

## Cambio en los patrones territoriales y análisis de inundabilidad y erodabilidad en cuencas de la provincia de Málaga, España (1956-2010)\*

*Evolution of the territory and analysis of flooding and water erosion between 1956 and 2010: case study in the province of Malaga (Spain)*

**Antonio Gallegos Reina**

Universidad de Málaga

Málaga, España

a.gallegos@uma.es

 ORCID: 0000-0002-2711-111X

### Información del artículo

**Recibido:** 20 mayo 2021

**Revisado:** 13 febrero 2022

**Aceptado:** 19 febrero 2022

**ISSN** 2340-8472

**ISSNe** 2340-7743

**DOI** 10.17561/AT.21.6368

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).  
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

### RESUMEN

En el actual contexto de cambio global, el análisis de los riesgos socionaturales se han convertido en una temática prioritaria para las administraciones. Este trabajo cuantifica de manera diacrónica la evolución de la inundabilidad y erosión hídrica de suelos en cuatro áreas representativas del litoral mediterráneo español, situadas en la provincia de Málaga (España). Dicha evolución se ha puesto en relación con los cambios territoriales producidos en las áreas de estudio en los últimos 50 años. La inundabilidad se ha calculado mediante estudio hidrológico-hidráulico, usando el método racional modificado según Témez y HEC-RAS, y la erosión hídrica usando la formulación revisada de la Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Los resultados muestran cambios urbanísticos insostenibles territorialmente y repercusiones directas en las inundaciones y pérdida de suelos, con incrementos de dichas peligrosidades que en algunos casos doblan, e incluso cuadruplican, los valores de área inundada y pérdida de suelo de 1957.

**PALABRAS CLAVE:** Inundabilidad, Regiones Mediterráneas, Erosión hídrica, Torrencialidad pluviométrica, Usos del suelo.

### ABSTRACT

In the current context of Global Change, the analysis of socio-natural risks has become a priority issue for administrations. This paper quantifies the evolution of flooding and potential soil erosion in four representative areas of the Spanish Mediterranean coast, located in the province of Malaga (Spain). This is related to the evolution of the territory in the study areas in the last 50 years. Flooding has been calculated by means of a hydrological-hydraulic study and HEC-RAS, and the potential soil erosion using the revised formulation of the Universal Soil Loss Equation (RUSLE). The results show territorially unsustainable urban changes and direct repercussions on floods and loss of soil, with increases that in some cases double, or even quadruple, the values of flooding and lost soil in 1957.

**KEYWORDS:** Flooding, Mediterranean regions, Water erosion, Heavy rainfall, Land uses.

\* Esta investigación fue financiada por el proyecto de investigación Vulnerabilidad de centros docentes andaluces frente a riesgos naturales múltiples (sísmico, movimientos del terreno e inundación). Evaluación integral y propuestas para la gestión de la catástrofe (UMA18-FEDERJA-238), obtenido en la convocatoria de proyectos de I+D+i en el marco del Programa Operativo FEDER Andalucía 2014-2020, de la Consejería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía.

## ***Mudança nos padrões territoriais e análise de inundações e erodibilidade nas bacias da província de Málaga, Espanha (1956-2010)***

### **SUMÁRIO**

No atual contexto de mudança global, os riscos sócio-naturais são uma questão prioritária para as administrações. Este trabalho quantifica a evolução das inundações e potencial erosão do solo em quatro áreas representativas da costa mediterrânea espanhola, localizadas na província de Málaga (Espanha). Esta evolução está relacionada com as mudanças territoriais produzidas nas áreas de estudo nos últimos 50 anos. A inundação foi calculada por meio de um estudo hidrológico-hidráulico, usando o método racional modificado de acordo com Témez e HEC-RAS, e a erosão potencial dos solos usando a formulação revisada da Equação Universal de Perdas de Solo (RUSLE). Os resultados mostram mudanças urbanas territorialmente insustentáveis e repercussões diretas nas inundações e perdas de solo, com aumentos que em alguns casos dobram, ou mesmo quadruplicam, os valores de área inundada e solo perdido em 1957.

---

**PALAVRAS-CHAVE:** Inundação, Regiões mediterrâneas, Erosão hídrica, Chuvas torrenciais, Usos do solo.

---

## ***Cambiamento dei modelli territoriali e analisi delle inondazioni e dell'erodibilità nei bacini della provincia di Malaga, Spagna (1956-2010)***

### **SOMMARIO**

Nell'attuale contesto di cambiamento globale, i rischi socio-naturali sono una questione prioritaria per le amministrazioni. Questo lavoro quantifica l'evoluzione delle inondazioni e la potenziale erosione del suolo in quattro aree rappresentative della costa mediterranea spagnola, situate nella provincia di Malaga (Spagna). Questa evoluzione è legata ai mutamenti territoriali prodotti nelle aree di studio negli ultimi 50 anni. L'allagamento è stato calcolato mediante uno studio idrologico-idraulico, utilizzando il metodo razionale modificato secondo Témez e HEC-RAS, e la potenziale erosione dei suoli utilizzando la formulazione rivista dell'Universal Soil Loss Equation (RUSLE). I risultati mostrano mutamenti urbani territorialmente insostenibili e ripercussioni dirette su alluvioni e perdite di suolo, con incrementi che in alcuni casi raddoppiano, o addirittura quadruplicano, i valori di area allagata e suolo perduto nel 1957.

---

**PAROLE CHIAVE:** Allagamento, Regioni mediterranee, Erosione idrica, Piogge torrenziali, Usi a terra.

---

## ***Changement des schémas territoriaux et analyse des inondations et de l'érodibilité dans les bassins de la province de Malaga, Espagne (1956-2010)***

### **RÉSUMÉ**

Dans le contexte actuel de changement global, les risques socio-naturels sont un enjeu prioritaire pour les administrations. Ce travail quantifie l'évolution des inondations et de l'érosion potentielle des sols dans quatre zones représentatives de la côte méditerranéenne espagnole, situées dans la province de Malaga (Espagne). Cette évolution est liée aux changements territoriaux produits dans les zones d'étude au cours des 50 dernières années. Les inondations ont été calculées au moyen d'une étude hydrologico-hydraulique, en utilisant la méthode rationnelle modifiée selon Témez et HEC-RAS, et l'érosion potentielle des sols en utilisant la formulation révisée de l'équation universelle de perte de sol (RUSLE). Les résultats montrent des changements urbains non durables sur le plan territorial et des répercussions directes sur les inondations et la perte de sol, avec des augmentations qui, dans certains cas, doublent, voire quadruplent, les valeurs de la superficie inondée et du sol perdu en 1957.

---

**MOTS CLÉS:** Inondation, Régions méditerranéennes, Pluies torrentielles, Analyse diachronique, Utilisations au sol.

---

## Introducción y antecedentes

En la actualidad, considerando los datos históricos de los últimos 500 años, estamos viviendo un periodo de excepcional aumento de riesgos naturales, destacando las inundaciones, que además se asocian cada vez más a climas cálidos<sup>1</sup>. En este contexto, las regiones mediterráneas ya no solo responden a una elevada vulnerabilidad por sus características de población y poblamiento<sup>2</sup>, sino que la peligrosidad también se está incrementando<sup>3</sup>, de manera que se hace más necesario que nunca prestar atención a sus condicionantes específicos, así como cuantificar la evolución de dichos riesgos. En este trabajo se evalúa la evolución de las peligrosidades de inundabilidad y erosión en cuatro cuencas fluviales representativas, tanto en sus aspectos físicos como humanos, del litoral mediterráneo español, situadas en la provincia de Málaga (España). Ello se ha realizado mediante análisis diacrónicos físicos y humanos entre 1956 y 2010.

Así, partiendo de una hipótesis de correlación entre la evolución de determinados factores físicos y humanos con los cambios territoriales acaecidos en las distintas cuencas, el objetivo principal es conocer numéricamente el incremento de las peligrosidades de inundación y erosión hídrica de suelos, comparándolo con los cambios en los patrones urbanísticos en las áreas de estudio.

La relación histórica de los pueblos mediterráneos con su territorio siempre ha sido muy intensa, y tanto más lo es hoy en día. Se trata de pueblos de alta densidad demográfica y muy dependientes del suelo, históricamente por necesidades agrarias y contemporáneamente por la explotación residencial y turística del suelo y paisajes. Además, la región mediterránea es un ecosistema poco resiliente<sup>4</sup>, sometido a dificultades climáticas y geomorfoedáficas que dan lugar a una rápida ruptura de equilibrio si la intervención antrópica es inadecuada, tal como suele suceder. En este contexto, el estudio de los riesgos naturales siempre ha atraído la atención de numerosos investigadores, si bien su interés se ha incrementado muy notablemente en las últimas décadas. Para el caso concreto de las inundaciones, la producción científica española en las principales bases de datos bibliográficas internacionales, como la

Web of Science, ha pasado de los ocho registros del año 1990 a las 363 publicaciones en 2019<sup>5</sup>.

Algunos autores comenzaron el análisis de la temática de manera genérica y refiriéndose principalmente a aspectos como las inundaciones catastróficas, la desertificación, las precipitaciones torrenciales o la erosión hídrica<sup>6</sup>. Posteriormente, los estudios se especializaron. Se comenzó a estudiar de manera separada la vulnerabilidad y la peligrosidad, y a realizar análisis contextuales<sup>7</sup>. Un aspecto en el que se ha incidido notablemente en regiones mediterráneas ha sido la torrencialidad pluviométrica<sup>8</sup>. Otros autores han tratado aspectos más técnicos o cuantitativos, relacionados con la metodología de cálculo hidráulico<sup>9</sup>. Más recientemente se está renovando el enfoque, buscando potenciar la utilidad de estas publicaciones como herramienta para la predicción de áreas inundables y dar soporte técnico y científico a las actualizaciones normativas y de gestión de la administración<sup>10</sup>. Al respecto, Perles<sup>11</sup> plantea aún la necesidad de avanzar o reforzar determinadas líneas de investigación desde la Geografía Física, tales como pasar desde los resultados empíricos particulares a modelos cartográficos, avanzar en la adaptación de los procesos que generan las inundaciones al actual contexto de cambio global, obtener metodologías que permitan estudiar los peligros de funcionamiento asociado a las inundaciones o avanzar en el estudio de la inducción humana del peligro natural.

En las regiones mediterráneas, la torrencialidad pluviométrica no solo es un importante activador de inundaciones, sino también de la erosión hídrica. En principio, la erosión es un proceso que se compensa con la creación de suelo, de modo que debe mantenerse un equilibrio prolongado en el tiempo, pero cuando por razones antrópicas o incluso por la propia evolución derivada del cambio climático se rompe dicho equilibrio, se inicia una desestructuración y pérdida de suelo, así como de su capa orgánica y de su capacidad biológica. A raíz de aquí, la erosión desencadena una serie de problemas ecológicos y económicos que pueden llegar a favorecer inundaciones y/o agravar su peligrosidad,

<sup>5</sup> Díez-Herrero; Garrote, 2020.

<sup>6</sup> Rosselló, 1989. Mateu, 1990.

<sup>7</sup> Ayala, 2000. Calvo, 2001. Máyer, Pérez-Chacón; Romero, 2006.

<sup>8</sup> Olcina; Rico, 2000. Barriendos et al., 2019. Camarasa-Belmonte; Rubio; Salas, 2020.

<sup>9</sup> Camarasa-Belmonte; López; Pascual-Aguilar, 2006. Morte; Navarro; García, 2019. Olcina; Oliva, 2020.

<sup>10</sup> Díez-Herrero; Laín; Llorente, 2006, 2008. Díez-Herrero et al., 2008. Hernández, 2008. Sánchez; Lastra, 2011. Gallegos; Perles, 2020. Gallegos, 2021.

<sup>11</sup> Perles, 2020.

<sup>1</sup> Blöschl, Kiss; Viglione, 2020.

<sup>2</sup> Górgolas, 2019. Gallegos, 2019. Llasat, 2020. Ribas, 2020. Gallegos; Perles, 2022.

<sup>3</sup> MedECC, 2019. Perles, 2020. Camarasa-Belmonte, 2021.

<sup>4</sup> Olcina, 2008.

generando aterramientos y destruyendo infraestructuras. En la cartografía de Naciones Unidas sobre la Desertificación, España es el único país de Europa Occidental con zonas gravemente afectadas, y estas son principalmente el sureste de la península ibérica y el litoral levantino. Con ello, queda claro que el mapa de la erosión de suelos en España se subscribe fielmente a la franja mediterránea. Atendiendo al Programa de Acción Nacional contra la Desertificación<sup>12</sup>, los principales factores y procesos que influyen en el litoral mediterráneo se basan en las siguientes condiciones particulares: condiciones climáticas áridas o semiáridas, con sequías estacionales, variabilidad pluviométrica y precipitaciones súbitas de gran intensidad; suelos pobres con débil estructura y frecuentes cortezas superficiales; relieves acusados y contrastados; pérdida de cubierta vegetal por frecuentes incendios forestales; abandono de tierras por crisis de la agricultura tradicional; prácticas agrícolas inadecuadas; sobrepastoreo y explotación insostenible de los recursos hídricos, tal como la salinización o agotamiento de los acuíferos. Considerando todo esto, resulta fácil comprender que la erosión hídrica sea uno de los objetos de estudio más frecuentes en la región mediterránea. Los enfoques han ido tanto desde los aspectos técnico-científicos hasta los históricos, sociales o económicos. En relación a los primeros, se pueden señalar nombres clásicos como Horton, Wischmeier & Smith, Wischmeier, Johnson & Cross o Kirkby & Chorley<sup>13</sup>, que sirven como muestra del pronto interés despertado por la materia. En el campo socioeconómico, la atención es común no solo en los países que dependen estrechamente de su producción agraria, sino también de muchos otros donde la sensibilización con la desertización es bastante evidente, tal como puede ser el caso de España. Numerosos organismos internacionales se han hecho eco de la problemática, resultando especialmente significativos los esfuerzos realizados por la UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification)<sup>14</sup>. En España, donde el riesgo de pérdida de suelos por erosión es muy superior al resto de Europa<sup>15</sup>, se han llevado a cabo proyectos como LUCDEME, de lucha contra la desertificación en el área mediterránea<sup>16</sup>, que en los años ochenta dio a conocer a administraciones, universidades y centros de investiga-

ción la problemática, aportando bastante información al respecto. Artículos significativos sobre el estudio de erosión de suelos en los últimos años para la región mediterránea pueden ser los de Hamani et al., Gallegos o Camarasa-Belmonte, Caballero e Iranzo<sup>17</sup>. Como línea principal, dichos trabajos evalúan tasas de erosión hídrica atendiendo a territorios o patrones territoriales específicos. Otra línea destacada es la relación entre el abandono de campos de cultivo con el incremento de la erosión hídrica, abordada recientemente por García-Ruiz et al. o Martínez<sup>18</sup>.

En último lugar, la relación de los cambios en los usos del suelo con las inundaciones y la erosión hídrica también se ha documentado abundantemente en la literatura científica, abordándose desde distintas perspectivas, de entre las que destacan la referente a la variabilidad espacial de las áreas urbanas y su efecto en la generación de escorrentía<sup>19</sup>. Un trabajo estrechamente relacionado con el presente estudio, es el publicado por Gallegos y Perles en 2019. En él se analizaba la relación existente entre los cambios en los usos del suelo en la provincia de Málaga en el último decalustro, con el incremento o decremento de los riesgos de inundación y erosión. En este trabajo se cambia el análisis a escala de cuenca, para conocer en mayor detalle la repercusión directa de dichos cambios en zonas de estudio representativas del litoral mediterráneo.

## Áreas de estudio

Con el objetivo de avanzar en el conocimiento de cómo la inundabilidad y erodabilidad han cambiado en el litoral mediterráneo español en los últimos 50 años, se han seleccionado una serie de áreas de estudio representativas de este, situadas en la provincia de Málaga (Mapa 1). Se trata de cuatro cuencas hidrográficas que abarcan las principales características comunes de la región, englobando para ello patrones urbanísticos diversos y representativos. Entre las distintas cuencas se recogen patrones territoriales urbanos, periurbanos, turísticos y agrícolas. La variedad de patrones territoriales incorporados pueden hacer extrapolables tanto la metodología como el propio análisis a otras regiones

<sup>12</sup> Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008.

<sup>13</sup> Horton, 1945. Wischmeier; Smith, 1958. Wischmeier; Johnson; Cross, 1971. Kirkby; Chorley, 1967.

<sup>14</sup> Critchley; Harari; Mekkashi, 2021. Sims et al., 2021.

<sup>15</sup> Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008.

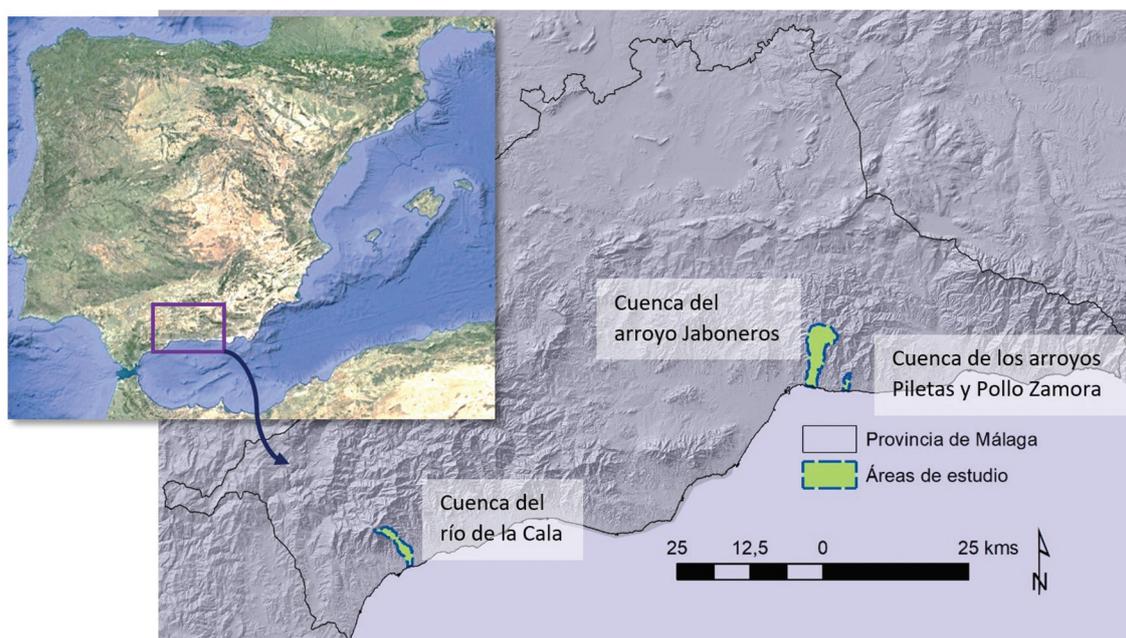
<sup>16</sup> ICONA, 1982, 1995.

<sup>17</sup> Hamani et al., 2016. Gallegos, 2013. Camarasa-Belmonte; Caballero; Iranzo, 2018.

<sup>18</sup> García-Ruiz et al., 2013. Martínez, 2017.

<sup>19</sup> López; Camarasa-Belmonte; Mateu, 2007. Perles; Mérida, 2010. Conesa et al., 2011. Romeu; Segura, 2016. Sanchis-Ibor; Segura-Beltrán; Almonacid-Caballer, 2017. Camarasa-Belmonte; Caballero; Iranzo, 2018. Gallegos; Perles, 2019.

Mapa 1. Localización de las áreas de estudio



Fuente: elaboración propia.

mediterráneas más allá de la provincia de Málaga o incluso del litoral mediterráneo español.

Las distintas áreas de estudio se enmarcan en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. Son de reducida extensión, abrupto relieve y litologías complejas, destacando en cualquier caso los materiales calizos, filitas y metaareniscas. En la cuenca de La Cala aparece también un importante porcentaje de peridotitas. En general, además de su accidentada topografía, aparecen muy distintas permeabilidades, consistencias y modelados, todo en un escenario desordenado, con frecuentes calbagamientos y saltos estratigráficos. Resultado de todo esto, el riesgo de deslizamientos y otros riesgos naturales es sensiblemente superior<sup>20</sup>. En cuanto a la edafología, se suceden de sur a norte franjas de antrosoles úrbicos, en el suelo urbano consolidado, regosoles calcáricos, en las cuencas medias, evolucionados a partir de coluviales o de prácticas agrícolas, y leptosoles éutricos en las cabeceras de cuencas<sup>21</sup>.

Los cauces son mayoritariamente de tipo rambla, con orientación N-S y un patrón de cuenca dendrítico. Transversalmente a su estructura hidráulica, y tal como ocurre en buena parte de la franja mediterránea, discurren las principales infraestructuras viales de la región, la autovía A-7 y la carretera nacional N-340,

longitudinales a la costa, ajustándose a la configuración del relieve mediterráneo. Esto provoca la ruptura e interrupción de los cauces fluviales, con un fuerte efecto barrera.

Las cuencas de los arroyos Piletas y Pollo Zamora se localizan anexas entre sí, en el término municipal del Rincón de la Victoria (Mapa 2). La cercanía a la capital malacitana y la configuración topográfica, con relieves muy próximos a la costa, condicionan su desarrollo urbanístico y su respuesta ante episodios de avenidas y otros riesgos naturales.

Ambas cuencas suman 247,7 hectáreas, con un importante porcentaje de superficie alterada antrópicamente, de modo que suelo urbano e infraestructuras alcanzan el 38,8 % del total, y las zonas en construcción añaden otro 38,4 % más, restando únicamente un 22,8 % de usos no urbanos. Estos últimos se reparten entre monte bajo (14,9 %) y aprovechamientos agrícolas en su mayor parte abandonados, degradados y con escaso porte y porcentaje de cobertura (7,1 %). Hasta no hace muchos años, han mantenido estructuras y economías fundamentalmente rurales que se sustentan sobre un medio con recursos naturales bastante limitados y notables condicionantes físicos como la pendiente, el empobrecimiento de los suelos, el déficit de agua y unas dinámicas hidrológicas áridas y torrenciales. En estas circunstancias de pendiente, erosión y aridez, el viñedo, el almendro o el olivar han competido con mejores

<sup>20</sup> Mérida; Perles; Blanco, 1998.

<sup>21</sup> ICONA, 1995.

Mapa 2. Cuencas anexas de los arroyos Piletas y Pollo Zamora



Fuente: elaboración propia.

mecanismos de adaptación frente a otros cultivos hasta que el declive del modelo tradicional de secano ha consolidado su principal proceso degenerativo, que no es otro que el abandono de la gestión agraria.

La forma y funcionalidad de los arroyos en su transcurso urbano, en general bastante ajustados y limitados artificialmente, fueron establecidas ya en los años sesenta y setenta bajo un clima de escasa consideración de los riesgos de inundación y de fuerte ocupación urbanística del litoral. Desde entonces, apenas se han realizado operaciones de reforma o mejora de las secciones críticas y puntos negros de la red de drenaje. En consecuencia, desde los orígenes de la ciudad las inundaciones han sido un fenómeno frecuente y los riesgos han estado asociados a este territorio, con un aumento exponencial de la exposición y vulnerabilidad en los últimos años.

Ambos cauces aparecen encauzados y en algunos tramos incluso embovedados, en el ámbito urbano ya más próximo a la desembocadura. La pendiente media de los cauces principales es del 10,7 % para el arroyo Piletas y del 20 % para el arroyo Pollo Zamora. El tiempo de concentración en uno y otro caso es de 1,25 y 0,75 horas. Atendiendo ya en último lugar al parámetro más estrechamente relacionado tanto con la inundabilidad como con la erosión hídrica, y estudiado para la superficie de ambas cuencas, el valor medio anual de la máxima lluvia diaria es de 66,02 mm.

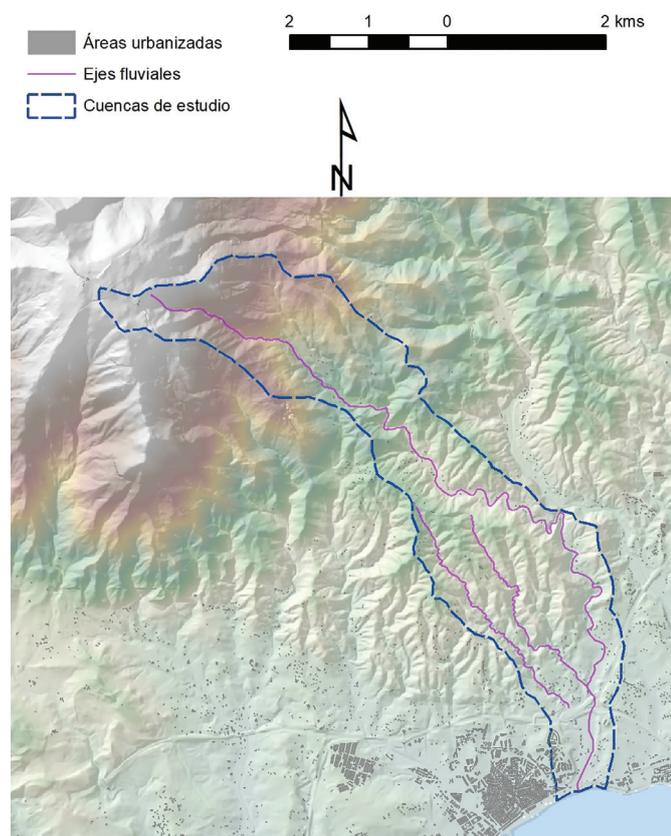
La cuenca del río de la Cala se sitúa en el municipio de Estepona, en el extremo occidental de la comarca de

la Costa del Sol. Con una superficie de apenas 1.167 hectáreas, atraviesa unidades muy contrastadas, que incluyen desde el agreste macizo peridotítico de su cabecera de cuenca hasta la llanura litoral, de aprovechamientos urbanos y agrícolas, incluyendo zonas de media montaña del Maláguide y del Alpujárride (Mapa 3). Aun tratándose de un río de corto recorrido, el desnivel entre la cota mayor de la cuenca y la línea de costa es de 1.400 metros, lo que supone que el flujo alcanza una elevada velocidad y energía.

La proximidad del núcleo urbano de Estepona y los usos agrarios intensivos que se localizan en su tercio meridional configuran un espacio muy ligado al ser humano, del que ha resultado un paisaje peculiar y una forma de urbanización que ha dado nombre a los llamados campitos, pequeñas fincas formadas por sucesivas subparcelaciones familiares en el que se mezclan usos agrarios con segundas residencias, normalmente precarias. No obstante, y en contraste con otras de las cuencas estudiadas, la llanura de inundación del río se ha conservado con ocupaciones no excesivas. Aquí también se han dado importantes afecciones por inundabilidad.

Con un significativo 43 % de la superficie de la cuenca clasificada como monte alto, la superficie urbana apenas llega al 10 % del total. En cualquier caso, esta cifra no refleja fielmente la realidad de la zona, dado que se localiza de modo muy extensivo, y a lo largo de la práctica totalidad de la cuenca, con la única excepción de la cabecera peridotítica.

Mapa 3. Cuenca del Río de la Cala



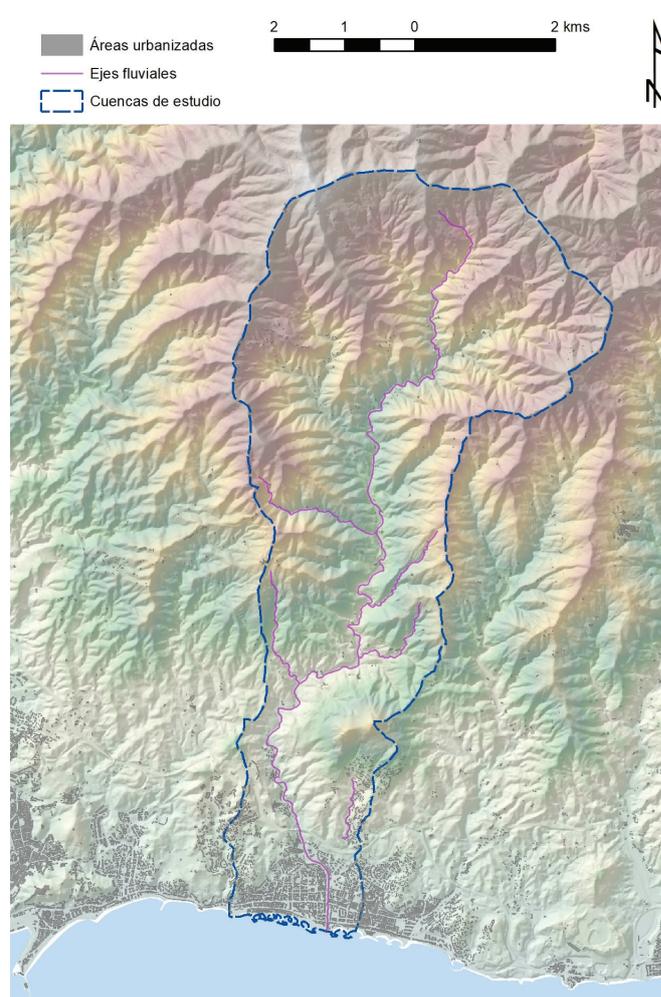
Fuente: elaboración propia.

Todo el cauce discurre libre, sin embovedamientos ni encauzamientos, si bien con diversas interrupciones transversales por infraestructuras viales. La pendiente media del cauce principal es del 11,5 % y el tiempo de concentración de 3,03 horas. Para la cuenca, el valor medio anual de la máxima lluvia diaria es de 85,03 mm.

La cuenca del arroyo Jaboneros, situada al noreste de la ciudad de Málaga, recoge algunos factores que la particularizan con respecto a las otras reunidas en este estudio, especialmente por incluir en su interior desarrollos urbanísticos ya consolidados, tanto en la estrecha plataforma litoral como en barriadas residenciales sobre los relieves más acusados del Monte San Antón. Su cuenca, asimismo, es considerablemente más grande, al alcanzar las 2.998 hectáreas, en una zona de media montaña, de origen metamórfico y cuyas principales características son la presencia destacada del relieve del Monte San Antón, barriadas residenciales y el núcleo urbano de Málaga (Mapa 4).

De modo similar a como ocurre en las restantes cuencas, y siendo una de las tipologías más repetidas en el litoral mediterráneo, aparecen relieves acusados muy próximos a la costa, con desarrollo periurbano, no

Mapa 4. Cuenca del arroyo Jaboneros



Fuente: elaboración propia.

obstante, de las limitantes condiciones constructivas. En los últimos años se han dado repetidos episodios de inundaciones y otros riesgos naturales normalmente asociados a los primeros.

Un 10 % de la superficie de la cuenca es urbana, concentrada en la práctica totalidad en el tercio meridional, entre la propia ciudad de Málaga y las barriadas residenciales periurbanas situadas al norte. Tres cuartas partes de esta superficie es residencial urbano y el resto son infraestructuras viarias, zonas en construcción y equipamiento urbano (educativo, sanitario, comercial y deportivo). Sin embargo, los usos más representativos de la cuenca son el monte bajo (33 %), monte alto (24,2 %) y agrícola (19,8 %), principalmente frutales y olivar. Más allá de lo anterior, resulta significativo que casi un 10 % de la superficie de la cuenca responda a usos agrícolas abandonados.

Existe un encauzamiento desde algo después del cruce con la autovía A-7 y hasta la desembocadura. La pendiente media del cauce principal es del 6,8 % y el tiempo

de concentración es de 3,9 horas. El valor medio anual de la máxima lluvia diaria en la cuenca es de 68,47 mm.

## Materiales y métodos

Para cumplir los objetivos del trabajo, haciendo uso de ortoimágenes de 1956 y 2010, se han derivado mapas de usos del suelo y áreas urbanas, y se ha obtenido información de umbral de escorrentía, caudal instantáneo máximo, superficie inundable para un periodo de retorno de 500 años, velocidad, profundidad, tensión cortante del flujo de inundación y erosión potencial del suelo<sup>22</sup>. Todo ello se ha realizado para ambas fechas, permitiendo hacer una comparativa diacrónica de distintos factores y peligrosidades.

El primer paso ha consistido en cartografiar los usos del suelo y aprovechamientos urbanos en las áreas de estudio en las fechas inicial y final de 1956 y 2010, y también en tres fechas intermedias: 1977, 1999 y 2003. Para ello, se han usado los vuelos fotogramétricos y las ortofotografías resultantes de que se disponen en la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, así como la información aportada por los ayuntamientos en los que se sitúan las cuencas de estudio, lo que permite un análisis más completo y exhaustivo de la base territorial. Esta información última proviene de la cartografía usada en los respectivos planeamientos municipales.

La fecha origen de 1956 se ha tomado aprovechando la existencia del denominado vuelo americano, realizado pocos años antes del arranque del desarrollo urbanístico en España. Y la fecha final, de 2010, se ha seleccionado tanto para homogeneizar la información procedente de dichos planeamientos urbanísticos, como por tratarse del momento inmediatamente posterior al punto álgido del desarrollismo urbanístico, pudiendo entenderse que este tiene como frontera la aparición de la crisis económica de 2008. Tras finalizar dicha crisis, en 2014, no ha existido un cambio significativo de usos del suelo en el país y, cuando comenzaba a vislumbrarse que este podría empezar a producirse, ha llegado la nueva crisis internacional del Covid-19, que ha vuelto a frenar dicha posibilidad.

De igual modo, se ha realizado también un análisis bibliográfico de la evolución poblacional y urbanística en cada una de las áreas de estudio y entrevistas con

técnicos responsables de urbanismo y medio ambiente de los ayuntamientos de los municipios a las que estas pertenecen.

Seguidamente, se ha realizado el cálculo de la inundabilidad. Este se ha realizado para las fechas de 1956 y 2010, mediante un análisis hidrológico-hidráulico con los criterios establecidos por la administración regional competente en materia de aguas de la Junta de Andalucía. Más allá de la mera delimitación de la lámina inundable, se han obtenido también otros aspectos hidráulicos que afectan al nivel de peligrosidad, como son la profundidad del flujo, su velocidad y la tensión cortante. Esta última variable se ha considerado por su importancia para conocer la capacidad que tiene el flujo de erosionar el material de las orillas y, con ello, de generar sedimentos sólidos que se incorporen al caudal retroalimentando su peligrosidad.

El modelo hidrometeorológico se ha obtenido a partir de la precipitación total diaria de las distintas cuencas de estudio según la publicación del Ministerio de Fomento *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*<sup>23</sup>, considerando un periodo de retorno de 500 años. Los caudales máximos instantáneos de escorrentía superficial derivan de lo anterior mediante el método racional modificado según Témez, tal como establece la Norma 5-2-IC de drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras<sup>24</sup>. Para las fechas inicial y final se han usado las respectivas cartografías de usos del suelo obtenidas mediante digitalización de ortoimágenes, con las que pueden extraerse los diferentes datos de umbral y coeficiente de escorrentía. En último lugar, el estudio hidráulico se ha realizado con el modelo unidimensional de libre uso HEC-RAS. En total, para todas las cuencas, se ha trabajado con 25 tramos y puntos de caudal independientes.

A continuación, se ha realizado el cálculo diacrónico de la erosión hídrica potencial para las distintas áreas de estudio y las fechas consideradas, con la formulación RUSLE, versión revisada de la Universal Soil Loss Equation, obteniendo un valor de toneladas anuales de pérdida estimada de suelo para cada cuenca y fecha. Su expresión matemática es:  $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$ , siendo A la pérdida de suelo media anual por unidad de superficie ( $T \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ), R el factor de erosividad de las lluvias ( $KJ \cdot mm \cdot m^{-2} \cdot hora^{-1} \cdot año^{-1}$ ), K el factor de erodabilidad del suelo ( $T \cdot m^2 \cdot hora \cdot ha^{-1} \cdot KJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ), L el factor longitud de pendiente (adimensional), S la

<sup>22</sup> Según la formulación RUSLE, *Revised Universal Soil Loss Equation*.

<sup>23</sup> Ministerio de Fomento, 1999.

<sup>24</sup> Orden FOM/298/2016.

pendiente (%) (adimensional), C el factor de cubierta vegetal (adimensional, tabulado según las características de la vegetación) y P un factor de prácticas de conservación de cultivo (adimensional).

## Resultados y discusión. Los cambios en los patrones territoriales y su repercusión en la inundabilidad y erodabilidad

Del análisis de los cambios en los usos del suelo y patrón urbano entre las fechas consideradas en las áreas de estudio, se observa que estas se han visto inmersas en un acelerado proceso de atracción turística, residencial y económica, acompañado de un incremento poblacional muy notable. A raíz de ello, el porcentaje de superficie urbanizada se ha multiplicado por cinco entre las fechas consideradas, si bien la mayor superficie de la cuenca del Jaboneros desdibuja los resultados de las restantes cuencas, más pequeñas, y en las que el porcentaje de poblamiento se ha multiplicado por 17 para el caso de Estepona y por 38 para el caso del Rincón de la Victoria, según dicho análisis. Entre las distintas consecuencias de este hecho cabe destacar como aspecto fundamental que la permeabilización del suelo ha pasado, en términos medios, del 2 al 10 % (Tabla 1).

Aunque el motor principal en una primera fase fue el turismo, poco después el impulso de la segunda residencia ha sido el verdadero transformador del espacio. Se han sumado, no obstante, otros procesos, como el abandono de los espacios agrícolas tradicionales, la aparición de los regadíos y las agriculturas intensivas, y el desarrollo de las infraestructuras viarias longitudinales al litoral<sup>25</sup>.

La concentración de poblamiento no se ha limitado a la llanura litoral, sino que en fases posteriores se

ha extendido por las laderas de las sierras litorales. Tal es el caso de las cuencas de los arroyos Pileta y Pollo Zamora, y en menor medida también de la cuenca del arroyo Jaboneros. Además, no ha respondido a patrones concentrados, sino que se ha generado un poblamiento difuso<sup>26</sup>, o en el mejor de los casos de urbanizaciones y barriadas aisladas<sup>27</sup>. En todos los casos, no obstante, se observa una estrecha dependencia, tanto temporal como geográfica, de la aparición de los ejes viarios: N-340 en relación con los primeros asentamientos, a mitad del siglo pasado, y autovía A-7 en relación a los más recientes. Estos viales, más allá de sus consecuencias derivadas, también han generado importantes transformaciones y condicionantes, fundamentalmente por las explanaciones y obras de paso transversales que llevan aparejados, eliminando vías de flujo preferente y las necesarias áreas de desbordamiento previas a la entrada de los cauces en las tramas urbanas.

Se aprecia también la falta de planificación y control administrativo en los nuevos patrones, destacado en el caso de la cuenca del Río de la Cala, donde los propios técnicos responsables de catastro del ayuntamiento de Estepona, en la entrevista mantenida con ellos, reconocían un 70 % de viviendas ilegales en 2010. También en el caso de Málaga, se observa dicho desarrollo al margen de la legalidad en barriadas como La Mosca o La Cerrajerilla. Al respecto, la inacción, que no desconocimiento, por parte de la administración local debería llevarnos a replantear el reparto competencial en materia urbanística entre municipios y comunidades autónomas.

En último lugar, y en base a los principales grupos de usos del suelo para las distintas cuencas de trabajo y periodos estudiados, entre 1956 y 1999 los cambios más destacables están relacionados con los usos agrícolas (Tabla 2). Se observan cambios de uso, en uno y

Tabla 1. Evolución del suelo urbano (% de superficie urbanizada) en las áreas de estudio entre 1956 y 2010

	1956	1977	1999	2003	2010
Arroyo Jaboneros	2,5	4,3	7	7,1	7,5
Río de la Cala	0,3	0,8	4,6	4,7	5,2
Arroyos Piletas y Pollo Zamora	2,1	21,2	33,6	73,5	79,9
Total áreas de estudio	2	4,3	7,7	9,6	10,3

Fuente: elaboración propia.

<sup>25</sup> Gallegos, 2018.

<sup>26</sup> Tal es el caso concreto de los campitos, en la cuenca de Estepona.

<sup>27</sup> Parque Victoria, en las cuencas del Rincón, y barriadas La Mosca, La Cerrajerilla o Pinares San Antón, en la cuenca malagueña.

Tabla 2. Evolución de los principales grupos de suelo, en porcentaje, en las áreas de estudio, entre 1956 y 2010

	56>99	99>03	03>10	56>10
No varía (%)	76,4	97,3	99,4	73,4
Áreas naturales a agrícola (%)	9,3	0,1	-	9,4
Agrícola a áreas naturales (%)	7,0	-	0,1	7,0
Agrícola a suelo urbano e infraestructuras (%)	4,5	0,6	0,4	5,5
Áreas naturales a suelo urbano e infraestructuras (%)	2,4	1,8	-	4,3
Playas y mares a áreas naturales (%)	0,2	-	-	0,2
Riberas a agrícola (%)	0,1	-	-	0,1

Fuente: elaboración propia.

otro sentido, entre áreas agrícolas y áreas naturales, y entre áreas agrícolas y suelo urbano e infraestructuras. También destaca la transformación de riberas a suelo agrícola, por el menor control de la administración sobre los cauces durante el siglo XX, lo que hizo retroceder de manera importante el territorio fluvial. Entre 1999 y 2010, las transformaciones más importantes se dan fundamentalmente por la transformación de áreas agrícolas y áreas naturales a suelo urbano e infraestructuras.

La máxima precipitación diaria en cada una de las áreas de estudio para el periodo de retorno considerado (500 años) oscila entre los 238,74 l/m<sup>2</sup> de la cuenca de Pollo Zamora hasta los 265,97 l/m<sup>2</sup> de la cuenca de La Cala. Estos valores son una buena muestra de la intensidad pluviométrica de la zona.

De otro lado, el umbral de escorrentía (cantidad de precipitación, en l/m<sup>2</sup>, a partir de la cual esta se transforma en escorrentía), se sitúa en torno a los 50 o 60 l/m<sup>2</sup>, con la notable salvedad de las cuencas del Rincón de la Victoria, donde la capacidad de retención de escorrentía apenas supera 6 l/m<sup>2</sup>. Esto supone que casi cualquier evento tormentoso empieza a generar escorrentía desde los primeros minutos, de lo que resultarán caudales muy importantes para la escasa superficie que representan. Como referencia, para la provincia de Málaga, y según datos obtenidos aplicando la metodología ya citada, el umbral medio de escorrentía es de 70,5 l/m<sup>2</sup><sup>28</sup>.

En relación al caudal instantáneo máximo para cada cuenca, este se ha obtenido según el método racional modificado por Témez<sup>29</sup>, para un periodo de retorno de 500 años. El resultado es ligeramente superior a los 25 m<sup>3</sup>/s en las cuencas de Piletas y Pollo Zamora, se acerca a los 100 m<sup>3</sup>/s en la cuenca de La Cala y supera los 200

m<sup>3</sup>/s en la cuenca del Jaboneros. Resulta llamativo, en cualquier caso, la desproporción en cuanto a superficie y producción de caudal en las cuencas del Rincón de la Victoria, especialmente la de Pollo Zamora.

Atendiendo a los resultados hidráulicos, la elevación del flujo oscila entre los 0,5 metros del arroyo Pollo Zamora y los 1,4 metros del Jaboneros. La velocidad del flujo oscila entre 3,3 metros en Pollo Zamora y 5,5 en Jaboneros. La tensión cortante se mueve entre 421 N/m<sup>2</sup> y 716 N/m<sup>2</sup> (nuevamente con los valores más bajo y alto en Pollo Zamora y Jaboneros). Y la anchura inundada de la sección varía entre 10,9 metros en el arroyo Piletas y 34,2 metros en Jaboneros.

Comparando lo anterior con los datos de 1956, en referencia primero al umbral de escorrentía, su disminución en las cuencas del Rincón de la Victoria ha sido especialmente destacada, habiéndose reducido de 46 a 6 l/m<sup>2</sup> en la cuenca de Pollo Zamora y de 66 a 25 l/m<sup>2</sup> en la cuenca del Piletas. Esto significa que casi cualquier precipitación, incluso sin tratarse de un evento tormentoso intenso, genera escorrentía directa. El modelo urbano seguido demuestra, por tanto, una correlación evidente con la peligrosidad de inundación. Como ya se ha visto anteriormente, estas cuencas han pasado de tener urbanizado desde un 2 % hasta un 80 % del total superficial. En el caso de la cuenca del río de la Cala también existe una importante reducción del coeficiente de escorrentía, que pasa de los 93 l/m<sup>2</sup>, lo que garantizaba una importante protección frente a inundaciones, a los 53 l/m<sup>2</sup>. Si bien en este caso el incremento de suelo urbanizado no es tan notable<sup>30</sup>, se han dado otros factores como la aparición de las infraestructuras viarias o, especialmente, la pérdida de importantes zonas de masa forestal en la mitad septentrional de la cuenca, que en

<sup>28</sup> Gallegos; Perles, 2019.

<sup>29</sup> Témez, 1991.

<sup>30</sup> Se sitúa apenas en el 5,2 %.

1956 aún se mantenía virgen y libre de caminos, cultivos y casas. Para la cuenca del arroyo Jaboneros, por el contrario, se ha dado una evolución positiva del umbral de escorrentía, incrementándose desde los 48 l/m<sup>2</sup> a los 56 l/m<sup>2</sup>, pues buena parte de la zona urbana ya existía en los años cincuenta, mientras que algunas zonas han sido forestadas en estos años, principalmente por su cercanía al Parque Natural Montes de Málaga. Estos datos reflejan una importante disminución de la capacidad de los suelos para retener agua y un aumento del escurrimiento.

En relación al caudal instantáneo máximo, la comparación de resultados entre ambas fechas es análoga a lo ya comentado en relación al umbral de escorrentía. Para el periodo de retorno de 500 años, los arroyos Piletas y Pollo Zamora aumentan su caudal entre una y otra fecha en torno al 200 %, y algo menos (176 %) para el río de la Cala. En la cuenca del arroyo Jaboneros, este disminuye al 89 %.

En atención, en último lugar, a los resultados hidráulicos entre 1956 y 2010, la superficie total inundada aumenta un 17 % para el río de la Cala y se dobla para los arroyos del Rincón. En el caso del arroyo Jaboneros, disminuye un 13 %, lo que muestra la repercusión que los cambios en los usos del suelo han tenido sobre la peligrosidad de inundación. La altura media de la lámina en las secciones aumenta igualmente entre un 10 y un 31 % en todos los arroyos, salvo en el Jaboneros, donde disminuye un 9 %. Los valores medios de velocidad y tensión cortante del flujo pueden resultar confusos estadísticamente, dado que, al aumentar la zona inundada, los valores de estas nuevas áreas menos dinámicas diluyen el valor real. En estos casos, es preciso comparar el valor en cada sección de control, donde sí se aprecian cambios notables entre ambas fechas. En cuanto a la anchura inundada de la sección, esta se sitúa en torno a un incremento del 20 %, con las excepciones de la cuenca de Pollo Zamora, donde aumenta un 123 %, y del arroyo Jaboneros, donde desciende un 14 %.

En cuanto a la consideración de la erosión hídrica, las pérdidas de suelo en los distintos espacios de trabajo muestran importantes contrastes. Así, en 2010 las cuencas de La Cala y Jaboneros dan un valor potencial de pérdida de suelo de 37 y 46 toneladas por hectárea y año respectivamente, mientras que las cuencas de Piletas y Pollo Zamora alcanzan la destacable cifra de 101 y 59 toneladas por hectárea respectivamente. La diferencia entre las dos cuencas del Rincón de la Victoria responde a causas estadísticas, dado que la de Pollo Zamora tiene un porcentaje de suelo urbanizado comparativamente mayor a su vecina Piletas. En la provincia de Málaga, el valor medio de erosión es de 56,3 toneladas por hec-

tárea y año<sup>31</sup>, lo que se explica en que las dos primeras cuencas tienen un porcentaje de naturalización superior a la media provincial.

En 1956 la erosión potencial en el litoral era muy diferente a la actual. Así, las cuencas de Rincón de la Victoria se situaban en torno a 25 toneladas por hectárea y año, la del Jaboneros producía una media de 45 toneladas y la de Estepona no llegaba siquiera a las 20 toneladas. Con ello, en estas cinco décadas la cuenca de Estepona ha duplicado su pérdida de suelo y las del Rincón llegan a aumentar su erosión hasta el 435 % (Piletas), mientras que la del arroyo Jaboneros se ha mantenido constante. Frente a estas cifras, contrasta el hecho de que, en este mismo periodo de tiempo, la erosión potencial de la provincia de Málaga apenas haya aumentado en un 8 %, desde 52,1 a 56,3 toneladas por hectárea y año<sup>32</sup>, lo que deja en evidencia la muy diferente evolución seguida por los municipios litorales y los del interior.

Para el caso de la cuenca del río de la Cala, se dan algunas particularidades, como la presencia de peridotitas, litologías de muy baja erodabilidad, o el importante porcentaje de cubierta forestal densa. Aun así, las altas pendientes y la pérdida de parte de esta cubierta en las últimas décadas han acercado los valores de erosión potencial a la media provincial. Las restantes cuencas están conformadas principalmente por filitas, mayoritarias en la cuenca del arroyo Jaboneros, de baja erodabilidad, y por calizas, frecuentes en las cuencas del Rincón de la Victoria, y de erodabilidad media. Las pendientes, si bien no son tan elevadas como en la cuenca de Estepona, también son muy altas. Y el factor de cultivo y ordenación sí resulta más contrastado entre las cuencas del Rincón y la de Málaga, pues en el primer caso tres cuartas partes de la superficie son urbanas o están en proceso de urbanización, mientras que en el segundo este porcentaje se queda en el 10 %.

## Conclusiones

En las distintas áreas de estudio consideradas coincide en la actualidad la existencia de patrones territoriales mixtos, de crecimiento acelerado y desordenado, impulsado por desarrollos residenciales que se mezclan con usos agrarios tradicionales en distinto grado de aprovechamiento. Los factores humanos interfieren

<sup>31</sup> Gallegos; Perles, 2019.

<sup>32</sup> Gallegos; Perles, 2019.

con los naturales y viceversa, desdibujando la anterior nítida dualidad natural/artificial e intensificando la inducción humana del proceso natural. Y todo ello en un escenario de topografía abrupta, que hubiera sido limitante para buena parte de los aprovechamientos que se han ido desarrollando de no ser por la aplicación de soluciones de ingeniería que, en ocasiones, han inducido problemas de inundabilidad y movimientos en masa, y que en el mejor de los casos han generado una falsa sensación de seguridad a los vecinos de la zona que desarma la necesaria prevención y capacidad de reacción ante los desastres. Se trata, pues, de cuencas donde más allá de los múltiples condicionantes naturales directamente ligados con la peligrosidad, el patrón territorial se suma para configurar un claro ejemplo de espacios de riesgo, con procesos interrelacionados y sinérgicos.

Cuantificado este escenario en los estudios diacrónicos de inundabilidad y erodabilidad, nos encontramos con un incremento de la superficie inundable variable pero que puede estimarse en torno al 20 %. Para el arroyo Pollo Zamora, este valor se dobla, y en el arroyo Jaboneros disminuye un 14 %. En el primer caso, se obtienen valores tan expresivos por la importancia de los cambios que la urbanización (o mejor dicho pre-urbanización) de su cuenca han introducido en los comportamientos hidrológico e hidráulico de esta. En la cuenca del arroyo Jaboneros, la reforestación y regeneración de espacios naturales con vegetación de porte matorral han actuado en el sentido contrario, reduciendo el coeficiente de escorrentía y consecuentemente la mancha inundable. Respecto a la erosión potencial, la evolución es aún más explícita. De igual modo, en las cuencas del Rincón se obtienen los cambios más evidentes, llegando a multiplicarse por cuatro la producción de elementos sólidos por erosión de suelos. En la cuenca del Río de la Cala se dobla dicha producción y en la del Jaboneros, a pesar de que amplias superficies mejoran su estimación por las razones anteriormente citadas, el balance sigue saliendo negativo, aunque aquí el incremento sea apenas del 0,8 %. En definitiva, ambas comparativas permiten confirmar sin demasiado margen de duda la hipótesis de partida del trabajo, la influencia de los cambios del patrón territorial en la producción de los peligros de inundación y pérdida de suelos.

Respecto a las metodologías usadas, cabe asumir imprecisiones en el análisis de la mancha de inundabilidad, dado que el estudio hidrológico-hidráulico usado, con el protocolo de trabajo establecido en España para cálculos de inundabilidad, no es del todo apropiado para entornos mediterráneos o torrenciales. No obstan-

te, e independientemente del hecho de que este método es el más extendido en la actualidad, dado que será usado con una finalidad comparativa, el sesgo de error se compensa, pues es equiparable en todas las áreas de estudio. De igual modo, el modelo hidrológico toma sus datos del documento *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*, que data de 1999. Hubiera sido conveniente disponer de información más actualizada, pero igualmente la finalidad comparativa queda salvada al usarse las mismas fechas en todas las áreas de trabajo.

De otro lado, debe citarse el hecho de que en alguna de las áreas analizadas el relieve ha sido notablemente alterado, lo que supone un condicionante importante para la lámina de inundación resultante, pero no se dispone de modelo digital del terreno de 1956, sino únicamente de 2010, por lo que dicha variable no ha podido ser adecuadamente incorporada al estudio hidráulico de la fecha inicial.

En relación al análisis de erosión hídrica con la RUSLE, podríamos considerar algo similar a lo comentado para la inundabilidad. En este caso, podemos entender nuevamente que la modelización con esta formulación conlleva un grado de error que algunos autores estiman no menor<sup>33</sup>, pero al usarse de manera comparativa entre ambas fechas el posible error queda compensado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala Carcedo, Francisco Javier.** 2000: "La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (30), 37-49.
- Barriendos, Mariano; Gil-Guirado, Salvador; Pino, David; Tuset, Jordi; Pérez-Morales, Alfredo; Alberola, Armando; Costa, Joan; Balasch, Josep Carles; Castellort, Xavier; Mazón, Jordi; Ruiz-Bellet, Josep Lluís.** 2019: "Climatic and social factors behind the Spanish Mediterranean flood event chronologies from documentary sources (14th–20th centuries)". *Global and Planetary Change*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102997>
- Blöschl, Günter; Kiss, Andrea; Viglione, Alberto.** 2020: "Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years". *Nature*, (583), 560-566. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2478-3>
- Calvo García-Tornel, Francisco.** 2001: *Sociedades y territorios en riesgo*. Barcelona (España), Ediciones del Serbal.

<sup>33</sup> Robredo, 1993. Perles, 1997.

- Camarasa-Belmonte, Ana María.** 2021: "Flash-flooding of ephemeral streams in the context of climate change". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47(1), 121-142. <http://doi.org/10.18172/cig.4838>
- Camarasa-Belmonte, Ana María; Caballero López, María Paz; Iranzo García, Emilio.** 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. <https://doi.org/10.21138/bage.2714>
- Camarasa-Belmonte, Ana María; López García, María José; Pascual-Aguilar, Juan Antonio.** 2006: "Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía", en Camacho Olmedo, M.T.; Cañete Pérez, J.A.; Lara Valle, J.J. (Eds.), *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. Granada (España), Editorial Universidad de Granada, 46-63.
- Camarasa-Belmonte, Ana María; Rubio, María; Salas, Javier.** 2020: "Rainfall events and climate change in Mediterranean environments: an alarming shift from resource to risk in Eastern Spain". *Natural Hazards*, (103), 423-445. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03994-x>
- Conesa García, Carmelo; Pérez Cutillas, Pedro; García Lorenzo, Rafael; Martínez Salvador, Alberto.** 2011: "Cambios históricos recientes de cauces y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre". *Nimbus*, (29-30), 159-176.
- Critchley, William; Harari, Nicole; Mekdaschi-Studer, Rima.** 2021: *Restoring Life to the Land: The Role of Sustainable Land Management in Ecosystem Restoration*. UNCCD and WOCAT. <https://www.unccd.int/publications>
- Díez-Herrero, Andrés; Garrote, Julio.** 2020: "Flood risk analysis and assessment, applications and uncertainties: a bibliometric review". *Water*, 12(7), 2050. <https://doi.org/10.3390/w12072050>
- Díez-Herrero, Andrés; Garrote, Julio; Baillo, Rafael; Laín, Luís; Mancebo, María Jesús; Pérez, Fernando.** 2008: "Análisis del riesgo de inundación para planes autonómicos de protección civil: RICAM". *Riesgos Geológicos*, (12), 53-70.
- Díez-Herrero, Andrés; Laín Huerta, Luís; Llorente Isidro, Miguel** (Eds.). 2006: *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación*. Madrid (España), IGME.
- Díez-Herrero, Andrés; Laín Huerta, Luís; Llorente Isidro, Miguel** (Eds.). 2008: *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Madrid (España), IGME.
- Gallegos Reina, Antonio.** 2013: "Cuantificación y distribución cartográfica de la generación de escorrentía y sedimentos en la provincia de Málaga". *Baética*, (35), 57-74. <https://doi.org/10.24310/BAETICA.2013.v0i35.57>
- Gallegos Reina, Antonio.** 2018: *Caracterización y análisis de los riesgos naturales en el planeamiento urbanístico del litoral mediterráneo español*. Málaga (España), UMA.
- Gallegos Reina, Antonio.** 2019: "Litoralización, urbanización difusa y riesgos naturales: análisis y reflexión sobre la evolución del poblamiento en el litoral mediterráneo andaluz entre 1957 y 2016", en *IX Congreso Internacional de Ordenación del Territorio. Planificación y gestión integrada como respuesta*. Cantabria (España), Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio FUNDICOT, 251-256.
- Gallegos Reina, Antonio.** 2021: "Inundaciones en el litoral mediterráneo español en el actual contexto de Cambio Climático: orientaciones para su análisis y gestión. Estudio en la cuenca del arroyo Piletas (Málaga)". *Ería, revista de Geografía*, 2021-1, 33-53. <https://doi.org/10.17811/er.1.2021.33-53>
- Gallegos Reina, Antonio; Perles Roselló, María Jesús.** 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. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2740>
- Gallegos Reina, Antonio; Perles Roselló, María Jesús.** 2020: "Metodología para el análisis integrado de peligros asociados a la inundación: propuesta adaptada a la ordenación territorial en regiones mediterráneas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (86). <https://doi.org/10.21138/bage.2950>
- Gallegos Reina, Antonio; Perles Roselló, María Jesús.** 2022: "Problemáticas de los patrones y dinámicas territoriales periurbanos del litoral mediterráneo español frente a los riesgos naturales. Análisis aplicado en la provincia de Málaga". *Ciudad y Territorio*, 54(211), 97-114. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2022.211.6>
- García-Ruiz, José María; Nadal Romero, Estela; Lana Renault, Noemí; Beguería, Santiago.** 2013: "Erosion in Mediterranean landscapes: changes and future challenges". *Geomorphology*, (198), 20-36. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>
- Górgolas Marín, Pedro.** 2019: "Del «urbanismo expansivo» al «urbanismo regenerativo»: directrices y recomendaciones para reconducir la herencia territorial de la década prodigiosa del urbanismo español (1997-2007). Aplicación al caso de estudio del litoral andaluz". *Ciudad y Territorio Estudios territoriales*, 51(199), 81-100.
- Hamani, Monsef; Gracia, Francisco Javier; Benavente, Javier; Gomez, Juan Jesús.** 2016: "Estimación inicial de la producción hidrosedimentaria en la cuenca hidrográfica del Guadalete (Cádiz, España)", en Durán Valsero, Juan José; Montes Santiago, Manuel; Robador Moreno, Alejandro; Salazar Rincón, Ángel (Eds.), *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Actas de la XIV Reunión Nacional de Geomorfología. Málaga, 22-25 de junio de 2016*. Madrid (España), Instituto Geológico y Minero de España, 81-88.

- Hernández Ruiz, Mario.** 2008: *Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España*. Madrid (España), Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
- Horton, Robert.** 1945: "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approaches to quantitative morphology". *GSA Bulletin*, 56(3), 275-370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- ICONA. 1982: *Paisajes erosivos en el sureste español. Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación*. Madrid (España), Proyecto Lucdeme.
- ICONA. 1995. *Proyecto LUCDEME*. Madrid (España), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Kirkby, Morgan; Chorley, Richard.** 1967: "Throughflow, overland flow and erosion". *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, (12), 5-21. <https://doi.org/10.1080/02626666709493533>
- Llasat Botija, María del Carmen.** 2020: "Inundaciones y cambio climático en el Mediterráneo", en López Ortiz, M<sup>a</sup> Inmaculada; Melgarejo Moreno, Joaquín (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. Alicante (España), Universidad de Alicante, 127-142.
- López García, María José; Camarasa-Belmonte, Ana María; Mateu Bellés, Joan.** 2007: "Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraxet y Poyo (1956-1998)". *Boletín de la AGE*, (44), 69-94.
- Martínez Hernández, Carlos.** 2017: *El abandono de campos de cultivo en la región de Murcia. Causas y consecuencias medioambientales y socioeconómicas*, tesis doctoral, Universidad de Murcia, Murcia (España).
- Mateu, Joan.** 1990: "Avenidas y riesgos de inundación en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (10), 45-86.
- Máyer Suarez, Pablo; Pérez-Chacón Espino, Enma; Romero Martín, Lidia.** 2006: "Lluvia e inundaciones en los centros turísticos de Gran Canaria: el caso de San Bartolomé de Tirajana". *Investigaciones Geográficas*, (41), 155-173. <https://doi.org/10.14198/INGEO2006.41.10>
- MedECC. 2019: *Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. Preliminary assessment by the MedECC Network Science-policy interface*. MedECC, Sweden. <https://www.medecc.org/medecc-booklet-isk-associated-to-climate-and-environmental-changes-in-the-mediterranean-region/>
- Mérida Rodríguez, Matías; Perles Roselló, María Jesús; Blanco Sepúlveda, Rafael.** 1998: "Urbanización, infraestructuras y riesgos naturales en la periferia montañosa de la ciudad de Málaga. El caso del monte San Antón". *Baética*, 20, 129-157.
- Ministerio de Fomento. 1999: *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Madrid (España), Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transporte, Dirección general de carreteras.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2008: *Programa de acción nacional contra la desertificación*. Madrid (España), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Morte, Alfredo Ramón; Navarro, José Tomás; García, Estelita.** 2019: "Objective assessment of land use in hydrographical studies". *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, (234), 41-51. <http://doi.org/10.2495/RBM190051>
- Olcina Cantos, Jorge.** 2008: "El Mediterráneo, región-riesgo: una visión desde España", en Alario Trigueros, Milagros (Coord.), *España y el Mediterráneo: una reflexión desde la geografía española. Aportación española al XXXI Congreso de la Unión Geográfica Internacional: Túnez*. Madrid (España), Ministerio de Fomento, Instituto Geográfico Nacional, 29-34.
- Olcina Cantos, Jorge; Oliva Cañizares, Antonio.** 2020: "Medidas estructurales versus cartografía de inundación en la valoración del riesgo en áreas urbanas: El caso del barranco de las Ovejas (Alicante, España)". *Cuadernos Geográficos*, 59(2), 199-220. <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.10278>
- Olcina Cantos, Jorge; Rico Amorós, Antonio Manuel.** 2000: "Estudios sobre lluvias torrenciales e inundaciones en la provincia de Alicante (1982-1999)". *Serie Geográfica*, (9), 71-92.
- Perles Roselló, María Jesús.** 1997: *Medir la erosión: fragilidad erosiva en el valle del río Vélez*. Málaga (España), Centro de ediciones de la Diputación de Málaga.
- Perles Roselló, María Jesús.** 2020: "Territorial pattern and risk development. Contributions for a more efficient planning and management of high-risk territories", in Comité Español de la Unión Geográfica Internacional (Ed.), *Spain, bridge between continents. Spanish contribution to 34th International Geographical Congress. Istanbul 2020, vol. 2 (english version)*. Madrid (España), Centro Nacional de Información Geográfica, 95-121. <https://doi.org/10.7419/162.38.2020>
- Perles Roselló, María Jesús; Mérida Rodríguez, Matías.** 2010: "Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia Este de la ciudad de Málaga". *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 14.
- Ribas Palom, Anna María.** 2020: "Vulnerabilidad y adaptación a las inundaciones en espacios turísticos del litoral mediterráneo", en López Ortiz, M<sup>a</sup> Inmaculada; Melgarejo Moreno, Joaquín (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. Alicante (España), Universidad de Alicante, 983-1000.
- Robredo Sánchez, José Carlos.** 1993: *Erosión*. E.T.S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

- Romeu Moreno, E; Segura Beltrán, Francesca.** 2016: "Cambios en los usos del suelo y repercusiones sobre las inundaciones: el caso del Maresme", en García Marín, Ramón; Alonso Sarría, Francisco; Belmonte Serrato, Francisco; Moreno Muñoz, Daniel (Eds.), *Retos y tendencias de la Geografía Ibérica. Actas XV Coloquio Ibérico de Geografía. Murcia, España, 7-9 noviembre 2016*. Murcia (España), Asociación de Geógrafos Españoles, Associação Portuguesa de Geógrafos, Universidad de Murcia, 347-356.
- Rosselló Verger, Vicenç María.** 1989: "Los llanos de inundación", en Gil Olcina, Antonio; Morales Gil, Alfredo (Eds.), *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*. Alicante (España), Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, 243-283.
- Sánchez Martínez, Francisco Javier; Lastra Fernández, Javier** (Coord.). 2011: *Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables*. Madrid (España), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Sanchís-Ibor, Carles; Segura-Beltrán, Francesca; Almonacid-Caballer, Jaime.** 2017: "Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain)". *Catena*, (158), 357-370. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.012>
- Sims, Neil; Newnham, Glenn; England, Jacqueline; Guerschman, Juan; Cox, Simon; Roxburgh, Stephen; Viscarra Rosset, Raphael; Fritz, Steffen; Wheeler, Ichsani.** 2021: *Good Practice Guidance. SDG Indicator 15.3.1, Proportion of Land That Is Degraded Over Total Land Area*. Bonn (Germany), United Nations Convention to Combat Desertification.
- Témez, José Ramón.** 1991: "Extended and improved Rational Method. Version of the Highways Administration of Spain". *Proceedings of the 24th IAHR World Congress. Madrid, 9-13 de septiembre de 1991*, vol. A. Madrid (España), 33-40.
- Wischmeier, Walter; Smith, Dwight.** 1958: "Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions". *American Geophysical Union*, (39), 285-291. <https://dx.doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
- Wischmeier, Walter; Johnson, Douglas; Cross, Samuel.** 1971: "A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites". *Journal of soil and water conservation*, (26), 189-192.