

Evapotranspiración de Hargreaves en Argentina con datos grillados en alta resolución: valores medios y tendencias

Serio, L.; M. Antelo y S. M. F. Zalazar

RESUMEN

El aumento de la demanda mundial de alimentos requiere de una mejora continua de la eficiencia de uso de los recursos, en particular del agua. Gran parte del territorio argentino ha experimentado aumentos de temperatura durante las últimas décadas, que a su vez pueden haber afectado la cantidad de vapor que potencialmente se puede transferir hacia la atmósfera por evapotranspiración. En este trabajo se intenta cuantificar ese impacto. Para ello se utilizaron datos grillados en alta resolución espacial (0,5° de latitud y longitud) de temperaturas máximas, mínimas y medias, con cobertura en todo el territorio continental argentino, del período 1960-2010. Se observaron aumentos de la evapotranspiración potencial total anual en zonas áridas del NOA y Patagonia y disminución en el centro del país. Los cambios más significativos ocurrieron durante el verano, coincidiendo con la época de mayor demanda evaporativa. En particular, en la zona central del país se observó una tendencia en disminución del 4% respecto a la media anual y del 10% en la época estival. Se presume que esto podría ser un agravante para la situación frecuente de excesos hídricos en la región, acompañando al aumento documentado que experimentaron las precipitaciones.

Palabras clave: temperatura, cambio climático, ciclo hidrológico

Serio, L.; M. Antelo and S. M. F. Zalazar, 2019. Hargreaves evapotranspiration in Argentina with high-resolution gridded data. RADA X: 15-23

SUMMARY

The increase in world demand for food requires a continuous improvement in the efficiency of the use of resources, particularly of water. Much of the Argentine territory has experienced increase in temperatures during the last decades, which may have affected the amount of vapor that can potentially be transferred to the atmosphere by evapotranspiration. In this work, we try to quantify this impact. For this purpose, high-resolution spatial data (0.5 ° latitude and longitude) of maximum, minimum and average temperatures were used, with coverage throughout the Argentine mainland, from 1960-2010. Increases

in annual total potential evapotranspiration were observed in arid parts of the Northwest and Patagonia and decrease in the center of the country. The most significant changes occurred during the summer, coinciding with the period of greatest evaporative demand. In particular, in the central areas of the country, a downward trend of 4% was observed with respect to the annual average and 10% in the summer period. It is presumed that this could be an aggravating circumstance for the frequent situation of water excesses in the region, accompanying the documented increase in precipitation.

Key words: temperature, climate change, hydrological cycle

L. Serio y M. Antelo: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. San Martín 4453, C1417DSE CABA, Argentina. S. M. F. Zalazar: Universidad de Morón, Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Cabildo 134, B1708JPD Morón, Buenos Aires, Argentina. Correspondencia a: serio@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

El término evapotranspiración (ET) se utiliza para unificar los procesos del ciclo hidrológico mediante los cuales el agua se incorpora a la atmósfera desde la superficie terrestre: la evaporación y la transpiración. Su cuantificación resulta de gran importancia en la planificación de múltiples actividades, como la hidrología, la generación de energía y la producción agropecuaria, entre otras.

En particular, se ha estimado que la agricultura bajo riego contribuirá a satisfacer el 70% del aumento de la demanda mundial de alimentos en el primer cuarto del siglo XXI (Hargreaves y Allen, 2003). El manejo del agua y los rendimientos de los cultivos pueden ser optimizados a partir de la cuantificación precisa de la ET. Dada la dificultad de su medición, la optimización del uso del agua en la agricultura se puede alcanzar mediante el desarrollo y la aplicación de métodos de estimación o modelado de la ET cada vez más confiables.

El modelado de la ET requiere ciertas definiciones conceptuales bajo las cuales el resultado obtenido mediante el modelo es válido. En particular, el concepto de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0), definido originalmente por Doorenbos y Pruitt (1977) en un estudio patrocinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), es una de las tantas medidas de la potencial demanda atmosférica en ausencia de controles o limitaciones impuestas desde la superficie. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético con características específicas: una

gramínea verde, en activo crecimiento, de entre 8 y 15 cm de altura (Allen *et al.*, 2006). En él las condiciones edáficas y de cobertura vegetal son similares a la condición de potencialidad (máxima cobertura y buena provisión de agua), definida previamente por Thornthwaite (1948). Esto implica una dependencia de ET_0 exclusivamente en función de la demanda atmosférica, que permite utilizarla como referencia para estimar las necesidades hídricas de otras especies vegetales y así optimizar la producción agrícola, hortícola o forestal.

Existe una amplia variedad de metodologías para la estimación de ET_0 , aunque la recomendación final de la FAO (Allen *et al.*, 2006) recae sobre una variante propia del método micrometeorológico de Penman-Monteith (Monteith, 1965), ajustado para las características aerodinámicas del cultivo de referencia. Sin embargo, este método presenta la desventaja de requerir ciertos datos meteorológicos, como velocidad del viento y humedad relativa, cuya disponibilidad está generalmente limitada. Como alternativa, la FAO ha recomendado aplicar para el cálculo de ET_0 el método de Hargreaves modificado por Samani (Hargreaves y Samani, 1985), dependiente exclusivamente de la temperatura, para ser aplicado cuando no se dispone de datos de humedad atmosférica y/o intensidad del viento (Hargreaves y Allen, 2003; Allen *et al.*, 2006).

Por otra parte, la comunidad científica internacional ha reconocido la existencia de un calentamiento del sistema climático global, definido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático como "inequívoco" (IPCC, 2013). El aumento observado de la temperatura media

global se ha estimado recientemente en 1,0 °C, con rango de incertidumbre entre 0,8 y 1,2 °C (IPCC, 2018). Se supone que esto debería traer aparejado un aumento de la capacidad de retención de vapor de agua en la atmósfera. En este sentido, Bormann (2011) indicó que se puede derivar un aumento en la presión de vapor de saturación de 6-7% por cada grado centígrado de aumento de la temperatura. Como consecuencia de ello, se puede asumir que ha existido un aumento simultáneo, aun no del todo cuantificado, de la ET_0 .

El Gobierno de la República Argentina, como parte del proceso de comunicación ante la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, ha coordinado la realización de estudios de diagnóstico tendientes a comprender los efectos regionales del cambio climático, como así también un análisis de posibles impactos futuros (SAyDS, 2014). Dichos estudios, si bien han permitido ampliar el conocimiento del clima actual y sus proyecciones de cambio en la Argentina, sólo estuvieron enfocados a dos variables (precipitación y temperatura) y algunos índices derivados de estas. En particular, a partir de estos estudios se han confirmado algunas fluctuaciones previamente observadas de la temperatura (Rusticucci y Barrucand, 2004; Zalazar y Serio, 2012), que bien pueden haber afectado en forma directa o indirecta a la ET_0 . Entre las conclusiones se destaca el aumento de la temperatura media de hasta 1 °C en la Patagonia y de alrededor de 0,5 °C en el resto del país, aumento casi generalizado de las temperaturas mínimas y poco cambio en las máximas, excepto en Patagonia donde también aumentaron.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el impacto de los cambios que ocurrieron durante las últimas décadas en el régimen térmico, tanto en la temperatura media como en la máxima y la mínima, sobre el potencial de evapotranspiración en la Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados para este trabajo fueron extraídos de la Base de Datos Climáticos de la 3ra Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CIMA, 2014). Entre los datos disponibles se optó por los producidos por el modelo CRU_TS3.21, desarrollado originalmente por la Climatic Research Unit (CRU) de la University of East Anglia, Reino Unido. Tal decisión estuvo basada en que se trata de datos grillados de alta resolución (0,5° de latitud x 0,5° de longitud), en

el dominio espacial comprendido entre los 20° y 60° de latitud sur y los 50° y 80° de longitud oeste, o sea que tiene cobertura en todo el territorio continental argentino (Figura 1), incluyendo las islas Malvinas, aunque estas no fueron incluidas en el análisis posterior. Las variables utilizadas fueron temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales del período 1960-2010. Tanto el origen de los datos como las técnicas empleadas por la CRU para la confección de la base de datos fueron explicados por Harris *et al.* (2014).



Figura 1. Cobertura espacial de la Base de Datos. Fuente: CIMA (2014).

La ET_0 fue estimada con el método de Hargreaves-Samani (Hargreaves y Samani, 1985), dependiente de la temperatura y la radiación global, según la siguiente expresión:

$$ET_0 = 0,0135 * RG * (T + 17,78) \quad (1)$$

donde T es la temperatura media mensual (°C) y RG la radiación global (convertida a unidades de mm.d⁻¹ teniendo en cuenta el calor latente de vaporización). RG es estimada en función de la radiación astronómica (dependiente de la latitud y la época del año) y de la amplitud térmica, siguiendo el método recomendado por Hargreaves y Samani (1985) para suplir la falta de datos observados de RG:

$$RG = 0,17 * (Tmax - Tmin)^{0,5} * RA \quad (2)$$

donde T_{max} y T_{min} son las temperaturas máxima y mínima medias mensuales, respectivamente, y RA la radiación astronómica media mensual, también convertida a unidades de $mm \cdot d^{-1}$, calculada en función de la latitud y la época del año según la metodología explicada por Fernández Long *et al.* (2015). Cabe aclarar que los coeficientes en las ecuaciones 1 y 2 fueron obtenidos empíricamente por los autores citados. La aplicación de éstos a todo el territorio argentino puede traer aparejados errores por la heterogeneidad espacial de los factores geográficos que afectan a la temperatura y su amplitud.

Se calcularon las series de valores mensuales de ET_0 en cada punto de grilla y para todo el período considerado. A partir de ellos se obtuvieron los valores medios mensuales, estacionales y anuales y luego se calcularon las tendencias mediante un análisis de regresión lineal. Las tendencias obtenidas se expresaron en valor absoluto ($mm/año$) y en valor porcentual respecto a la media de todo el período. Se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Salmi *et al.*, 2002) para analizar la significancia estadística ($\alpha = 0,05$) de la tendencia en cada punto de grilla, tanto para los valores de ET_0 mensuales, como para los estacionales y los anuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por cuestiones de espacio, la discusión de resultados sólo se concentra en las ET_0 estacionales y las anuales. En las figuras 2 y 3 se pueden observar los resultados obtenidos para la ET_0 media anual y las estacionales, respectivamente, considerando el período completo (1960-2010). La distribución espacial y la magnitud de los valores anuales (figura 2) coincide en gran medida con los obtenidos previamente por Serio *et al.* (2006) usando datos de la red de observaciones del Servicio Meteorológico Nacional. A diferencia de aquel trabajo, los métodos de interpolación y extrapolación aplicados por la CRU para generar los datos de temperatura en la zona cordillerana permiten realizar una estimación razonable de la variación de la ET_0 en esa región.

En las figuras 4 y 5 están representados los valores de tendencia calculados para las series temporales de ET_0 en cada uno de los puntos de grilla, expresados como porcentaje respecto a la media de todo el período. Los tonos de azul indican tendencias negativas y los de naranja positivas. Las áreas rayadas con contorno gris señalan las regiones donde las tendencias resultaron estadísticamente significativas luego de aplicar la

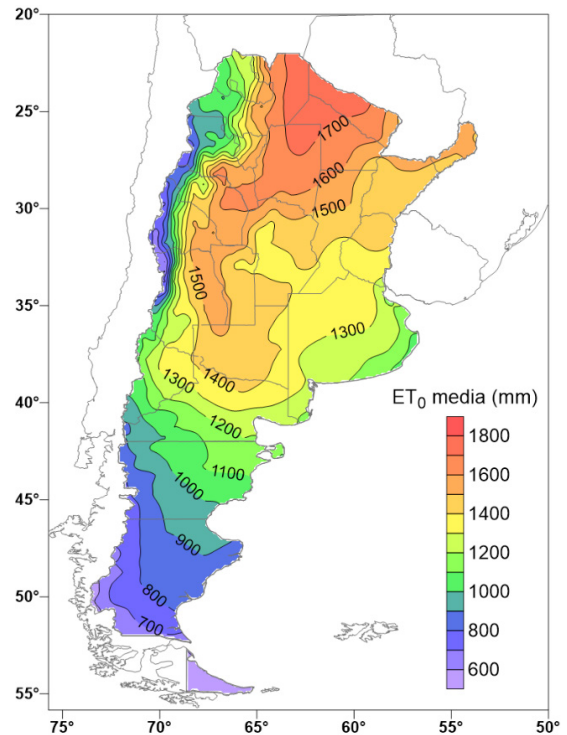


Figura 2. Evapotranspiración de referencia (ET_0) anual media 1960-2010.

prueba de Mann-Kendall.

La figura 4 corresponde a la ET_0 total anual, allí se detectaron dos zonas donde las tendencias fueron positivas: una localizada en la Puna jujeña y la otra abarca la mayor parte de la región patagónica (Neuquén, oeste y sur de Río Negro, este de Chubut y este de Santa Cruz). En ambas zonas los valores máximos de tendencia superan el 5%. Estas zonas coinciden con aquellas donde se han producido los aumentos más significativos de las temperaturas máximas, según los mapas publicados en la Tercera Comunicación de la Argentina a la Convención de Cambio Climático (SAyDS, 2014). En el caso de la Patagonia, también aumentaron las temperaturas mínimas y media, por lo que el incremento observado de la ET_0 puede ser asociado al aumento de la temperatura media. En cambio, en la Puna el aumento de la temperatura media fue menor y la mínima presentó una leve disminución, permitiendo inferir que el aumento de la ET_0 se debió a una mayor amplitud térmica, posiblemente asociada a una menor nubosidad.

Por otro lado, en la figura 4 se observan tendencias negativas de la ET_0 en la zona central del país (Córdoba, Entre Ríos, centro de Santa Fe,

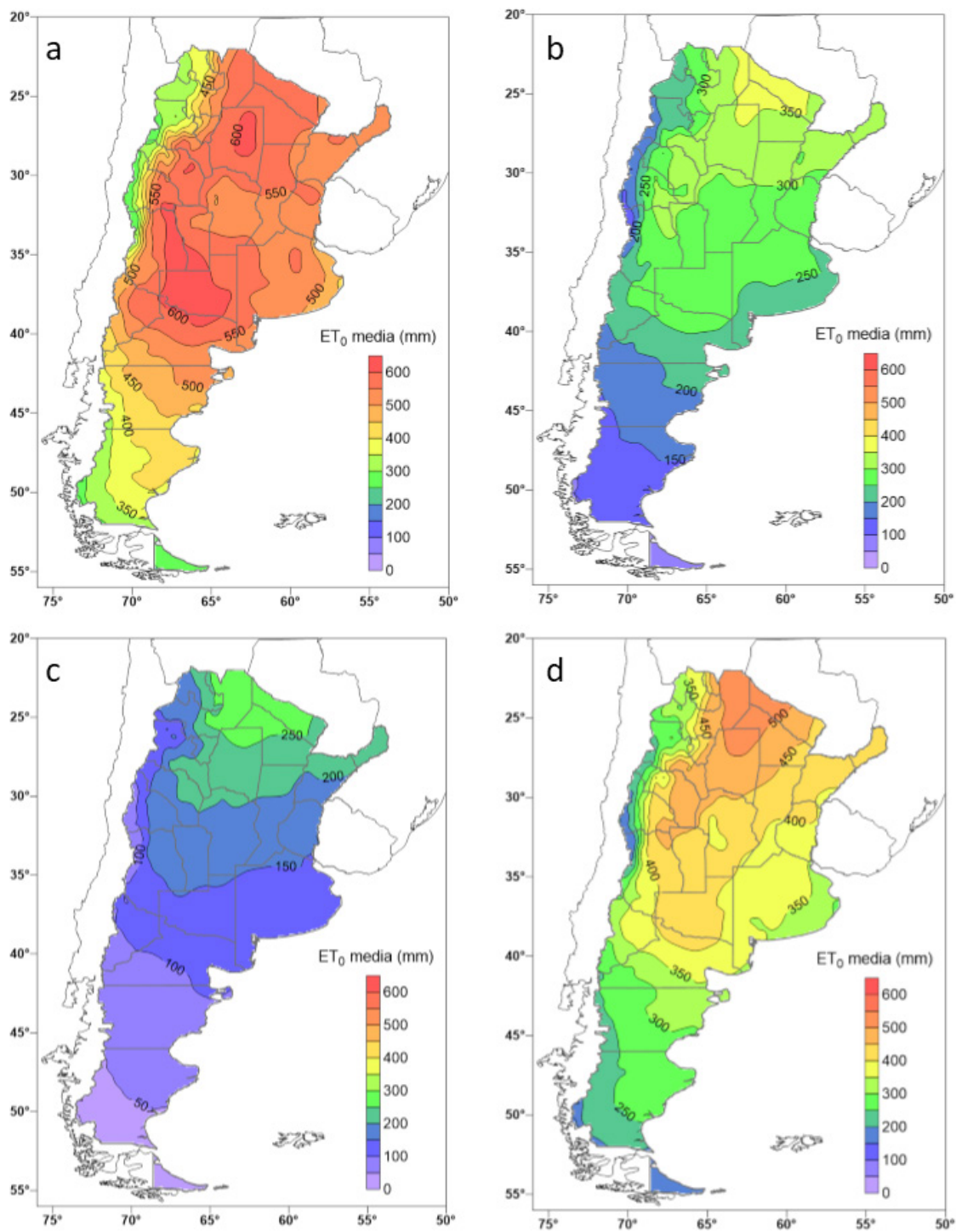


Figura 3. Evapotranspiración de referencia (ET_0) estacional media 1960-2010: a) verano, b) otoño, c) invierno, d) primavera.

norroeste de Buenos Aires, noreste de La Pampa y este de San Luis) con valores que llegan a estar entre -5 y -7%. En el informe de la SAyDS (2014) se observó que en estas zonas del país la temperatura mínima aumentó, pero hubo poco cambio, incluso una leve disminución, en la máxima. Por lo tanto, puede asumirse que la disminución de la ET_0 se debió a una menor amplitud térmica.

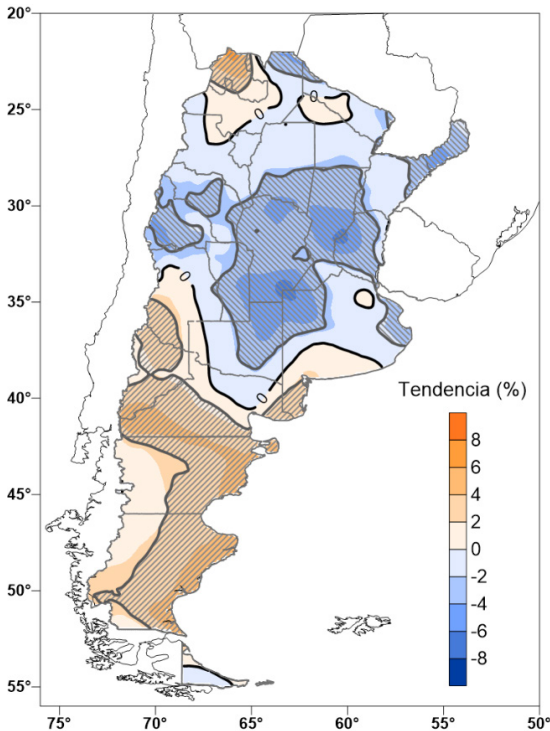


Figura 4. Tendencia porcentual de la evapotranspiración de referencia (ET_0) anual. Las áreas rayadas con contorno gris indican regiones con tendencia significativa.

En la figura 5 están representadas las tendencias estacionales de la ET_0 . Se observa que los cambios más significativos ocurrieron durante el verano, coincidiendo con la época del año de mayor demanda evaporativa. El patrón geográfico de distribución de las áreas con tendencias significativas en verano (figura 5.a) es similar al de la ET_0 anual, pero con una tendencia negativa mucho más intensa en la región del sur de Córdoba, sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires que arrojó valores entre -7% y -10%. En esta zona del país, frecuentemente afectada por inundaciones, la reducción observada de la ET_0 coincide con el aumento significativo de la precipitación reportado, entre muchos otros, por Barros *et al.* (2015). En cuanto a la región patagónica, las mayores tendencias positivas se encontraron al oeste de Río Negro y sur de Neuquén, donde los valores fueron entre el 5% y 7%, con alto nivel de significancia.

En otoño (figura 5.b) se observa un patrón espacial similar al del verano, pero con menor magnitud y una reducción de tamaño de las áreas donde las tendencias observadas resultaron estadísticamente significativas. Lo más destacable del invierno (figura 5.c) es que se mantienen las tendencias positivas de la ET_0 en casi toda la Patagonia, en concordancia con el aumento de la temperatura media invernal en la región (Rusticucci y Barrucand, 2004). En la provincia de Buenos Aires ya no se observan tendencias negativas, estas quedan limitadas sólo a una franja central que comprende el sur de Córdoba y San Luis, este de La Pampa y este de Río Negro. En primavera (figura 5.d), prácticamente no se registraron cambios significativos en la ET_0 en todo el país.

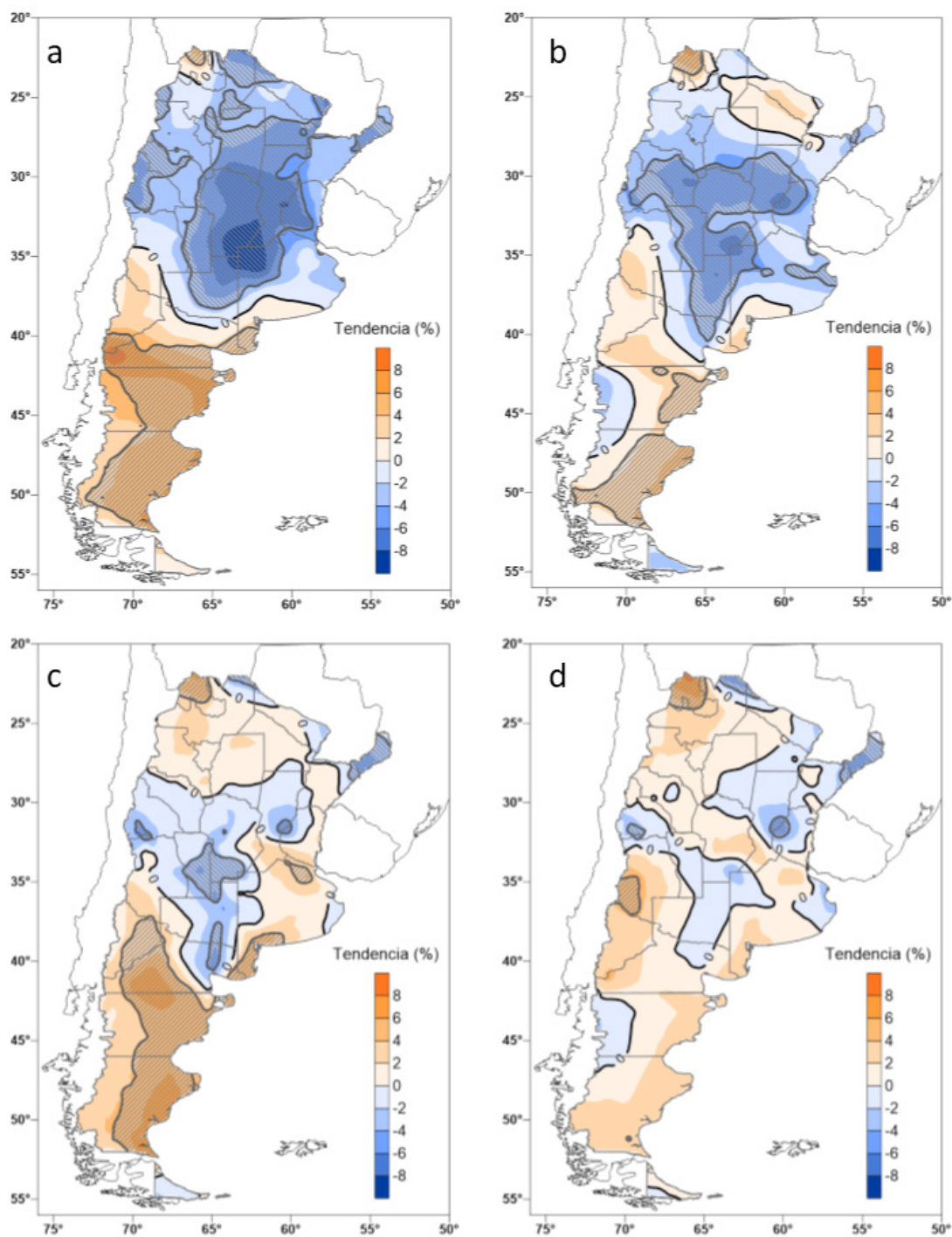


Figura 5. Idem figura 4, pero para las ET_0 estacionales: a) verano, b) otoño, c) invierno, d) primavera.

CONCLUSIONES

El uso de la base de datos grillados de temperaturas en alta resolución permitió calcular la ET_0 aún en las zonas del país donde no se cuenta con registros continuos de meteorológicos o climáticos.

A partir del análisis realizado, se concluye que el territorio argentino ha experimentado durante las últimas 5 décadas tendencias significativas de la ET_0 , tanto anual como estacional.

En particular, se observó una tendencia en aumento de la ET_0 anual en el extremo noroeste del país (localizado en la Puna de la provincia de Jujuy) y otra zona de gran extensión en la región patagónica. En la zona central del país se observó una tendencia en disminución de aproximadamente el 5% respecto a la media del período 1960-2010.

La mayor parte de los cambios a escala anual se explican por los cambios ocurridos en la época estival. La tendencia en la zona central indica una disminución de un 10% en la demanda evaporativa. Se presume que esto podría ser un agravante para la situación de excesos hídricos que afecta frecuentemente a la región.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Buenos Aires, por la financiación a través de los proyectos PDS UBA PG05 y UBACyT 20620170100012BA.

Al CIMA/CONICET-UBA, por la provisión de los datos climáticos de la 3ra. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. United Nations Food and Agriculture Organization, Roma. 298 p.
- Barros, V.R.; J.A. Boninsegna, I.A. Camilloni, M. Chidiak, G.O. Magrín y M. Rusticucci, 2015. Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. WIREs Climate Change 6: 151-169.
- Bormann, H, 2011. Sensitivity analysis of 18 different potential evapotranspiration models to observed climatic change at German climate stations. Climatic Change 104: 729-753.
- CIMA, 2014. Base de Datos Climáticos de la 3ra. Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. <http://3cn.cima.fcen.uba.ar/>. Consultado el 8/3/2016.
- Doorenbos, J. y W. Pruitt, 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 24. United Nations Food and Agriculture Organization, Roma. 144 p.
- Fernández Long, M.E.; R. Hurtado y L. Spescha, 2015. Planilla de cálculo de variables astronómicas (VARAST 1.0). Agronomía y Ambiente 35(2): 171-177.
- Hargreaves, G.H. y R. G. Allen, 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 129: 53-63.
- Hargreaves, G.H. y Z.A. Samani, 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Transaction of ASAE 1(2):96-99.
- Harris, I., P.D. Jones, T.J. Osborn y D.H. Lister, 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. International Journal of Climatology 34: 623-642.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, UK. 1535 pp.
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- Monteith, J.L., 1965: Evaporation and environment. Symp. Soc. Exp. Biol. XIX, Cambridge Univ. Press: 205-234.
- Rusticucci, M., y M. Barrucand, 2004. Changes in temperature extremes over Argentina. Journal of Climate 17: 4099-4107.
- SaYDS, 2014. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. "Cambio Climático en Argentina: Tendencias y Proyecciones" (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Buenos Aires, Argentina, 342 p.
- Salmi, T.; A. Määttä, P. Anttila, T. Ruoho-Airola y T. Amnell, 2002. Detecting trends of annual values of

- atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application MAKESENS. Publications on Air Quality No. 31, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 35 p.
- Serio, L.; H. Vich, R. Hurtado, A. Carreira y G. Murphy; 2006. Evapotranspiración potencial media anual en Argentina en el período 1971-2000. Actas XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, Buenos Aires, Argentina, pp 76-77.
- Thorntwaite, C.W., 1948. An approach to a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-94.
- Zalazar, S.M.F. y L. Serio, 2012. Análisis de las tendencias mensuales de las temperaturas máximas y mínimas en el este de la Argentina (1950-2011). Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Morón 3(6): 71-80.