

IMPLICACIONES GEOMORFOLÓGICAS DE LOS CAMBIOS DE USO EN CUENCAS MEDITERRÁNEAS

ANA TRIANO CORNEJO ([id](#))¹
JOSE DAMIAN RUIZ SINOGA ([id](#))¹

¹*Instituto de Hábitat, Territorio y Digitalización. Universidad de Málaga Avda. Arquitecto Peñalosa. Edificio de Investigación Ada Byron, Málaga*

Autor de correspondencia: sinoga@uma.es

Resumen. Esta comunicación se centra en el análisis de los riesgos del agua más destacables vinculados con los eventos pluviométricos extremos o por las modificaciones en el ciclo del agua junto con el cambio en los patrones climáticos, resultado de un incremento de la erosión en dos cuencas mediterráneas, durante estos últimos 30 años hasta la actualidad. Para ello, se han analizado los cambios de usos del suelo y sus implicaciones ambientales y ecogeomorfológicas en varias cuencas hidrográficas del mediterráneo, en Málaga. Dichas cuencas se enmarcan en una zona muy intrincada con fuertes pendientes, cercanía al mar y una litología muy erosionable, compuesta por materiales paleozoicos. También se han considerado sus características climáticas y su proximidad a ámbitos turísticos de la Costa del Sol, ya que es un espacio muy codiciado tanto por el sector turístico como por las actividades agrarias. Para abordar este estudio se ha utilizado una metodología basada en técnicas geomáticas, SIG, análisis de imágenes satelitales y manejo de bases de datos climáticos. Los resultados demuestran la afección en los procesos geomorfológicos tras los cambios de los usos del suelo hacia una agricultura más competitiva pero dependiente de unos recursos hídricos muy variables.

Palabras clave: cuencas mediterráneas, erosión, cambios de usos del suelo, eventos pluviométricos extremos.

GEOMORPHOLOGICAL IMPLICATIONS OF LAND USE CHANGES IN MEDITERRANEAN BASINS

Abstract. This communication focuses on the analysis of the most significant water risks linked to extreme rainfall events or changes in the water cycle together with the change in climate patterns, resulting from increased erosion in two mediterranean basins, during the last 30 years to the present. To this end, changes in land use and their environmental and ecogeomorphological implications in several mediterranean river basins in Malaga have been analyzed. These basins are framed in a very intricate area with steep slopes, its proximity to the sea and a very erodible lithology, composed of paleozoic materials. Its climatic characteristics and its proximity to tourist areas of the Costa del Sol have also been considered since it is a very coveted space both by the tourism sector and by agricultural activities. To address this study, a methodology based on geomatic techniques, GIS, analysis of satellite images and management of climate databases has been used. The results demonstrate the importance of geomorphological processes following changes in land use and the change in land use towards a more competitive agriculture dependent on a highly variable water cycle.

Keywords: Mediterranean basins, erosion, land use changes, extreme rainfall events.

1. INTRODUCCIÓN

El sur de España es un ámbito con una gran cantidad de problemas ambientales, y no ambientales, que suponen una enorme preocupación para la población, relacionados con el aumento de la frecuencia e

intensidad de los eventos extremos (olas de calor, sequía, torrencialidad) por los diversos riesgos de erosión del suelo o la modificación del ciclo del agua (Douville, *et al.*, 2021) que conllevan, aparte de otros desencadenados por el cambio climático (IPCC, 2001, 2014; Sillero-Medina *et al.*, 2019), ya que son claves en la región mediterránea para el estudio de la sensibilidad y la vulnerabilidad, resultado de la continua presión a que está sometida (Doblas-Reyes *et al.*, 2021).

Las acciones antrópicas y su impacto en estas regiones han ocasionado una progresiva degradación medioambiental (Sinoga y Martínez-Murillo, 2012) y están suscitando un gran interés por la enorme influencia en las diferentes actividades económicas, como la agricultura, la producción de energía, suministro de agua potable, y por su papel activador en la aparición de riesgos naturales como sequías, inundaciones... (Ferrari *et al.*, 2013). Nos centraremos principalmente en la agricultura debido a la importancia que esta posee en las pequeñas ollas o valles cerrados que orlan la cuenca mediterránea y a la continua presión sobre el territorio de una agricultura más competitiva frente a los sistemas agrarios tradicionales.

Estos procesos son clave en un ámbito en el que se reconoce una ligera tendencia hacia el déficit hídrico y una mayor aridez (Moreno, 2005; Hueso González *et al.*, 2018), lo que derivará en una de las áreas de mayor incertidumbre, las cuales aparecen englobadas en los escenarios climáticos futuros planteados por el IPCC (2007 y 2014). Por otro lado, el análisis de la dinámica de los episodios pluviométricos conecta con la capacidad erosiva y, por tanto, con su implicación geomorfológica, y su incidencia en aspectos socioeconómicos e infraestructurales (Sillero-Medina *et al.*, 2019, Pérez Cueva, 1983; Ruiz y Núñez, 2011). En este sentido, la zona de estudio está abocada a experimentar impactos climáticos y biogeográficos de gran intensidad resultando de una readaptación de su escenario biogeográfico afectado en gran medida por un aumento significativo de la evapotranspiración y la disminución de la precipitación, debido al progresivo alejamiento de la zona de generación del frente polar (Gabarrón Galeote *et al.*, 2015).

En este estudio analizamos los cambios de los usos del suelo producidos en los últimos 30 años, sus posibles afecciones en los procesos hidrogeomorfológicos e implicaciones ambientales y ecogeomorfológicas en dos cuencas hidrográficas del mediterráneo. Estas cuencas coinciden con un área de estudio muy intrincada por sus fuertes pendientes, su cercanía al mar y una litología muy erosionable. A su vez, se tienen en cuenta sus características climáticas y su proximidad a ámbitos turísticos de la Costa del Sol debido a que es un espacio muy codiciado tanto por el sector turístico como por las actividades agrarias.

Para abordar este estudio, se ha utilizado una metodología basada en las técnicas geomáticas y en los SIGs (Sistemas de Información Geográficos) para la obtención de los cambios de los usos del suelo y los usos actuales con imágenes satelitales, y en el manejo de bases de datos climáticos para analizar determinados procesos locales como la erosión hídrica y los eventos torrenciales en correlación a la cobertura vegetal de las cuencas de los últimos cinco años mediante el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Se han definido los eventos de torrencialidad, caracterizados por una alta intensidad en un periodo determinado de tiempo, con capacidad para producir importantes alteraciones en una determinada zona (Martín Vide y Llasat, 2000). Se ha tomado de referencia a Martín Vide (1989), la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2013) y Sillero Medina *et al.* (2019) que consideran aquellas precipitaciones ≥ 100 mm en 24h-1, 60mm en 1h-1 y 10mm en 10min como precipitaciones torrenciales.

Los resultados muestran dichos procesos locales y su impacto a los respectivos usos del suelo junto con un análisis de la evolución de los procesos erosivos.

2. OBJETIVOS

La estructura de este estudio está basada en tres principales objetivos que se desglosarán en distintos apartados que permiten comprender el crecimiento de estas cuencas hidrográficas: i) Detectar y analizar los cambios de uso del suelo producidos en los últimos 30 años; ii) Analizar los eventos torrenciales (E.T.) y los efectos de las precipitaciones sobre la cubierta vegetal y los usos del suelo producidos en dicho periodo; iii) Detectar los efectos geomorfológicos mediante una comparación histórica de los modelos digitales de elevaciones (MDE).

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del ámbito de estudio

Las dos cuencas mediterráneas de estudio se localizan al sur de España, en la cuenca hidrográfica mediterránea, más concretamente en la Málaga oriental, en la comarca de la Axarquía. Se han nombrado como Cuenca Occidental (671,77 ha) (Figura 1) y Cuenca Oriental (651,99 ha) (Figura 2). Ambas cuencas hidrográficas poseen unas características similares, pero tienen leves diferencias que explicarán el contraste entre ellas.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y datos

Para la obtención de los usos actuales de las cuencas de estudio, se ha utilizado imágenes satelitales como SPOT 6/7 (Satélite Para la Observación de la Tierra) de Airbus, PNOA de Máxima Actualidad (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) y el SIGPAC de 2022 (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas). Y para el histórico de los cambios de los usos del suelo se utilizó el MUCVA (Mapa de los Usos y Coberturas Vegetales del suelo de Andalucía) obtenidos de la REDIAM (Red de Información Ambiental). Las precipitaciones diezminutales que abarcan desde 1993 hasta 2021 (estaciones 43 y 44) se han obtenido a través de la Red SAIH Hidrosur (Sistema Automático de Información Hidrológica).

Con la base de datos obtenidas se han utilizado los siguientes programas: ArcGIS 10.8 (Licencia de la UMA, Universidad de Málaga), QGIS 3.22.2 (Licencia gratuita), SNAP (Licencia gratuita) y Microsoft Excel (Licencia UMA) para obtener los resultados deseados.

3.2.2. Métodos.

Para abordar este trabajo, se ha utilizado una amplia metodología, interdisciplinar y transversal basada en técnicas geomáticas mediante el uso de los SIG, análisis y usos de imágenes satelitales y un extenso manejo de base de datos climáticas con datos de precipitaciones de alta resolución temporal de las estaciones meteorológicas y caracterización del territorio.

Para la realización de los usos actuales del suelo, se estudió cómo clasificar dichos usos para que fuera compatible con otras clasificaciones y el análisis de los cambios de los usos del suelo fuera efectivo y lógico. En total, entre ambas cuencas, se adaptaron doce clases: Áreas agrícolas heterogéneas, Espacios abiertos de escasa vegetación, Formaciones de arboladas densas, Formaciones de pastizal, matorral, arbustivas y herbáceas con o sin arbolado, Superficies construidas y alteradas, Superficies en regadío, Superficies en regadío (subtropical), Superficies en regadío (invernadero y cultivos bajo plástico), Superficies en secano, Superficies en secano (olivar), Superficies en secano (viñedo) y Zonas húmedas y superficies de agua. Cabe destacar como uso predominante el de las Áreas agrícolas heterogéneas, la denominada trilogía mediterránea, ya que son una mezcla de pequeñas parcelas, parcelas abandonadas y parcelas arbustivas y herbáceas de cultivos que se localizan tan próximas unas a las otras que se ha generalizado en una misma clase.

A continuación, se han desarrollado dos clasificaciones supervisadas siguiendo la regla no paramétrica por paralelepípedos en la Cuenca Occidental y en la Cuenca Oriental hechas a partir de las imágenes SPOT 6 con 1,5m de resolución espacial. Tras comprobar numerosos errores iniciales en algunas categorías debido a su similar respuesta en su curva espectral, se digitalizaron estos usos a escala parcela, tomando de referencia las parcelas agrarias e imágenes del PNOA de máxima actualidad. Posteriormente se reclasificaron las categorías y se corrigieron los errores. La evaluación de la fiabilidad mediante la matriz de confusión y 50 puntos de muestreo en cada cuenca en todas las categorías y análisis estadísticos Kappa resultan de una fiabilidad en la Cuenca 1 de 88,3% y en la Cuenca 2 de 91,2%.

Para la detección de eventos de precipitación torrencial, en primer lugar, se han filtrado los datos de precipitaciones diezminutales que abarcan desde 1993 hasta 2021, en dos estaciones pluviométricas cercanas a las cuencas de estudio. La estación 43, perteneciente al Río de Benamargosa, más cercana a la Cuenca Occidental, y la estación 44 de Torrox, más cercana a la Cuenca Oriental.

Para la detección de los eventos torrenciales se filtraron las precipitaciones tomando en cuenta distintas escalas: a escala diaria (≥ 100 mm en 24 h), horaria (≥ 60 mm h⁻¹) y diezminutal (≥ 10 mm en 10 min).

Finalmente, se realiza una comparación de modelos digitales de elevaciones (MDE/DEM) más actual (2010) con el más antiguo (1977) a escala de 10 metros. Los MDE se han obtenido gracias a la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Usos del suelo actuales

La distribución de los usos del suelo actuales muestra como dentro de la diversidad hay una clara diferencia entre la Cuenca oriental (C2) y la Cuenca occidental (C1). Mientras en la cuenca oriental los 3 usos dominantes son principalmente áreas agrícolas heterogéneas y cultivos de regadío, en la occidental son las áreas agrícolas heterogéneas y los cultivos de secano. (Figuras 1 y 2)

Figura 1. Usos del suelo actuales de la Cuenca Occidental

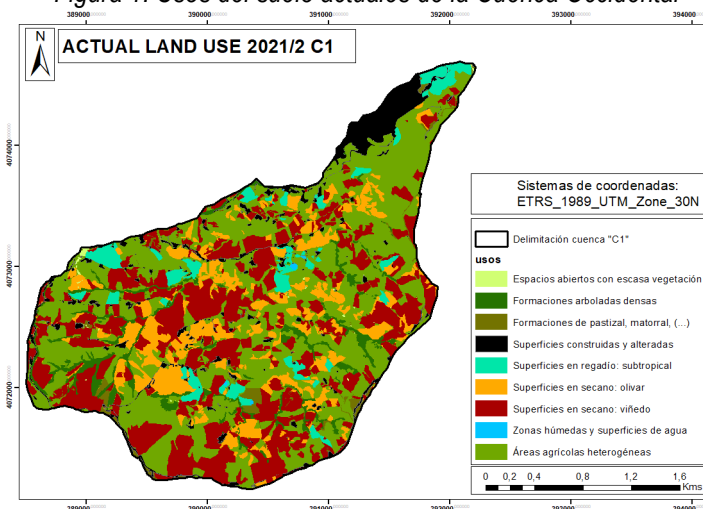
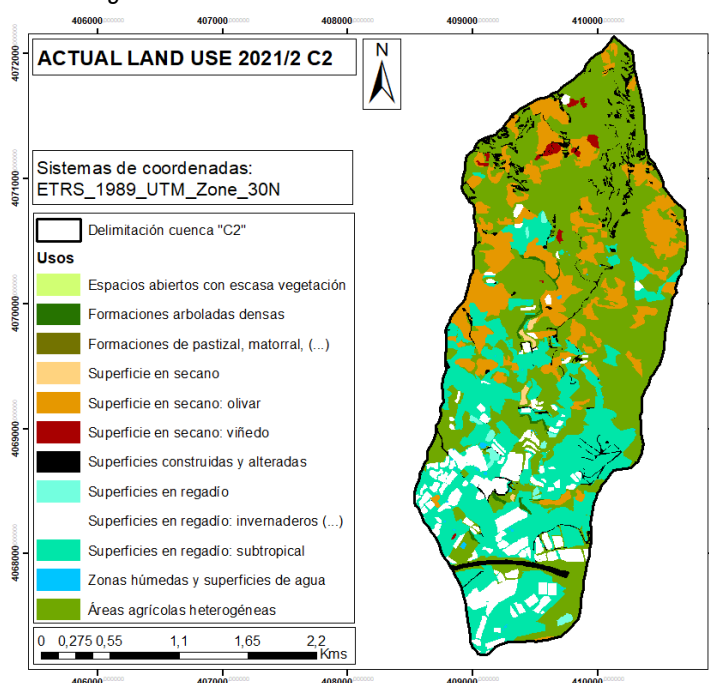


Figura 2. Usos del suelo actual de la Cuenca Oriental



El contraste entre ambas cuencas es manifiesto. En la Cuenca Occidental (Figura 1) se observa el predominio de cultivos de secano, como el olivar y el viñedo, siendo referencia del policultivo mediterráneo

de seco. Mientras que en la Cuenca Oriental (Figura 2) se observa una diferencia norte-sur, donde se aprecia la abundancia de cultivos de regadío, como los invernaderos y los subtropicales, en referencia a la irrupción de los cultivos subtropicales que se han consolidado.

4.2. Cambio de los usos del suelo de los últimos 30 años

Tabla 1. Evolución en porcentajes del área de los usos del suelo de la Cuenca Occidental

Cuenca Occidental	1977 (%)	1984 (%)	1999 (%)	2003 (%)	2007 (%)	2021/2 (%)
Áreas agrícolas heterogéneas	58,35	58,35	57,97	57,97	57,33	41,37
Espacios abiertos con escasa vegetación	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,18
Formaciones arboladas densas	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	4,74
Formaciones de pastizal, matorral (...)	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	1,66
Superficies construidas y alteradas	1,38	1,78	1,78	1,78	2,41	6,31
Superficies en regadío: subtropical	0,62	0,62	1,00	1,00	1,00	4,84
Superficies en seco	18,72	18,32	18,32	18,32	18,32	0,00
Superficies en seco: olivar	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	12,78
Superficies en seco: viñedo	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	28,04
Zonas húmedas y superficies de agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08

Tabla 1. Evolución en porcentajes del área de los usos del suelo de la Cuenca Oriental

Cuenca Oriental	1977 (%)	1984 (%)	1999 (%)	2003 (%)	2007 (%)	2021/2 (%)
Áreas agrícolas heterogéneas	85,25	86,91	70,93	72,30	70,49	45,05
Espacios abiertos con escasa vegetación	0,00	0,15	2,07	0,29	0,46	0,00
Formaciones de pastizal, matorral (...)	9,33	8,76	8,39	7,83	7,29	0,00
Formaciones arboladas densas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
Superficie en seco	3,18	1,47	0,24	0,13	0,08	0,29
Superficie en seco: olivar	1,61	1,55	1,55	1,55	1,55	14,93
Superficie en seco: viñedo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
Superficies construidas y alteradas	0,02	0,02	5,66	5,49	7,57	3,65
Superficies en regadío	0,61	1,15	2,28	0,95	1,12	0,61
Superficies en regadío: invernadero (...)	0,00	0,00	7,41	8,98	8,96	8,43
Superficies en regadío: subtropical	0,00	0,00	1,40	2,30	2,30	25,68
Zonas húmedas y superficies de agua	0,00	0,00	0,06	0,18	0,18	0,22

Las tablas 1 y 2 muestran la evolución y los cambios de los usos del suelo de las tres últimas décadas (desde 1977 hasta 2021/22). En la Cuenca Occidental (Tabla 1) predominan los cultivos en seco que se extienden sobre un 40,82% de la cuenca, destacando el viñedo con un 28,04% y el olivar, con un 12,78%. Enfatizamos su heterogeneidad ya que los cultivos de seco y de regadío se encuentran distribuidos a lo largo de toda la cuenca. La dinámica temporal muestra pocos cambios hasta tiempos recientes en los que se ha producido un descenso de las áreas agrícolas heterogéneas y las formaciones de pastizal-matorral hacia cultivos tradicionales como el viñedo, olivar (e incluso subtropicales, aunque esto probablemente está más relacionado con la mayor resolución de las imágenes disponibles que cambios reales en el territorio). En la Cuenca Oriental (Tabla 2), los cultivos de regadío son los predominantes, con un 34,72% de la superficie, destacando el 25,68% de subtropicales y un 8,43% de cultivos en invernaderos y cultivos bajo plástico. No obstante, esta distribución no es uniforme, como ya ha sido señalado, ya que los cultivos de regadío se concentran en el sur, mientras que los cultivos de seco predominan en el norte de la cuenca. La evolución desde 1977 hasta 2007 muestra una estabilidad hasta el periodo actual, en el que se produce una disminución de las Áreas agrícolas heterogéneas y del pastizal hacia cultivos tanto de seco (olivar) como de regadío (subtropicales e invernaderos). Es decir, se empieza a observar el abandono del modelo de segregación de los cultivos en pequeñas parcelas a consolidarse un cultivo predominante y una mayor eficiencia del terreno resultado de la desaparición paulatina de las formaciones de pastizal y matorral.

4.3. Detección de los eventos torrenciales y análisis de los efectos de las precipitaciones sobre la cubierta vegetal y los suelos

Los datos pluviométricos se han clasificado en 3 categorías:

- Aquellas precipitaciones que superen los 10 mm en 10 minutos en un día, divididos en horas y subdivido en diezminutales: con un total de 35 eventos torrenciales, 16 eventos en la estación 43, lo que supondría una recurrencia teórica de un evento cada 21 meses y 19 eventos en la estación 44 repartidos a lo largo de 1993 hasta 2021, lo que significaría una recurrencia teórica de un evento cada 17,6 meses.

Tabla 1 y 2. E.T. >10 en 10min de la estación 43 (Cuenca Occidental) y 44 (Cuenca Oriental)

Año	Mes	Día	Precipitación (mm)
1994	11	4	10,4
1997	9	27	10
1999	11	11	11,4
1999	11	11	10,1
2003	11	22	10,9
2006	9	12	11,8
2009	2	1	13
2010	1	7	10,6
2010	12	7	11,5
2012	9	28	13,2
2012	11	17	10,5
2012	11	17	27,2
2015	9	30	20,7
2015	9	30	15,4
2017	11	3	10,3
2021	5	23	12,7

Año	Mes	Día	Precipitación (mm)
2002	3	3	11,6
2002	11	14	12,5
2007	9	21	11,4
2007	9	21	12,1
2007	9	21	12,9
2007	9	21	12,9
2007	9	21	10,1
2008	10	9	10,1
2008	11	19	10
2010	12	22	10,8
2012	9	28	20,9
2012	9	28	10,1
2014	1	18	13,2
2015	9	30	10
2015	9	30	11
2015	10	20	10
2016	1	30	13,4
2016	1	30	12
2020	11	5	10,7

- Aquellas precipitaciones que superen los 60 mm en una hora en un día, divididos en horas y subdivido en diezminutales: en este caso, al filtrarlo no existen días que superen esta cifra.
- Aquellas precipitaciones que superen los 100 mm en 24 horas: con un total de 4 eventos torrenciales, 3 eventos en la estación 43, lo que supondría una recurrencia teórica de un evento de estas características cada 9 años y 1 evento en la estación 44, para todo el periodo considerado.

Tabla 3 y 4. E.T. >100mm en 24h de la estación 43 (Cuenca Occidental) y 44 (Cuenca Oriental)

Año	Mes	Día	Precipitación (mm)
2008	10	31	106,8
2009	2	1	113
2012	11	17	129,4

Año	Mes	Día	Precipitación (mm)
2007	9	21	124,4

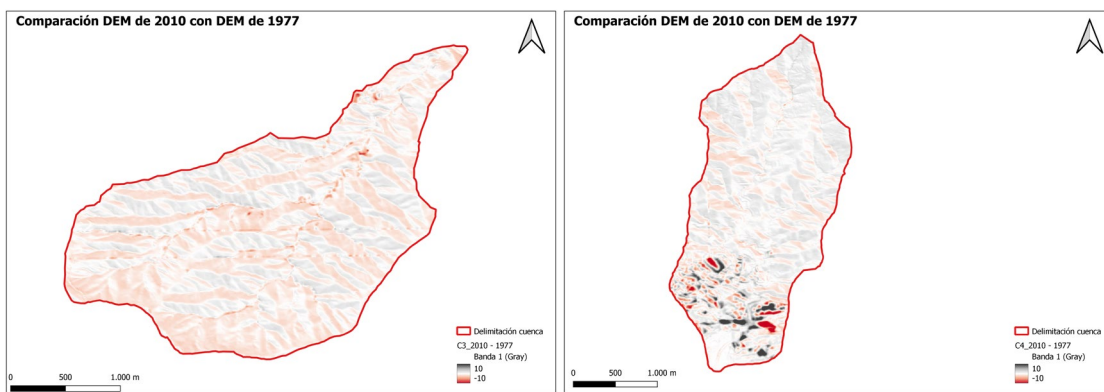
Según esta clasificación, los eventos de un mayor carácter torrencial se concentran en aquellos que superan los 10 mm en 10 minutos, siendo este evento torrencial el proceso más agresivo que afectará negativamente al suelo. Este tipo de eventos se concentran en los meses de otoño e invierno, destacando el año 2015-16 con 7 eventos diezminutales. No se ha observado ningún evento torrencial en las precipitaciones mayores de 60 mm en 1 hora, pero sí 4 eventos superiores a 100 mm en 24 horas.

Cabe destacar que estos eventos torrenciales recurrentes poseen una elevada capacidad erosiva que degrada el sistema geomorfológico (López Bermúdez y Romero Díaz, 1993; Ruiz Sinoga *et al.*, 2011) y la capacidad productiva del suelo (Encina e Ibarra, 2003; Hueso González *et al.*, 2018). Estos eventos suceden durante todo el año, aunque en este caso de estudio se concentran mayoritariamente en otoño e invierno, especialmente en las estaciones más próximas a la costa (Acero *et al.*, 2011; Rodrigo, 2010) donde interviene el factor mediterraneidad (I Clar, 1988; De Castro *et al.*, 2005; Gabarrón Galeote *et al.*, 2015).

4.4. Cambios geomorfológicos en la superficie del terreno

Han sido observadas las deformaciones del suelo como la erosión hídrica (por cárcavas), deslizamientos, desmontes y otros movimientos de tierras producidos por la acción antrópica, destacando dos grandes cambios geomorfológicos, los relativos a procesos naturales derivados de la torrencialidad en ambas cuencas y los antrópicos que se han producido principalmente en la Cuenca Oriental. Esta diferencia antrópica se debe a los desmontes y rellenos que se han producido en el sur de la Cuenca Oriental, como consecuencia de las obras de la Autovía A-7 (Autovía del Mediterráneo), junto con otras construcciones y movimientos de tierra (bancales) para la agricultura de subtropicales y/o invernaderos. Así, el cambio de uso del suelo ha modificado el patrón orográfico, lo que ha reducido los procesos de erosión en las terrazas, por un lado, pero ha puesto a disposición de la energía derivada de la torrencialidad, mucho suelo removido, en un proceso similar al producido en la costa de la provincia de Granada (Fernández *et al.*, 1994; Irigaray *et al.*, 2007; Chacón *et al.*, 2020).

Figura 3 y 4. Comparación DEM de 2010 con DEM de 1977 de cada cuenca



5. CONCLUSIONES

En las dos cuencas analizadas, a pesar de su cercanía, se observan diferencias tanto en los usos del suelo actuales como en la evolución de estos en las últimas tres décadas, así como en la dinámica de la torrencialidad existente. En ambas hemos podido constatar una continua evolución de los cultivos de regadío y, por ende, una desaparición paulatina de los cultivos de secano.

La actualización realizada de la clasificación del MUCVA muestra un avance de las áreas antrópicas que se traduce en una mayor urbanización y en un aumento de las superficies de regadío, tanto invernaderos como de cultivos subtropicales, especialmente en la Cuenca Oriental. Es manifiesto el contraste radical entre la Cuenca Occidental y la Cuenca Oriental, la primera como la clásica cuenca mediterránea basada en cultivos tradicionales de secano y la Oriental con un importante desarrollo de los cultivos subtropicales en regadío, adaptados a las necesidades económicas de las zonas que lo hacen más agresivo y competitivo.

En ambas cuencas, y desde el punto de vista pluviométrico la fenomenología torrencial está presente, debido a la gran cantidad de eventos torrenciales constatados, lo que se traduce en un aumento de los procesos de erosión hídrica, que empobrece el suelo, disminuyendo la calidad del mismo, incrementando su vulnerabilidad debido a los procesos de impacto de gotas de lluvia o splash, especialmente en ambientes de fuertes laderas.

Respecto a la comparación de los MDE y a los procesos erosivos, la posibilidad de observar procesos de acarreamiento queda dificultada por el desplazamiento de los modelos que afecta más a estas zonas de barrancos y divisorias de aguas. Para la detección más completa del terreno requeriría una observación detallada mediante modelos más precisos obtenidos (Fernández *et al.*, 2021) por fotogrametría ad-hoc o datos LiDAR, y por supuestos de la observación de fotografías aéreas. Sin embargo, los procesos geomorfológicos son lentos y que se necesita una mayor escala temporal para observar grandes cambios. A pesar de esto, con una escala temporal de 30 años se ha observado en la cuenca oriental una mayor

dinámica geomorfológica de origen antrópico mientras que la derivada de procesos naturales con la misma escala temporal apenas poseen una gran diferencia.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos de investigación: Effects of land use changes on eco-geomorphological dynamics in mediterranean environments, at different scales, in the context of global change (PID2019-104046RB-I00) financed by the Spanish Ministry of Science and Climate Crisis in the Andalusian Mediterranean: incidence in Agriculture and Depopulation. Vulnerability, risks and adaptation strategies (CCLIMAAD). (UMA20-FEDERJA-141) Financed by Junta de Andalucía, with FEDER Funds.

REFERENCIAS

- Acero, F. J., García, J. A., Gallego, M. C. (2011). Peaks-over-threshold study of trends in extreme rainfall over the Iberian Peninsula. *Journal of Climate*, 24, 1089–1105. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3627.1>
- AEMET (2013). *Breve guía descriptiva de los fenómenos meteorológicos recogidos en el Sistema de notificación de observaciones atmosféricas singulares*, SINOBAS. In Agencia Estatal de Meteorología (Eds.). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Airbus (2021): *Pioneering sustainable aerospace*. Airbus.
- Chacón, J., Alameda-Hernández, P., Chacón, E. (2019). The Calaiza landslide on the coast of Granada (Andalusia, Spain). *Bull Eng Geol Environ* 78, 2107–2124. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1246-1>
- De Castro, M., Martín Vide, J., y Alonso, S. (2005). El Clima de España: Pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. In Ministerio de Medio Ambiente (Eds.), *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático* (pp. 1–64). Universidad de Castilla La Mancha, Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.
- Doblas-Reyes, F.J., A.A. Sörensson, M. Almazroui, A. Dosio, W.J. Gutowski, R. Haarsma, R. Hamdi, B. Hewitson, W.-T. Kwon, B.L. Lamptey, D. Maraun, T.S. Stephenson, I. Takayabu, L. Terray, A. Turner, Z. Zuo, (2021): Linking Global to Regional Climate Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1363–1512, doi: 10.1017/9781009157896.012
- Douville, H., K. Raghavan, J. Renwick, R.P. Allan, P.A. Arias, M. Barlow, R. Cerezo-Mota, A. Cherchi, T.Y. Gan, J. Gergis, D. Jiang, A. Khan, W. Pokam Mba, D. Rosenfeld, J. Tiemey, O. Zolina, (2021). *Water Cycle Changes*. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055–1210, doi: 10.1017/9781009157896.010.
- Encina Rojas, A., Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y Desarrollo*, 25, 5–10. Recuperado de: http://revistascientificas.una.py/index.php/RE/article/view/839/pdf_139
- Fernández T, Irigaray C, Chacón J. (1994). Large scale analysis and mapping of determinant factors of landsliding affecting rock massifs in the eastern Costa del sol (Granada, Spain) in a *GIS 7th international IAEG congress*. Balkema (Rotterdam). VI: 4649-4658. Lisbon, Portugal. ISBN: 90-5410-509-7
- Fernández, T., Pérez-García, J.L., Gómez-López, J.M., Cardenal, J., Moya, F., Delgado, J. (2021). Multitemporal landslide inventory and activity analysis by means of aerial photogrammetry and LiDAR techniques in an area of southern Spain. *Remote Sens.*, 13, 211.
- Ferrari, E., Caloiero T., y Coscarelli, R. (2013). Influence of the North Atlantic Oscillation on winter rainfall in Calabria (southern Italy). *Theoretical and Applied Climatology*, 114, 479–494. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0856-6>
- Gabarrón Galeote, Martínez Murillo J.F, Ruiz Sinoga J.D., Romero Diaz A. (2015). Incidencia de la dinámica pluviométrica en la degradación del suelo. Sur de España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (68), 177-204.

- Hueso González, P; Martínez Murillo, J.F., y Muñoz Rojas, M. (2018). The role of Organic amendments in drylands restoration. *Current Opinion in Environmental Sciences and Health*, 5, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.002>
- IPCC (2001). *Climate change 2001: the scientific basis*. In J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, y C. A. Johnson (Eds.), Contribution of working group I to third assessment report of the intergovernmental panel on climate change (pp. 881). United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: the physical science basis*. In Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Avery KB, Tignor M, Miller HL (Eds.), *Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2014). Fifth Assessment Report. IPCC. Recuperado de: <http://ipcc.ch/report/ar5/>
- Irigaray, C., Fernández, T., El Hamdouni, R., Chacón, J. (2007). Evaluation and validation of landslide susceptibility maps obtained by a GIS matrix method: Examples from Betic Cordillera. *Nat. Hazards*, 41, 61-79.
- Jansá i Clar, A. (1988). El clima de las Baleares. Mediterraneidad y singularidad. *Treballs de Geografia*, 39, 39–43. Recuperado de: <https://www.raco.cat/index.php/TreballsGeografia/article/view/104034>
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, M. A. (1993). Génesis y consecuencias erosivas de alta intensidad en la región mediterránea. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 18–19, 7–28. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=81497>
- Martín Vide, J., Llasat, M.C. (2000). Las precipitaciones torrenciales en Cataluña. *Serie Geográfica*, 9, 17–26.
- Martín Vide, J. (1989). Precipitaciones torrenciales en España. *Revista geográfica Norba*, 6–7, 63–70.
- Moreno, J. M. (2005). Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: Universidad de Castilla-La Mancha. Recuperado de: <http://www.mma.es/oecc>
- Open Access Hub. (s. f.). <https://scihub.copernicus.eu/>
- Pérez Cueva, A. J. (1983). Precipitaciones extraordinarias en la península Ibérica. *Agricultura y sociedad*, 28, 189–203.
- Red de Información Ambiental de Andalucía - Portal Ambiental de Andalucía. (s. f.). <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam>
- Red Hidrosur (2023). <http://www.redhidrosurmedioambiente.es/saih/>
- Ruiz García, J. A., Núñez Mora, J. A. (2011). Sobre los periodos de retorno de las precipitaciones extraordinarias en la Comunidad Valenciana. *Calendario Meteorológico 2012* (AEMET), 265–273.
- Ruiz Sinoga, J. D., García Marín, R., Martínez Murillo, J. F., y Gabarrón Galeote, M. A. (2011). Precipitation dynamics in southern Spain: Trends and cycles. *International Journal of Climatology*, 31, 2281–2289. <https://doi.org/10.1002/joc.2235>
- Rodrigo, F. S. (2010). Changes in the probability of extreme daily precipitation observed from 1951 to 2002 in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 30(10), 1512–1525. <https://doi.org/10.1002/joc.1987>
- Sillero Medina, J. A., Hueso González, P., Ruiz Sinoga, J. D. (2019). La precipitación geomorfológica como elemento clave en el modelado del paisaje mediterráneo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 82, 2780, 1–40. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2780>
- Sinoga, J. D. R., Martínez-Murillo, J. F. (2012). Respuesta eco-hidrológica de los suelos en campos abandonados (sur de España). *Cuadernos de investigación geográfica / Geographical Research Letters*, 38, 31-52.
- Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). (s. f.). <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac/>