

PROPAGACIÓN DE SEQUÍAS EN CINCO CUENCAS DEL CENTRO-SUR DE CHILE

Emilia Figueiras^{1,2}, Mauricio Zambrano-Bigiarini^{3,4}, Pablo C. Spennemann², Mauricio Galleguillos^{4,5}, Mercedes Salvia⁶, Oscar M. Baez Villanueva⁷, Giancarlo Casanova⁵ y Mercedes Peretti¹

efigueiras@agro.uba.ar. Autor/a correspondiente.

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

³Universidad de la Frontera, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Departamento de Ingeniería Civil, Temuco, Chile.

⁴Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2).

⁵Universidad Adolfo Ibáñez, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Santiago de Chile, Chile.

⁶Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Grupo de Teledetección Cuantitativa, Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, UBA-CONICET).

⁷Hydro-Climate Extremes Lab (H-CEL), Ghent University, Ghent, Bélgica.

Palabras clave: índices de sequía, caudales, ciclo hidrológico.

1) INTRODUCCIÓN

Los distintos tipos de sequía (e.g. meteorológica, agrícola, hidrológica) son etapas progresivas del mismo proceso en su propagación a través del ciclo hidrológico. Esta propagación comienza como un déficit de precipitación, seguido por una disminución en la humedad del suelo, que subsecuentemente impacta el estado de la vegetación y los caudales (Zhang et al., 2022). Pero las relaciones temporales entre la precipitación, humedad del suelo y caudales son sumamente complejas. La propagación de la sequía depende de procesos hidrológicos, como la evaporación, y a su vez de las características geomorfológicas y físicas de las cuencas, como el tipo de cobertura, pendiente y tipos de suelo. Este trabajo tiene como objetivo cuantificar la tasa de propagación de las sequías y las tasas de propagación de intensidad y duración de sequía meteorológica a agrícola e hidrológica en 5 cuencas con distintas características hidroclimáticas y ecológicas ubicadas a través de Chile continental.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

El área de estudio del presente trabajo comprende cinco cuencas en la región centro-sur de Chile: Pedernal en Tejada, Sobrante en Piadero (ambas subcuencas de la cuenca del Río Petorca en Longotoma), Mapocho en Los Almendros, Cauquenes en Desembocadura y Trancura antes de Llafenco, las cuales presentan diferentes características (Figura 1a).

Se utilizaron datos mensuales para el período 1990-2020 provenientes de tres fuentes: i) precipitación del CR2MET (0.05°x0.05°, Boisier, 2023), ii) humedad del suelo en la zona de raíces (7-100 cm) del reanálisis ERA5 (0.25°x0.25°) y iii) caudales observados en estaciones fluviométricas ubicadas en el punto de cierre de cada cuenca, del conjunto de datos disponibles en la plataforma CAMELS-CL (Alvarez-Garretón et al., 2018). A partir de estos datos, se calcularon los siguientes índices en escala de acumulación de 1 mes: i) Índice Estandarizado de la Precipitación (SPI), ii) Índice Estandarizado de la Humedad del Suelo (SSMI) e iii) Índice Estandarizado de Caudales (SSI). Se calcularon los índices ajustando la precipitación y la humedad del suelo a una distribución Gamma y log-logística a los caudales,

luego se realizó un promedio para cada cuenca. Se utilizó el umbral de -0.84 para definir periodos de sequía en los índices seleccionados.

Se calcularon tres parámetros para caracterizar la propagación de las sequías. Por un lado, la tasa de propagación R , que representa la proporción de sequías meteorológicas que se propagan a otros tipos de sequía (Zhang et al., 2022), definida como:

$$R = \frac{m}{n} \quad (1)$$

Donde m es el número de sequías agrícolas o hidrológicas y n el número de sequías meteorológicas.

Por otro lado, para evaluar cambios en la intensidad y duración de las sequías durante la propagación, se calcularon los ratios de propagación de intensidad (RI) y duración (RD), que comparan las distribuciones acumuladas de intensidad y duración entre sequía meteorológica y sequía agrícola o hidrológica, mediante el análisis de sus funciones de distribución acumulativa empíricas (Apurv y Cai, 2020) y se obtienen de la siguiente forma:

$$R_x = \prod_{j=1}^{10} \left(\frac{qx_{2j}}{qx_{1j}} \right)^{1/10} \quad (2)$$

Donde R_x representa el ratio de propagación para x , que puede ser I para intensidad (RI) o D para duración (RD), qx_{1j} representa el j -ésimo cuantil de la distribución de frecuencias acumuladas de sequías meteorológicas y qx_{2j} representa el j -ésimo cuantil de la distribución de frecuencias acumuladas de sequías agrícolas o hidrológicas.

3) RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La propagación de sequías meteorológicas (SPI-1) hacia sequías agrícolas (SSMI-1) e hidrológicas (SSI-1) en las cinco cuencas analizadas se cuantifica en la Tabla I a través de R , RI y RD. La propagación hacia sequía agrícola es un proceso con alta probabilidad de ocurrencia, con tasas (R) que superan el 65% en la mayoría de las cuencas, alcanzando un 80% en Pedernal. La propagación hacia SSMI-1 tiende a amplificar la intensidad respecto a la sequía meteorológica ($RI > 1$ en todas las cuencas) y en mayor medida su duración (RD entre 1,31 y 2,28). La propagación hacia los caudales (SSI-1) es menos frecuente (R entre 0.32 y 0.67) y se atenúa levemente la intensidad ($RI < 1$ en todas las cuencas), pero se amplifica notablemente la duración (RD entre 1,42 y 3,51), como también puede notarse en el ejemplo de la figura 1b para Mapocho.

La respuesta en las diferentes cuencas muestra un claro gradiente. En un extremo, Pedernal y Sobrante, que se caracterizan por su clima semi-árido, se comportan como sistemas de respuesta lenta, presentando bajas tasas de propagación hacia sequías hidrológicas (R de 0,50 y 0,32) pero con eventos de larga duración (RD 3,39 y 3,51). En el extremo opuesto se encuentran Cauquenes y Trancura, con climas más húmedos, presentan respuestas rápidas, con tasas de propagación similares entre el SSMI-1 y el SSI-1 ($R > 0,64$), con una menor amplificación de la duración ($RD < 1,55$). Esto indica una mayor conexión entre los déficits de precipitación y la respuesta en la humedad del suelo y los caudales. Finalmente, Mapocho, que presenta un clima moderado, exhibe un comportamiento intermedio tanto para sequía agrícola ($R=0,67$, $RD=1,56$) como hidrológica ($R=0,48$, $RD=2,22$). Estos resultados sugieren que las características de cada cuenca modulan la propagación de las sequías a través de los diferentes componentes del sistema hidrológico.

Los resultados de este trabajo serán útiles para el monitoreo de sequías, al evidenciar que los componentes del sistema hidrológico responden en escalas temporales variables, según las características de cada cuenca. La sensibilidad del suelo frente a déficits meteorológicos destaca la importancia de una gestión temprana del riesgo agropecuario, mientras que la inercia de los sistemas hídricos, especialmente en regiones semiáridas, exige una planificación a mediano plazo. En este contexto, el uso de índices en múltiples escalas

temporales permitiría capturar mejor la dinámica diferenciada de cada componente y región, fortaleciendo las estrategias de monitoreo y gestión del riesgo hídrico.

A futuro, sería valioso incorporar índices con distintas escalas temporales, como también analizar diferencias estacionales y considerar el aporte de la nieve, especialmente en cuencas de régimen nival.

	Pedernal			Sobranate			Mapocho			Cauquenes			Trancura		
Índice	R	RI	RD	R	RI	RD	R	RI	RD	R	RI	RD	R	RI	RD
SPI1 vs. SSMI1	0,80	1,07	2,28	0,57	1,09	1,84	0,67	1,10	1,56	0,65	1,07	1,47	0,69	1,06	1,31
SPI1 vs. SSI1	0,50	0,98	3,39	0,32	0,96	3,51	0,48	0,92	2,22	0,67	0,96	1,55	0,64	0,88	1,42

Tabla I. Tasa de propagación (R), Ratio de propagación de Intensidad (RI) y Duración (RD) para cada una de las cinco cuencas analizadas. Los valores se presentan para cada índice de sequía analizado.

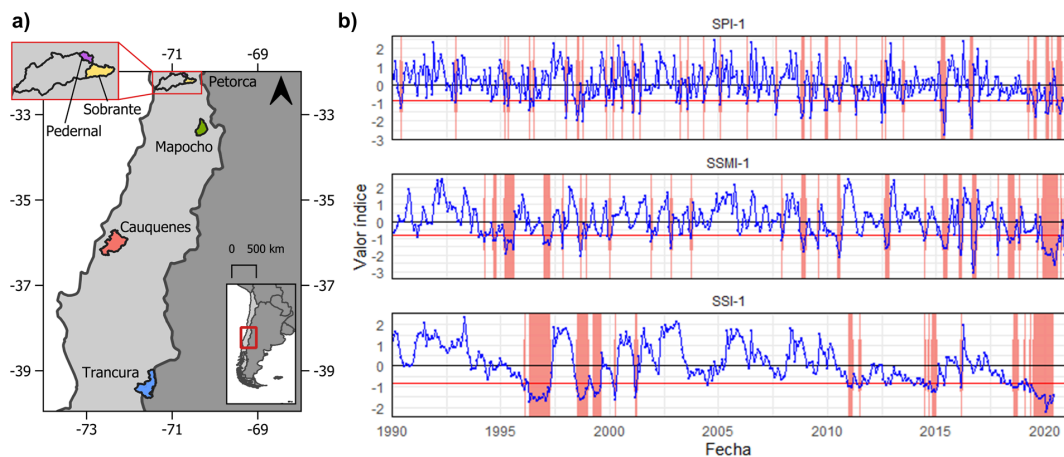


Figura 1. a) Área de estudio. b) Series temporales de SPI, SSMI y SSI en escala de acumulación de 1 mes para la cuenca Mapocho en los Almendros, periodo de referencia: 1990-2020. Las barras horizontales indican eventos de sequía, definidos como valores menores a -0.84 .

REFERENCIAS

Alvarez-Garreton, C., Mendoza, P. A., Boisier, J. P., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., Lara, A., Puelma, C., Cortes, G., Garreaud, R., McPhee, J., and Ayala, A., 2018: The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies – Chile dataset, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 5817-5846.

Apurv, T. y Cai, X., 2020: Drought Propagation in Contiguous U.S. Watersheds: A Process-Based Understanding of the Role of Climate and Watershed Properties. *Water Resources Research*, 56(9), e2020WR027755.

Boisier, J. P., 2023: CR2MET: A high-resolution precipitation and temperature dataset for the period 1960-2021 in continental Chile (v2.5) [Data set]. Zenodo.

Zhang, X., Hao, Z., Singh, V. P., Zhang, Y., Feng, S., Xu, Y. y Hao, F., 2022: Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors. *Science of The Total Environment*, 838(2), 156021.