

AFECCIÓN ECO-GEOMORFOLÓGICA DE LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LA DINÁMICA TERRITORIAL DE LA CUENCA MEDITERRÁNEA ANDALUZA DURANTE EL PERIODO 1991-2021 EN EL CONTEXTO DE CAMBIO GLOBAL

DAVID CARRUANA-HERRERA ([id](#))¹
FEDERICO BENJAMÍN GALACHO-JIMÉNEZ ([id](#))¹
JOSÉ DAMIÁN RUIZ-SINOGA ([id](#))¹

¹*Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, s/n, 29071 Málaga*

Autor de correspondencia: carruana@uma.es

Resumen. Los cambios en los usos del suelo afectan de manera significativa al sistema eco-geomorfológico en entornos semiáridos y la intensidad aumenta cuanto más frágiles son las condiciones ambientales y más vulnerable el ecosistema, como ocurre en la cuenca mediterránea andaluza. La constante modificación de los usos agrícolas y forestales se produce de manera desigual en el territorio, siendo variable la respuesta del sistema eco-geomorfológico, donde una dinámica de cambios agresiva con los recursos naturales puede desencadenar la desertificación. Los patrones climáticos están generando aumento de sequías de mayor intensidad y los modelos indican peores escenarios futuros, esto podría modificar la configuración paisajística actual, con todos los impactos socioambientales para la agricultura, los ecosistemas terrestres y los servicios ecosistémicos. El objetivo es determinar los cambios de uso del suelo para el periodo 1991-2020 y su incidencia en los procesos eco-geomorfológicos ante los nuevos escenarios del clima en las comarcas agrarias de la cuenca mediterránea andaluza. Del análisis se obtienen 3 tendencias significativas con un patrón espacial claro: forestal/regadío se da en la mayor parte de la franja litoral; forestal/secano se extiende por las comarcas del interior; y el secano ocupa el extremo oriental. Así, podemos comprobar la afección de las sequías al sistema eco-geomorfológico, mediante la aplicación del SPEI, para verificar si las diferentes dinámicas territoriales se ajustan al cambio global (CG).

Palabras clave: eco-geomorfología, cambios de uso del suelo, cambio global, SPEI.

ECO-GEOMORPHOLOGICAL EFFECTS OF LAND USE CHANGES ON THE TERRITORIAL DYNAMICS OF THE ANDALUSIAN MEDITERRANEAN BASIN DURING THE PERIOD 1991-2021 IN THE CONTEXT OF GLOBAL CHANGE

Abstract. Changes in land use significantly affect the eco-geomorphological system in semi-arid environments and the intensity increases the more fragile the environmental conditions and the more vulnerable the ecosystem, as is the case in the Andalusian Mediterranean basin. The constant modification of agricultural and forestry uses occurs unevenly across the territory, with the response of the eco-geomorphological system being variable, where a dynamic of aggressive changes to natural resources can lead to desertification. Climate patterns are generating an increase in droughts of greater intensity and models indicate worse future scenarios, which could modify the current landscape configuration, with all the socio-environmental impacts for agriculture, terrestrial ecosystems and ecosystem services. The objective is to determine the changes in land use for the period 1991-2020 and their impact on eco-geomorphological processes in the face of new climate scenarios in the agricultural districts of the Andalusian Mediterranean basin. The analysis shows three significant trends with a clear spatial pattern: forest/irrigated land is found in most of the coastal strip; forest/ unirrigated land is found in the inland areas; and unirrigated land occupies the far east. Thus,

we can check the effect of droughts on the eco-geomorphological system, by applying the SPEI, in order to check whether the different territorial dynamics are in line with global change (CG).

Keywords: eco-geomorphological, changes in land use, global change, SPEI.

1. INTRODUCCIÓN

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, 1994) define la desertificación como un proceso complejo que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales en el contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado tanto de las variaciones climáticas como de las acciones humanas adversas. Pero más que en los cambios en el clima, tiene su origen en el uso y manejo de los recursos naturales por el ser humano (Huaico, A.I. *et al.*, 2018), constituyendo en la actualidad el mayor problema de degradación de la tierra, con implicaciones económicas, sociales y medioambientales (Secretariat of the UNCCD, 2014). De este modo se hace necesario estudiar dicho proceso mediante dos vías: identificando los impactos de los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal, y analizando los efectos del clima sobre estos (Sivakumar, 2007) (Puigdefábregas y Mendizabal, 1998) (Reynolds *et al.*, 2007).

La región mediterránea es una de las zonas del mundo reconocidas como punto caliente del CG (IPCC, 2022). Por un lado, dentro de esta región y más concretamente en la cuenca mediterránea andaluza, hay bien definido un gradiente pluviométrico, que oscila desde el clima mediterráneo húmedo al árido. A lo largo de este gradiente, un pequeño cambio es suficiente para modificar los límites entre estos dos ámbitos eco-geomorfológicos, de modo que muchas áreas mediterráneas situadas en el entorno de dicho umbral pueden ser sensibles a cambios (Lavee *et al.*, 1998) (Ruiz-Sinoga *et al.*, 2015). Por otro lado, existe un fuerte proceso migratorio hacia las ciudades costeras de esta región, que presentan un gran dinamismo, ejerciendo una fuerte presión sobre los recursos naturales disponibles y generando fuertes desequilibrios (Woltz, M. *et al.*, 2018). Así, la posible incidencia del calentamiento global en el sistema eco-geomorfológico de dichas zonas, en especial las más áridas y propensas a la desertificación, las hace más vulnerables a la explotación excesiva y los usos inapropiados de la tierra y los recursos naturales.

El agua es el recurso natural que regula este tipo de ambientes en transición y se ha convertido en el más importante a nivel mundial (IPCC, 2022). Desde el punto de vista de la geomorfología, hay tres aspectos importantes del clima que deben tenerse en cuenta: (a) cualquier disminución que pueda producirse en la cantidad anual de precipitaciones; (b) la duración de los episodios de precipitaciones; y (c) cualquier aumento de los intervalos entre episodios de precipitaciones. Estos factores, junto con el aumento de la temperatura, provocan una menor disponibilidad de agua, con las consecuencias negativas que eso conlleva para el sistema eco-geomorfológico (Lavee *et al.*, 1998). El índice estandarizado de evapotranspiración por precipitación (SPEI) (Vicente Serrano *et al.*, 2010) se basa en datos de precipitación y temperatura, y tiene la ventaja de combinar el carácter multiescalar con la capacidad de incluir los efectos de la variabilidad de la temperatura en la evaluación de la sequía. En una primera aproximación, se pretende analizar la escala regional, por lo que se van a utilizar los valores del SPEI a largo plazo (60 meses) para detectar los periodos de sequía y la intensidad de las mismas para escenarios futuros.

De este modo, tenemos un área de estudio vulnerable, donde los cambios en el clima y las presiones antrópicas pueden acelerar el proceso de desertificación en gran parte del territorio. Las dinámicas territoriales, obtenidas a partir de un análisis espacio-temporal de los cambios de uso del suelo, pueden ser un indicador del nivel de afección al sistema eco-geomorfológico, principalmente ante escenarios futuros de sequía extrema.

En este trabajo se aborda el análisis jerárquico de las dinámicas de cambios de los usos del suelo en el periodo temporal de 1991 a 2021 con los objetivos siguientes: i. Clasificar y agrupar los cambios de uso del suelo para el periodo 1991-2021 en función de la afección eco-geomorfológica y para el cálculo de las tendencias; ii. Calcular los porcentajes de cambios de uso del suelo para cada comarca agraria, con el fin de poder realizar comparaciones e identificar posibles similitudes entre las mismas; iii. Analizar las tendencias dominantes en los cambios de uso del suelo por comarcas y comprobar su relación con los datos del SPEI a 60 meses para escenarios futuros, con la idea de establecer posibles dinámicas territoriales que mejoren o empeoren el actual sistema eco-geomorfológico.

2. METODOLOGÍA

2.1 Ámbito de estudio

El ámbito de estudio se encuentra en la región de la cuenca mediterránea andaluza, más concretamente en el territorio dentro de los límites administrativos que conforman las comarcas agrarias de dicha cuenca. En total son 15 comarcas (Figura 1) que se insertan dentro de las Cordilleras Béticas litorales, con un gradiente tanto pluviométrico como térmico que provoca una gran diversidad de escenarios territoriales diferentes.

Figura 1. Comarcas agrarias de la cuenca mediterránea andaluza



Fuente: elaboración propia.

2.2 Fuentes de información y tratamiento de datos

El proceso de análisis comienza con el establecimiento del criterio temporal, en nuestro caso, como se ha comentado, los años 1991 y 2021. Utilizando herramientas de geoprocésamiento que nos ofrecen los SIG, realizamos la intersección geométrica de las capas de usos del suelo de dichos años y creamos una nueva capa que computa las coincidencias de ambas y de los atributos asociados a las mismas. Los resultados de la operación realizada se trasladan a las matrices de transición para el periodo. Se realiza una matriz de tabulación cruzada, que se nutre de la información generada.

Como fuente principal de datos para el análisis espacio-temporal de los cambios en los usos del suelo se han usado las capas de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía de dos fechas diferentes: 1991 y 2021. Para la fecha de 1991 se ha utilizado la cartografía de los usos y las coberturas vegetales del suelo de Andalucía del año 1984 a escala 1:25.000, actualizada entre los años 1988 y 1990. Fotointerpretada a partir de vuelos fotogramétricos 1:10.000 e imágenes de satélite Landsat TM (1:50.000). La leyenda utilizada para la asignación de clases es también jerárquica y cuenta con 144 clases en su nivel más desagregado, pudiendo concretarse en 7 el nivel de máxima agrupación. Para la fecha 2020 se ha utilizado la capa de información del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas, SIGPAC del año 2020, se trata de una base de datos gráfica de todas las parcelas de cultivo digitalizadas, con una precisión equivalente, al menos, a una cartografía a escala 1:10.000.

Una vez obtenidos los cambios de uso del suelo para el periodo 1991-2020, se procede a la agrupación de los mismos en función del grado de afección eco-geomorfológica y las tendencias en los cambios de uso (Tabla 1). Para los grados de afección eco-geomorfológica se obtienen 6 grupos que van del 0 al 5, en el que 0 indica que la afección al sistema no ha cambiado y del 1 al 5 se produce un aumento progresivo en la degradación del mismo, siendo 5 el nivel más alto; para la tendencia se obtienen 4 grupos, que servirán para identificar el cambio de uso predominante para cada comarca agraria.

Tabla 1. Agrupación de los cambios de uso del suelo para el periodo 1991-2020 en función del grado de afección eco-geomorfológica y la tendencia predominante

Cambios de uso del suelo		Afección eco-geomorfológica	Tendencia
1991	2020		
Regadío	Regadío	0	Sin tendencia
Regadío	Forestal	1	Forestal
Regadío	Secano	2	Secano
Forestal	Secano	3	
Secano	Regadío	4	Regadío
Forestal	Regadío	5	

Fuente: elaboración propia.

A partir de estas agrupaciones se calcula la superficie (ha) ocupada para cada comarca, además de los porcentajes de cambio sobre el total de la superficie comarcal y sobre el total de los cambios producidos en el periodo analizado. De esta manera se pueden comparar los datos de las comarcas en función de su tamaño y la evolución de los cambios producidos en las mismas. A la hora de calcular las tendencias se han utilizado los porcentajes de cambio dentro de cada comarca y el criterio para que exista tendencia ha sido escoger los valores que se situaban por encima del 30% sobre el total.

Para la proyección de escenarios futuros se han utilizado los datos del SPEI a 60 meses en los periodos 2015-2040 y 2071-2100, con ellos se va a analizar los patrones de las sequías a largo plazo, lo que indica el estado de las reservas de agua tanto superficiales como subterráneas. Dichos datos están disponibles en la web de la Red de información ambiental de Andalucía (REDIAM) y pertenecen al proyecto Escenarios de cambio climático en Andalucía (Escenarios-CMIP6-Andalucía, 2021), que aplica modelos de downscaling local usando como base los resultados obtenidos a escala global de los modelos de circulación general del sexto informe de evaluación del IPCC, con los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) actualizados. Se ha escogido el modelo europeo EC-Earth Consortium (2019) y el escenario SSP2: Middle of the Road. Para la clasificación de la intensidad de las sequías se ha utilizado como referencia la guía de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012), dividiendo los valores situados en torno a la media entre secos y húmedos (Tabla 2). Para el tratamiento de todos los datos y la generación de la cartografía se ha utilizado el software ArcGIS Pro.

Tabla 2. Clasificación de las sequías para los valores del SPEI

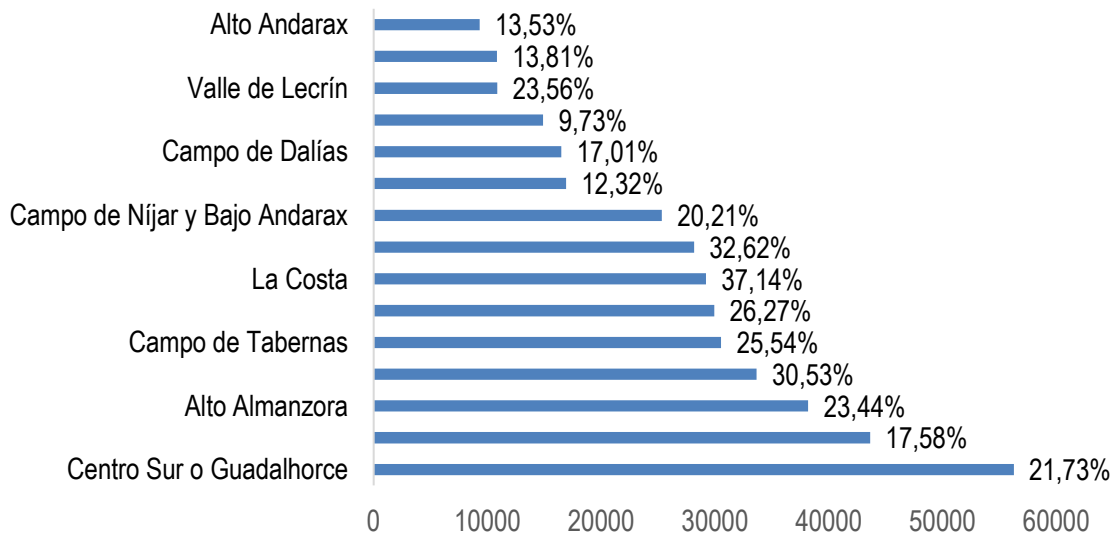
Valores	Intensidad
$\geq 2,00$	Extremadamente húmedo
1,50 – 1,99	Muy húmedo
1,00 – 1,49	Moderadamente húmedo
0,00 – 0,99	En la media húmedo
-1,00 – 0,00	En la media seco
-1,00 – -1,49	Moderadamente seco
-1,50 – -1,99	Severamente seco
$\leq -2,00$	Extremadamente seco

Fuente: Elaboración propia a partir de OMM (2012).

3. RESULTADOS

En la Figura 2 se puede apreciar la superficie de cambio de uso en hectáreas y lo que representa ese cambio en porcentajes con respecto al total. Es importante tener en cuenta que puede haber comarcas con una gran extensión en la que un bajo porcentaje de cambio nos esconda la realidad y viceversa. La comarca de Antequera tiene un 17,58% de cambio, que se traduce en 43628,62 ha; mientras la comarca de La Costa tiene un 37,14% de cambio, que se traduce en 29202,24 ha. La Costa tiene más del doble de porcentaje de cambio y casi 15000 ha menos que Antequera.

Figura 2. Superficie de cambio de uso del suelo (ha) y porcentaje sobre el total comarcal de las comarcas agrarias de la cuenca mediterránea andaluza para el periodo 1991-2020



Fuente: elaboración propia.

Cuando se procede a evaluar los cambios de usos del suelo producidos en cada comarca se pueden observar ciertas similitudes entre las mismas, lo que provoca que se puedan identificar diferentes agrupaciones de comarcas con dinámicas o tendencias parecidas. Se pueden realizar tres agrupaciones con los datos. Por un lado, las comarcas con un alto porcentaje de cambio hacia el uso en secano (Figura 3a). Todas se encuentran por encima del 40% sin tener otro cambio significativo, destaca el Campo de Gibraltar con casi las 3/4 partes del cambio total dedicado al secano. Por otro lado, tenemos las comarcas donde destacan dos cambios de uso por encima del resto. Primero las de predominio del Forestal/Secano (Figura 3b) y segundo, las de predominio Forestal/Regadío (Figura 3c). En las primeras, la suma de los dos cambios de uso siempre supera el 75%, el uso forestal tiene más importancia que el secano, exceptuando la comarca de Antequera donde es al contrario. En las segundas, la suma de los dos cambios de uso también supera siempre el 75% y el uso forestal es el más importante en todas las comarcas. La comarca del campo de Dalías merece una consideración especial, ya que los datos nos indican una dinámica de cambios de uso diferente al resto (Figura 3d). La superficie de regadío supone más del 40% de cambio, en detrimento principal del uso forestal, no teniendo otro cambio significativo.

Cuando visualizamos los datos agrupados de cambios de uso del suelo por comarcas en el mapa (Figura 2), se puede observar que la distribución espacial atiende a un patrón territorial. Las comarcas del interior han tenido una tendencia hacia el uso forestal y de cultivos en secano; las comarcas de la mayor parte de la franja costera han sufrido una tendencia hacia el uso forestal y de cultivos en regadío, destacando la comarca del Campo de Dalías donde la tendencia principal es el cultivo en regadío; por último, las comarcas con una tendencia hacia los cultivos de secano se encuentran ocupando el extremo oriental, quedando también la comarca del Campo de Gibraltar en el extremo más occidental.

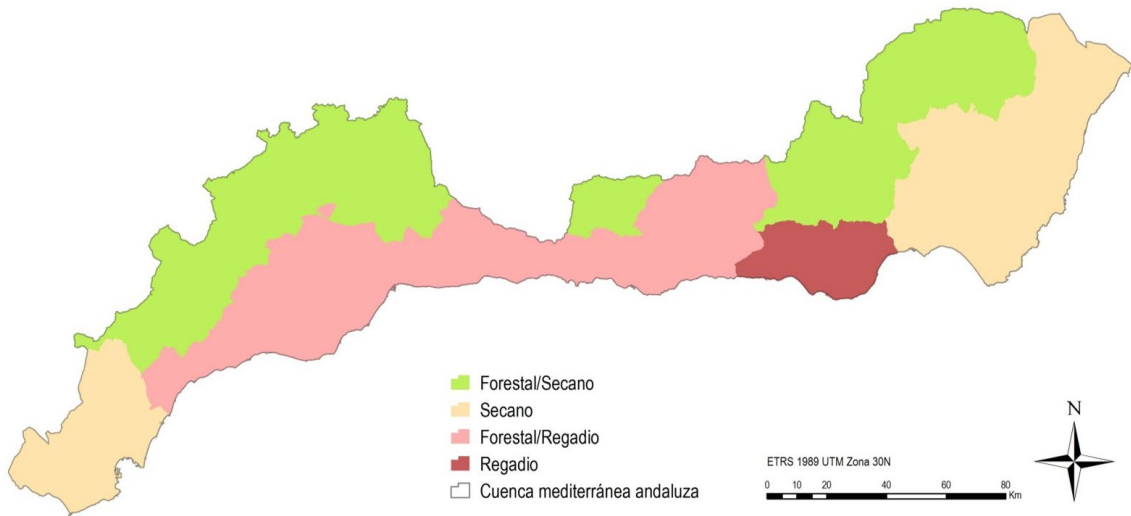
Una vez se ha trabajado con los datos de los cambios de uso del suelo, pasamos a analizar el comportamiento del SPEI a 60 meses para dos periodos de tiempo futuros (Figura 3). A corto plazo tenemos el periodo del 2015-2040, en él se puede apreciar como todavía el efecto de las sequías más extremas sólo lo sufren las comarcas orientales, mientras el resto se encuentra dentro de valores en torno a la media. A medio/largo plazo hemos trabajado con el periodo 2071-2100, aquí el efecto de las sequías extremas se extiende ya por todas las comarcas orientales y del centro de la cuenca mediterránea andaluza, sólo la zona occidental se encuentra con valores en torno a la media.

Figura 3. a,b,c,d. Comparativa de los grupos de cambios de uso del suelo sobre el total de cambio de las distintas comarcas agrarias de la cuenca mediterránea andaluza para el periodo 1991-2020



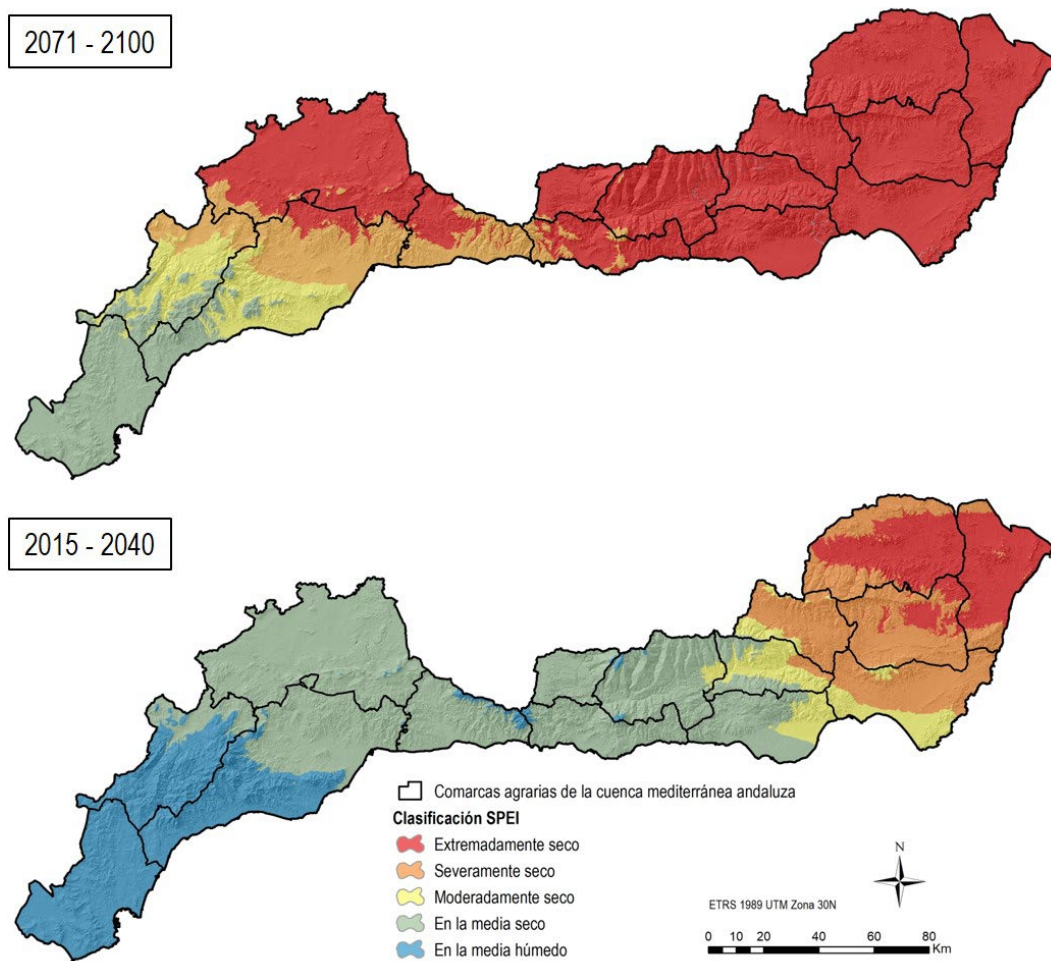
Fuente: elaboración propia. Gris: (grupo 0) sin cambios; verde: (grupo 1) de regadío a forestal; lila: (grupo 2) de regadío a seco; morado: (grupo 3) de forestal a seco; rojo claro: (grupo 4) de seco a regadío; rojo: (grupo 5) de forestal a regadío.

Figura 4. Mapa de las tendencias de los cambios de uso del suelo para el periodo 1991-2020 en la cuenca mediterránea andaluza.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Mapa evolutivo del SPEI en la cuenca mediterránea andaluza para dos periodos de tiempo futuros



Fuente: elaboración propia a partir de los datos descargados de la REDIAM.

4. DISCUSIÓN

Las comarcas agrarias tienen diferentes tamaños, por lo que ha sido necesario trabajar con los porcentajes de cambio de uso referidos a la superficie total de cada una de ellas, de esta manera se han podido comparar y establecer las tendencias de uso dominantes. Los diferentes grupos establecidos de comarcas se ajustan a los criterios seleccionados. Si atendemos a la clasificación de la afección eco-geomorfológica y comparamos la figura 2 con la figura 3, se puede ver como las tendencias en los cambios de uso del suelo hacia el Regadío y el Forestal/Regadío en las comarcas costeras pueden suponer un grave problema de déficit de recursos hídricos en el presente, e irá aumentando hacia finales de siglo por el incremento en la magnitud de las sequías. La dinámica que siguen estas comarcas son las más agresivas con el sistema eco-geomorfológico, por lo tanto, son las más propensas a la desertificación (Lavee *et al.*, 1998) (Ruiz-Sinoga *et al.*, 2015) (Woltz *et al.*, 2018). Por otro lado, las tendencias hacia el forestal/secano en las comarcas del interior marcan una dinámica inversa, donde los recursos hídricos disponibles van a depender más de la evolución de las sequías que de un mal uso de la tierra, por lo que la zona oriental sufrirá más sus efectos. La agrosilvicultura, las cubiertas verdes en cultivos leñosos y la reforestación pueden promover múltiples servicios ecosistémicos, abordan la adaptación al cambio climático y ayudan a regular el ciclo hidrológico de la cuenca (Ruiz *et al.*, 2020). En un análisis más detallado, habría que localizar parcelas dentro de dichas comarcas, donde se realicen estas prácticas de gestión sostenible de la tierra, ya que podríamos destacar los efectos de la aplicación de las mismas en la lucha contra la degradación de la tierra y la desertificación. Por último, encontramos las tendencias hacia el cultivo de secano en las comarcas del extremo oriental, las más afectadas por las sequías extremas, por lo que sería conveniente ver el estado en el que se encuentran tanto los cultivos como las masas forestales existentes, para ver el grado de vulnerabilidad de las mismas y que sirva como laboratorio de pruebas de lo que va a suceder en el futuro en el resto del territorio (Gil-Tena *et al.*, 2019). La investigación necesita llegar a ser más proactiva, centrándose en la prevención e identificación temprana de dificultades, así como en las oportunidades, más que en su actual enfoque en el que los problemas se afrontan una vez que se han agudizado (Funtowicz y De Marchi, 2000). Esta cuestión preventiva es fundamental para la gestión de los ecosistemas áridos.

5. CONCLUSIONES

La evolución espacio-temporal de los usos del suelo para el periodo 1991-2020 nos ha permitido clasificar y agrupar los cambios para cada una de las comarcas agrarias de la cuenca mediterránea andaluza. Las diferentes agrupaciones comarcales nos han indicado la tendencia actual de los cambios de uso del suelo y su distribución espacial, destacando la franja litoral como el área más vulnerable a la sequía. El cálculo del SPEI nos ha mostrado cual será la evolución futura de las sequías y su intensidad para dos periodos de tiempo, uno a corto plazo 2015-2040 y otro a medio/largo plazo 2071-2100, para finales de siglo más de la mitad del territorio sufrirá una sequía extrema. La resiliencia de las diferentes comarcas vendrá marcada por la capacidad que tengan de anteponerse y adaptarse a dichos cambios, puesto que estos análisis en su conjunto nos indican unas dinámicas dispares, que afectaran en menor o mayor medida al sistema eco-geomorfológico, marcándonos una línea de investigación en la que habrá que continuar y profundizar, principalmente aumentando la escala de trabajo e incorporando algunas variables más al análisis, esto nos llevara a obtener unas conclusiones más robustas.

Agradecimientos: Esta investigación ha sido financiada por el MINECO (Ministerio de Economía y Transformación Digital) y la Convocatoria 2019 de "Proyectos de I+D+i" en el Marco de los Programas Estatales de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+i y de I+D+i orientada a los Retos de la Sociedad. Este estudio forma parte del proyecto Efectos de los Cambios de Uso del Suelo sobre la Dinámica Eco-Geomorfológica en Ambientes Mediterráneos, a Diferentes Escalas, en el Contexto del Cambio Global. PID2019-104046RB-I00.

REFERENCIAS

EC-Earth-Consortium (2019). ECEarth3-Veg model output prepared for CMIP6 Scenario MIP. *Earth System Grid Federation*. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.727>

- Escenarios-CMIP6-Andalucía (2021). Escenarios de cambio climático en Andalucía. Recuperado de: <https://www.ficlisma.org/escenarios-cc-andalucia/>
- Funtowicz S., De Marchi, B. (2000). *Ciencia Posnormal, complejidad reflexiva y sustentabilidad*. En Siglo XXI (Eds). La complejidad ambiental. México.
- Gil-Tena, A.; Morán-Ordóñez, A.; Comas, L.; Retana, J.; Vayreda, J. y Brotons, L. (2019). A quantitative assessment of mid-term risks of global change on forests in Western Mediterranean Europe. *Regional Environmental Change*, 19, 819–831.
- IPCC (2022). Nabuurs, G.-J., R. Mrabet, A. Abu Hatab, M. Bustamante, H. Clark, P. Havlík, J. House, C. Mbow, K.N. Ninan, A. Popp, S. Roe, B. Sohngen, S. Towprayoon, (2022). Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU). In IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <http://doi.org/10.1017/9781009157926.009>
- IPCC (2022). Parmesan, C., M.D. Morecroft, Y. Trisurat, R. Adrian, G.Z. Anshari, A. Arneeth, Q. Gao, P. Gonzalez, R. Harris, J. Price, N. Stevens, and G.H. Talukdar, (2022). Terrestrial and Freshwater Ecosystems and their Services. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 197-377, <http://doi.org/10.1017/9781009325844.004>
- IPCC (2022). Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, and S. Supratid, (2022). Water. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551-712, <http://doi.org/10.1017/9781009325844.006>
- Lavee, H., Imeson, A.C., Sarah, P. (1998). The impact of climate change on geomorphology and desertification along a mediterranean-arid transect. *Land Degrad. Develop.* 9, 407-422.
- OMM (2012). *Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario*. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra (Suiza). ISBN 978-92-63-31090-3.
- Puigdefábregas, J., Mendizabal, T. (1998). Perspectives on desertification: western Mediterranean. *Journal of Arid Environments*, 39 (2), 209-224.
- Reynolds, J. F., Smith, D., Lambin E. F., Turner B. L., Mortimore M., Batterbury, S., Walker, B. (2007). Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science*, 316 (5826), 847-851.
- Ruiz, I.; Almagro, M.; García de Jalón, S.; Solà, M.M. y Sanz, M.J. (2020). Assessment of sustainable land management practices in Mediterranean rural regions. *Journal of Environmental Management*, 276, 111293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111293>.
- Ruiz Sinoga, J.D., Romero Diaz, A., Martínez Murillo, J.F., Gabarrón Galeote, M.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.
- Secretariat of the UNCCD (2014). *Desertification, The Invisible Frontline*. Bonn (Germany). ISBN: 978-92-95043-74-9.
- Sivakumar, M. (2007). Interactions between climate and desertification. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2–4), 143-155.
- UNCCD (1994). *United Nations Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and / or desertification, particularly in Africa*. United Nations Environment. Geneva: Interim Secretariat for the Convention to combat desertification.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of climate*, 23, 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Voltz, M., Ludwig, W., Leduc, C., Bouarfa, S. (2018). Mediterranean land systems under global change: current state and future challenges. *Regional Environmental Change*, 18, 619–622. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1295-9>.