ESTUDIO DEL INDICE DE ÁRIDEZ BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO ALMANZORA (ALMERÍA)

Amar HALIFA-MARÍN [1*], Miguel Ángel TORRES-VÁZQUEZ [1], Pedro PÉREZ-CUTILLAS [1,2]

[1]*Departamento de Geografía. Universidad de Murcia.*

[2]*Grupo de Conservación de Suelos y Agua. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)*

amar.halifa@um.es

RESUMEN

El empleo de modelos climáticos regionales, concretamente de las proyecciones de precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_0) han servido para analizar los niveles de disponibilidad hídrica en escenarios de cambio climático en una cuenca de drenaje mediterránea con importantes transformaciones en la cobertura del suelo durante 1956-2007. A través del índice de aridez adoptado por la UNEP (1997) se han evaluado diferentes demandas de agua asociadas a los cambios experimentados en los usos del suelo. Los resultados muestran un descenso importante en la disponibilidad hídrica de la cuenca, especialmente en el escenario A2 (periodo 2071-2099). Este análisis espacial permite analizar las estimaciones en la evolución del cambio climático para diferentes coberturas del suelo, lo que puede ser de gran utilidad en la planificación y gestión del territorio de acuerdo a las recomendaciones IPCC para establecer políticas de mitigación y adaptación al calentamiento global.

Palabras clave: calentamiento global, clima, modelos, sequías, Mediterráneo

ABSTRACT

The use of the regional climate models, specifically the precipitation and evapotranspiration of reference (ET_0) have been useful to analyse the levels of hydric availability at sceneries of climate change in a mediterranean drainage basin with important changes in the land cover during 1956-2007. By using the aridity index taken by UNEP (1997), different demands of wáter related to the changes experimented in the land uses have been evaluated. The results show an important decline in the hydric availability of the basin, especially at A2 scenery (2071-2099 period). This spacial analysis enables to analyse the estimates in the evolution of the climate change for different ground covers, which can be very useful for the planning and territory management according to the IPCC recommendations to establish mitigation and adaptation to global warming policies.

Key words: global warming, clime, models, droughts, Spain, Mediterranean

1. INTRODUCCIÓN

La aridez es un riesgo climático global que puede suponer importantes impactos ambientales, sociales y económicos (Naumann *et al.*, 2018). Aunque las tendencias globales a largo plazo sobre la magnitud y frecuencia de este tipo de fenómenos siguen siendo motivo de debate (Dai, 2013; Sheffield *et al.*, 2012; Trenberth *et al.*, 2014), estudios regionales indican una tendencia creciente en la intensidad y frecuencia de las sequías en la cuenca mediterránea (Spinoni *et al.*, 2015; Vicente-Serrano *et al.*, 2014). El incremento de la aridez está asociado a diferentes causas, principalmente por la subida de la temperatura media durante las últimas décadas (García-Ruíz *et al.*, 2011a), el aumento de la evapotranspiración (García-Ruíz *et al.*, 2011a; Pérez-Cutillas *et al.*, 2018) y de la frecuencia y magnitud de las sequías (Vicente-Serrano *et al.*, 2014), el descenso de la escorrentía superficial (Beck *et al.*, 2009; García-Ruíz *et al.*, 2011b; Sum-Kim *et al.*, 2017; Pérez-Cutillas *et al.*, 2018), o los modelos de desarrollo económico que suponen demandas insostenibles para los recursos hídricos del territorio (Cabello *et al.*, 2015).

En este sentido, los modelos climáticos regionales pueden ofrecer una información muy relevante a la hora de planificar la demanda hídrica, especialmente en aquellas zonas donde existe una mayor vulnerabilidad a la aridez (García-Ruíz *et al.*, 2011a). El empleo de proyecciones de precipitación y evapotranspiración para la estimación de balances hídricos futuros (Rajabi y Babakhani, 2018), puede ser útil para diseñar las demandas actuales y prever posibles cambios en la disponibilidad y la gestión del agua (Cabello *et al.*, 2015).

La escala de análisis hidrológico más utilizada es la de cuenca de drenaje (Cabello *et al.*, 2015), en la que la demanda hídrica se caracteriza por los diferentes tipos de cobertura y aprovechamientos del suelo (Beck *et al.*, 2009; Cabello *et al.*, 2015; Sum-Kim *et al.*, 2017). El estudio de la evolución del clima sobre el territorio puede aportar un mayor conocimiento sobre las necesidades que ejercerán los diferentes aprovechamientos en escenarios de cambio climático, a la vez que permite diseñar una ordenación territorial acorde a las recomendaciones del IPCC para la mitigación y adaptación a los efectos del calentamiento global (Allen *et al.*, 2014).

El objetivo principal de este trabajo se centra en la utilización de proyecciones de precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_0) de modelos climáticos regionales, aplicando el índice de aridez adoptado por el Atlas Mundial de la Desertización (UNEP, 1997) sobre la distribución de los usos del suelo en la cuenca del río Almanzora, con el fin de determinar la demanda hídrica, y posibles impactos en la planificación hidrológica-territorial a medio y largo plazo.

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La cuenca del río Almanzora se localiza en el sureste meridional de la península Ibérica, en la provincia de Almería (CCAA de Andalucía), abarcando una superficie de 2.520 km^2. Para su estudio, el área de drenaje se ha subdividido en seis subcuencas, definidas por la Confederación Hidrográfica de las Cuencas Internas de Andalucía (CHCIA): Cabecera, Alto Almanzora, Medio Almanzora, Almagro, Bajo Almanzora y Litoral (Fig. 1).

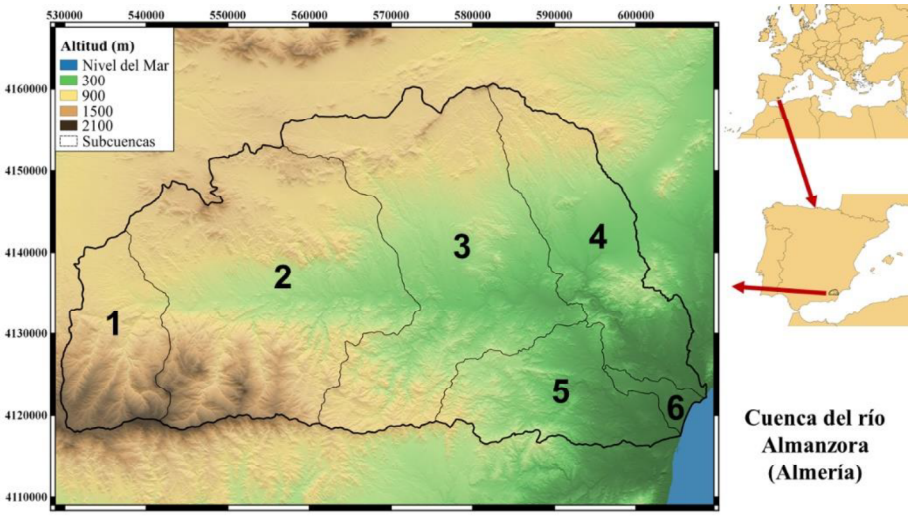

Fig. 1: Área de estudio. Se destacan las diferentes subcuencas de estudio: Cabecera (1), Alto y Medio Almanzora (2 y 3), Almagro (4), Bajo Almanzora (5) y Litoral (6). Fuente: elaboración propia.

2.2. Coberturas de usos del suelo

La información sobre la cobertura de usos del suelo (*Land Use Cover*-LUC) fue proporcionada por la Conserjería de Medio Ambiente y ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, con una resolución de detalle a escala 1:25000 (Bermejo Pérez *et al.,* 2011), y fue procesada espacialmente con el software QGIS 2.18. Los datos originales de LUC se han clasificado en 7 clases: impermeable (UICM), cultivos de secano (CS), cultivos de regadío (CR), pastos (P), matorral (M), forestal en transición (Ft) y forestal (F). La cuantificación de los cambios en los LUC durante 1956-1977-2007 se llevó a cabo mediante la tasa de variación, siguiendo la ecuación 1:

$$TC = (Vf - Vi) / Vi \quad (1)$$

Dónde la tasa de cambio (*TC*) es igual a la diferencia del valor de superficie del año posterior (*Vf*) y la superficie del año inicial del periodo (*Vi*), dividido entre el valor inicial (*Vi*).

2.3. Proyecciones climáticas

Las proyecciones climáticas empleadas en este estudio se basan en los valores promedio de los tres modelos regionales, BCM2, ECHAM5 y CNCM3 (REDIAM, 2006). En los análisis para la evaluación de la demanda hídrica se han utilizado las variables de precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_0), seleccionadas para tres escenarios futuros, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, y un periodo de referencia, 1961-2000 (REDIAM, 2006).

2.4. Índice de aridez

El índice de aridez (IA) propuesto en el Atlas Mundial de Desertización del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 1997), el cual se desarrolla según la siguiente ecuación:

$$IA = P / ET_o \quad (2)$$

Dónde el IA es resultado del cociente entre la precipitación anual (P) y la ET_0. Los valores proporcionados por este índice, determinan características de clima húmedo con resultados del IA>0,65, mientras que valores de IA<0,2 representan climas áridos.

3. RESULTADOS

3.1. Cambios en la cobertura del suelo

Los cambios de los LUC muestran una gran heterogeneidad en las diferentes subcuencas del Almanzora (Tabla 1). La transformación mayor se produce en el uso forestal (F), en las subcuencas de Cabecera, Almagro y Bajo Almanzora; en el uso impermeable (UICM), que comprende el suelo con uso urbano, industrial, en construcción y dedicado a la explotación minera, sobre todo en las subcuencas de Almagro y Litoral; y en los cultivos de regadío (CR) en Almagro. Además, los pastos (P), el matorral (M) y el cultivo de secano (CS) descienden en todas las subcuencas.

LUC	Cabecera	Alto	Medio	Almagro	Bajo	Litoral
UICM	-41	44	58	531	41	267
CS	-84	-83	-89	-69	-93	-81
CR	-34	-48	4	290	-20	-79
P	-75	-60	-74	-51	-67	-81
M	-76	-69	-48	-1	-40	-60
Ft	60	-68	-79	69	-78	15
F	983	40	-9	108	209	-

Tabla 1: Cambio de la superficie de cada uso del suelo en las subcuencas de la cuenca del Almanzora entre 1956 y 2007. Valores en %. Fuente: elaboración propia.

3.2. Escenarios para el índice de aridez

Se han analizado los cambios en el índice de aridez adoptado por UNEP (1997) sobre la cobertura del suelo de 2007 en la cuenca del Almanzora. Los resultados en el escenario B1 muestran un aumento de la aridez, con mayor incidencia en las áreas de cabecera, siendo estas zonas más húmedas en la actualidad (Fig. 2). En el escenario A1B los valores más húmedos se localizan en las zonas litorales, en relación al incremento de las precipitaciones proyectado. Y, por último, en el escenario A2, se obtienen los valores de aridez más elevados, localizado especialmente en el suroeste de la cuenca, en el sector de cabecera de la cuenca, siendo extremos valores inferiores a -0.15 puntos para el periodo 2071-2099.

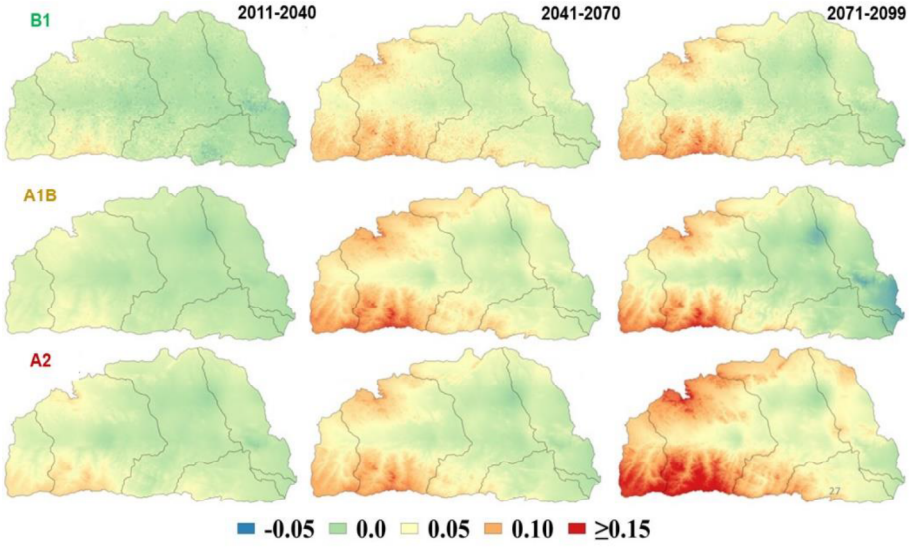

Fig. 2: Cambios en el índice de aridez (UNEP) proyectados en la cuenca de Almanzora durante 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, en los escenarios B1, A1B y A2, respecto al periodo histórico del ensemble (1961-2000). Fuente: elaboración propia.

3.3. Cambios en el índice de aridez sobre la cobertura del suelo

La Fig. 3 representa los cambios proyectados en el IA según el tipo de uso del suelo en las diferentes subcuencas de estudio. Como ya se describen en la Fig. 2, los cambios más importantes se localizan en las tres subcuencas interiores, Cabecera, Alto y Medio Almanzora; mientras que en las subcuencas litorales los cambios superan los 0,05 puntos sólo en el escenario A2. Los mayores aumentos de la aridez de producen en las coberturas forestales, con valores máximos de -0,17 puntos en la subcuenca Medio Almanzora (A2), mientras que la subcuenca Litoral muestra cambios hacia un clima más húmedo en todos los usos.

4. DISCUSIÓN

La cuenca del río Almanzora ha experimentado una importante transformación de la cobertura del suelo, produciéndose una reducción del cultivo de secano, matorral y pastos, en favor del desarrollo de las superficies forestales, especialmente en las subcuencas interiores (Cabecera, Alto y Medio Almanzora). Mientras, el cultivo de regadío y la cobertura impermeable aumentan en las subcuencas próximas al litoral (Almagro y Litoral). Esta transformación está en la línea de otros cambios observados en numerosas cuencas de drenaje de la franja mediterránea de Europa (Beck *et al*., 2009; García-Ruíz *et al.*, 2011b; Pérez-Cutillas *et al.,* 2018), y supone un incremento considerable de la demanda hídrica, tal y como se muestra en García-Ruíz *et al*., (2011a) para la región mediterránea; y se sugiere en Cabello *et al*. (2015) para una cuenca próxima de características similares.

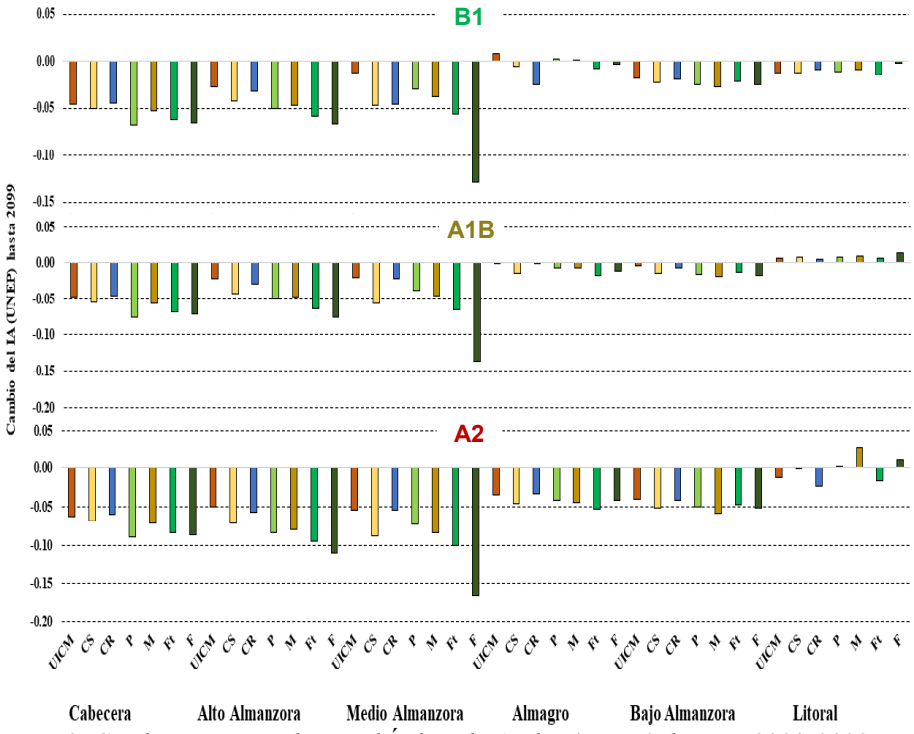

Fig. 3. Cambios proyectados en el Índice de Aridez (UNEP) durante 2000-2099 en los escenarios B1, A1B y A2, sobre los diferentes usos del suelo (LUC) respecto al periodo histórico del ensemble (1961-2000). Fuente: elaboración propia.

Además, las proyecciones climáticas analizadas (REDIAM, 2006) apuntan al incremento de la ET_0 en todos los LUC, escenarios y periodos, en torno al 13 % en el escenario A1B y el 15 % en el A2, a finales de siglo, con un máximo del 17 % en el uso forestal, lo que concuerda con las tendencia observadas en el Mediterráneo durante al menos los últimos 50 años (Vicente-Serrano *et al.,* 2014; Spinoni *et al.,* 2015) mientras que las precipitaciones disminuyen en la mayoría de casos, en torno al 7% de promedio, e incluso hasta el 12% en las subcuencas con mayores coberturas forestales (A2, 2099, respecto al periodo de referencia), coincidiendo con los resultados de otras investigaciones enmarcadas en el mediterráneo (García-Ruíz *et al.,* 2011a), o en otras regiones semiáridas del planeta (Rajabi y Babakhani, 2017).

La aplicación del IA ha proporcionado una visión muy interesante sobre el balance hídrico a medio y largo plazo sobre los LUC actuales. Los resultados muestran: i) una clasificación climática semiárida de la cuenca del Almanzora, con un valor promedio de 0,3; y en ninguno de los escenarios y periodos desciende al tipo árido (<0,2); ii) el cambio promedio en los diferentes escenarios ronda entre -0.02 y -0,06 puntos; iii) en las subcuencas de Cabecera y Alto y Medio Almanzora el descenso de la puntuación del IA es muy importante, de hasta -0,17 puntos a finales de siglo (escenario A2) en el caso del uso forestal en el Medio Almanzora, y predomina considerablemente sobre los cambios en las subcuencas litorales (Almagro, Bajo Almanzora y Litoral); y por

último iv) los descensos más importantes en el IA se localizan allí donde el uso forestal ocupa una superficie importante, de forma que se compromete la sostenibilidad de esa masa forestal, y en definitiva, la disponibilidad del recurso hídrico tanto en superficie como la recarga del acuífero.

Este estudio puede ser muy útil en futuras investigaciones que modelicen la respuesta hidrológica de la cuenca en escenarios de cambio climático, así como en estimaciones de la aportación superficial, y en la planificación de las demandas hídricas de la cuenca a medio y largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la profesionalidad mostrada por la Red de Información Ambiental (REDIAM) y el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH-HIDROSUR) de la Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, así como a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) por proporcionar toda la información que se les solicitó en el desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS

Allen, M. R., et al., (2014). ¨IPCC fifth assessment synthesis report - Climate Change 2014 synthesis report". Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Beck, H., Salvini, G., Schellekens, J., Brujinzeel, S., de Jeu, R., (2009): "Hydrological impacts of land cover change in the Dragonja catchment (Slovenia)". SPIE 7472, 205, pp. 01-07.

Bermejo Pérez, D., Cáceres Clavero, F., Moreira Madueño, J.M. (2011). Medio siglo de cambios en la evolución de usos de suelo de Andalucía (1956-2007). Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla. [En línea].

Cabello, V., B. Willaarts, M. Aguilar, and L. del Moral, (2015). River basins as social-ecological systems: linking levels of societal and ecosystem water metabolism in a semiarid watershed. *Ecology and Society 20*(3): 20. doi: http://dx.doi.org/10.5751/ES-07778-200320

Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change, 3(1), 52–58. doi: https://doi.org/10.1038/nclimate1633

García-Ruíz, J.M., Lopéz-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Lasanta-Martínez, T., Beguería, S., (2011a): "Mediterranean water resources in a global change scenario". Earth- Science Reviews 105, pp. 121-139.

García-Ruíz, J.M., Lana-Renault, N., (2011b): "Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region – A review". Agriculture, Ecosystems and Environments 140, pp. 317-338.

Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R. A., Carrao, H., et al. (2018). Global changes in drought conditions under different levels of warming. Geophysical Research Letters, 45, 3285–3296. doi: https://doi.org/10.1002/2017GL076521.

Pérez-Cutillas, P., Cataldo, M.F., Zema, D.A., de Vente, J., Boix-Fayos, C., (2018): "Efectos de la revegetación a escala de cuenca sobre el caudal y la evapotranspiración en ambiente mediterráneo. Cuenca del Taibilla (SE de España)". Bosque, 39(1), 119-129.

Rajabi, A., Babakhani, Z., (2018) "The study of potential evapotranspiration in future periods due to climate change in west of Iran", International Journal of Climate Change Strategies and Management, 10 (1), pp.161-177. doi: https://doi.org/10.1108/IJCCSM-01-2017-0008

REDIAM, (2006): Informe de ejecución del primer hito del contrato "Generación de escenarios de cambio climático en Andalucía". Expediente 539/2006/I/00. Fundación para la Investigación del Clima, FIC. 25 pp.

Sheffield, J., Wood, E. F., & Roderick, M. L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. Nature, 491(7424), 435–438. doi: https://doi.org/10.1038/nature11575

Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., & Barbosa, P. (2015). European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. Global and Planetary Change, 127, 50–57.

Sum-Kim, G., Lim, C.H., Jin-Kim, S., Lee, J., Son, Y., Lee, W.K., (2017): "Effect of National-Scale afforestation on forest water supply and soil loss in South Korea, 1971-2010". Sustainability 9 1017, 1-18 pp.

Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. Nature Climate Change, 4(1), 17–22. https://doi.org/10.1038/nclimate2067.

UNEP (United Nations Environment Programme), (1997). World Atlas of Desertification 2ED. UNEP, London.

Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., et al. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. Environmental Research Letters, 9(4), 044001. doi: http://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044001