

PRESENTE Y FUTURO DE LA SEQUÍA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA: UN ANÁLISIS COMPARADO

Giovanni-Breogán FERREIRO LERA¹, Aitor ÁLVAREZ-SANTACOLOMA¹, Alejandro GONZÁLEZ-PÉREZ¹, Ángel PENAS MERINO² y Sara del RÍO GONZÁLEZ²

¹*Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental (Área de Botánica), Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León. Campus de Vegazana s/n, 24071, León (España).*

²*Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental (Área de Botánica), Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León. Instituto de Ganadería de Montaña CSIC-UNILEON. Campus de Vegazana s/n, 24071, León (España).*

gferrl00@estudiantes.unileon.es, aalvas04@estudiantes.unileon.es,
agonp@unileon.es, angel.penas@unileon.es, sroig@unileon.es

RESUMEN

En este trabajo se realiza un análisis comparado a escala espacial y temporal de la sequía en la Península Ibérica. A escala espacial se compararán diferentes índices climáticos y bioclimáticos de diagnóstico territorial de la sequía en el área de estudio seleccionada. A escala temporal se cotejarán los resultados obtenidos en una ventana temporal presente (1981-2010) con los que se obtendrían en un período temporal futuro a medio plazo (2041-2070) considerando un escenario climático intermedio (SSP3-RCP7). Para ello se ha utilizado la versión 2.1 de la base de datos CHELSA (Karger et al., 2017). Respecto de la comparación espacial, se observa un mayor grado de afinamiento en los resultados obtenidos mediante el análisis de la ombroxericidad o sequía bioclimática. En esta aproximación, cada región del área de estudio queda enmarcada en un nivel de ombroxericidad (u ombroxerotipo) concreto, dependiendo de que el análisis se realice a escala mensual, estacional o anual. Así, consideramos que se obtiene un nivel de detalle que no se alcanza con otras propuestas climáticas de estudio de sequía. En lo relativo a la comparación temporal, para cualquier índice cotejado se observa un aumento de los niveles más áridos y secos a consecuencia del aumento de las temperaturas y del cambio en el régimen de las precipitaciones proyectado para el futuro. Se espera que los resultados obtenidos sirvan para realizar futuras predicciones sobre las implicaciones que tendrán los cambios espacio-temporales de distribución de la sequía en las comunidades vegetales, pudiendo tener también aplicaciones en agricultura.

Palabras clave: aridez, Bioclimatología, cambio climático, CHELSA, sequía.

ABSTRACT

A drought comparative analysis in the Iberian Peninsula is carried out in this work at spatial and temporal scales. At the spatial scale, different climatic and bioclimatic indices of drought territorial diagnosis in the selected study area will be compared. On a temporal scale, the results obtained in a present time window (1981-2010) will be compared with those that would be obtained in a future medium-term time period (2041-2070) considering an

intermediate pathway (SSP3-RCP7). For this purpose, version 2.1 of the CHELSA database (Karger et al., 2017) was used. Regarding the spatial comparison, a higher degree of refinement is observed in the results obtained through the analysis of ombroxericity or bioclimatic drought. In this approach, each region of the study area is framed in a specific ombroxerotype, depending on whether the analysis is performed on a monthly, seasonal or annual scale. Thus, a level of detail is obtained that is not reached with other climatic drought study proposals. Regarding the temporal comparison, for any index collated, an increase in the most arid and driest levels is observed as a consequence of the increase in temperatures and the change in the precipitation regime. It is expected that the results obtained will be useful for future predictions on the implications of spatio-temporal changes in the distribution of drought on plant communities, and may also have applications in agriculture.

Key words: aridity, Bioclimatology, CHELSA, climate change, drought.

1. INTRODUCCIÓN

Existen en la literatura científica numerosas definiciones de sequía, siendo esta disparidad de conceptos uno de los principales escollos a la hora de abordar el análisis de este fenómeno. La clasificación clásica de Wilhite & Glantz (1985), seguida por otros muchos autores (Giri et al., 2021; Mishra & Singh, 2010; Núñez et al., 2014), distinguía entre sequía meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. La necesidad de entender las afecciones de la sequía sobre los ecosistemas naturales ha motivado que en los últimos años se comience a manejar el concepto de “sequía ecológica” (Crausbay et al., 2017). En esta línea y con la pretensión particular de predecir las consecuencias de la sequía sobre las comunidades vegetales, necesidad máxime en un contexto de cambio climático, se definió la sequía bioclimática. Este concepto, enmarcado en el Sistema de Clasificación Bioclimática Global (WBCS) de Rivas-Martínez et al. (2011), es entendido como una característica propia de un territorio, caracterizado desde el punto de vista ombrotérmico como un territorio de mayor o menor humedad, que puede manifestarse a nivel de estudio mensual, estacional y/o anual y que tiene relevancia a la hora de estudiar la vegetación presente en un territorio (del Río et al., 2018).

El Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), augura que la Europa mediterránea será una de las zonas del globo donde las consecuencias del cambio climático serán más drásticas (IPCC, 2021). Dentro de esta región, la Península Ibérica es un territorio de especial interés por su particular flora, en la cual coalescen elementos eurosiberianos con otros provenientes de África (Aedo et al., 2017), su elevada biodiversidad (Conservation International, 2017) y su eminente producción agrícola, donde sobresale como mayor productor mundial de aceituna y como un importante exportador de cereales, frutas y hortalizas (FAO, 2018). En este trabajo se pretende describir la distribución espacial de la sequía en la Península Ibérica según índices climáticos establecidos en diferentes propuestas ampliamente extendidas en la bibliografía científica (de Martonne, 1926; Lang, 1915; Thornthwaite, 1948) y según la aproximación al estudio de la sequía bioclimática (del Río et al., 2018). Además, se analizará el cambio en los tipos de sequía y aridez a medio plazo (2041-2070) para un escenario climático intermedio (SSP3-RCP7) de entre los tomados en

consideración por el IPCC. Se espera que estos resultados tengan, en futuros trabajos, utilidad desde el punto de vista predictivo-vegetacional y/o agrícola.

2. MÉTODOS

2.1. Base de datos

Los datos de temperatura media mensual y de precipitación mensual de la Península Ibérica para un período temporal presente (1981-2010) y para un período temporal futuro a medio plazo (2041-2070) en un escenario climático intermedio (SSP3-RCP7) se han obtenido de la base de datos CHELSA (*Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas*) en su versión actualizada (v 2.1) (Karger et al., 2017). Esta se ha seleccionado por su resolución espacial, por su exactitud en lo referente a la estima de la precipitación (Bobrowski et al., 2021) y por su amplia implementación en el campo de trabajo de la ecología (Canelles et al., 2022; de Meyer et al., 2022).

La evolución de las diferentes nomenclaturas empleadas por el IPCC para los escenarios climáticos futuros, así como las narrativas desarrolladas para las actuales *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP) puede consultar en Riahi et al. (2017). Los modelos de circulación general (GCM) empleados han sido: GFDL-ESM4.1, de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (Estados Unidos), UKESM1-0-LL, del Centro Hadley (Reino Unido) y MPI-ESM1-2-HR, del Instituto Max Planck (Alemania) (Karger et al., 2017). Se han seleccionado según el orden de prelación recomendado por CHELSA y por su probada utilidad para el hemisferio norte (Andrade et al., 2021; McSweeney et al., 2015).

La producción cartográfica se ha realizado mediante la utilización de herramientas de álgebra de mapas a partir de los ráster obtenidos de CHELSA. La representación de los resultados se llevará a cabo mediante mapas, usando el sistema de coordenadas proyectadas ETRS 89 y la proyección UTM Zona 30T. En ambos casos se ha empleado el Sistema de Información Geográfica ArcGIS en su versión 10.8 (ESRI, 2019).

2.2. Índices climáticos y bioclimáticos computados

Se recogen en la Tabla 1 los índices climáticos y bioclimáticos indicativos de sequía o aridez computados a partir de los datos termopluviométricos obtenidos de CHELSA v 2.1.

3. RESULTADOS

El resultado para los cuatro índices analizados, con la distribución espacial de los mismos en el período de referencia actual y futuro se muestra en las Figuras 1, 2, 3 y 4.

Respecto al índice de Lang (Figura 1), se observan grandes áreas donde la sequía y la aridez han aumentado de forma manifiesta. Este hecho es especialmente acusado en las estribaciones surorientales de la Península y en el Valle del Ebro. Allí el horizonte árido-desértico aumenta considerablemente sus límites a septentrión: penetra, por un lado, en la meseta manchego-albaceteña y ligeramente en la extremeña, y por otro lado alcanza zonas próximas a Tudela, al oeste de Zaragoza, y a la Sierra del Montsec, en Lérida. De igual forma, se observa un ostensible incremento del horizonte seco. En el escenario climático futuro para la meseta castellana desaparece la frontera de los tipos húmedo-subhúmedos del Sistema Ibérico, abriéndose hacia el Valle del Ebro. Para las mesetas andaluzas y manchegas, el cambio es más manifiesto, sustituyendo el seco los tipos subhúmedos, que quedan relegados a las estribaciones elevadas

de las sierras de Grazalema, Sierra Nevada y Sierra del Segura. Por último, en lo que respecta a la franja norte-noroeste, parece acusarse cierta pérdida de los tipos húmedo-perhúmedos, aunque no de forma tan marcada, prevaleciendo como la región más húmeda del territorio.

Índice	Expresión	Clasificación climática	
Pluviofactor de Lang (PF)	$\frac{P}{T}$	0 < PF < 20	Árido-desértico
		20 < PF < 40	Semiárido-seco
		40 < PF < 60	Subhúmedo
		60 < PF < 100	Húmedo inferior
		100 < PF < 160	Húmedo superior
		PF > 160	Perhúmedo
Índice de De Martonne (I _{DM})	$\frac{P}{T + 10}$	0 < I _{DM} < 10	Árido-desértico
		10 < I _{DM} < 20	Semiárido
		20 < I _{DM} < 24	Seco-mediterráneo
		24 < I _{DM} < 28	Subhúmedo
		28 < I _{DM} < 35	Húmedo-subatlántico
		35 < I _{DM} < 55	Húmedo-atlántico
Índice de Thornthwaite (I _H)	$\frac{P - ETP}{ETP}$	-100 < I _H < -66,7	Árido
		-66,7 < I _H < -33,3	Semiárido
		-33,3 < I _H < 0,0	Seco-subhúmedo
		0,0 < I _H < 20,0	Subhúmedo-húmedo
		20,0 < I _H < 40,0	Húmedo inferior
		40,0 < I _H < 60,0	Húmedo intermedio
		60,0 < I _H < 80,0	Húmedo superior
		80,0 < I _H < 100,0	Húmedo superlativo
		I _H > 100,0	Hiperhúmedo
		Índice ombroxérico anual (I _{ox})	$I_{ox} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{12} I_{ox_i} & \text{si } T_i > 0 \\ 360 - 100 \left(\frac{P_i}{T_i} \right) & \text{si } T_i \leq 0, I_{ox_i} = 0 \end{cases}$
480 < I _{ox} < 960	Seco superior fuerte		
960 < I _{ox} < 1440	Seco inferior débil		
1440 < I _{ox} < 1920	Seco inferior fuerte		
1920 < I _{ox} < 2160	Semiárido superior débil		
2160 < I _{ox} < 2520	Semiárido superior fuerte		
2520 < I _{ox} < 2880	Semiárido inferior débil		
2880 < I _{ox} < 3120	Semiárido inferior fuerte		
3120 < I _{ox} < 3360	Árido superior débil		
3360 < I _{ox} < 3480	Árido superior fuerte		
3480 < I _{ox} < 3720	Árido inferior débil		
3720 < I _{ox} < 3840	Árido inferior fuerte		
3840 < I _{ox} < 3960	Hiperárido superior		
3960 < I _{ox} < 4080	Hiperárido inferior		
4080 < I _{ox} < 4200	Ultrahiperárido superior		
4200 < I _{ox} < 4320	Ultrahiperárido inferior		

Tabla 1. Índices climáticos y bioclimáticos computados. P: precipitación anual; T: temperatura media anual; T_i: temperatura media del mes i; P_i: precipitación del mes i; ETP: evapotranspiración anual según el método de Thornthwaite; I_{ox_i}:

índice ombroxérico mensual del mes i . Fuente: Lang (1915); de Martonne (1926); Thornthwaite (1948) y del Río et al. (2018).

Para el índice de De Martonne (Figura 2), los resultados observados son similares, aunque menos manifiestos, de los comentados para el índice de Lang. Se observa cierta expansión del tipo árido-desértico desde la costa suroriental hacia el interior de Murcia y Albacete, así como su aparición puntual en el Valle del Ebro. El tipo semiárido parece sustituir tanto el seco-mediterráneo como el subhúmedo, lo cual se observa se forma clara en la meseta castellana en el suroccidente ibérico.

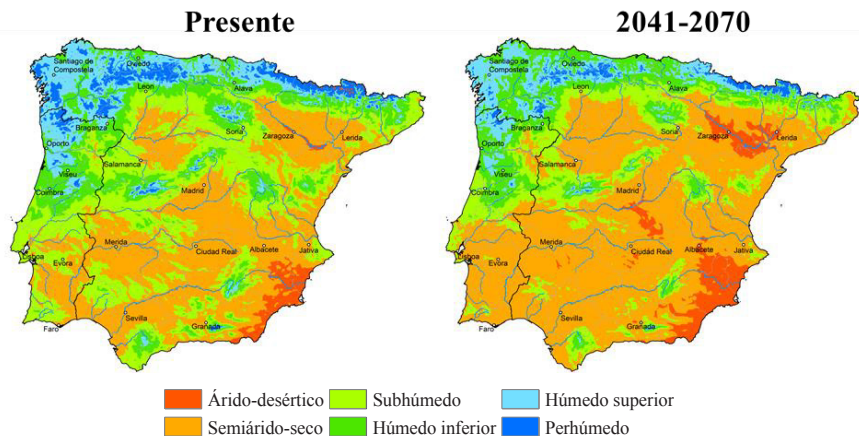


Figura 1. Distribución del índice de Lang en la Península Ibérica para un período temporal presente (1981-2010) y para un período temporal futuro (2041-2070; SSP3-RCP7).

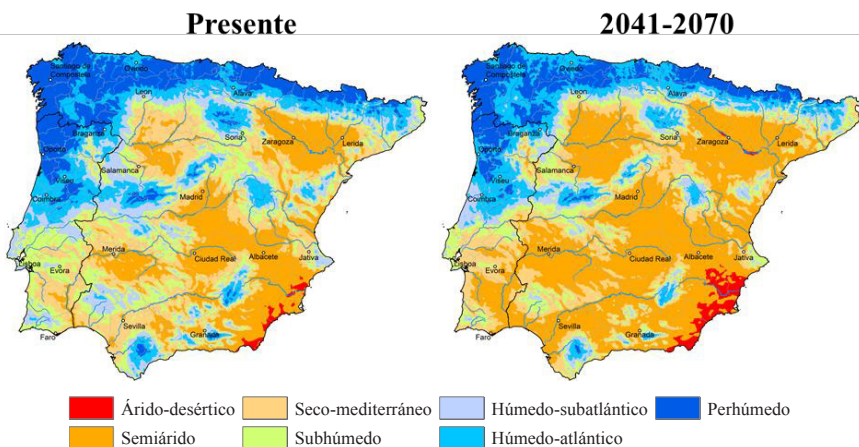


Figura 2. Distribución del índice de De Martonne en la Península Ibérica para un período temporal presente (1981-2010) y para un período temporal futuro (2041-2070; SSP3-RCP7).

En cuanto al índice de Thornthwaite (Figura 3), destaca la gran expansión del horizonte semiárido en todas las mesetas ibéricas, sustituyendo los horizontes secos y subhúmedos.

Este crecimiento, no obstante, no se realiza a costa de los tipos más húmedos: la frontera húmedo-perhúmeda se mantiene casi inamovible en el tercio noroeste peninsular, aunque se retrae ligeramente en las serranías del centro y del sur peninsular.

Respecto al índice ombroxérico anual destaca la expansión de los tipos semiáridos en el Valle del Ebro, que además comienzan a ocupar localidades puntuales en La Mancha y en la desembocadura del Guadiana y del Guadalquivir. Las proyecciones futuras indican la aparición del ombroxerotipo árido, de forma poco evidente en la zona del Cabo de Gata, en la provincia de Almería. Se observa, en la franja norte peninsular, una retracción de las zonas que a nivel anual no presentan ombroxericidad. La cornisa cantábrica es ocupada por el ombroxerotipo seco superior débil, quedando las zonas sin sequía bioclimática relegadas a las estribaciones elevadas de los Pirineos y de la Cordillera Cantábrica.

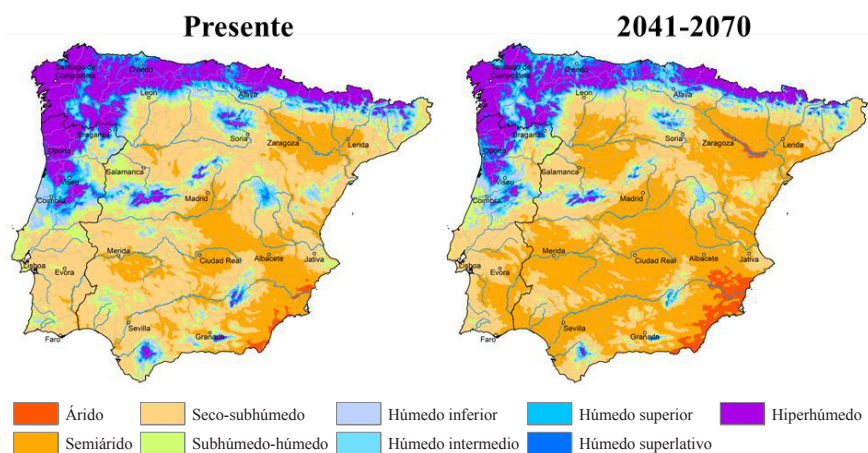


Figura 3. Distribución del índice de Thornthwaite en la Península Ibérica para un período temporal presente (1981-2010) y para un período temporal futuro (2041-2070; SSP3-RCP7).

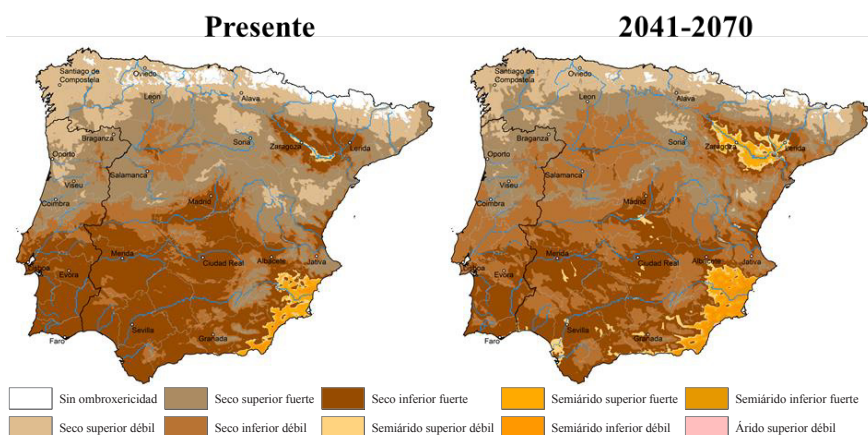


Figura 4. Distribución del índice ombroxérico anual en la Península Ibérica para un período temporal presente (1981-2010) y para un período temporal futuro (2041-2070; SSP3-RCP7).

Para entender las tendencias en la sequía bioclimática es necesario recurrir al análisis estacional y mensual de la ombroxericidad, que se resume en la Tabla 2. En el invierno, los primeros meses de primavera y los últimos meses de otoño se observa una clara sustitución de los ombroxerotipos menos secos por ombroxerotipos secos inferiores-semiáridos. Es en el estío -y también en los meses de mayo y septiembre-, cuando se comienza a observar un aumento de los tipos de sequía bioclimática áridos, hiperáridos y ultrahiperáridos, aumentando estos últimos su extensión en torno a un 30 % en el bimestre julio y agosto. Es también en este período cuando la pérdida de las zonas carentes de ombroxericidad anual decaen más drásticamente, con más del 60 % de pérdida promedio.

oxt	E	F	M	M	A	J	J	A	S	O	N	D	In	Pr	Ve	Ot
0	-0.04	-0.08	-0.21	-0.31	-0.34	-0.53	-0.63	-0.68	-0.40	-0.41	-0.04	-0.03	-0.08	-0.29	-0.62	-0.40
Se s d	0.40	0.59	-0.07	0.59	-0.11	-0.15	-0.66	-0.52	-0.18	0.46	0.50	0.43	0.47	-0.32	-0.63	-0.24
Se s f	0.34	0.43	0.15	0.79	-0.17	-0.13	-0.53	-0.34	-0.24	0.64	0.27	0.47	0.45	0.10	-0.38	-0.37
Se i d	0.62	0.25	0.43	0.86	-0.21	-0.24	-0.42	-0.25	-0.26	0.83	0.37	0.39	0.47	0.64	-0.08	0.62
Se i f	0.50	0.61	0.48	0.69	0.49	-0.15	-0.05	-0.14	-0.27	0.73	0.54	0.40	0.64	0.83	-0.18	0.83
Sa s d	0.76	0.85	0.49	0.28	0.74	-0.03	0.21	-0.12	-0.23	0.66	0.76	0.65	0.75	0.77	-0.28	0.58
Sa s f	0.97	0.84	0.52	0.42	0.73	-0.15	0.07	-0.21	-0.17	0.84	0.72	0.65	0.87	0.48	-0.20	0.79
Sa i d	1.00	1.00	0.82	0.83	0.76	0.18	-0.21	-0.10	0.15	0.87	1.00	0.70	1.00	0.70	0.00	0.77
Sa i f	0.00	0.00	1.00	0.99	0.84	0.01	-0.30	-0.03	0.66	1.00	0.00	1.00	0.00	0.95	-0.21	1.00
A s d	0.00	0.00	0.00	1.00	0.75	0.04	0.00	-0.21	0.97	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.11	1.00
A s f	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.40	-0.14	-0.11	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00
A i d	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.43	0.25	0.34	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00
A i f	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.33	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ha s	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	-0.10	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00
Ha i	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00
Uha s	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00
Uha i	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Tabla 2. Tasa de cambio comparativa [(píxeles período futuro-píxeles período actual)/píxeles totales] a nivel mensual (E: enero; D: diciembre) y estacional (In: invierno, Pr: primavera, Ve: verano, Ot: otoño) del Iox por ombroxerotipo (oxt) en la Península Ibérica entre las condiciones actuales y el escenario futuro planteado (2041-2070; SSP3-RCP7. Valores positivos indican aumento a futuro; valores negativos, decremento. 0: sin ombroxericidad, Se: seco, Sa: semiárido, A: árido, Ha: Hiperárido, Uha: Ultrahiperárido, s: superior, i: inferior, d: débil, f: fuerte.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con las predicciones del IPCC, ya que los aumentos observados en la sequía y en la aridez a nivel anual para las diferentes propuestas analizadas pueden explicarse en base al augurado aumento de las temperaturas medias de hasta 2 °C (IPCC, 2014, 2021). Los resultados también concuerdan con otros análisis de sequía anual realizados para el conjunto de la Península Ibérica. Andrade et al. (2021) detectan, en un futuro a medio-largo plazo, aumentos tanto en la extensión de los tipos más secos y áridos de determinados índices climáticos como en las anomalías (*outliers*) evidenciadas en los valores de dichos índices, ambos cambios especialmente acusados en un escenario climático pesimista. No obstante, los ráster utilizados en el mencionado trabajo se basan en el proyecto E-OBS y en modelos regionales, lo que implica un menor grado de detalle en comparación con el obtenido mediante el modelo de CHELSA.

Las zonas de la Península que parten de una situación más comprometida desde el punto de vista de la disponibilidad hídrica son aquellas que acusan cambios más severos en el futuro a medio plazo bajo el escenario climático analizado. Para cualquiera de las propuestas analizadas, las zonas árido-semiáridas, como el sureste peninsular y el Valle del Ebro sufren cambios más evidentes en la distribución espacial de la sequía. Esto concuerda con varios estudios realizados a escala regional en estas zonas de la Península, donde se alerta de importantes incrementos en la sequía y en la aridez, más drásticos en los escenarios climáticos menos optimistas de entre los considerados por el IPCC. Gaitán et al. (2020) alertan de un decaimiento de la precipitación de más de un 10% en el Valle del Ebro para las próximas décadas, lo cual es especialmente preocupante dado que se trata de la región más poblada y más importante desde el punto de vista económico de la provincia aragonesa. De igual modo, Gomez-Gomez et al. (2022) detectan importantes incrementos en la temperatura y descensos en la precipitación en toda la cuenca del río Segura, que provocarían un aumento en la duración, frecuencia e intensidad de la sequías, así como un impedimento para la satisfacción de la demanda hídrica en un territorio de gran desarrollo agrícola. El aumento de la sequía y de la aridez en la cuenca baja del río Guadiana -manifiesta en la Figura 4- y en la meseta castellana, se ha observado también en otros trabajos (del Río et al., 2011; Mourato et al., 2010). Este hecho puede deberse, además de al importante aumento de las temperaturas estivales en la zona mediterránea, estimado por el IPCC (2014, 2021) en hasta 4,5 °C, a una importante interrupción en la precipitación primaveral, debida a una brusca disminución de la precipitación del mes de marzo. Dicho descenso correlaciona de forma inversamente proporcional con la fase positiva del NAO (*North Atlantic Oscillation*), patrón de teleconexión de gran influencia en la cuenca mediterránea (Ríos-Cornejo et al., 2015). Por el contrario, las zonas consideradas “húmedas-perhúmedas” en las diferentes propuestas parecen acusar cambios menos severos y su carácter húmedo parece mantenerse, con ciertas pérdidas, en el escenario de cambio climático futuro. Este hecho concuerda con las conclusiones alcanzadas por otros autores en las que se postula que la precipitación en las zonas templadas de Europa correlaciona directamente con las emisiones de equivalentes de CO₂ (Adams & Piovesan, 2005). Esto podría relacionarse con un aumento de los fenómenos de lluvia extrema (Madsen et al., 2014). A este respecto, y en concreto para la Península Ibérica, se han observado incrementos -a veces estadísticamente significativos- de la precipitación del noroeste de la Península en el bimestre julio-agosto (del Río et al., 2011), lo cual acrecentaría su carácter templado.

Esta comunicación pone de manifiesto, mediante la aplicación de diferentes aproximaciones climáticas, el esperado incremento de los tipos de sequía y aridez en la Península Ibérica para un período temporal futuro a medio plazo. Destacamos la conveniencia de realizar análisis regionales, ya que nos permiten comprender la afección que tienen variables orográficas locales sobre los cambios esperados, las cuales podrían perderse al realizar predicciones a escala continental o global. Del mismo modo, el empleo de escalas temporales cortas permite comprender cuáles son los meses o estaciones con mayor impacto en los valores anuales de sequía. Estimamos que este hecho es relevante si se pretenden establecer predicciones en torno a los efectos del aumento de la sequía y la aridez en las comunidades vegetales. La persistencia de meses o estaciones poco favorables desde el punto de vista hídrico a lo largo del tiempo pueden ser suficientes para comprometer su supervivencia. En este sentido, consideramos que la aproximación al estudio de la sequía bioclimática nos ofrece dos grandes ventajas: por un lado, admite análisis a escala mensual, estacional, y anual, mientras

que, por otro lado, y valiéndose del modelo de reciprocidad clima-vegetación del WBCS, nos permite realizar predicciones sobre el modo en que estos cambios podrían afectar a las cubiertas vegetales.

REFERENCIAS

- Adams, J. M., & Piovesan, G. (2005). Long series relationships between global interannual CO₂ increment and climate: Evidence for stability and change in role of the tropical and boreal-temperate zones. *Chemosphere*, 59(11), 1595-1612. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2005.03.064>
- Aedo, C., Buira, A., Medina, L., & Fernández-Albert, M. (2017). The Iberian Vascular Flora: Richness, Endemicity and Distribution Patterns. En J. Loidi (Ed.), *The Vegetation of the Iberian Peninsula* (1a, pp. 101-130). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54784-8_4
- Andrade, C., Contente, J., & Andrade Santos, J. (2021). Climate Change Projections of Aridity Conditions in the Iberian Peninsula. *Water*, 13(15), 2035. <https://doi.org/10.3390/w13152035>
- Bobrowski, M., Weidinger, J., & Schickhoff, U. (2021). Is New Always Better? *Frontiers in Global Climate Datasets for Modeling Treeline Species in the Himalayas*. *Atmosphere* 2021, Vol. 12, Page 543, 12(5), 543. <https://doi.org/10.3390/ATMOS12050543>
- Canelles, Q., Aquilué, N., & Brotons, L. (2022). Anticipating *B. sempervirens* viability in front of *C. perspectalis* outbreaks, fire, and drought disturbances. *Science of The Total Environment*, 810, 151331. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151331>
- Conservation International. (2017). Critical Ecosystem Partnership Found. Explore the Biodiversity hotspots. <https://www.cepf.net/our-work/biodiversity-hotspots>
- Crausbay, S. D., Ramirez, A. R., Carter, S. L., Cross, M. S., Hall, K. R., Bathke, D. J., Betancourt, J. L., Colt, S., Cravens, A. E., Dalton, M. S., Dunham, J. B., Hay, L. E., Hayes, M. J., McEvoy, J., McNutt, C. A., Moritz, M. A., Nislow, K. H., Raheem, N., & Sanford, T. (2017). Defining Ecological Drought for the Twenty-First Century. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(12), 2543-2550. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0292.1>
- de Martonne, E. (1926). Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *Meteorologie*, 2(19), 449-459.
- de Meyer, A. P. R. R., Ortega-Andrade, H. M., & Moulatlet, G. M. (2022). Assessing the conservation of eastern Ecuadorian cloud forests in climate change scenarios. *Perspectives in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/J.PECON.2022.01.001>
- del Río, S., Herrero, L., Fraile, R., & Penas, Á. (2011). Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain (1961-2006). *International Journal of Climatology*, 31(5), 656-667. <https://doi.org/10.1002/joc.2111>
- del Río, S., Penas, Á., Pérez González, A., & Rivas-Martínez, S. (2018). Two new bioclimatic indexes to calculate aridity and dryness. An example for continental Spain. *Botanique*, 4(1), 25-27. <http://hdl.handle.net/10261/184563>.
- FAO. (2018). FAO STAT. <https://www.fao.org/faostat/en/>
- Gaitán, E., Monjo, R., Pórtoles, J., & Pino-Otín, M. R. (2020). Impact of climate change on drought in Aragon (NE Spain). *Science of the Total Environment*, 740, 140094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140094>

- Giri, S., Mishra, A., Zhang, Z., Lathrop, R. G., & Alnahit, A. O. (2021). Meteorological and Hydrological Drought Analysis and Its Impact on Water Quality and Stream Integrity. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 8175, 13(15), 8175. <https://doi.org/10.3390/SU13158175>
- Gomez-Gomez, J. de D., Pulido-Velazquez, D., Collados-Lara, A. J., & Fernandez-Chacon, F. (2022). The impact of climate change scenarios on droughts and their propagation in an arid Mediterranean basin. A useful approach for planning adaptation strategies. *Science of The Total Environment*, 820, 153128. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.153128>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.* (V. R. Barros & C. B. Field (eds.)). Cambridge University Press.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, 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, & B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrner, J., Kawohl, T., Krefl, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 1-20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Lang, R. (1915). Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer. *International mitteil bodenk*, 5, 312-346.
- Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., & Kjeldsen, T. R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519(PD), 3634-3650. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2014.11.003>
- McSweeney, C. F., Jones, R. G., Lee, R. W., & Rowell, D. P. (2015). Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions. *Climate Dynamics*, 44(11-12), 3237-3260. <https://doi.org/10.1007/S00382-014-2418-8/FIGURES/15>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2010.07.012>
- Mourato, S., Moreira, M., & Corte-Real, J. (2010). Interannual variability of precipitation distribution patterns in Southern Portugal. *International Journal of Climatology*, 30(12), 1784-1794. <https://doi.org/10.1002/joc.2021>
- Núñez, J., Rivera, D., Oyarzún, R., & Arumí, J. L. (2014). On the use of Standardized Drought Indices under decadal climate variability: Critical assessment and drought policy implications. *Journal of Hydrology*, 517, 458-470. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2014.05.038>
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, S., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2016.05.009>
- Ríos-Cornejo, D., Penas, Á., Álvarez-Esteban, R., & del Río, S. (2015). Links between teleconnection patterns and precipitation in Spain. *Atmospheric Research*, 156, 14-28. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.012>
- Rivas-Martínez, S., Rivas-Sáenz, S., & Penas, Á. (2011). Worldwide Bioclimatic Classification System. *Global Geobotany*, 1, 1-634. <https://doi.org/10.5616/gg110001>

- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94. <https://doi.org/10.2307/210739>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>