: Murcia, Spain. Cremlingen, Germany, Catena Verlag. *Catena Supplement: Geomorphic processes in Environments with strong seasonal contrasts*, 13, 1–11.
- Romero, A. (2011). Riesgo y territorio: una aproximación crítica al modelo urbano difuso. In XXII Congreso de Geógrafos Españoles (pp. 617–628). Malaga.
- Romeu, E., Segura Beltrán, F.S. (2016). Cambios en los usos del suelo y repercusiones sobre las inundaciones: el caso del Maresme. In XV Coloquio Ibérico de Geografía. Retos y tendencias de la Geografía Ibérica (pp. 347–356). Universidad de Murcia-AGE-APG.

- Ruíz Sinoga, J. D., & Romero, A. (2010). Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in Southern Spain. *Geomorphology*, 118, 359–368.
- Ruíz Sinoga, J. D., Romero, A., & Belmonte, F. (2011). El urbanismo como acelerador de los procesos de degradación del suelo. Colinas del Limonar, Málaga. In *XXII Congreso de Geógrafos Españoles* (pp. 629–640). Málaga.
- Schnabel, S., & Ergenzinger, P. (1987). Analysis of the silting-up of reservoirs in the Pantano de Peña, NE Spain. *Erde*, 118(3): 217–225.
- Segura, F. (1990). *Las ramblas valencianas*. València: Universitat de València.
- Témez, J.R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: MOPU, Dirección General de Carreteras.
- Témez, J.R. (1991). Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain. In *Proceedings of the 24th IAHR World Congress* (pp. 33–40). Madrid (Spain), September, 9–13.
- Thornes, J. B. (1976). *Semi-arid erosional systems: case studies from Spain*. London: London School of Economics. Geography Papers.
- Thornes, J. B. (1985). The ecology of erosion. *Geography*, 70(3), 222–235.
- Tricart, J. (1968). *Précis de géomorphologie. T. 1. Géomorphologie structurale*. Paris: Sedes.
- USSCS (1972). *National Engineering Handbook*. Sec 4, sup. A, Hydrology. Soil Conservation Service.
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transactions, American Geophysical Union*, 39, 285–291.
<https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., & Cross B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of soil and water conservation*, 26, 189–192.