

CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_0) EN URUGUAY

S. Alvaríño¹, A. Bocco², R. Terra³, M. Bidegain⁴, G. Cruz⁵

PALABRAS CLAVE: sequías, tendencia, variabilidad climática

INTRODUCCIÓN

La sequía es el evento de origen climático de mayor impacto en la producción agropecuaria, por ello es importante su caracterización en duración, frecuencia e intensidad. Los componentes atmosféricos de las sequías son la precipitación y la demanda atmosférica (evapotranspiración de referencia, ET_0). A nivel de la región existen estudios que demuestran el aumento de las precipitaciones medias (con alta variabilidad interanual), sin embargo, son escasos los antecedentes sobre la evolución temporal de la ET_0 . En el contexto de cambio climático global se constató para Uruguay un aumento de la temperatura media del aire (dominado por el aumento de las temperaturas mínimas) y los modelos climáticos indican la continuidad de la tendencia para el futuro, lo que podría determinar un aumento en la demanda atmosférica (Bettolli *et al*, 2010, Giménez *et al*, 2009). Sin embargo, en un estudio reciente se obtuvo una tendencia de aumento de ET_0 en Treinta y Tres y de disminución en Las Brujas, para el período 1973-2011 (MGAP-FAO, 2013).

El objetivo de este trabajo es identificar patrones espaciales y tendencias temporales de los totales anuales y estacionales de ET_0 , así como la intensidad de rachas secas.

Para el estudio se utilizó información meteorológica de ocho localidades del Uruguay en el período 1991-2014 y se procesó de manera de determinar la variabilidad de ET_0 acumulada en períodos desde 20 días a anuales. En este artículo se presentan los resultados preliminares del estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Luego de realizar el control de calidad de los datos (verificación de faltantes y fuera de rango), la ET_0 se calculó a nivel diario para el período 1991-2014 con información proveniente de las siguientes estaciones meteorológicas: Artigas (30,4°S; 56,5°O, INUMET), Paysandú (32,2°S; 58,1°O, INUMET), Melo (32,4°S; 54,2°O, INUMET), Mercedes (33,3°S; 58,1°O, INUMET), Treinta y Tres (33,3°S; 54,4°O, INIA), La Estanzuela (34,3°S; 57,7°O, INIA), Las Brujas (34,7°S; 56,3°O, INIA) y Rocha (34,5°S; 54,3°O, INUMET).

Para el cálculo de ET_0 se utilizó la estimación de Penmann – Monteth (Allen, 1998) que considera temperatura, humedad, radiación y viento. También se calcularon las diferencias: ($ET_0 - ET_0$ climática) y ($ET_0 -$ Precipitación). Para las tres variables (ET_0 y las diferencias mencionadas anteriormente) se calculó el acumulado anual, el estacional y combinaciones de estaciones (primavera-verano, verano-otoño, primavera-verano-otoño). A la vez, se calcularon los acumulados máximos de ET_0 y ($ET_0 - ET_0$ climática) en períodos de 20,40 y 60 días (rachas), con sus correspondientes fechas de ocurrencia. En todos los casos se realizó el test de Mann-Kendall (1975) para evaluar la tendencia de dichas series -que se componen de un valor por año- a lo largo del tiempo.

Las estaciones del año se consideraron como: verano (diciembre, enero, febrero), otoño (marzo, abril y mayo), invierno (junio, julio y agosto), primavera (setiembre, octubre, diciembre).

¹ Ing. Agr. Estudiante Maestría Fac.de Agronomía (UDELAR) sofiaaquianze@gmail.com

² Ing. Agr. Estudiante Maestría, Fac.de Agronomía y Veterinaria (UNRC) Univ.Nal. de Río Cuarto (Córdoba, Argentina).

³ PhD. Ing. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería (UDELAR)

⁴ MSc. Met. Consultor

⁵ DSc. Ing. Agr. Prof. Agregada Fac. de Agronomía (UDELAR)

RESULTADOS

Se presentan a continuación los cuadros de coeficientes de regresión lineal de acumulados estacionales y anuales de ET_0 incluyendo la significancia estadística de la tendencia según el test no paramétrico de Mann-Kendall.

Cuadro 1. Coeficiente de regresión de acumulados estacionales y anual de ET_0 expresado en 0,01 mm/día/año. Con * (**) y tonalidad de color se indican tendencias estadísticamente significativas según Mann Kendall al 90 (95)%.

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	12 Meses
Artigas	0,66	-0,10	0,69	1,65	0,72
Paysandú	0,96	0,26	1,53 *	2,01 *	1,18 **
Melo	0,22	0,11	1,07 **	1,52 **	0,72
Treinta y Tres	0,72	0,49 *	1,21 *	1,40	0,94 *
Mercedes	-0,08	-0,32	0,11	0,55	0,06
La Estanzuela	0,55	0,40	1,21 *	1,43 *	0,88 **
Rocha	0,15	0,22	0,35	0,69	0,35
Las Brujas	1,25 **	0,90 **	1,61 **	2,06 **	1,43 **

Para todas las localidades y estaciones consideradas se verifica una tendencia de aumento en ET_0 , salvo en el caso de invierno en Artigas y en otoño e invierno en Mercedes. Los valores mayores y más significativos se dan en las estaciones cálidas de primavera y verano (Cuadro 1). Las localidades con menores tendencias, no significativas, son Artigas, Mercedes y Rocha. Las tendencias del acumulado de 12 meses (set.-ago.) es significativa en la mitad de los puntos y promedia 0,01 mm/día/año, lo que equivale a un aumento de 3,65 mm/año en el acumulado anual que, a su vez, representa un aumento de casi 88 mm anuales en los 24 años del registro considerado.

Es sabido que además de las tendencias de largo plazo, el cambio climático se caracteriza por un aumento en la variabilidad, por lo que es de interés agronómico conocer la evolución de la ET_0 en escalas sub-estacionales. Se estudiaron rachas de alta demanda atmosférica de 20, 40 y 60 días de duración que se definieron, en cada año, como el acumulado máximo de ET_0 por sobre los valores climatológicos en períodos móviles de dichas longitudes, obteniendo así un valor por año que representa la máxima racha anómala (respecto a la climatología) de dicho año. Los resultados de las tendencias de esas series se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Coeficiente de regresión de acumulados en rachas secas max (ET_0 - ET_0 climática) anual expresado en 0,01 mm/día/año. Con * (**) y tonalidad de color se indican tendencias estadísticamente significativas según Mann Kendall al 90 (95)%.

	20 días	40 días	60 días
Artigas	0,24	0,46	0,67
Paysandú	1,25	1,34 **	1,19 **
Melo	2,03 **	1,83 **	1,76 **
Treinta y Tres	1,41 *	1,27	1,22
Mercedes	1,05	1,01	1,03
La Estanzuela	1,44 *	1,24 **	1,16 **
Rocha	0,74	0,46	0,25
Las Brujas	3,32 **	2,58 **	2,34 **

En el cuadro 2 se verifica que las tendencias son todas positivas, con coeficientes de regresión mayores y más significativos a los equivalentes del cuadro 1, notándose que los períodos de acumulación de dichos valores diarios son, sin embargo, menores. Al igual que en las tendencias estacionales y anuales, Artigas, Mercedes y Rocha son los registros que muestran menor tendencia (no significativa), aunque en este caso positivas para todas las longitudes de racha.

Por último, es de interés analizar cómo se combinan las señales de aumento de ET_0 encontradas a escala subestacional con el documentado aumento de la precipitación media. Para ello, se repitió el análisis de rachas hallando en cada año el período de máximo ET_0 -P, es decir de máximo déficit en el flujo de agua al suelo. Los resultados se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Coeficiente de regresión de acumulados en rachas secas max (ET₀-P) anual expresado en 0,01 mm/día/año. Con * (**) y tonalidad de color se indican tendencias estadísticamente significativas según Mann Kendall al 90 (95)%.

	20 días	40 días	60 días
Artigas	1,73	2,35	1,69
Paysandú	1,43	3,58	3,15
Melo	3,11	5,34 **	4,04
Treinta y Tres	2,31	1,61	0,76
Mercedes	4,09 *	5,35 **	4,49
La Estanzuela	5,09 **	5,66	5,52
Rocha	1,10	0,68	-0,44
Las Brujas	4,39 **	2,32	1,78

Los resultados presentados en el cuadro 3 muestran nuevamente una tendencia de incremento generalizado en las rachas secas, tal cual fueron definidas como el máximo anual de ET₀-P en períodos de la duración indicada, con la única excepción de 60 días en Rocha. Las tendencias son, sin embargo, menos significativas que en el caso del cuadro 2, consecuencia de la alta variabilidad en la precipitación que genera más ruido en las series.

CONCLUSIONES

Luego de un esfuerzo muy importante de recuperación y digitalización de información histórica, se pudieron analizar las tendencias de ET₀ en 8 puntos de Uruguay y se encontró un incremento generalizado en los últimos 24 años en escalas, anual, estacional y subestacional. La señal de aumento de ET₀ es más robusta e intensa durante la estación cálida.

Hay cierta variabilidad espacial en la señal, pero no se detecta un patrón claro. Resultados anteriores con series más largas mostraban tendencias decrecientes de ET₀ en el sur del país que no se confirman para el período 1991-2014. En el futuro se debe profundizar el estudio de la variabilidad decádica de las muy pocas series largas disponibles para esclarecer este punto.

Las tendencias de aumento encontradas representan un incremento lineal en la demanda atmosférica de hasta 5 mm/año. A escala estacional y subestacional, las tendencias son aún mayores, pero acumulados sobre períodos más cortos. El análisis de rachas secas de 20, 40 y 60 días que incluyen la precipitación, también resultó en un aumento generalizado durante el período de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R; PEREIRA, L; RAES, D; SMITH, M. 1998. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO. 298 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 56)

BETTOLLI, M.L.; ALTAMITANO, M.A.; CRUZ, G.; RUDORFF, F.; MARTÍNEZ, A.; ARROYO, J.; ARMOA, J. 2010. Pastura natural de Salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. Revista Brasileira de Meteorologia, 25(2): 248 - 259.

GIMÉNEZ, A.; CASTAÑO, J. P.; BAETHGEN, W.; LANFRANCO, B. 2009. Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario. Montevideo: INIA. 56 p. (Serie técnica, 178).

KENDALL, M.G. 1975. Rank correlation methods. 4th ed. London: Charles Griffin. 202p.

BIDEGAIN, M.; CRISCI, C.; DEL PUERTO, L.; INDA, H.; MAZZEO, N. TAKS, J.; TERRA, R. (EDS.) 2013. Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación para Uruguay. Vol I. Montevideo: MGAP-FAO. 126 p.